

PROPIEDADES QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL ESTIÉRCOL DE CAPRINO DURANTE EL COMPOSTAJE Y VERMICOMPOSTAJE

CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PROPERTIES OF GOAT MANURE DURING COMPOSTING AND VERMICOMPOSTING

Vianey Colín-Navarro¹, Ignacio A. Domínguez-Vara², Jaime Olivares-Pérez³, Octavio A. Castelán-Ortega², Anastacio García-Martínez¹, Francisca Avilés-Nova^{*1}

¹Centro Universitario UAEM Temascaltepec. Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), Carretera Toluca-Tejupilco Km. 67.5. 51300. Barrio de Santiago, Temascaltepec de González, México. (via_1879@hotmail.com) (angama.agma@gmail.com) (franavilesnova@yahoo.com.mx). ²Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), Campus Universitario "El Cerrillo" Piedras Blancas. 50090. Toluca, México. (igy92@hotmail.com). ³Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro). 40660. Carretera Altamirano-Iguala Km.3.5. (olivaares@hotmail.com).

RESUMEN

El estiércol caprino se produce en grandes cantidades y su almacenamiento o la dispersión, o ambos, de este residuo en el suelo pueden causar contaminación de la atmósfera y el agua, por lo que es necesario someterlo a procesos de estabilización para su uso agronómico. El vermicompost presenta características químicas y microbiológicas que lo hacen biológicamente más estable y, por lo tanto, adecuado para su uso como fertilizante orgánico. El objetivo de este estudio fue comparar los cambios en las propiedades químicas y microbiológicas del estiércol de caprino durante el compostaje y vermicompostaje, para la estabilización biológica. El estiércol se recolectó en los corrales del módulo de caprinos del Rancho del Centro Universitario UAEM Temascaltepec, México. El estiércol se composteo por 45 d en pilas cónicas de 300 kg. El vermicompostaje con *Eisenia fetida* duró 60 d. Al final de los procesos se tomaron muestras para su análisis químico y microbiológico. En los sustratos se monitoreó la temperatura y se mantuvieron con 80 % de humedad. El diseño experimental fue completamente al azar, con dos tratamientos (T1: compost estiércol caprino, T2: vermicompost estiércol caprino) con seis repeticiones cada uno. Con los datos se realizó ANDEVA de una vía y las variables microbiológicas se analizaron con estadística descriptiva. Las variables pH, materia orgánica (MO), carbono orgánico (CO) y nitrógeno total (NT) entre los procesos, presentaron diferencias ($p=0.001$, $p=0.0001$, $p=0.0001$, $p=0.007$, respectivamente). La conductividad eléctrica (CE) y la relación C:N

ABSTRACT

Goat manure is produced in large quantities and for either their storage or dispersion in soils, or both, this residue can cause atmospheric and water pollution. Therefore, it is necessary to stabilize it for agronomic usage. Vermicompost presents chemical and microbiological characteristics that make it biologically more stable and therefore suitable for its use as an organic fertilizer. The objective in this study was to compare the changes in the chemical and microbiological properties of goat manure during composting and vermicomposting, for biological stabilization. For it, manure was collected at pens from the goat module of the UAEM University Center, Temascaltepec Farm, Mexico. The manure was then composted for 45 d in 300 kg conical piles. Vermicomposting with *Eisenia fetida* lasted 60 d. At the end of the processes, samples were taken for chemical and microbiological analysis. The substrates were monitored for their temperature and 80 % humidity was maintained. The experimental design was completely randomized, with two treatments (T1: goat manure compost, T2: vermicompost goat manure) with six repetitions each. The data was analyzed via one-way ANOVA, and the microbiological variables were analyzed with descriptive statistics. The variables pH, organic matter (OM), organic carbon (OC) and total nitrogen (TN) between the processes showed differences ($p=0.001$, $p=0.0001$, $p=0.0001$, $p=0.007$, respectively). The electric conductivity (EC) and the C : N relation between the evaluated processes were different ($p=0.0001$, $p=0.031$, respectively). The Ca, Mg, P and Na content decreased in the vermicompost ($p=0.0001$). A higher content of *Pseudomonas*, fungi (*Aspergillus*) and actinomycetes was detected in the vermicompost. Thus, the biological stabilization of goat

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: junio, 2017. Aprobado: marzo, 2018.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 53: 161-173. 2019.

entre los procesos fueron diferentes ($p=0.0001$, $p=0.031$) respectivamente. El contenido de Ca, Mg, P y Na disminuyó en el vermicompost ($p=0.0001$). En el vermicompost se detectó un contenido mayor de *Pseudomonas*, hongos (*Aspergillus*) y actinomicetes. Así, la estabilización biológica de estiércol caprino por compostaje es diferente al vermicompostaje en variables químicas y contenido microbiano.

Palabras clave: estiércol, vermicompostaje, compostaje, estabilización biológica, fertilizante.

INTRODUCCIÓN

El estiércol caprino es un buen fertilizante orgánico para el suelo porque provee contenido alto de nutrientes para las plantas y es una alternativa de costo bajo. El estiércol fresco aplicado a los cultivos puede ser inapropiado (Carbajal y Mera, 2010) porque causa alteraciones al ambiente, como el aporte excesivo de metales (hierro, zinc, aluminio), sales inorgánicas, patógenos, pérdida y lavado de nutrientes del suelo por erosión y emisión de sulfuro de hidrógeno, amoníaco y otros gases tóxicos (Olivares *et al.*, 2012). Aira y Domínguez (2009) mencionaron que en los estiércoles pecuarios frescos no se aplica un proceso adecuado para la estabilización, por lo que contaminan el suelo y el agua, convirtiéndose en un problema de salud pública.

El proceso de estabilización involucra la descomposición de los desechos orgánicos y evita que representen un riesgo, esto se refleja en una menor actividad microbiana y reducida concentración de compuestos lábiles (Benito *et al.*, 2003; Zambrano *et al.*, 2013). La estabilización reduce los problemas ambientales asociados con el manejo del estiércol, transformándolo en un material seguro, estable y adecuado para su aplicación al suelo (Yadav *et al.*, 2013).

El compostaje y el vermicompostaje son procesos utilizados para la estabilización biológica de los desechos orgánicos. En el compostaje, los microorganismos degradan la materia orgánica (MO) y la transforman en un producto útil para la propagación de plantas y el cultivo de hortalizas; en el vermicompostaje, lombrices de tierra como *Eisenia fetida* y la acción microbiana reducen el tiempo de degradación de la MO (Lazcano *et al.*, 2008). La lombriz actúa como un molino mecánico tritura la MO, modifica sus características físicas y químicas por la reducción gradual de la relación C:N e incrementa el área superficial expuesta

manure by composting is different from vermicomposting in their chemical variables and microbial content.

Key words: Manure, vermicomposting, composting, biological stabilization, fertilizer.

INTRODUCTION

Goat manure is a good organic fertilizer for soils, because it provides high nutrient contents for plants, and is a low cost alternative. Fresh manure applied to crops may be inappropriate (Carbajal and Mera, 2010) because it causes alterations to the environment, such as excessive metals (iron, zinc, aluminum), inorganic salts, pathogens, loss and washing of soil nutrients by erosion and hydrogen sulfide emission, ammonia and other toxic gases (Olivares *et al.*, 2012). Aira and Domínguez (2009) mentioned that in the fresh livestock manures a suitable process for stabilization is not applied, for this reason they pollute both, ground and water, becoming a public health problem.

The stabilization process involves the decomposition of organic waste, and prevents it from becoming a risk; this reflects in a lower microbial activity and reduced concentration of labile compounds (Benito *et al.*, 2003, Zambrano *et al.*, 2013). Stabilization reduces the environmental issues associated with manure management, transforming it into a safe, stable and suitable material for soil application (Yadav *et al.*, 2013).

Composting and vermicomposting are processes used for biological stabilization of organic waste. In the composting process, microorganisms degrade organic matter (OM) and transform it into a useful product for plant multiplication of and the cultivation of vegetables; in vermicomposting, earthworms such as *Eisenia fetida* and microbes reduce the time for OM degradation (Lazcano *et al.*, 2008). Worms act as mechanical mills or OM crushers, modifying its physical and chemical characteristics by gradual reduction of the C:N ratio and increase the surface area exposed to the microorganisms of their digestive tract (gizzard and crop) making it more favorable for microbial activity and accelerates OM decomposition (Domínguez *et al.*, 1997; Lazcano *et al.*, 2008). The combination of composting in which toxic components are eliminated and sanitized, and vermicomposting in which particle size reduces and

para los microorganismos del tracto digestivo (molleja y buche) haciéndola más favorable para la actividad microbiana y acelera la descomposición de la MO (Domínguez *et al.*, 1997; Lazcano *et al.*, 2008). La combinación del compostaje, en el que se sanitizan y eliminan los componentes tóxicos y el vermicompostaje, en el cual se reduce el tamaño de las partículas y aumenta la disponibilidad de nutrientes, es un camino para estabilizar los desechos orgánicos y obtener un producto adecuado para uso agrícola (Ndegwa y Thompson, 2001). Las ventajas del vermicompostaje en la estabilización de distintos estiércoles pecuarios se ha evaluado (Lazcano *et al.*, 2008; Aira y Domínguez, 2009; Moreno *et al.*, 2014; Salinas *et al.*, 2014; Knopp *et al.*, 2015), pero la eficacia de los dos procesos para estabilizar el estiércol caprino se desconoce. El objetivo de este estudio fue comparar los cambios en las propiedades químicas y microbiológicas del estiércol de caprino durante el compostaje y vermicompostaje, para la estabilización biológica, reducir su potencial de contaminación y pueda usarse como fertilizante orgánico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Origen del material y proceso de bioestabilización

El compostaje y vermicompostaje se realizaron de enero a marzo de 2015 en el Rancho “El Salitre” del Centro Universitario UAEM-Temasaltepec, México, en el municipio de San Simón de Guerrero, Estado de México (100° 6' 27" O, 19° 2' 8" N, 1800 m de altitud, clima templado subhúmedo con lluvias en verano tipo (Cw); INEGI, 2009). El estiércol caprino, acumulado durante dos meses, mezclado con residuos de rastrojo de maíz (*Zea mays*) se recolectó del piso de los corrales del módulo de caprinos. La alimentación diaria de los caprinos se basó en pastoreo en gramíneas y arbustos nativos, además de un complemento de 250 g d⁻¹ por caprino a base de rastrojo de maíz, sorgo (*Sorghum vulgare*) molido, maíz molido, pasta de soya (*Glycine max*) y sales minerales (MULTISAL, contenido en 1000 g: Cu 600 mg; Fe 1920 mg; Mn 2066.46 mg; Co 6 mg; I 19.84 mg; Zn 3000.24 mg; Se 12 mg; P 59220 mg; Mg 2000.32 mg; Ca 281 mg; Na 703.20 mg; K 2439 mg).

Proceso de compostaje

El estiércol caprino se pesó (300 kg) (báscula línea industrial, Nuevo León® S. A. de C. V. de Monterrey), se regó con agua

nutrient availability increases, is a way to stabilize organic waste and to obtain an adequate product for agricultural use (Ndegwa and Thompson, 2001). The advantages of vermicomposting in the stabilization of different livestock manures has been evaluated (Lazcano *et al.*, 2008, Aira and Domínguez, 2009, Moreno *et al.*, 2014, Salinas *et al.*, 2014; Knopp *et al.*, 2015), but the effectiveness of both processes to stabilize goat manure is still unknown. The objective in this study was to compare the changes in the chemical and microbiological properties of goat manure during composting and vermicomposting for biological stabilization, reduce its polluting potential and its application as an organic fertilizer.

MATERIALS AND METHODS

Origin of the material and biostabilization process

Composting and vermicomposting were carried out from January to March 2015 at the “El Salitre” farm from the University Center UAEM-Temasaltepec, Mexico, in the municipality of San Simón de Guerrero, Estado de México (100° 6' 27" W, 19° 2' 8" N, 1800 m altitude, subhumid temperate climate with summer rainfall (Cw); INEGI, 2009). The used goat manure, accumulated during two months, was mixed with corn (*Zea mays*) stover residues, collected from the floor of the pens at the caprine module. The goats daily feeding was based on native grass and shrubs grazing, as well as a supplement of 250 g d⁻¹ per goat based on corn stover, grounded sorghum (*Sorghum vulgare*), grounded corn, soybean meal (*Glycine max*) and mineral salts (MULTISAL, content per 1000 g: Cu 600 mg, Fe 1920 mg, Mn 2066.46 mg, Co 6 mg, I 19.84 mg, Zn 3000.24 mg, Se 12 mg, P 59220 mg, Mg 2000.32 mg, Ca 281 g; Na 703.20 g; K 2439 mg).

Composting process

The goat manure was weighed (300 kg) (industrial line scale, Nuevo León® S. A. de C. V. de Monterrey), then irrigated with enough tap water to have 60 % humidity (Kelway® soil moisture analyzer, USA). Then, with it, six conical piles of 50 kg each were formed (0.6 m in height and 0.8 m in diameter at the base). Six 1 m long polyvinyl chloride tubes and 10 cm in diameter were horizontally placed for aeration in each stack. In each tube, three 10 cm in diameter perforations were made 15 cm apart using a hot steel knife, leaving a 20 cm margin at each end of the tube. From the stacks of the mixed organic substrate, two 1 kg samples were randomly taken, placed in sealed plastic bags (Ziploc®) and labeled, deposited in thermal boxes with frozen gel bags and sent

potable suficiente para contar con 60 % de humedad (anizador de humedad para suelo Kelway®, EUA). Después se formaron seis pilas cónicas de 50 kg cada una (0.6 m de altura y 0.8 m de diámetro en la base). En cada pila se colocaron horizontalmente seis tubos de policloruro de vinilo de 1 m de largo y 10 cm de diámetro para la aireación. En cada tubo se realizaron tres perforaciones de 10 cm de diámetro separadas cada 15 cm utilizando un cuchillo caliente de acero, dejando un margen de 20 cm en cada extremo del tubo. De las pilas del sustrato orgánico mezclado se tomaron al azar dos muestras de 1 kg, las cuales se colocaron en bolsas de plástico de cierre hermético (Ziploc®) y etiquetadas, se depositaron en cajas térmicas con bolsas de gel congeladas y se enviaron al laboratorio para su análisis químico (Cuadro 1). Las pilas se acomodaron al aire libre bajo la sombra de árboles de pino (*Pinus* spp.) sobre una película plástica de nylon.

En las pilas durante el proceso de compostaje la humedad del sustrato se mantuvo al 60 % agregando agua potable. La temperatura del sustrato se midió en tres sitios seleccionados al azar dos veces por semana durante las primeras tres semanas y una vez las semanas restantes, utilizando un termómetro de carátula para compost TFA®. La temperatura se consideró el indicador final del proceso estabilizándose en 20 °C a los 45 d, valores cercanos a la temperatura ambiental. Después, en cada pila se tomaron al azar dos muestras a una profundidad de 10 cm obteniendo dos sub muestras compuestas de 1 kg, las cuales se manejaron de manera similar a las muestras de estiércol y se enviaron al laboratorio para su análisis.

to the laboratory for its chemical analysis (Table 1). The piles were placed outdoors under pine trees (*Pinus* spp.) shade, on a nylon plastic film.

During the composting process the substrate humidity in the piles was maintained at 60 % by adding tap water. The substrate's temperature was randomly measured at three selected sites twice a week for the first three weeks and once the remaining weeks using a dial thermometer for compost TFA®. The temperature was considered the final indicator of the process, stabilizing at 20 °C at 45 d, values close to ambient temperature. Then, in each pile, two samples were randomly taken at a 10 cm depth, obtaining two sub samples composed of 1 kg, which were handled in a similar manner to the manure samples, and sent to the laboratory for analysis.

Vermicomposting process

The vermicomposting process was carried out in four cement vermireactors (2.5 m × 1.0 m × 0.90 m), which contained a stable and active *Eisenia fetida* worm population. In each reactor, 60 kg (scale industrial line Nuevo León® S. A de C. V., Monterrey) of food obtained from the composting of goat manure at 45 d of maturity and supported a population density of 250 g of earthworms per kg of substrate in the surface (Lazcano *et al.*, 2008).

In the vermireactors during the process, substrate humidity was maintained at 80 % (assessed with a soil moisture analyzer Kelway®, USA) by adding tap water. Substrate temperature was

Cuadro 1. Características químicas de estiércol de caprino.
Table 1. Goat manure chemical characteristics.

Variable	Sustrato
	Estiércol caprino
pH	8.32
CE (dS m ⁻¹)	4.79
MO (%)	78.45
CO (%)	45.51
NT (%)	2.05
C:N	22.20
PO ₄ (mg kg ⁻¹)	2560
K (mg kg ⁻¹)	18800
Mg (mg kg ⁻¹)	5700
SO ₄ (mg kg ⁻¹)	2940
Ca (mg kg ⁻¹)	36200
Na (mg kg ⁻¹)	7300

CE: conductividad eléctrica, MO: materia orgánica, CO: carbono orgánico, NT: nitrógeno total, PO₄: fosfatos, SO₄: sulfatos. ❖ EC: electrical conductivity, OM: organic matter, OC: organic carbon, TN: total nitrogen, PO₄: phosphates, SO₄: sulfates.

Proceso de vermicompostaje

El proceso de vermicompostaje se realizó en cuatro vermireactores (2.5 m×1.0 m×0.90 m) de cemento, que contenían una estable y activa población de lombriz de *Eisenia fetida*. En cada reactor se colocaron 60 kg (báscula línea industrial Nuevo León® S. A. de C. V., Monterrey) de alimento obtenido del compostaje del estiércol caprino de 45 d de maduración y soportaba una densidad de población de 250 g de lombrices por kg de sustrato en la superficie (Lazcano *et al.*, 2008).

En los vermireactores durante el proceso la humedad del sustrato se mantuvo al 80 % (analizador de humedad para suelo marca Kelway®, EUA) agregando agua potable. La temperatura del sustrato se midió una vez a la semana, utilizando un termómetro de carátula para compost TFA®. Una vez que el estiércol compostado fue consumido por la lombriz (60 d), se recolectaron de la parte superior de los reactores dos muestras de 250 g de las excretas o turrículos de la lombriz, las cuales se manejaron de manera similar a las muestras de estiércol y compost y se enviaron al laboratorio para su análisis.

El diseño experimental fue completamente al azar; los tratamientos fueron T1: compost de estiércol de caprino y T2: vermicompost de estiércol caprino. En el compost las unidades experimentales fueron seis pilas y en el vermicompost fueron seis vermireactores. Cada pila y vermireactor se consideró una repetición.

Análisis químicos

Los análisis químicos del estiércol, compost y vermicompost se realizaron en un laboratorio privado de Culiacán (Phytomonitor S. A. de C. V. de Sinaloa), de acuerdo con la NMX-FF-109-SCFI-2008, cada muestra se analizó por duplicado. El pH con un potenciómetro HANNA® Instruments 8521 (1:5); conductividad eléctrica (CE) (dS m^{-1}) mediante conductivímetro Perkin Elmer® DR-3900 (1:5); materia orgánica (% MO) por diferencia de peso con % de cenizas ($\text{MO} = 100 - \% \text{ cenizas}$); CO (% Co) % MO entre factor Van Benmelen ($\text{CO} = \% \text{ MO} / 1.724$); NT total (% NT) por método micro Kjeldahl; relación C:N % CO entre % NT ($\text{C:N} = \% \text{ CO} / \% \text{ NT}$); PO_4 (mg kg^{-1}) método Morgan; B (mg kg^{-1}) por método Azomethine-H; SO_4 (mg kg^{-1}) por método turbidimétrico; K, Mg, Na, Ca, Fe, Zn, Cu, Mn (mg kg^{-1}) por absorción atómica L.C.H. (digestión) (Spectrometer Perkin Elmer® Analyst 400). Las variables químicas del estiércol y el compost se analizaron según la norma mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008.

Análisis microbiológico

Los análisis microbiológicos del compost y vermicompost se realizaron según la norma mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008

assessed once a week, using a dial thermometer for compost TFA®. Once the composted manure was consumed by the worms (60 d), two 250 g samples of earthworm droppings were collected from the upper part of the reactors, which were handled in a similar way to the manure samples and compost and sent to a laboratory for analysis.

The experimental design was completely random; the treatments were: T1, goat manure compost and T2, vermicompost from goat manure. In the compost the experimental units were six batteries and in the vermicompost six vermireactors. Each stack and vermireactor was considered a repetition.

Chemical analysis

Chemical analyzes of manure, compost and vermicompost were performed in a private laboratory at Culiacán, (Phytomonitor S. A. de C. V. de Sinaloa), following the NMXFF-109-SCFI-2008. Each sample was analyzed by duplicate. The pH was assessed with a HANNA® Instruments 8521 (1: 5) potentiometer; electrical conductivity (dS m^{-1}) was quantified with a Perkin Elmer® DR-3900 conductivity meter (1:5); organic matter (% OM) was calculated by weight difference with % ash ($\text{OM} = 100 - \% \text{ ash}$); OC (% OC) % was the OM ratio between Van Benmelen factor ($\text{OC} = \% \text{ OM} / 1.724$); total TN (% TN) was quantified following the Kjeldahl micro method; C:N ratio was obtained by dividing % OC between % TN ($\text{C:N} = \% \text{ OC} / \% \text{ TN}$); PO_4 (mg kg^{-1}) was quantified by the method Morgan; B (mg kg^{-1}) by the Azomethine-H method; SO_4 (mg kg^{-1}) was quantified by the turbidimetric minerals method; K, Mg, Na, Ca, Fe, Zn, Cu, Mn (mg kg^{-1}) were evaluated by LCH atomic absorption (digestion) (Perkin Elmer® Analyst 400 Spectrophotometer). The chemical variables of manure and compost were analyzed according to the Official Mexican standard NMX-FF-109-SCFI-2008.

Microbiological analysis

The microbiological analyzes of compost and vermicompost were carried out following the Official Mexican standard NMX-FF-109-SCFI-2008, at a private laboratory at Culiacán, state of Sinaloa (Phytomonitor S. A. de C. V. de Sinaloa). On the composting and vermicomposting products, for the bacteria (aerobic, anaerobic, nitrifying and *Pseudomonas* sp.) and fungi (*Aspergillus* sp.) counting, each sample was centrifuged and a serial dilution was obtained from them (10^{-5}). 100 μL aliquots were diluted in both, BK and ELMAR medium plates (Koch bacilli) to identify the presence of mycobacteria; PDA (potato dextrose agar) and PDA-AL, each, to obtain fungi and bacteria colonies, respectively. Petri dishes were incubated 3 d at 28 °C. Cetrimide agar was used in petri dishes incubated 48 h at 37 °C, for the *Pseudomonas* sp. identification.

en un laboratorio privado de Culiacán (Phytomonitor S. A. de C. V. de Sinaloa). En los productos del compostaje y vermicompostaje, para el conteo de bacterias (aeróbicas, anaeróbicas, nitrificantes y *Pseudomonas* sp.) y hongos (*Aspergillus* sp.), cada muestra se centrifugó y se hizo una dilución seriada (10^{-5}). Alícuotas de 100 μ L se diluyeron en placas del medio BK (bacilos de Koch) para identificar la presencia de micobacterias y en medio ELMAR; PDA (agar papa dextrosa) y PDA-AL, respectivamente, para obtener colonias de hongos y bacterias. Las cajas petri se incubaron 3 d a 28 °C. Para identificar *Pseudomonas* sp. se usó agar cetrimide y las cajas petri se incubaron 48 h a 37 °C.

Para cuantificar actinomicetos la muestra se homogeneizó, se añadió una solución amortiguadora, se hicieron diluciones en serie y se incubaron 2 h a 28 °C. Las diluciones se sembraron en agar nutritivo y se incubaron 7 d a 30 °C (Knoop *et al.*, 2015). Las especies se identificaron mediante observación morfológica, tinciones y exposición a la luz UV.

Análisis estadístico

En todas las variables de composición química se realizó un ANDEVA de una vía con el comando de MINITAB reléase 12.21 y la comparación de media fue mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Las variables microbiológicas se analizaron con estadística descriptiva (Senthil *et al.*, 2013). Los datos registrados en porcentajes se transformaron con la función arcoseno para normalizar la distribución de los datos y estabilizar las varianzas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las pilas del compost tuvieron mayor temperatura 40.6 y 47 °C (fase termófila) durante los días cuatro y siete, respectivamente, la cual descendió después del día 7 hasta estabilizarse (Figura 1). Luo *et al.* (2014) indican que temperaturas mayores a 40 °C muestran que hay biodegradación activa de la MO y cuando la temperatura se reduce la MO entra a una fase de curación. Según Guo *et al.* (2012), la tasa de aireación en el compostaje de heces de cerdo con paja de maíz tuvo diferencias en los cambios de temperatura dando lugar a una mayor degradación de la MO por una menor retención de calor en las pilas.

La temperatura dentro del vermireactor presentó variaciones y la temperatura final fue 22 °C (Figura 2). La variación de la temperatura durante el compostaje y el vermicompostaje es el balance entre el calentamiento debido a las actividades de los microorganismos y de las lombrices, y por pérdidas

To quantify actinomycetes, the samples were homogenized and a buffer solution added. Then, serial dilutions were made and incubated 2 h at 28 °C. The dilutions were seeded on agar nutrient and incubated 7 d at 30 °C (Knoop *et al.*, 2015). Species were identified by morphological observation, staining and UV light exposure.

Statistical analysis

In all chemical composition variables, a one-way ANOVA analysis was performed using the MINITAB command (v 12.21). The means comparison was made using the Tukey test ($p \leq 0.05$). Microbiological variables were analyzed by descriptive statistics (Senthil *et al.*, 2013). The data registered in percentages was transformed with the arcsine function to normalize the distribution of the data and stabilize the variances.

RESULTS AND DISCUSSION

Compost piles had temperatures higher than 40.6 and 47 °C (thermophilic phase) in days four and seven, respectively, which decreased after the seventh day until stabilized (Figure 1). Luo *et al.* (2014) indicated that temperatures higher than 40 °C show an active biodegradation of OM and when the temperature is reduced the OM enters a curing phase. According to Guo *et al.* (2012), the aeration rate in the composting of pig manure with corn straw had differences on the temperature changes, leading to a greater OM degradation due to lower heat retention in the piles.

The temperature inside the vermireactor reported variations, the final temperature was 22 °C (Figure 2). The temperature variation during the composting and vermicomposting processes is the balance between warming due to earthworms and microorganisms activities, and losses probably due to exchanges with the environment (Ruíz, 2012). Thus, temperature changes in the environment modifies the earthworm temperature and their degradative activity (Ferrera and Alarcón, 2014). Temperature increases in our study coincide with that found by Senthil *et al.* (2013), they evaluated the reproductive capacity of *E. fetida* during the vermicomposting process and observed average temperatures of 23 °C; they mentioned that worms can develop in temperatures between 20 to 29 °C during the process, although an increase in temperature during the final stage of the process can be attributed to a greater reproductive

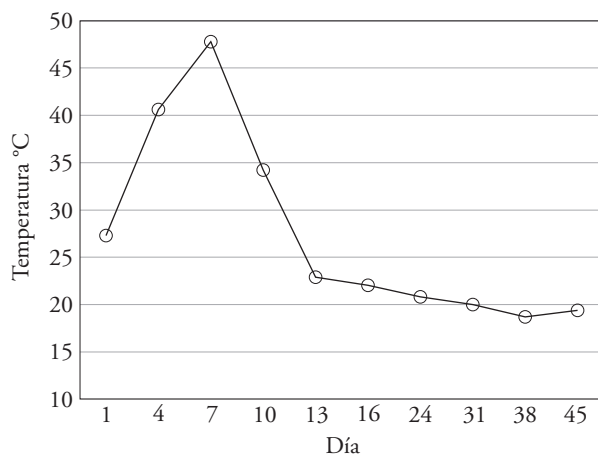


Figura 1. Evolución de la temperatura en las pilas de compost.
Figure 1. Temperature changes in the compost piles.

probables debido a los intercambios con el exterior (Ruíz, 2012). Así, un cambio en la temperatura del ambiente modifica la temperatura de las lombrices y su actividad degradativa (Ferrera y Alarcón, 2014). Los aumentos de temperatura en nuestro estudio coinciden con lo encontrado por Senthil *et al.* (2013), quienes evaluaron la capacidad reproductiva de *E. fetida* durante el proceso de vermicompostaje y observaron temperaturas promedio de 23 °C; ellos mencionan que el trabajo de la lombriz puede desarrollarse en temperaturas 20 a 29 °C durante el proceso, aunque un aumento de temperatura en la etapa final puede atribuirse a una mayor actividad reproductiva de la lombriz, ya que al aumentar su biomasa requiere temperaturas mayores.

El pH del compost (8.8) fue diferente ($p=0.001$) respecto al vermicompost (7.2) (Cuadro 2). Los valores alcalinos en el pH del compostaje resultan de la producción amoniacal y de la liberación de bases (Ruíz, 2012). Yadav *et al.* (2013) sugieren que los cambios en el pH en el vermicompostaje pueden atribuirse a la producción de CO_2 , amoníaco, NO_3 y ácidos orgánicos durante el proceso derivado del trabajo realizado por las lombrices. Los resultados en nuestro estudio son similares a los de Yadav *et al.* (2013), quienes reportan pH de 7.4 en vermicompost de estiércol de bovino, relacionándolo con la función de las glándulas calcíferas localizadas alrededor del esófago de las lombrices que secretan carbonato cálcico y producen una digestión alcalina, lo que origina pH ligeramente alcalinos. De forma similar, Ullah *et al.* (2015) encontraron valores de pH de 7.4 en vermicompost de estiércol de granja. Ndegwa *et al.* (2000) sugieren que

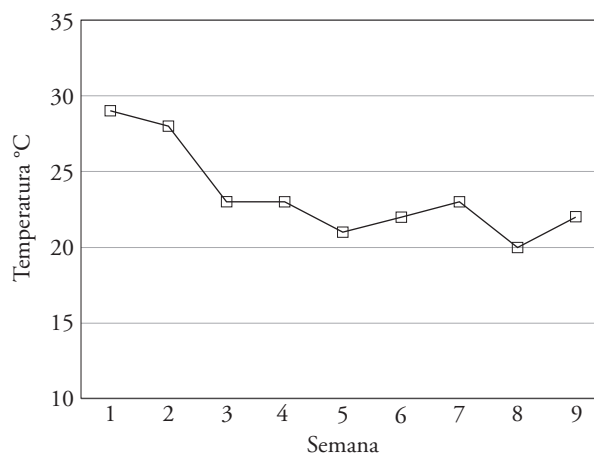


Figura 2. Evolución de la temperatura en los vermireactores.
Figure 2. Temperature changes in vermireactors.

activity of the worms, since their biomass increase requires higher temperatures.

The compost pH (8.8) was different ($p=0.001$) compared to that of the vermicompost (7.2) (Table 2). The pH alkaline values of the composting process result from ammonia production and bases release (Ruíz, 2012). Yadav *et al.* (2013) suggested that pH changes in the vermicomposting can be attributed to CO_2 production, ammonia, NO_3 and organic acids during the process derived from the earthworm's activity. Our results are similar to those of Yadav *et al.* (2013), who report pH values of 7.4 in bovine manure vermicompost, due to the function of calciferous glands located around earthworms esophagus that secrete calcium carbonate and produce alkaline digestion, which originates slightly alkaline pH. Similarly, Ullah *et al.* (2015) found pH values of 7.4 in farm manure vermicompost. Ndegwa *et al.* (2000) suggest that pH variations are attributed to the mineralization of nitrogen and phosphorus into nitrites, nitrates and orthophosphates, as well as to the bioconversion of OM in intermediate organic acids species, giving rise to biologically stable vermicompost.

The EC exhibit differences ($p=0.0001$) between composting and vermicomposting, resulting in increased salts content in vermicompost. Cáceres *et al.* (2006) observed increased EC at the end of the composting process of bovine manure solid fractions, but their values were lower (3 to 5 dS cm^{-1}) than those of our study (5.8 dS m^{-1}) and attributed to the food supplement supplied to the goats, which contained a vitamins and minerals premix. During composting OM mineralization increases the concentration of

Cuadro 2. Variables químicas del compost y vermicompost elaborados con estiércol caprino.
Table 2. Chemical variables in compost and vermicompost from goat manure.

Variable	Sustrato caprino			
	Compost	Vermicompost	p	EEM
pH	8.8a	7.2b	0.001	0.38
CE (dS m ⁻¹)	5.8b	8.5a	0.001	0.58
MO (%)	72.2a	40.5b	0.001	9.50
CO (%)	41.9a	20.1b	0.001	3.54
NT (%)	2.6a	1.23b	0.001	0.33
C:N	15.9a	13.1b	0.031	0.51
Ca (mg kg ⁻¹)	27800a	969.0b	0.0001	3020.33
Mg (mg kg ⁻¹)	7100a	4062.5b	0.0001	676.48
P (mg kg ⁻¹)	8465a	302.1b	0.0001	1825.51
K (mg kg ⁻¹)	28950a	634.7b	0.082	244.88
Na (mg kg ⁻¹)	4125a	266.8b	0.0001	426.57

CE: conductividad eléctrica, MO: materia orgánica, CO: carbono orgánico, NT: nitrógeno total, EEM: error estándar de la media. Literales distintas entre columnas presentan diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$). ❖ EC: electrical conductivity, OM: organic matter, OC: organic carbon, TN: total nitrogen, SEM: standard error of the mean. Different letters between columns show significant differences between treatments ($p \leq 0.05$).

las variaciones en el pH se pueden atribuir a la mineralización de nitrógeno y fósforo en nitritos, nitratos y ortofosfatos, así como a la bioconversión de la MO en especies intermedias de ácidos orgánicos, dando lugar a un vermicompost biológicamente estable.

La CE presentó diferencias ($p=0.0001$) entre compostaje y vermicompostaje, y resultó en un aumento en el contenido de sales en el vermicompostaje. Cáceres *et al.* (2006) observaron aumento en la CE al final del proceso de compostaje de la fracción sólida de estiércol de bovino, pero sus valores fueron menores (3 a 5 dS cm⁻¹) a los de nuestro estudio (5.8 dS m⁻¹) y podría atribuirse al complemento alimenticio suministrado a los caprinos, el cual contenía una premezcla de vitaminas y minerales. Durante el compostaje, al avanzar la mineralización de la MO aumenta la concentración de sales solubles. El valor de la CE en el vermicompost (8.5 dS m⁻¹) en nuestro estudio es diferente a lo observado por Deka *et al.* (2011) y Galindo *et al.* (2014), quienes reportan valores menores en la vermicompost (6.21 dS m⁻¹, 3.21 dS m⁻¹ y 4.2 dS m⁻¹, respectivamente), atribuyéndolo a un lavado de nutrientes (lixiviado) por un exceso de humedad, pero un probable aumento lo relacionan con la pérdida de peso de la MO y la liberación de diferentes sales minerales en forma disponible, como el fosfato, amonio y potasio.

soluble salts. The EC value in the vermicompost (8.5 dS m⁻¹) in our study is different from that observed by Deka *et al.* (2011) and Galindo *et al.* (2014), who report lower values in the vermicompost (6.21 dS m⁻¹, 3.21 dS m⁻¹ and 4.2 dS m⁻¹, each), attributing it to nutrient wash (leached) by excess moisture, but a relate the increase to weight loss of OM and the release of different mineral salts in available form, such as phosphate, ammonium and potassium.

OM is another important variable to be consider for the stability of organic substrate, and can be used as an organic amendment (Castillo *et al.*, 2000). The OM in vermicompost decreased respect to OM content of the compost (40.5 and 72.2 %, respectively) and presented differences between processes ($p=0.0001$). Kulcu and Yaldiz (2007) observed similar behavior in goat manure compost mixed with straw (5, 10 and 15 %) with 71.87 % initial OM content and a final 48.04 %. Ulle *et al.* (2004) observed a similar behavior in the composting and vermicomposting of fresh cow manure with OM percentage in the compost of 44.15 and 31.5 in the vermicompost. In this regard, Castillo *et al.* (2000) mentioned that when feeding earthworms, they accelerate OM decomposition and alter the physical and chemical properties of the materials, causing the vermicomposting through which the unstable OM is oxidized and stabilized.

La MO es otra variable importante para considerar la estabilidad de un sustrato orgánico y que se pueda usar como enmienda orgánica (Castillo *et al.*, 2000). La MO en el vermicompost disminuyó respecto al contenido de MO del compost (40.5 y 72.2 %, respectivamente) y presentó diferencias entre procesos ($p=0.0001$). Kulcu y Yaldiz (2007) indicaron un comportamiento similar en el compost de estiércol de caprino mezclado con paja (5, 10 y 15 %), con un contenido inicial de MO de 71.87 % y final de 48.04 %. Ulle *et al.* (2004) observaron un comportamiento similar en el compostaje y vermicompostaje de estiércol fresco de bovino con un porcentaje de MO en el compost de 44.15 y en el vermicompost de 31.5. Al respecto, Castillo *et al.* (2000) mencionan que al alimentar a las lombrices, estas aceleran la descomposición de la MO y alteran las propiedades físicas y químicas de los materiales, provocando el vermicompostaje a través del cual la MO inestable es oxidada y estabilizada.

Los valores de CO y de NT en este estudio presentaron diferencias ($p=0.007$ y 0.0001 , respectivamente) entre procesos. El carbono proporciona la energía necesaria para las bacterias, hongos y actinomicetos que actúan en el proceso de vermicompostaje. Khwairakpam y Kalamdhad (2011) encontraron valores de 44.8, 41.1 y 38.4 % (a los 15, 30 y 45 d, respectivamente) en el contenido de C total en una mezcla de residuos vegetales y estiércol bovino vermicomposteados, atribuyéndolo a la disminución de carbono entre los procesos y al aumento en la población de lombrices que lo usan para realizar la oxidación de la MO; el valor de CO (41.1 %) es similar al reportado aquí.

En el vermicompost, los valores bajos en el contenido de carbono se pueden atribuir a que en la respiración microbiana se forma CO_2 , así como a la mineralización del carbono y a la actividad propia de las lombrices para estabilizar los residuos orgánicos (Nahrul *et al.*, 2010). Rotondo *et al.* (2009) indicaron valores similares de NT (1.5 %) en heces vermicomposteadas con lombriz *E. fetida* y mencionan que el N está en forma mineral y orgánica y su contenido en el proceso de vermicompostaje tiende a disminuir por la transformación del N de su forma orgánica a la inorgánica por la acción de la lombriz. Otra variable relacionada con la estabilización biológica de los residuos orgánicos es la relación C:N que expresa las unidades de carbono por unidades de nitrógeno; si

The values of OC and TN in this study showed differences ($p=0.007$ and 0.0001 , respectively) between processes. Carbon provides the energy needed by bacteria, fungi and actinomycetes that act in the vermicomposting process. Khwairakpam and Kalamdhad (2011) reported values of 44.8, 41.1 and 38.4 % (at 15, 30 and 45 d, respectively) in the content of total C in a mixture of plant residues and vermicomposted cattle manure, attributing it to the carbon reduction between the processes and the increase in the earthworms population that use it to carry out the OM oxidation; the OC value (41.1 %) is similar to that reported here.

In the vermicompost, low values in the carbon content can be attributed to the fact that in the microbial respiration CO_2 is formed, as well as to the carbon mineralization and to the own earthworms activity to stabilize organic residues (Nahrul *et al.*, 2010). Rotondo *et al.* (2009) indicated similar TN values (1.5 %) in vermicomposted feces from *E. fetida* earthworm, and mentioned that N is in mineral and organic form and that its content in the vermicomposting process tends to decrease due to the transformation of the N of its organic form to inorganic by the worms action. Another variable related to the biological stabilization of organic waste is the C:N ratio that expresses the units of carbon per units of nitrogen. If the relationship is broad, microorganisms take time to degrade the waste, but if it is low, there is a N mineralization and it can be lost in an ammoniacal form (Garg *et al.*, 2005).

In our study, the C:N relation showed difference ($p=0.031$) between compost and vermicompost. Costa *et al.* (2014) indicated a higher content in the C:N ratio (34 and 28) in sheep manure compost with straw and bovine manure. Yadav *et al.* (2013) found values lower than those reported in this study (9.58 and 13.7) in bovine vermicompost. These is attributed to a stabilization of the wastes when the C lowers and the N increases during the vermicomposting process. Lazcano *et al.* (2008) pointed out that the C:N ratio explains the degree of decomposition of an organic waste, where the C is lost in the form of CO_2 during biooxidation, while the N is slowly lost when transforming the organic fraction to the inorganic one; both related elements help to stabilize waste quickly.

In our study the Ca, Mg, P and Na content decreased in the vermicompost. According to Domínguez and Pérez (2011), in vermicomposting, a

la relación es amplia los microorganismos tardan en degradar los residuos, pero si es baja hay una mineralización del N y se puede perder en forma amoniacal (Garg *et al.*, 2005).

En el nuestro estudio la relación C:N tuvo diferencia ($p=0.031$) entre el compost y el vermicompost. Costa *et al.* (2014) indicaron un contenido mayor en la relación C:N (34 y 28) en compost de estiércol de ovino con paja y estiércol de bovino. Yadav *et al.* (2013) encontraron valores menores a los de nuestro estudio (9.58 y 13.7) en vermicompost de bovino, atribuyéndolo a una estabilización de los desechos cuando el C baja y el N aumenta durante el proceso del vermicompostaje. Lazcano *et al.* (2008) indicaron que la relación C:N explica el grado de descomposición de un desecho orgánico, en donde el C se pierde en forma de CO_2 durante la bioxidación, mientras que el N se pierde más lento al transformar la fracción orgánica a la inorgánica; ambos elementos relacionados ayudan a estabilizar más rápido los residuos.

En nuestro estudio el contenido de Ca, Mg, P y Na disminuyó en el vermicompost. Según Domínguez y Pérez (2011), en el vermicompostaje una parte de los nutrientes (Ca, Mg, Na) tiende a mineralizarse, lo cual explica la notable disminución (10 a 55 %) al pasar del sustrato composteado a vermicompost. La otra parte se humifica, polimeriza y policondensa, en especial en la última fase del proceso; por ello hay un aumento (20 a 60 %) del producto final en los ácidos húmicos y fúlvicos.

Los principales microorganismos identificados en el compost y el vermicompost fueron bacterias (Unidades Formadoras de Colonias: UFC g^{-1}), hongos y actinomicetes (propágulos g^{-1}) (Cuadro 3). El vermicompost tuvo mayor contenido de bacterias nitrificantes, *Pseudomonas fluorescences*, hongo (*Aspergillus* spp.) y actinomicetes. Nuestros resultados coinciden con lo reportado por Quintero (2014) de una disminución de las poblaciones de bacterias entre el compostaje y el vermicompostaje de paja de avena molida (70.4 y 19.6 UFC g^{-1} , respectivamente) y lo atribuye a las sustancias microbicidas en el tracto de la lombriz, pero reporta un aumento significativo entre el número de hongos y actinomicetes en el vermicompost (42.8 y 148.3, 1.4 UFC g^{-1} , respectivamente) porque estos microorganismos pueden sobrevivir al proceso digestivo enzimático de la lombriz, se reproducen con rapidez y aumentan su

part of the nutrients (Ca, Mg, Na) tends to mineralize, which explains the remarkable decrease (between 10 and 55 %) when going from the composted substrate to vermicompost. The other part is humified, polymerized and polycondensed, especially in the last phase of the process; therefore, there is an increase (20 to 60 %) of the final product in humic and fulvic acids.

The main microorganisms identified in compost and vermicompost were bacteria (Colony Forming Units: CFU g^{-1}), fungi and actinomyces (propagules g^{-1}) (Table 3). The vermicompost had higher nitrifying bacteria content, *Pseudomonas fluorescent*, fungus (*Aspergillus* spp.) and actinomyces. Our results coincide with those reported by Quintero (2014), who observed a decrease in bacterial populations between composting and vermicomposting of ground oat straw (70.4 and 19.6 CFU g^{-1} , respectively) and attributed it to the microbicidal substances in the tract of the worm, but he reports a significant increase between the number of fungi and actinomyces in the vermicompost (42.8 and 148.3, 1.4 CFU g^{-1} , respectively). This because these microorganisms can survive the enzymatic digestive process of the worms, rapidly reproduce and increase their number due to water addition, mucus and CaCO_3 . Likewise, actinomyces contribute to the humification process, accompanied by dark substances formation, decomposition of humic compounds and synthesis of cellular material that promotes or contributes to the OM formation.

In vermicomposting earthworms are an efficient transport mechanism for mycorrhizal fungi, actinomyces and free-living bacteria that disperse microorganisms (Ferrera and Alarcón, 2014). The great microbial abundance in the vermicompost occurs mainly during the elaboration process, in which the substrates pass through the digestive tract of the worm, which has a microbial flora of about 500×10^9 microorganisms. In addition, the vermicomposting process, unlike composting, does not reach a thermophilic stage, in which a large population of microorganisms die and a selection occurs (Bollo, 2001). The NMX-FF-109-SCFI-2008 norm specifies that the final vermicompost product must be bacteria (*Escherichia coli* and *Salmonella* spp.) and phytopathogenic fungi free. In our study no presence of these microorganisms was observed. Durán and Henríquez (2006) documented the

Cuadro 3. Contenido microbiológico en el compost y vermicompost elaborado con estiércol de caprino.**Table 3. Microbiological content in the compost and vermicompost from goat manure.**

Microorganismo	Compost	Vermicompost
	Bacterias (UFC g ⁻¹ de muestra)	
Aerobias	69 600 000	20 133 333
Anaerobias	3 100 000	2 766 667
Nitrificantes	1 000 000	1 950 000
<i>Pseudomonas fluorescences</i>	0	166 667
	Hongos (propágulos g ⁻¹)	
<i>Aspergillus sp.</i>	333	1333
	Actinomicetos (propágulos g ⁻¹)	
<i>Actinomicetes</i>	566 667	4 000 000

UFC: Unidades Formadoras de Colonias. ❖ CFU: Colony Forming Units.

número debido a la adición de agua, moco y CaCO₃. Además, los actinomicetos contribuyen en el proceso de humificación, acompañados por la formación de sustancias oscuras, descomposición de compuestos húmicos y síntesis de material celular que promueve o contribuye a la formación de MO.

En el vermicompostaje las lombrices son un eficiente mecanismo de transporte de hongos micorrizicos, actinomicetes y bacterias fijadoras de vida libre y dispersión de microorganismos (Ferrera y Alarcón, 2014). La gran abundancia microbiana del vermicompost ocurre principalmente por el proceso de elaboración, en el cual los sustratos pasan a través del tracto digestivo de la lombriz, que posee una flora microbiana de unos 500 × 10⁹ de microorganismos. Además, el proceso de vermicompostaje, a diferencia del compostaje, no alcanza la etapa termófila, en la que hay muerte de una gran población de microorganismos y ocurre una selección de los mismos (Bollo, 2001). La NMX-FF-109-SCFI-2008 especifica que el producto final de la lombricomposta debe estar libre de bacterias (*Escherichia coli* y *Salmonella* spp.) y hongos fitopatógenos, y en nuestro estudio no se observó presencia de estos microorganismos. Durán y Henríquez (2006) documentaron la riqueza microbiana del vermicompost sobre otros sustratos respecto a su actividad supresora de enfermedades en el suelo, y sus ventajas están relacionadas con una mayor población de microorganismos benéficos; estos autores indican contenidos de bacterias, hongos y actinomicetos de 18 000 000; 51 000 y 2 200 000 (UFC g⁻¹), respectivamente, en estiércol de bovino,

microbial richness of vermicompost on other substrates respect to its suppressive activity of diseases in the soil, and its advantages related to a greater population of beneficial microorganisms; these authors report bacteria, fungi and actinomycetes contents of 18 000 000; 51 000 and 2 200 000 (CFU g⁻¹), respectively, in cattle manure. These results are lower than those obtained at the vermicompost in our study. Pérez *et al.* (2008) found superior fungi and yeasts populations (19 952.2 CFU g⁻¹), actinomycetes (1000 CFU g⁻¹) and bacteria (5 011 872 CFU g⁻¹), in the vermicompost respect to goat and sheep manure compost, associated with low temperatures in the vermireactors when covered on the surface, the size of the substrate particle and the content of sugars excreted by the worm, which favors microbial population increase.

During the vermicomposting process changes occur in the microbiological composition of the substrate due to the worm activity, the load of microorganisms contributed by the biological biota inside the earthworm increases, as well as by the microorganisms present in the substrate during the biodegradation. Therefore, during the process pathogenic microorganisms disappear due to the presence of other antagonists (Mirabelli, 2008).

CONCLUSIONS

Composting and vermicomposting treatments showed important differences in their efficiency regard the biological stabilization of manure. There

y estos resultados son menores a los obtenidos en el vermicompost en nuestro estudio. Pérez *et al.* (2008) encontraron poblaciones superiores de hongos y levaduras ($19\,952.2\text{ UFC g}^{-1}$), *actinomycetes* (1000 UFC g^{-1}) y bacterias ($5\,011\,872\text{ UFC g}^{-1}$), en el vermicompost respecto al compost del estiércol de cabras y ovinos, asociado a las temperaturas bajas en los vermireactores al ser cubiertos en la superficie, al tamaño de la partícula del sustrato y al contenido de azúcares que excreta la lombriz, lo cual favorece el incremento de la población microbiana.

Durante el vermicompostaje se producen cambios en la composición microbiológica del sustrato debido a la actividad de las lombrices, se incrementa la carga de microorganismos aportados por la biota biológica del interior de la lombriz, así como por los microorganismos presentes en el sustrato durante la biodegradación. Por ello durante el proceso desaparecen microorganismos patógenos, debido a la adición de otros antagonistas (Mirabelli, 2008).

CONCLUSIONES

Los tratamientos de compostaje y vermicompostaje mostraron diferencias importantes en la eficiencia en términos de la estabilización biológica del estiércol. Hubo claras diferencias en la composición microbiana y, en consecuencia, en el metabolismo degradante del compost y el vermicompost. Además, las lombrices de tierra lograron modificar la actividad degradante del estiércol en un grado mucho mayor que en el compostaje, por lo cual disminuye su grado de contaminación a la atmósfera y se convierte en un sustrato más adecuado para fines agronómicos.

LITERATURA CITADA

- Aira, M., and J. Domínguez. 2009. Microbial and nutrient stabilization of two animal manures after the transit through the gut of the earthworm *Eisenia fetida* (Savigny, 1826). *J. Hazard Mater.* 161: 1234-1238.
- Benito, M., A. Masaguer, A. Moliner, N. Arrigo, and R. Palma. 2003. Chemical and microbiological parameters for the characterization of the stability and maturity of pruning waste compost. *Biol. Fertil. Soil.* 37: 184-189.
- Bollo, E. 2001. *Lombricultura: Una Alternativa de Reciclaje*. Quito. Soboc Grafic. 149 p.
- Cáceres, R., X. Flotats, and O. Marfá. 2006. Changes in the chemical and physicochemical properties of the solid fraction of cattle slurry during composting using different aeration strategies. *Was. Man.* 26: 1081-1091.
- Carbajal, M. J., y B. A. Mera. 2010. Fertilización biológica: Técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. *Prod. Limpia.* 5: 76-96.
- Castillo, A. E., S. H. Quarín, y M. C. Iglesias. 2000. Caracterización química y física de compost de lombrices elaboradas a partir de residuos orgánicos puros y combinados. *Agri. Tec. (Chile).* 60: 74-79.
- Costa, M. S. S. M., T. Cestonaro, L. A. M. Costa, M. A. T. Rozatti, L. J. Carneiro, D. C. Pereira, and H. E. F. Lorin. 2014. Improving the nutrient content of sheep bedding compost by adding cattle manure. *J. Clean. Prod.* XXX: 1-6.
- Deka, H., S. Deka, C. Baruah, J. Das, S. Hoque, H. Sarma, and N. S. Sarma. 2011. Vermicomposting potentiality of *Perionyx excavatus* for recycling of waste biomass of Java citronella - an aromatic oil yielding plant. *Bioresour Technol.* 102: 11212-11217.
- Domínguez, J., C. A. Edwards, and S. Subler. 1997. A comparison of composting and vermicomposting. *Bioc.* 4: 57-59.
- Domínguez, J., y D. Pérez-D. 2011. Gestión de residuos orgánicos de uso agrícola. Desarrollo y nuevas perspectivas del vermicompostaje. Servicio de Publicación e Intercambio Científico. Univ. Sant. de Com., Esp.
- Durán, L., y C. Henríquez. 2006. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agro. Cost.* 31: 41-5.
- Ferrera, C. R., y A. Alarcón. 2014. *Microbiología Agrícola: Hongos, Bacterias, Micro y Macro Fauna, Control Biológico y Planta-Microorganismo*. México: Trillas. 568 p.
- Galindo, P. F., H. M. Fortis, R. P. Preciado, V. R. Trejo, C. M. A. Segura, y V. J. A. Orozco. 2014. Caracterización físico-química de sustratos orgánicos para producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema protegido. *Rev. Mex. Cien. Agric.*: 1219-1232.
- Garg, V. K., S. Chand, A. Chillar, and A. Yadav. 2005. Growth and reproduction of *Eisenia foetida* in various animal wastes during vermicomposting. *App. Ecol. Envir. Res.* 3: 51-59.
- Guo, R., G. Li, T. Jiang, F. Schuchardt, T. Chen, Y. Zhao, and Y. Shen. 2012. Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresour Technol.* 112: 171-178.
- INEGI, 2009. *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos San Simón de Guerrero, México*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Prontuario. México D.F. 9 pp.

—End of the English version—



- Khwairakpam, M., and A. S. Kalamdhad. 2011. Vermicomposting of vegetable wastes amended with cattle manure. *Res. J. Chem. Sci.* 1(8): 49-56.
- Knopp, Z. V., N. G. Figueiredo, L. D. Lopes, e G. Shiedeck. 2015. Crescimento e reprodução de imnhocas em misturas de resíduos orgánicos e efeitos nas propriedades químicas e microbiológicas do húmus. *Inter.* 40: 57-62.
- Kulcu, R., and O. Yaldiz. 2004. Composting of goat manure and wheat straw using pine cones as a bulking agent. *Bioresour Technol.* 98: 2700-2704.
- Lazcano, C., B. M. Gómez, and J. Domínguez. 2008. Comparison of effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemo.* 72: 1013-1019.
- Luo, W. H., J. Yuan, Y. M. Luo, G. X. Li, L. D. Nghiem, and W. E. Price. 2014. Effects of mixing and covering with mature compost on gaseous emissions during composting. *Chemos.* 117: 14-19.
- Mirabelli, E. 2008. El Compostaje Proyectoado a la Lombricultura. Edit. Hemisferio Sur. 324 p.
- Nieto, G. A., A. B. Murillo, G. P. Luna, D. E. Troyo, H. J. L. García, G. M. Aguilar, P. R. J. Holguin, y M. J. Larrinaga. 2013. La Composta: Importancia, Elaboración y Uso Agrícola. C.Inves. Biol. del Noroeste, México. Trillas. 72 p.
- Moreno, R. A., G. L. García, R. P. Cano, C. V. Martínez, H. C. Márquez, y D. N. Rodríguez. 2014. Desarrollo del cultivo de melón (*Cucumis melo*) con vermicompost bajo condiciones de invernadero. *Ecosist. Rec. Agrop.* 1: 163-173.
- Nahrul, H. Z., K. H. P. S. Abdul, M. Jawaid, I. M. Hakimi, and A. A. Astimar. 2010. Exploring chemical analysis of vermicompost of various oil palm fibre wastes. *Envir.* 30: 273-278.
- Ndegwa, P. M., S. A. Thompson, and K. C. Das. 2000. Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. *Bioresour Technol.* 71: 5-12.
- Ndegwa, P. M., and S. A. Thompson. 2001. Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Bioresour Technol.* 76: 107-112.
- NMX-FF-109-SCFI-2008: Humus de lombriz (lombricomposta) - Especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Economía. Dirección General de Normas.
- Olivares, C. M., R. A. Hernández, C. C. Vences, B. J. Jaquézand, and B. D. Ojeda. 2012. Worm compost and dairy cattle manure compost as fertilizer and soil improvement. *Univ. Cien. Trópico H.* 28: 27-37.
- Pérez, A., C. Céspedes, y P. Núñez. 2008. Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en la República Dominicana. *J. Soil Sc. Plant. Nutr.* 8:10-29.
- Quintero, L. R. 2014. Poblaciones microbianas, actividades enzimáticas y sustancias húmicas en la biotransformación de residuos. *Terra Latin.* 32: 161-172.
- Rotondo, R., I. T. Firpo, L. Ferreras, S. Toresani, S. Fernández, y E. Gómez. 2009. Efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas y fertilizante nitrogenado sobre propiedades edáficas y productividad en cultivos hortícolas. *Hortic. Argentina* 28: 18-25.
- Ruiz, F. J. F. 2012. Ingeniería del Compostaje. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 237 pp.
- Salinas, V. F., M. L. Sepulveda, and Ch. G. Sepulveda. 2014. Chemical characterization of humus produced by Californian Red Worm (*Eisenia foetida*) from four organic substrates in Arica. *IDESIA* 32: 95-99.
- Senthil, D. K., K. P. Satheesh, K. V. Uthaya, and G. Anbuganapathi. 2013. Impact of Bbiofertilizers on growth and reproductive performance of *Eisenia fetida* (Savigny 1926) during flower waste vermicomposting process. *Annual Rev. Res. Biol.* 3: 574-583.
- Ullah, S. R., M. Abid, Q. M. Farooq, and R. Ullah. 2015. Dynamics of chemical changes through production of various compost/vermicompost such as farm manure and sugar industry wastes. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agricult.* 4: 39-51.
- Ulle, J., F. Fernández, y A. Rendina. 2004. Evaluación analítica del vermicompost de estiércoles y residuos de cereales y su efecto como fertilizante orgánico en el cultivo de lechugas mantecosas. *Hortic. Bras.* 22: 434.
- Yadav, A., R. Gupta, and V. Garg. 2013. Organic manure production from cow dung and biogas plant slurry by vermicomposting under field conditions. *Int. J. Rec. Org. Waste Agric.* 2: 1-7.
- Zambrano, A., C. Rivero, J. Paolini, y F. Contreras. 2013. Evaluación de la estabilidad química de enmiendas orgánicas a través de la mineralización de carbono. *Rev. Fac. Agron. (LUZ).* 30: 242-265.

