

PRODUCCIÓN DE COMPOSTA Y VERICOMPOSTA A PARTIR DE LOS LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UN RASTRO

Ma. Guadalupe VICENCIO-DE LA ROSA¹, Ma. Elena PÉREZ-LÓPEZ¹,
Elizabeth MEDINA-HERRERA¹ y Ma. Adriana MARTÍNEZ-PRADO²

¹ Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Instituto Politécnico Nacional, Unidad Durango, CIIDIR-IPN Durango. Sigma 119, Frac. 20 de Noviembre II, Durango, Dgo., México. Correo electrónico: mvicencio@ipn.mx

² Instituto Tecnológico de Durango. Blvd. Felipe Pescador 1830 Ote., Colonia Nueva Vizcaya, Durango, Dgo., México

(Recibido junio 2010, aceptado junio 2011)

Palabras clave: biosólido, composteo y vermicomposteo

RESUMEN

Se realizó un estudio orientado a la producción de composta y vermicomposta a partir de lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales del rastro municipal de la ciudad de Durango. Partiendo de 75 m³ de lodo residual se produjeron 10.9 toneladas de composta en 150 días, con 2.06 % de N_{TK}, 0.16 % de P_d y 0.13 % de K_d, a un costo de producción de 0.51 pesos mexicanos/kg, dicho costo permite competir con el precio de 2.3 pesos mexicanos/kg de tierra para maceta que se venden en los viveros de la localidad. En cuanto a la vermicomposta, se produjeron 12.5 ton en 210 días con una calidad nutricional menor a la de la composta, 1.4 % de N_{TK}, 0.12 % de P_d y 0.15% de K_d, con un costo de producción de 1.2 pesos mexicanos/kg, donde la ganancia por la venta del producto sería menor. No obstante, si se considera la venta de la lombriz, el vermicomposteo resultaría ser el mejor sistema productivo.

Key words: biosolids, composting, vermicomposting

ABSTRACT

An investigation oriented to compost and vermicompost production was conducted using sewage sludge from a municipal wastewater treatment plant of a slaughterhouse at Durango city. From 75 m³ of sludge a production of 10.9 tons of compost were obtained in 150 days with 2.06 % of TKN, 0.16 % P_d and 0.13% K_d, and at a production cost of 0.51 Mexican pesos/kg competing with the 2.3 Mexican pesos /kg of the potting soil for gardening sold at the locality. As for the vermicompost, 12.5 tons were obtained in 210 days with a lower nutritional quality, 1.4 % of TKN, 0.12 % P_d and 0.15% K_d, with a production cost of 1.2 Mexican pesos/kg; resulting in a lower profit. However, vermicomposting was the best system of production if considering the sale of the earthworm.

INTRODUCCIÓN

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del rastro municipal de la ciudad de Durango produce 15 m³ de lodos primarios por semana y es dispuesto sin tratamiento alguno en terrenos contiguos al lugar. El lodo es fácilmente putrescible y el mal olor atrae vectores creando un problema de sanidad. La NOM-052-SEMARNAT-2005 lo considera como residuo peligroso, por la gran cantidad de patógenos que contiene, 2.6 x 10⁶ número más probable (NMP) de coliformes fecales (CF)/g y 1367 huevos de helminto (HH)/g de lodo seco (SEMARNAT 2005).

Con el fin de hacer posible el aprovechamiento o disposición final de los lodos y biosólidos provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, proteger al ambiente y a la salud humana, la NOM-004-SEMARNAT-2002 establece las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes en ellos, < de 1000 NMP de CF/g, < de 3 *Salmonella* spp/g y < de 1 HH/g de lodo seco (SEMARNAT 2002).

Una forma de disponer adecuadamente el lodo y darle un valor agregado es mediante su estabilización por composteo o vermicomposteo. El composteo es un proceso biológico aerobio de oxidación de materia orgánica, realizada por una sucesión dinámica de microorganismos de cuya actividad se genera calor que hace que la temperatura ascienda por arriba de los 50 °C durante varios días consecutivos. Esto destruye a los patógenos y da origen a un producto estable e inocuo, de color marrón oscuro, inodoro o con olor a humus, llamado composta (Iglesias y Pérez 1989, Ramírez y Cardoso 2001), usada para mejorar la calidad del suelo agrícola.

Los métodos más utilizados para el compostaje de la fracción orgánica de los residuos son: hileras o pilas con volteo periódico, pilas estáticas aireadas y reactores cerrados, los cuales difieren principalmente en el método utilizado para airear el sistema y cuando se diseñan y operan correctamente producen una composta de calidad similar (Tchobanoglous *et al.* 1993, Kiely 1999).

El compostaje en pila o hilera es un método antiguo, simple y económico, el tamaño se adecua a la cantidad de residuos y la aireación se aplica por volteo de la pila con un trascabo o pala frontal (Tchobanoglous *et al.* 1993, Kiely 1999, Ramírez y Cardoso 2001). En éste método el tiempo de producción de la composta depende del tipo de residuo,

tamaño de pila y frecuencia de volteo; por ejemplo en el composteo de residuos de jardín en pilas de 1.5 a 2.5 m de altura con 4 a 5.5 m de ancho, humedad entre el 50 y 60 %, y volteo una vez por semana, tarda de 4 a 6 meses, incluyendo el mes de maduración (Tchobanoglous *et al.* 1993).

El compostaje en pila estática aireada consiste en una red de tuberías de escape o aireación sobre la cual se coloca la fracción orgánica a procesar, la altura de las pilas es aproximadamente de 2 a 2.5 m y a menudo se coloca encima de la pila recién formada una capa de compost para el control de olores; cada pila tiene un inyector de aire, controlado por una computadora. El oxígeno proporcionado en el aire fermenta los residuos por un período de tres a cuatro semanas y posteriormente el material se deja madurar por cuatro semanas más (Tchobanoglous *et al.* 1993, Kiely 1999).

El compostaje en reactor se lleva a cabo dentro de un contenedor o recipiente cerrado, los más usados son los de flujo pistón y los de lecho agitado o dinámico. En sistemas flujo pistón, la relación entre las partículas de la masa fermentándose permanece igual durante todo el proceso y el sistema funciona bajo el principio “salida según la entrada”. En el sistema dinámico el material en fermentación se mezcla mecánicamente durante el procesamiento. En ambos sistemas se minimizan los olores y el tiempo de elaboración se reduce al controlar el flujo del aire, la temperatura y la concentración de oxígeno; el tiempo de reacción varía de 1 a 2 semanas (Haug 1993, Tchobanoglous *et al.* 1993) y al producto se le da un periodo de maduración de 4 a 12 semanas.

En la estabilización de lodos de PTAR domésticas generalmente se utilizan los métodos de composteo por pilas con volteo periódico y el de pila estática (Haug 1993, Tchobanoglous *et al.* 1993, Kiely 1999). En México los procesos más comunes para tratar los lodos son la digestión aerobia y el acondicionamiento con cal o estabilización alcalina, por su facilidad de operación, y en menor proporción es usado el composteo y rara vez la digestión anaerobia (Moeller 2000). Generalmente los lodos son dispuestos en rellenos sanitarios, en terrenos aledaños a la PTAR, en tiraderos a cielo abierto o son incinerados (Rendón 2003) ocasionando problemas de contaminación en el suelo donde se depositan y de salud por la exposición de los microorganismos patógenos al ambiente. La cantidad y tipo de microorganismos en los lodos depende de su procedencia (Haug 1993), por lo que en las PTAR de rastros, estos tienden a ser más peligrosos si entre los animales sacrificados hay alguno enfermo por patógenos.

En el composteo la destrucción de microorganismos patógenos se evalúa a través de la cuenta viable de CF, microorganismos indicadores de bacterias patógenas como la *Salmonella* (Haug 1993, Atlas y Bartha 2006). Farrell citado por Haug (1993) al analizar un gran número de muestras de compostas, encontró que la *Salmonella* estaba ausente, cuando éstas tenían menos de 1000 NMP de CF/g de sólido. En el caso de parásitos, los microorganismos indicadores son los HH, menos de un huevo viable/g de sólido (Haug 1993, SEMARNAT 2002). El uso de indicadores fecales como medida de reducción de patógenos, sólo aplica en casos donde el calor de inactivación es el principal mecanismo de destrucción del patógeno (Haug 1993).

En el composteo, la temperatura mínima requerida para destruir microorganismos patógenos es de 50 °C (Haug 1993), la *Salmonella typhi*, *Salmonella* spp y *Escherichia coli* son destruidos a 55 °C en una hora y los huevos de *Ascaris lumbricoides* a 50 °C también en una hora (Haug 1993, Tchobanoglous *et al.* 1993), éstos últimos considerados como uno de los parásitos más resistentes al calor (Haug 1993).

La otra opción prometedora para la estabilización de lodos es el vermicomposteo, donde las lombrices degradan por ingestión la materia orgánica y con su movilización desplazan las partículas a lo largo del sustrato, formando micro túneles que permiten la penetración de agua y aire, que favorecen el desarrollo y crecimiento de microorganismos aerobios, que conjuntamente con las lombrices degradan la materia orgánica de los desechos hasta obtener la composta (Cardoso 2000).

Las lombrices son muy susceptibles al pH alcalino y a altas temperaturas, por lo que se recomienda para su alimentación utilizar lodos previamente estabilizados, ya sea en forma anaerobia o aerobia por composteo (Rendón 2003). En un trabajo previo de composteo de los lodos primarios de la PTAR del rastro se observó que en los primeros 40 días del proceso hubo un incremento del pH hasta 9 y de la temperatura a 55 °C (Vicencio *et al.* 2006), por lo que es conveniente compostarlos al menos 60 días para ser usados como alimento de las lombrices.

El vermicomposteo ha sido implementado con éxito a nivel piloto con lodos y lirio acuático (Cardoso 2000) y con residuos sólidos de efluentes de mataderos (Rivera *et al.* 1998).

De acuerdo a lo antes mencionado el objetivo de este trabajo fue estabilizar los lodos residuales de la PTAR de un rastro a través de los procesos de composteo y vermicomposteo y estimar su costo de producción.

MATERIAL Y MÉTODOS

Ubicación de la empresa

El rastro municipal se encuentra ubicado en las coordenadas 24°1'22.7" latitud norte y 104°34'25.6" longitud oeste, a 5.3 km de la ciudad de Durango por la carretera a la ciudad de México y las instalaciones están a 455 m de la carretera. Los lodos (sólidos primarios) a estabilizar son removidos del sistema de cribado de la planta de tratamiento de aguas residuales y trasladados al área de composteo (5000 m²), situada a 200 m de las cribas.

Métodos de composteo

Para la estabilización de los lodos se utilizaron y compararon entre sí dos métodos de composteo: pilas con volteo periódico y vermicomposteo.

Pilas con volteo periódico

Con el lodo se construyeron pilas de 2 m de ancho, 1 de alto y 3.5 m de largo, 2 pilas por semana durante 5 semanas consecutivas. La humedad del lodo no fue corregida porque contenía un 53.7 % de fibra, lo que le confería un 45.3 % de carbón, y el agua excedente escurrió de manera natural.

De las pilas recién construidas se tomó una muestra compuesta de lodo para su caracterización física, química y microbiológica de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002 (SEMARNAT 2002). La digestión de los metales se hizo por vía húmeda y la detección por absorción atómica de flama y horno de grafito (USEPA 1996). En el **cuadro I** se muestran los valores promedio en base seca de los parámetros medidos.

CUADRO I. VALORES PROMEDIO ± DESVIACIÓN ESTÁNDAR EN LA CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y BIOLÓGICA DEL LODO CRUDO

Parámetros		Metales (mg/kg)	
Humedad (%)	80.5 ± 0.7	As _T	0.49 ± 0.04
Carbón (%)	45.3 ± 0.03	Cd _T	0.38 ± 0.4
N _{TK} (%)	1.79 ± 0.13	Cr _T	7.72 ± 0.8
N-NO ₃ ⁻ (mg/kg)	4 ± 0.9	Pb _T	21.91 ± 1.1
C/N	25.3	Hg _T	ND
pH	5.6 ± 0.1	Ni _T	7.3 ± 1.1
CE (mS/cm)	0.72 ± 0.08	Zn _T	24.1 ± 1.3
CF (NMP/g)	25 x 10 ⁵ ± 2 700	Cu _T	90.2 ± 5.6
HH/g	1 367 ± 672		
P _d (mg/kg)	604 ± 20	P _T	1 752 ± 141
K _d (mg/kg)	1 366 ± 184	K _T	1 381 ± 265
Ca _d (mg/kg)	4 866 ± 499	Ca _T	8 716 ± 470
Mg _d (mg/kg)	316 ± 27	Mg _T	849 ± 25

ND = no determinado, d = disponible, T = total, Metales (n = 5) y Parámetros (n = 6).

La humedad del lodo en las pilas durante el composteo se mantuvo entre 55 y 60 %, la cual fue valorada con la prueba del puño, que consistió en tomar una muestra de residuos con un guante, cerrar la mano, apretar y abrir; si en la superficie de la mano queda una película de agua y los residuos se mantienen unidos, hay suficiente agua y si no, hay que adicionarla (Ravera y De Sanso 2003). Una vez por semana las pilas fueron aireadas con un trascabo, cada 2 días se midió temperatura y se cuantificaron CF, y los HH cada 8 días.

El proceso de composteo se dio por terminado cuando la temperatura en las pilas declinó y se igualó a la temperatura ambiente, y el cambio en el contenido de la materia orgánica (MO) fue insignificante, posteriormente la composta se dejó madurar por 10 semanas. El proceso fue evaluado con la disminución de MO, el incremento de la mineralización del nitrógeno (como nitrato, NO_3^-) y el comportamiento del pH, para lo cual se tomaron muestras cada 20 días. La composta se consideró madura cuando la cantidad de MO y de NO_3^- tendieron a estabilizarse.

Vermicomposteo con *Eisenia foetida*

El proceso se llevó en dos etapas; en la primera se preparó el alimento para las lombrices, lodo compostado por 60 días, mezclado una vez por semana y humedad entre 55 y 60 %, proceso realizado al menos 8 veces para obtener el alimento suficiente para las lombrices.

En la segunda etapa se prepararon 6 camas de 2 m², con una capa de 10 cm de lodo compostado y un inóculo de 0.5 kg de lombrices/cama. Las lombrices fueron alimentadas cada 21 días, con lodos pre digeridos de la primera etapa durante 150 días. Para mantener la humedad del lodo y evitar que los pájaros se comieran las lombrices, la superficie de cada cama fue cubierta con una capa de paja de avena humedecida.

La humedad del lodo en las camas de vermicomposteo se checó con la prueba del puño, el escurrimiento de 7 a 8 gotas de agua al cerrar el puño de la mano indicó que había una humedad entre 70 y 80 % (Ravera y De Sanso 2003), la cual se mantuvo adicionando agua manualmente.

Calidad de las compostas

La calidad química de las compostas fue evaluada con la medición del pH, MO, nitrógeno total Kjeldahl (N_{TK}), NO_3^- , fósforo disponible (P_d) y potasio disponible (K_d), donde la MO, NO_3^- y pH permitieron establecer cuando los residuos llegaron al nivel más bajo de su degradación y poder ser usadas en el mejoramiento del suelo sin ningún problema. Los

métodos de evaluación empleados se mencionan en la sección de análisis de muestras.

Muestreo y análisis de muestras

Se tomaron tres muestras por pila, en tres sitios diferentes, a 20 cm de la superficie para formar una muestra compuesta de 1.5 kg aproximadamente, de la cual se tomó una submuestra para medir los parámetros que se hacen de manera inmediata (muestra fresca). El resto de la muestra fue secada al aire y pasada por un tamiz de malla 10, para realizar los análisis que se hacen a partir de muestra seca.

Muestra fresca: CF por el método del número más probable (APHA 1995); HH por el método de Mc Master modificado (Thienpont *et al.* 1979); humedad por secado de la muestra a 105 °C por 24 h, método AS-05 de la NOM-021-SEMARNAT 2000 (SEMARNAT 2000); cenizas a 550 °C por 8 h; y la MO calculada por la diferencia entre cenizas y peso seco (Zhu *et al.* 2004). El contenido de carbón orgánico se estimó de acuerdo a la relación citada por Haug (1993).

Muestra seca: el pH se midió en un extracto acuoso obtenido de la relación peso volumen 1:10 y agitado por 1 h (Sánchez-Monedero *et al.* 2000, Zhu *et al.* 2004); el N_{TK} por el método micro-Kjeldahl; fósforo total (Pt), digestión húmeda y cuantificación por el método de Bray y Kurtz; calcio total (Ca_T), magnesio total (Mg_T) y potasio total (K_T), digestión húmeda y cuantificación por absorción atómica de flama; P_d por el método de Olsen; calcio disponible (Ca_d), magnesio disponible (Mg_d) y K_d , extracción con acetato de amonio y cuantificación por absorción atómica de flama, métodos de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT 2000 (SEMARNAT 2000) y NO_3^- por vía nitración del ácido salicílico (Etchevers 1992).

Costo de producción

En la estimación del costo de producción de la composta y vermicomposta se tomó como base de cálculo 75 m³ de lodo a compostar, los costos del agua, lombriz, renta del camión de volteo, trascabo y mano de obra para la operación de los procesos.

Análisis de resultados

El monitoreo y evaluación del proceso de composteo se llevó en 3 pilas elegidas al azar, donde los parámetros fueron evaluados por duplicado y con los resultados de CF, temperatura, pH, MO, Cenizas y NO_3^- se construyeron las cinéticas correspondientes para determinar el tiempo de composteo (fase activa

de la biodegradación de la materia orgánica) y de maduración de la composta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composteo

Las pilas de lodo durante su composteo desarrollaron una temperatura promedio de 52.5 °C por más de 40 días, en 22 días los CF fueron destruidos (Fig. 1) y a los 8 días ya no había HH, ni larvas. El tiempo en el que mueren los patógenos depende del tipo de microorganismo, su procedencia, temperatura y cantidad de estos. Zhu *et al.* (2004) en el composteo de estiércol de cerdo encontró que los CF murieron en 3 días y los HH en 63 días, la diferencia se debe probablemente a que los lodos del rastro están constituidos por sólidos del lavado del tracto digestivo de cerdos y vacas.

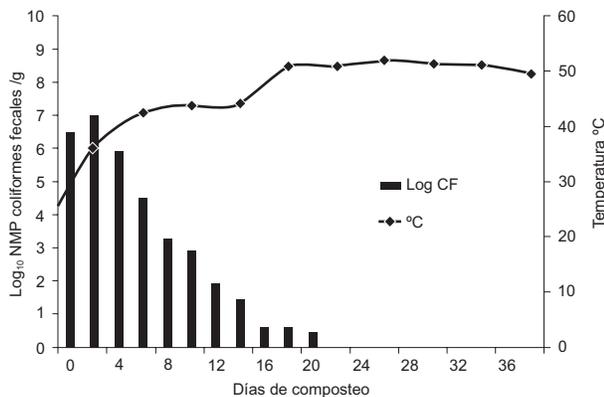


Fig. 1. Comportamiento de la temperatura durante el composteo del lodo y destrucción de microorganismos coliformes fecales (CF)

La temperatura en las pilas de lodo después de los 65 días fue disminuyendo gradualmente hasta igualar la temperatura ambiente a los 80 días. El decaimiento de la temperatura se considera un buen indicador de la fase final de la biooxidación de la MO y se da por terminada cuando la temperatura se mantiene constante y no varía con el mezclado (Iglesias y Pérez 1989, Haug 1992). En estas condiciones la composta tenía un cierto grado de madurez y terminó de hacerlo en 70 días más.

El tiempo que tarda en compostarse un residuo depende de la complejidad de su MO. Residuos municipales y paja con estiércol compostados en pilas volteadas, tardaron 90 y 100 días respectivamente (Kiely 1999, Velasco-Velasco *et al.* 2004) y el lodo del rastro sólo 80 días, probablemente porque está

predigerido, ya que proviene del tracto digestivo de vacas y cerdos.

La estabilidad de la MO en el proceso de composteo es otra forma de reconocer cuando el proceso ha llegado a su fin, aun cuando es una prueba inexacta es de gran utilidad. A partir de los 80 días los cambios en la cantidad de MO en la composta del lodo fueron insignificantes (Fig. 2), lo que indicó que el proceso había terminado y la composta empezaba a madurarse. A lo largo del proceso la MO disminuyó un 17.2 % (Fig. 2); en otros lodos residuales reportan un 18 % de reducción (Sánchez-Monedero *et al.* 1998, Ramírez y Cardoso 2001) y en estiércol de novillos un 28 % (Haug 1993), valores que difieren por ser residuos de diferente origen.

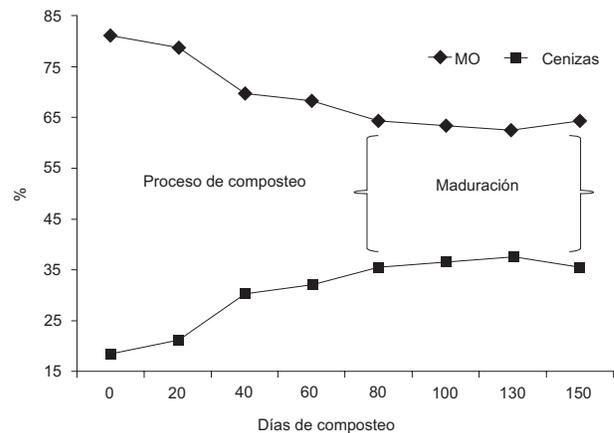


Fig. 2. Mineralización de la materia orgánica (MO) durante el composteo del lodo

El pH es otro factor importante durante el composteo, Bertoldi *et al.* (1983) sugirieron que el pH óptimo es de 5.5 a 8 y Rubio (1985) de 6.5 a 9; en el caso de la composta del lodo, el pH se estabilizó en 5, porque el nitrógeno de la MO se siguió oxidando a NO_3^- (Fig. 3). Sánchez-Monedero *et al.* (1998) reportan un comportamiento similar en el composteo de lodo municipal con residuos de algodón y de bagazo de sorgo con corteza de pino.

Vermicomposteo

La producción de vermicomposta se llevó en 210 días, considerando los 60 días de la pre-digestión del lodo y por cada tonelada producida se generaron 12.7 kg de lombriz, equivalentes a 12.7 g de lombriz/kg de vermicomposta, 10 veces menos de lo esperado, ya que teóricamente 1 kg de lombriz se multiplica 10 veces en 3 meses, y cuando le agrada el alimento, 1 kg de lombriz consume 1 kg de alimento y produce 0.6 kg de humus y 0.40 kg de lombriz (Ravera y de Sanzo 2003).

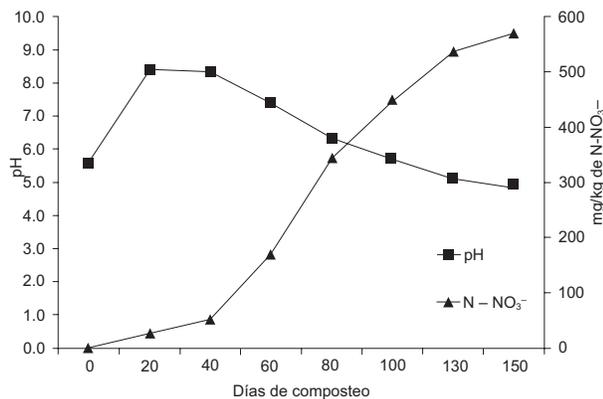


Fig. 3. Evolución del pH y del N-NO₃⁻ durante el composteo del lodo y maduración de la composta

No obstante la producción de lombriz y de humus en el lodo del rastro se puede mejorar si se enriquece el lodo con otro residuo. Como ejemplo está el trabajo de Rivera *et al.* (1998), en el cual desarrollaron un modelo comercial de lombricultivo para el control de residuos de mataderos, donde incluyeron en la mezcla 40 partes de basura de mercado y 60 partes de residuos del matadero, obteniendo 23 g de lombriz/kg de vermicomposta, 1.8 veces más que la obtenida con el lodo del rastro.

Para este sistema en particular, agregar otros residuos incrementaría el costo de producción, tal vez se puedan utilizar residuos cuando sean generados en el mismo rastro.

Calidad de las compostas

La composta y vermicomposta obtenida contenían 2.06 y 1.4 % de nitrógeno (**Cuadro II**) respectivamente, valores que se encuentran dentro del estándar. En la bibliografía se reporta para la composta de paja de cebada un 1.1 %, la de residuos de mercado 1.7 % y la de lodos residuales municipales 1.34 % (Santamaría 2000). En el caso de fósforo y potasio los valores estuvieron por debajo de lo reportado para composta y vermicomposta de lodo residual

municipal, 2.18 y 0.87 %, respectivamente (Ramírez y Cardoso 2000, Cardoso 2000) (**Cuadro II**) lo cual puede deberse a que estos nutrientes hayan quedado disueltos en el agua residual, ya que el lodo proviene de los sólidos del lavado del tracto digestivo de ganado vacuno y porcino.

La composta del lodo del rastro con la calidad que posee, podría ser un excelente mejorador de suelo alcalino, como el que cubre el 35 % del estado de Durango (pH > 8.0), pobre en materia orgánica (1.3 %) y nitrógeno (0.045 %) (Vicencio *et al.* 2003).

Costo de producción (en pesos mexicanos)

Composta

Del composteo de 75 m³ de lodo se produjeron 10.875 ton de composta con un costo de 5587.5 pesos, donde el kg de composta tiene un valor de 0.51 pesos (**Cuadro III**), valor que le permite competir con la tierra para maceta que se vende en los viveros de Durango a 2.3 pesos/kg y con otros productos similares que se venden en las tiendas comerciales con un costo de 10 a 12.5 pesos/kg de producto.

Vermicomposta

A partir de 75 m³ de lodo se produjeron 12.5 ton de vermicomposta y 158.8 kg de lombriz con un costo de producción de 15 006 pesos y un valor por kg de producto de 1.2 pesos (**Cuadro IV**), aun con éste costo se podría competir con las vermicompostas que se venden en las tiendas comerciales a 11.8 pesos/kg.

Composta vs vermicomposta

De acuerdo al tiempo de producción (21 semanas), costo de producción (0.5 pesos/kg) y calidad química (2.06 % N_{TK}, 0.16 % P_d y 0.12 % K_d) el proceso de producción de composta por composteo en pilas aireadas por volteo fue mejor que el de vermicomposteo que tardó 30 semanas, con un costo de 1.2 pesos/kg de vermicomposta y con 1.4 % de N_{TK}, 0.11 % P_d y 0.15 % K_d.

CUADRO II. VALORES PROMEDIO ± DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LOS PARÁMETROS MEDIDOS EN LA CALIDAD QUÍMICA DE LAS COMPOSTAS

Parámetros	Lodo crudo	Composta	Vermicomposta
pH	5.6 ± 0.1	4.9 ± 0.1	5.7 ± 0.02
% MO	81.4 ± 0.8	64.2 ± 0.9	48 ± 0.6
% N _{TK}	1.79 ± 0.13	2.06 ± 0.04	1.4 ± 0.08
% NO ₃	0.0004 ± 0.0001	0.25 ± 0.006	0.33 ± 0.018
% P _d	0.06 ± 0.002	0.16 ± 0.015	0.11 ± 0.0004
% K _d	0.14 ± 0.018	0.125 ± 0.01	0.15 ± 0.002
*ρ (g/cm ³)	0.150 ± 0.005	0.345 ± 0.013	0.433 ± 0.007

ρ = densidad (parámetro físico), lodo (n = 5), composta (n = 6) y vermicomposta (n = 3)

CUADRO III. COSTO DE PRODUCCIÓN DE LA COMPOSTA

Descripción	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Renta de tractor/h	200	4 000
4 h de 3 obreros	68	510
1 h de volteo/semana /15 semanas	8.5	637.5
Riego/semana/h	8.5	340
0.5 m ³ de agua/riego	2.5	100
Costo/10.875 ton	----	5 587.5
Costo de producción/ton	----	513.8
Costo/kg	----	0.51

CUADRO IV. COSTO DE PRODUCCIÓN DE LA VERMICOMPOSTA

Descripción	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Renta de tractor/h	200	800
4 h /3 obreros	34	102
1 h obrero/semana/volteo pilas	8.5	68
4 h/2 obreros/alimentar lombrices	68	272
Alimentación/cama/mes	1 038	5 104
2 h de riego /semana	17	340
1 m ³ de agua por riego	5	100
1 kg de lombriz/cama	200	6 400
Paca de paja/cama	50	800
Una jornada de 8 h	68	1 020
Costo producción/12.5 ton	----	15 006
Costo de producción/ton	----	1 200.45
Costo/kg	----	1.2

Sin embargo, si se considera la cantidad de lombriz producida, 158.8 kg, de su venta como pie de cría a 200 pesos/kg, se obtendrían 31 750 pesos, la cual podría venderse a un precio mayor, por estar libre de residuos de composta, resultando ser económicamente un mejor sistema productivo.

En ambos sistemas de producción no se consideró el costo del terreno y en el vermicomposteo el costo del material de las camas metálicas, debido a que el rastro cuentan con una gran extensión de terreno y las camas se construyeron con material reciclado, por lo que es necesario tomar en cuenta estas omisiones para obtener un valor real de los productos. Aun así, los métodos de producción resultaron redituables.

Ambientalmente, con la estabilización de los lodos de la PTAR del rastro se evita la posibilidad de que el suelo sea contaminado por parásitos como la *Taenia solium*, cuyos hospederos intermedios son las vacas y cerdos, lo que es un riesgo para el hombre si se diseminan en el ambiente, ya que los huevos de este parásito pueden sobrevivir hasta 7 meses en el suelo (USEPA 1982).

CONCLUSIONES

La cantidad de nitrógeno en las compostas producidas está dentro de los valores reportados por otros autores, sin embargo resultaron ser pobres en fósforo y potasio, pero no por ello son de mala calidad. Comparando entre ellas, la composta producida por el método de pilas volteadas fue la de mejor calidad.

La composta y vermicomposta de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT 2002, resultaron ser biosólidos excelentes de clase A, libres de microorganismos patógenos y ricas en nitrógeno, aptas para ser usadas en jardinería sin ninguna objeción.

En cuanto a costos de producción, la composta obtenida por el método de pilas aireadas por volteo fue la más económica, 0.5 pesos/kg, se obtuvo en menos tiempo y la inversión fue menor, no obstante si se considera la venta de lombriz a 200 pesos y se intensifica su producción, el vermicomposteo resultaría ser el mejor sistema productivo.

AGRADECIMIENTOS

A CONACyT (Fondos Mixtos Durango) por el financiamiento del proyecto Clave: Dgo-2003-C02-11759 y a Norma Elisa Cisneros Ríos quién participó en el proyecto como asistente y tesista.

REFERENCIAS

- APHA (1995). *Standard methods for the examination of water and wastewater analysis*. 19^a ed. American Public Health Association. Washington, EUA. 1325 pp.
- Atlas R.M. y Bartha R. (2006). Ecología microbiana y microbiología ambiental. En: *Aspectos ecológicos en el control del biodeterioro y en la gestión de suelos, residuos y agua*. 4^a ed. Pearson Educación, S. A. Madrid España. pp. 459-507.
- Bertoldi M., Vallini G. y Pera A. (1983). The biology of composting. *Waste Manage Res.* 1, 157-176.
- Cardoso V.L. (2000). Vermicomposteo. En: *Curso Teórico-Práctico de Tratamiento de lodos residuales*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Cuernavaca, Morelos México, 29 pp.
- USEPA (1982). EPA-600/1-82-007. Helminths types and levels in wastewater. En: *Health effects of land treatment: Microbiological*. Health Effects Research Laboratory, Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati Ohio, EUA. 58 pp.

- USEPA (1996). Test methods, method 3050B, Acid Digestion of sediments, sludges and soils. <http://www.epa.gov/epa/oswer/hazwaste/test/pdfs/3050b.pdf>. 01/08/2004.
- Etchevers B.J.D. (1992). *Manual de métodos para análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes*. Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillos Estado de México. 130 pp.
- Haug R.T. (1993). *The practical handbook of compost engineering*. Lewis Publishers, EUA. 717 pp.
- Iglesias J.E. and Pérez G.V. (1989). Evaluation of city refuses compost maturity: A review. *Biol. Waste* 27, 115-142.
- Kiely G. (1999). Tratamiento de residuos sólidos. En: *Ingeniería ambiental*. (Ed. A. Garcia). Mc Graw-Hill Interamericana de España, S. A. U. España, 843-931 pp
- Moeller G. (2000). Tratamientos anaerobios de lodo residual. En: *Curso Teórico-Práctico de Tratamiento de lodos residuales*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Cuernavaca Morelos, México. 41 pp.
- SEMARNAT (2000). Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo. Estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*, 31 de diciembre de 2002.
- SEMARNAT (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental, lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. *Diario Oficial de la Federación*, 15 de agosto de 2003.
- SEMARNAT (2005). Norma oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005. Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y listado de los residuos peligrosos. *Diario Oficial de la Federación*, 23 de junio de 2006.
- Ramírez C.E. y Cardoso V.L. (2000). Composteo de lodos. En: *Curso Teórico-Práctico de Tratamiento de lodos residuales*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Cuernavaca Morelos, México. 17 pp.
- Ravera R. y De Sanso A. (2003). Lombricultura. Buenos Aires, Argentina [en línea]. www.agroconnection.com/specialites/5054A00281.htm. 24/06/2004
- Rendón G.M.R. (2003). Calidad nutrimental de compostas elaboradas con lodos residuales. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco Estado de México, 90 pp.
- Rivera B., Trujillo H. y Osorio M. (1998). Desarrollo de un modelo comercial de lombricultivo para el control de efluentes en mataderos locales. Memorias. 3^{er} Simposio Latinoamericano sobre Investigación y Extensión en Sistemas Agropecuarios (IESA-AL III). Lima, Perú, 19 al 21 de agosto, 1998 [en línea]. www.condesan.org/memoria/Docsmanizales.htm. 24/06/2004
- Rubio C.O.A. (1985). Síntesis y evaluación de fertilizantes órgano-minerales. Tesis de Maestría. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Chapingo, México, 120 pp.
- Sanches-Monedero M.A., Roig A., Paredes C. y Bernal M.P. (2001). Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Bioresource Technol.* 78, 301-308.
- Santamaría R.S. (2000). Escalamiento de los procesos de composteo y vermicomposteo: aspectos biológicos y nutrimentales. Tesis de Maestría. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillos Estado de México, 130 pp.
- Thienpont D., Rochette F. and Vanparijs O. F. J. (1979). Diagnóstico de las helmintiasis por medio del examen coprológico. (Ed. Janssen Research Foundation), Beerse, Belgica, 187 pp.
- Tchobanoglous G., Theisen H. y Vigil S.A. (1993). *Integrated Solid Waste Management: Engineering principles and management issues*. McGraw-Hill, International Editions. Singapur 978 pp.
- Velasco-Velasco V.J., Figueroa S.B., Ferrera C.R., Trinidad S.A. y Gallegos S.J. (2004). CO₂ y dinámica de poblaciones microbianas en composta de estiércol y paja con aireación. *Terra Latinoamericana* 22, 307-316.
- Vicencio R.M.G., López G.C.I. Pérez L. M.E. y Medina H.E. (2003). Evaluación del impacto del agua de riego en la calidad del suelo del Distrito de riego 052 de Durango. Informe Técnico. Proyecto financiado por la Secretaría de Recursos Naturales del estado de Durango y Secretaría de Investigación del IPN. CIIDIR-IPN Unidad Durango, Durango, Dgo., México.
- Vicencio R.M.G., Pérez L.M.E. y Viguera C.J.M. (2006). Estabilización de lodo residual primario de un rastro. Memorias. III Simposio Internacional en Ingeniería y Ciencias para la Sustentabilidad Ambiental. Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, D.F., México, 6 al 8 de junio, CD-R.
- Zhu N., Deni CH., Xiong Y. y Quian H. (2004). Performance characteristic of tree aeration system in the swine manure composting. *Bioresource Technology*. 95, 319-326.