

Artículo No. 13: Rodríguez, A., Muñoz, C. y Rodríguez, M. (2014). Manejo de biosólidos mediante Vermicompostaje. *Semilleros*, 1 (1), 149-158.

Manejo de biosólidos mediante Vermicompostaje

Biosolids Management by Vermicomposting

Rodríguez González Alejandra¹, Muñoz Guzmán Carol Yinet²,
Rodríguez González Miguel Ángel³

Resumen. En el mundo se ha generado una gran preocupación por el incremento en la cantidad de residuos que son producidos en diferentes actividades antrópicas y las alternativas que se tienen para su disposición y almacenamiento, motivando al planteamiento, desarrollo y aplicación de metodologías sostenibles que permitan disminuir el efecto nocivo de los residuos sobre el medio ambiente y a su vez, favorezcan el desarrollo de nuevos productos basados en la transformación de estos. En el caso de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), se obtienen residuos definidos como biosólidos según la norma USEPA 50 CFR 403, los cuales son dispuestos en rellenos sanitarios o incinerados. No obstante, debido a su contenido de materia orgánica – MO, se ha planteado usarlos como abono o acondicionadores de suelos, según las características químicas y microbiológicas estipuladas por la norma. De acuerdo con análisis químicos y microbiológicos, los biosólidos proveniente de la PTAR Salitre de Bogotá se clasifican como Tipo B, por lo cual requiere un proceso de estabilización como lo constituye el vermicompostaje ó lombricultura mediante el uso de la especie *Eisenia foétida*. A pesar del incremento en macro y micronutrientes, así como la disminución de metales pesados y microorganismos nocivos, no se alcanzó los niveles para alcanzar la clasificación como Tipo A, por lo cual su uso sigue restringido a acondicionadores de suelo, cultivos forestales, y otros que limiten el contacto directo y constante con personas y animales.

Palabras Clave: PTAR, biosólidos, vermicompostaje, USEPA, humus.

Abstract. In the world has been generated great concern about the increase in the amount of waste that is produced in different human activities and the alternatives that are held for disposal and storage, motivating the use, development and implementation of sustainable methodologies that may decrease the harmful effects of waste on the environment and in turn, encourage the development of new products based on the transformation of these. In the case of the Water Treatment Plant (WWTP), there are some wastes or subproducts obtained, known as biosolids in accordance with standard USEPA 50 CFR 403, which are disposed of in landfills or incinerated. However, due to its content of organic matter - OM, has arisen use as fertilizer or soil conditioner, according to the chemical and microbiological characteristics stipulated by the regulations. In accordance with chemical and microbiological analysis, biosolids from Bogota Salitre WWTP are classified as Type B, thus, requiring a stabilization process as composting or vermicomposting using *Eisenia foetida* species. Despite the increase in macro and micronutrients , as well as the decline of heavy metals and harmful microorganisms , not reached levels to achieve the classification as Type A, so its use is restricted to soil conditioners, tree crops , and other limiting the direct and constant contact with people and animals.

Key Words: WWTP, biosolids, vermicomposting, USEPA, humus.

¹Joven Investigador COLCIENCIAS. Programa de Ing. Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C., Colombia. grupopit@unimilitar.edu.co

²Estudiante 8° Sem Programa de Ing. Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C., Colombia. U2901829@unimilitar.edu.co

³Estudiante 8° Sem Programa de Ing. Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C., Colombia. U2901845@unimilitar.edu.co

INTRODUCCIÓN

Hoy por hoy, uno de los temas de mayor importancia a nivel internacional hace referencia al “cambio global”, definido por Dante *et al.* como “el conjunto de cambios ambientales producidos por la actividad humana que afectan el funcionamiento del sistema terrestre”. Una de estas actividades corresponde al cambio en el uso del suelo, donde se favorece la extensión de áreas agrícolas, pastizales y zonas urbanas. Si bien las zonas urbanas alcanzan aproximadamente un 3% del territorio mundial, el aumento exponencial de la población ha incrementado los recursos necesarios para su abastecimiento y con ello, la producción de residuos líquidos y sólidos (Duarte, 2006).

En cuanto al manejo de líquidos como lo son las aguas hervidas o aguas negras, una de las alternativas más usada corresponde a las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR (Mahamud, 1996). En promedio, para Latinoamérica se estima una producción de 52.000.000 m³/ día de aguas residuales, de las cuales, solo el 3.100.00 m³/día reciben un tratamiento adecuado, antes de ser dispuestas en cuerpos de agua o campos agrícolas, por lo cual, se generan efectos negativos sobre la salud pública (LeBlanc, 2008). Sin embargo, dentro del proceso de tratamiento, se generan nuevos residuos provenientes del proceso de sedimentación de partículas conocidos como lodos (Mahamud, 1996; LeBlanc, 2008; EAAB-ESP, 2011).

Al final del siglo XX la USEPA (1994) estableció el término “biosólidos” para los productos orgánicos (sólidos, semisólidos ó líquidos) resultantes del tratamiento de aguas residuales que pueden ser reciclados, sin implicar efectos

nocivos sobre el medio ambiente y el ser humano (Duarte, 2006; USEPA, 1994).

Teniendo en cuenta lo anterior, se han planteado alternativas dirigidas a convertirlos en un material útil, pues cada vez son menos las áreas que pueden ser usadas como sitios de disposición final o quema (Potisek et al., 2010; Campbell, 2000; CWMI, 1996; Oropeza, 2006; WEF, 2000). Además, los costos del tratamiento de aguas residuales requieren cerca del 40% para la gestión de este subproducto (Mahamud, 1996).

Debido a su contenido de materia orgánica – MO (60 -70%) y nutrientes esenciales como Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K), para el crecimiento de plantas, se ha formulado la opción usarlos en suelos como abono o enmienda en cultivos agrícolas, plantaciones forestales, jardines y otras zonas para la recuperación de suelos. Teniendo en cuenta la clasificación de la Norma USEPA 40 CFR 503, se establecen los Tipo A y B como se ve en la Tabla 1. Siendo el primero, aquellos con niveles bajos de coliformes fecales (<10³ UFC/g), *Salmonella* sp. (3/4 UFC/g), huevos de helminto (1/4) y metales pesados para ser aplicados como fertilizante, incluyendo cultivos y jardines. Los Tipo B, tienen restricciones de uso debido a que presentan mayor contenido de microorganismos nocivos y metales pesados, especialmente en áreas donde pueda tener contacto permanente con animales y personas, por lo anterior, deben someterse a tratamientos alternativos para mejorar sus características hasta alcanzar los requisitos establecidos por los Tipo A, de lo contrario, solo podrán ser usados como acondicionadores de suelos, sustratos para el cierre de rellenos

sanitarios, cultivos forestales (USEPA, 1994; WEF, 2000; Pisco y Pérez, 2006; USEPA, 1999).

A nivel internacional Estados Unidos es uno de los países con mayor producción, con 6.514.000 t y una población de 298.444.000 hab., a su vez, el de mayor regulación en cuanto al manejo de biosólidos, incentivando su reuso y reciclaje (LeBlanc, 2008). En Europa cerca del 37% de lodos producidos se

usan en agricultura (Potisek et al., 2010). En Latinoamérica países como México, Chile, y Colombia están adoptando esta alternativa, no obstante, se debe tener en cuenta que la composición química del biosólido varía con respecto al origen del agua residual, por ende, no se puede generalizar su uso, especialmente en el sector agrícola (USEPA, 1994; Potisek et al., 2010; Pisco y Pérez, 2006; USEPA, 1999; Salcedo, 2007).

Tabla 1. Criterios microbiológicos para la caracterización de biosólidos

Criterio	Unidad	EE. UU. (1)	México (2)	Brasil (3)	Chile (4)	Argentina (5)	Colombia (6)
Coliformes fecales	NMP/g	Clase A: $<1 \times 10^3$ Clase B: $<2 \times 10^6$	Clase A: $<1 \times 10^3$ Clase B: $<1 \times 10^3$ Clase C: $<2 \times 10^6$	Clase A: $<1 \times 10^3$ Clase B: $<1 \times 10^6$	Clase A: $<1 \times 10^3$	Clase A: $<1 \times 10^{2a}$ Clase B: $<2 \times 10^{6a}$	Clase A: $<1 \times 10^3$ Clase B: $<2 \times 10^6$
<i>Salmonella</i> sp	NMP/g	Clase A: $<3/4$	Clase A: <3 Clase B: <3 Clase C: <300	Ausencia en 10 g	Clase A: $<3/4$	Clase A: $<3/4$	Clase A: ausente Clase B: $<1 \times 10^3$
Huevos de helmintos	HH/g	Clase A: $<1/4$	Clase A: <1 Clase B: <10 Clase C: <35	Clase A: $<1/4$ Clase B: <10	Clase A: $<1/4$	—	Clase A: $<1/4$
Virus	UFP/g	Clase A: $<1/4$	—	Clase A: $<1/4$	—	—	—

Fuente: Torres *et al.*

En general, 1 t de biosólidos puede contener de 37 a 50 kg de N y de 13 a 24 kg de P (Potisek et al., 2010; EAAB-ESP, 2012). No obstante, la composición difiere de la fuente de agua, por ello, la normatividad cambia en algunos países de acuerdo con sus condiciones locales. No obstante, en Colombia no se tiene una norma establecida, por lo cual se usa como referencia la norma USEPA 40 CFR 503 para clasificar, manejar y disponer los 7400 m³ /día (73.9 t/día) de biosólidos (LeBlanc, 2008; EAAB-ESP, 2012). En Bogotá se producen 92 t/mes y 1102 t/año en la PTAR Salitre, el cual está considerado como Tipo B, por lo cual puede aplicarse en suelos y algunos cultivos. No obstante, en ensayos realizados con un cultivo de rábano, se observó que a pesar de obtener plantas, no es adecuado para el desarrollo de las mismas, lo anterior, teniendo en cuenta

que se pudo observar un mejor desarrollo del cultivo cuando se incrementó la proporción de suelo en la mezcla con biosólidos (Mahamud, 1996; Pisco y Pérez, 2006). Por otra parte, en Chile se observó que el uso de biosólidos incrementó los niveles de MO en el estrato superficial, al igual que la concentración de micronutrientes, contenidos aprovechables de nitratos y P. (Potisek et al., 2010), así mismo, se han realizado pruebas para usar biosólidos en suelos sin que estos se conviertan en agentes de contaminación, que a su vez tengan un uso y habitabilidad compatibles (Paz, Henríquez y Freres, 2007).

Teniendo en cuenta lo anterior, no es recomendable emplear biosólidos directamente en el suelo, a pesar de limitar su uso a cultivos no agrícolas y constituir una alternativa o herramienta de recuperación del suelo (Mahamud, 1996;

Campbell, 2000; USEPA, 1999; Vélez, 2007; Grajales, Monsalve y Castaño, 2006; Ochoa, 2005). Por ello, se han propuesto e implementado alternativas que los adecuan y estabilizan, dentro de los que se encuentra el compostaje y el vermicompostaje. Este último, concibe la transformación y translocación de la MO para obtener abonos orgánicos libres de contaminantes mediante el uso de la especie *Eisenia foétida* (Torres, et al. 2009; Chávez, 2008; Villanueva, 2007); por su alta tasa de reproducción (1 cápsula cada 7 – 10 días), longevidad (15 – 16 años), voracidad (consume diariamente su peso en alimento aprox. 1 g) y rango de condiciones como temperatura (14 – 27 °C), pH (5 – 9) y humedad (85 – 95 %) (Durán y Henríquez, 2009; Martínez, 2009; Schuldt, 2007).

Además, en ensayos realizados por Chávez (2008) y Chávez y Sotelo (2010),

se pudo confirmar que la especie *E. foétida* tiene un rango de tolerancia suficiente para adaptarse a las condiciones del biosólido proveniente de la PTAR Salitre de Bogotá D.C., contribuyendo a su transformación, incluyendo la reducción de malos olores, población de microorganismos patógenos y la atenuación de los efectos de contaminación por desechos orgánicos (Mahamud, 1996; Potisek et al., 2010; Villanueva, 2007; Schuldt, 2007).

Por lo anterior, se planteó el objetivo de analizar el proceso de vermicompostaje mediante los cambios de los componentes químicos y biológicos (microbiológicos y pruebas de inhibición de germinación) como un método de tratamiento para biosólidos, con el fin de usarlos como abono de acuerdo con lo planteado por la Norma USEPA 40 CFR 503 sin generar efectos adversos en el suelo y afectar la vegetación.

METODOLOGÍA

Este proyecto se desarrolló en las instalaciones de la Universidad Militar Nueva Granada – UMNG, con la implementación de un reactor, el cual permitió evaluar el comportamiento del biosólido tras ser sometido al proceso de vermicompostaje con la especie *E. foétida*. El pío de cría se obtuvo de un cultivo ya establecido en la UMNG con este sustrato, para tener individuos adecuados a las condiciones requeridas y así, disminuir la mortalidad por el cambio de condiciones como ocurriría al usar un pío de cría convencional.

El sustrato a usar, corresponde a los biosólidos de la PTAR Salitre de Bogotá D.C., obtenidos mediante el proceso de sedimentación primaria de la planta; posteriormente fueron espesados y digeridos anaeróbicamente por 22 días a

35° C, finalmente deshidratados con una sequedad media de 32%.

Montaje

En la Figura 1 se muestra el reactor o sistema en el cual se depositaron los biosólidos (sustrato) y el pío de cría. Este diseño contó con dimensiones de 0,9 m de ancho 1,1 m de largo y 1,0m de alto (solo se usaron hasta 0,50 m para la disposición del contenido, teniendo en cuenta los requisitos para una cama convencional de lombricultura), capacidad de 0,99 m³ y una válvula en la parte inferior para el drenado de lixiviados



Figura 1. Contenedor utilizado para el bioreactor.

En el interior se adecuó una capa de grava media de 0,15 m de altura; seguido de una capa de biosólido aprox. de 0,15 m (90 kg), el cual se dejó estabilizar por 15 días en el sistema a temperatura ambiente y una capa superior o cobertura de tierra de 0,03m compuesto por arcilla, limo arena y material vegetal descompuesto como se muestra en la Figura 2. Finalmente se cubrió con polisombra para mitigar los efectos de las variaciones climáticas, que afectan el desarrollo de la lombriz.

Análisis

Los análisis químicos aplicados a las muestras fueron:

- Cuantificación de Nitrógeno, Fósforo, Potasio (N-P-K)
- Elementos menores (Mn, Fe, Zn y Cu)
- Otros elementos (Cr, Cd y Pb)
- Materia orgánica (carbono orgánico)

Análisis a nivel biológico que se realizaron:

- Conteo general de hongos y bacterias
- Evaluación de la producción de CO₂ biológico en el suelo
- Coliformes totales (método: Número Más Probable NMP)
- Coliformes fecales (método: Número Más Probable NMP)

- Prueba de inhibición de germinación a cinco días con semillas de repollo (*Brassica oleraceae*) del biosólido, inicial y luego de 60 en el sistema de lombricultura. La evaluación de cada tratamiento tuvo tres replicas y un control (germinación en turba). A las plántulas obtenidas se les evaluó porcentaje de biomasa (g) y longitud de tallo (mm) con el fin de determinar la calidad del sustrato.
- Se tomaron una serie de muestras de 2 kg de biosólido, cada una, para el análisis en laboratorio; se realizaron diferentes hoyos en el sistema, se retiraron los primeros 2 cm del suelo, se extrae la muestra, estas, se mezclan se disponen en una bolsa plástica o de papel encerado que no haya sido usada, y trasladada al laboratorio previamente rotulada.

Las muestras analizadas fueron:

- Biosólidos proporcionados por la PTAR el Salitre,
 - Humus: biosólido de la PTAR Salitre sometido por 60 días al proceso de vermicompostaje con la especie *E. foétida* tomado directamente del sistema, teniendo en cuenta la recolección en diferentes zonas para lograr una muestra homogénea, luego de estar.
- Estos análisis fueron realizados en el Laboratorio Nacional de Suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Bogotá D.C.

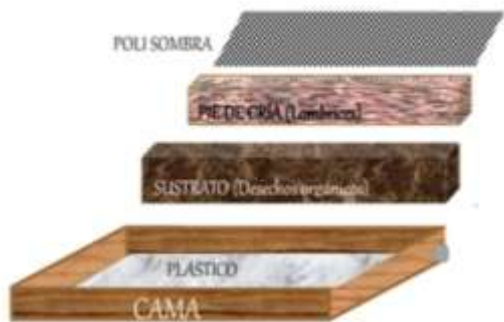


Figura 2. Estructura reactor.

Análisis

A partir de los diferentes análisis realizados a las muestras se observó un incremento en la cantidad de N, pasando de un nivel bajo (< 0.25) a uno alto (> 0.5). Para el caso de P, aunque el valor se incrementó en un 70 %, fue considerado en los dos análisis como un nivel alto, a

diferencia de K, el cual se disminuyó 10 % y los dos análisis fueron bajos como se muestra en la Figura 3. Debido a que estos elementos son considerados como los elementos primordiales para el desarrollo de las plantas ó macro elementos, su incremento en el humus muestra que es una opción viable para usarse como abono orgánico.

Los elementos menores son aquellos micronutrientes que acompañan las principales funciones de la planta, aunque se requieren en menores cantidades que los macronutrientes, su presencia en el humus es clave para suplir las necesidades de la planta (BR Global, LLC, 2001)). En el análisis se obtuvo una disminución de 65% en Mn, mientras que Fe, Zn y Cu se incrementaron en 27%, 33% y 9 % respectivamente (Figura 4).

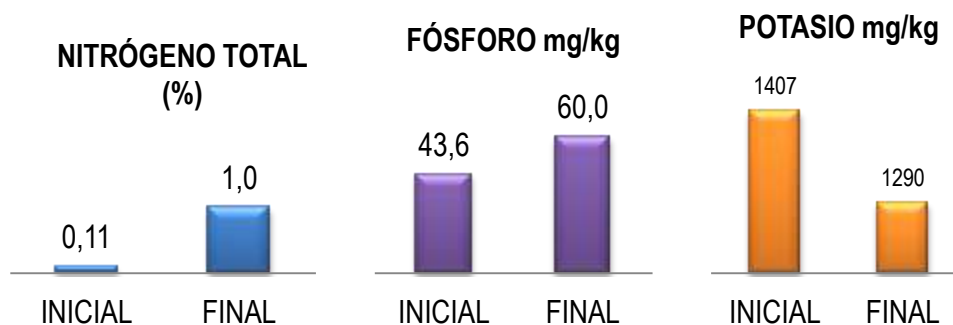


Figura 3. Cuantificación N – P – K del biosólido inicial y del humus obtenido

Como se muestra en la Figura 5, los niveles de Cr se disminuyeron 22 % y el Pb 81,25 %. En el humus se detectó 5 % de Cd, mientras que en el análisis inicial no se detectó, esto, pudo ocurrir si el elemento fue absorbido del medio ambiente, teniendo en cuenta que tiene afinidad con la materia orgánica del suelo, pese a ello, se cumplen los máximos establecidos por la USEPA 40 CFR 503, en Colombia la norma NTC 5167 da algunos parámetros para enmiendas obtenidas de residuos de procesos industriales, teniendo en cuenta que los biosólidos hacen parte de la

norma para abonos orgánicos y enmiendas en los resultados del análisis microbiológico como se observa en la Tabla 2, muestra que en los biosólidos antes de ser sometidos al sistema se evidencian condiciones desfavorables para su aplicación en cultivos, en razón a los altos niveles de respiración microbiana ($8.08 \text{ mg CO}_2/\text{g}$) y coliformes fecales ($9.2\text{E}+07$), indicando que su estabilización no es completa y por tanto no debe usarse como abono (USEPA, 1994; WEF, 2000; Villanueva, 2007). No obstante, en el Humus se obtuvo una disminución cercana al 90% de las

poblaciones nocivas y al igual que en los análisis iniciales no se detectó presencia de *Salmonella* spp.

Por otra parte, los niveles de microorganismos en el humus muestran que se encuentra en una etapa de maduración, por lo cual requerirá mayor tiempo en el sistema para completar el proceso de maduración y estabilización para ser usado como abono (Campbell, 2009; Martínez, 2009; Martínez, Fuentes y Acevedo, 2008).

En el ensayo de germinación se identificó que el estado inicial del biosólido no es apto como sustrato para el desarrollo vegetal. Sin embargo, luego de 60 días se está sometido a un sistema de vermicompostaje se obtuvo un 112,67%

de germinación como se muestra en la Tabla 3. Por lo cual puede afirmarse que el proceso de vermicompostaje favorece la presencia de componentes como hormonas vegetales, disponibilidad de nutrientes y microorganismos benéficos involucrados en la germinación y el desarrollo de las plántulas. El porcentaje es mayor a 100, teniendo en cuenta que en algunos casos se obtienen dos plántulas en un mismo alveolo.

De igual forma, la biomasa es mayor en aquellas plántulas obtenidas en humus, esto puede presentarse posiblemente por una mayor disponibilidad de nutrientes que logran ser asimilados en comparación con la turba.

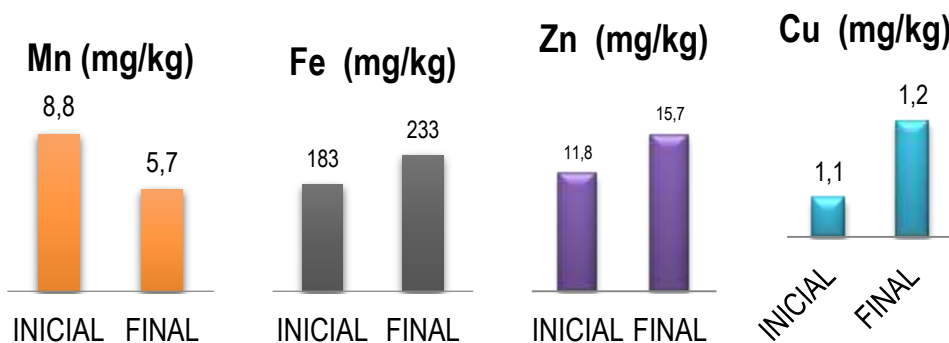


Figura 4. Cuantificación de elementos menores del biosólido inicial y del humus obtenido.

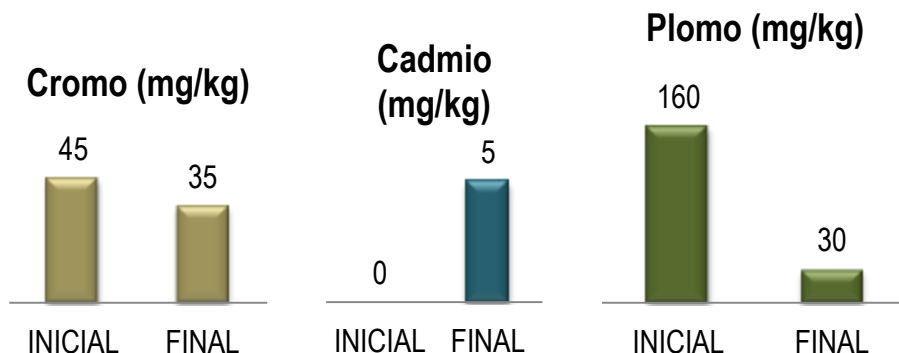


Figura 5. Cuantificación niveles de Cromo (Cr), Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) del biosólido inicial y del humus obtenido.

Tabla 2. Resultados microbiológicos del biosólido en su estado inicial y el humus obtenido

PARÁMETROSMICROBIOLÓGICOS	INICIAL	FINAL
Respiración (mg CO ₂ / g) /48h	0,53	1,16
Coliformes totales (NMP/g ó ml de muestra)	9.2E+07	1.6E+05
Coliformes fecales (NMP/g)	9,2E+07	1,6E+05
Salmonella spp	N.D.	N.D.
Hongos (UFC*/g ó ml de muestra)	4,1E+03	2,5E+04
Bacterias tipo Actinomiceto(UFC*/g ó ml de muestra)	2,4E+03	2,0E+06
Fijadores de nitrógeno (UFC*/g ó ml de		

Tabla 3. Análisis de germinación y biomasa (productividad)

	% GERMINACIÓN A 5 DÍAS	BIOMASA (g)
INICIAL	0	0
FINAL	112,67	1,24
CONTROL	100	0,74

CONCLUSIONES

Debido a la degradación de la materia orgánica, el aumento del: 89% del N, 67,57% de la biomasa y el 112,67% de germinación luego de los 60 días, la Disminución del 90% de microorganismos patógenos se suplen los requerimientos nutricionales para la germinación de las plantas. Los biosólidos producidos en la PTAR Salitre de Bogotá se clasificaron como tipo B, los cuales se limitan al contacto directo con las personas por lo que son aconsejables sean usados en aplicaciones forestales, ornamentales y recuperación de suelos.

Teniendo en cuenta los resultados biológicos, se puede decir que el biosólido logra un mayor nivel de estabilización con el proceso de vermicompostaje presentando características similares a las de un compost maduro. Evidenciando que es una biotecnología viable para la transformación de biosólidos en un material (humus) útil que puede ser usado como enmienda húmica o recuperador de suelos.

Referencias Bibliográficas

1. Duarte, C (Coord.), Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo, M., Ríos, A., Simó, R., Valladares, F. (2006). *Cambio Global; Impacto de la Actividad*

Humana sobre el Sistema Tierra. Consejo superior de investigaciones científicas – CSIC. España.

2. Mahamud, M. (1996). Biosólidos generados en la depuración de aguas. *Ingeniería del Agua*, Vol. 3, N. 2, 47– 62.
3. LeBlanc, R. (2008). *Global atlas of excreta, wastewater sludge and biosolids management: moving forward the sustainable and welcome uses of resource*. United Nations Human Settlements Programme: UN-HABITAT.
4. Acueducto, Agua y Alcantarillado de Bogotá (EAAB-ESP, 2011). PTAR Salitre Fase I.2011. En: www.acueducto.com.co.
5. United States Environmental Protection Agency - USEPA. (1994). A guide to the biosolids risk assessments for the EPA Part 503 rule. Washington: Office of Wastewater Management / EPA.
6. Potisek, M., Figueroa, U., González, G., Jasso, R., Orona, I. (2010). Aplicación de biosólidos al suelo y su efecto sobre el contenido de materia orgánica y nutrientes. *Terra Lationamericana*, V. 28, N. 4, pp 327 – 333.
7. Campbell, H. W. (2000). Sludge Management: Future Issues and Trends. *Water Science and Technology*, 41(8).
8. Cornell Waste Management Institute (1996). The Beneficial Uses of Biosolids/Sludge. New York: Cornell Waste Management Institute, Fact Sheet6. Retrieved December 13, 2000.
9. Oropeza, N. (2006). Lodos residuales: estabilización y manejo. *Revista Caos Conciencia*; Nro. 1.
10. Water Environment Federation (2000). Biosolids Success Stories. Estados Unidos: WEF 2000. Disponible en: <http://www.biosolids.org/docs/source/contents.pdf>.
11. Pisco, R y Pérez, M. (2006). Evaluación del potencial de biosólidos procedentes del tratamiento de aguas residuales para uso agrícola y su efecto sobre el cultivo del rábano rojo (*Raphanus sativus* L.). *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*. Vol. 59, N. 2, p 3543 – 3556.
12. United States Environmental Protection Agency - USEPA (1999). Biosolids: Generation, Use, and Disposal in The United States. Estados Unidos.
13. Salcedo, E., Vásquez, A., Krishnamurthy, L, Zamora, F., Hernández, E. y Rodríguez, E. (2007). Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco, México. *Interciencia*, V. 32, N. 2, pp 118 -120.
14. Torres, P.; Madera, C. y Silva, J. (2009). Mejoramiento de la calidad microbiológica de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista EIA*, V. 11, p. 21-37.
15. Acueducto, Agua y Alcantarillado de Bogotá - EAAB-ESP (2012). *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Salitre – Fase I. Informe de actividades Diciembre 2011 – Enero 2012*. Bogotá.
16. Paz, C., Henríquez, O. y Freres, R. (2007). Posibilidad de aplicación de lodos o biosólidos a los suelos del sector norte de la Región Metropolitana de Santiago. *Rev. Geogr. Norte Gd*, N. 37, p 35- 45.
17. Vélez, J. (2007). Los biosólidos ¿una solución o unprobelma?. *Producción + limpia*, V. 2, N. 2, pp 59 -71.
18. Grajales S, Monsalve J, Castaño J. (2006). Programa de Manejo Integral de los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Tecnológica de Pereira. *Scientia et Technic*,
19. Ochoa A. (2005). *Efecto de la aplicación de biosólidos, sobre el desarrollo de la vegetación en las primeras etapas sucesionales, en la cantera Soratama, Localidad de Usaqué, Bogotá D.C.* (Tesis de Grado). Facultad de Estudios Ambientales y

Rurales, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C.

20. Chávez, A. (2008). Descripción de metodologías del sistema de lombricultura para gestión de Residuos Sólidos Orgánicos. *Revista Gestión Integral en Ingeniería Neogranadina*. Universidad Militar Nueva Granada. Colombia.

21. Villanueva, C. (2007). *Valoración del compost, elaborado con lodos biológicos de plantas de tratamiento de aguas servidas de ESSBIO S.A., mediante lombricompostaje*. (Tesis de grado). Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad de la Frontera.

22. Durán, L y Henríquez, C. (2009). Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, vol. 33, no. 2, pp. 275-281.

23. Martínez, C. (2009). Abonos orgánicos: Lombricultura. En: Sistema de Agronegocios de Traspasio, C. Martínez (ed), México, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), En: <http://www.sagarpa.gob.mx/developmentRural/Documents/fichasaapt/Lombricultura.pdf>. pp. 1 – 8.

24. Schuldt, M., Christiansen, R., Scatturice, L y Mayo, J. (2007). Lombricultura. Desarrollo y adaptación a diferentes condiciones de temperie. *Revista electrónica de Veterinaria*. V. 8, N. 8, p 1 – 10.

25. Chávez, A. y Sotelo, H. (2010). Comportamiento químico del vermi-reactor con sustrato proveniente de agua residual doméstica. En: V Encuentro de Investigaciones UMNG. Bogotá.

26. BR Global, LLC (2001). Importancia de los micronutrientes. En: <http://www.brglimited.com/download/MicroNutrientes.pdf>

27. Villanueva, C. (2007). Valoración del humus, elaborado con lodos biológicos de plantas de tratamiento de aguas servidas de ESSBIO S.A., mediante lombricompostaje”. pp 107.

28. Campbell. H. (2000). Sludge Management: Future Issues and Trends. *Water Science and Technology*, V. 41 N. 8.

29. Martínez C. (2009). *Abonos orgánicos: Lombricultura*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México.

30. Martínez, E., Fuentes, J., Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *R.C. Suelo Nutr. Veg.*, V. 8,N. 1, pp 68-96.