

Análisis químico y biológico de biosólidos sometidos a sistema de lombricultura como potencial abono orgánico

Álvaro Chávez Porras PhD¹, Alejandra Rodríguez González²

1. Docente, Investigador

2. Joven Investigador Grupo TAYQUITE

2. Bióloga, - Facultad de Ingeniería Universidad Militar NuevaGranada, Bogotá D.C., Colombia

Correspondencia: alvaro.chavez@unimilitar.edu.co

Recibido: 17/05/2011 - **Aceptado:** 25/08/2011

Resumen

Uno de los principales problemas en las plantas de tratamiento de aguas residuales –PTAR- es la cantidad de residuos que generan, estos conocidos como biosólidos tienen potencial como materias primas en industrias de producción de abonos orgánicos siempre y cuando se establezca su composición química y biológica, permitiendo su uso. Este proyecto realizó un análisis del biosólido de la PTAR Salitre de Bogotá D.C., el cual se clasificó como tipo B, según las referencias bibliográficas, ya que el país no ha definido una legislación del tema. El proceso de lombricultura se realizó con la especie *Eisenia foetida*. Las pruebas químicas relevantes fueron: cantidad de N - P - K; elementos menores (Mn, Fe, Zn y Cu); materia orgánica (% C) y otros elementos (Cr, Cd y Pb). A nivel biológico se efectuó el análisis de germinación y la cuantificación de hongos, bacterias, fijadores de nitrógeno y coliformes. Como conclusión se establece que el proceso de lombricultura podría ser una iniciativa ecológica para el manejo de biosólidos de las PTAR, ya que estos presentarían características de abonos orgánicos, los cuales pueden ser usados para cultivos no agrícolas de tipo ornamental y recuperación forestal.

Palabras clave: biosólido, lombricultura, N - P - K, abono orgánico, cultivos no agrícolas, coliformes.

Abstract

Chemical and biological analysis of biosolids subject to a vermiculture system - potential organic fertilizer

One of the main problems in waste water treatment plants, WWTPs is the amount of waste they generate. These, known as biosolids, are potential feed stock in industries of organic fertilizers, as long as the establishment of chemical and biological composition, permitting its use. This project conducted an analysis of the biosolids from the WWTP Salitre Bogotá D.C., which is classified as type B, according to literature references, as the country has not defined the subject legislation. The vermicomposting process was conducted with the species *Eisenia foetida*. Chemical tests were: quantification of N - P - K, trace elements (Mn, Fe, Zn and Cu), organic matter (% C) and other elements (Cr, Cd and Pb). Biological tests involve analysis of germination, and quantification of fungi, bacteria, nitrogen fixers and coliforms. Taking with completion of the worm could be a green initiative for the management of biosolids from WWTP, since they present characteristics of organic fertilizers, which can be used for non-agricultural crops like ornamental crops and forest recovery.

Keywords: biosolids, lombriculture, N - P - K, organic fertilizer, non-agricultural crops, coliforms.

Introducción

Actualmente, en las ciudades se afronta un gran reto en cuanto al manejo de residuos sólidos ya que estos han incrementado de forma exponencial su volumen por el aumento progresivo de la población, su concentración en determinadas áreas y en algunos casos por los sistemas de tratamiento y/o disposición final inadecuada o inexistente. En nuestros días, las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) generan una gran cantidad de residuos orgánicos conocidos como lodos o biosólidos (1, 2). Por esta razón desde los últimos 50 años se han propuesto alternativas para el manejo de estos con el fin de disminuir los costos de tratamiento y disposición final (2).

Las alternativas planteadas para el manejo están dirigidas a convertirlos en un material útil. Hoy por hoy son menos las áreas que se pueden adaptar como sitios de disposición final o quema (3,4). No obstante, debido a que tiene un alto contenido de materia orgánica posee macro y micronutrientes, han pasado por un proceso de estabilización (mediante la digestión anaerobia que reduce su nivel de patogenicidad, capacidad de atracción de vectores y poder de fermentación) y pueden ser usados como abono en la industria ornamental, forestal, en campos deportivos así como en la recuperación de suelos, ya que mejoran sus características físicas, químicas y biológicas (5-11).

Es importante aclarar que los usos en suelo agrícolas se restringen por las concentraciones de microorganismos patógenos, en los productos obtenidos, que pueden afectar la salud humana (3, 8, 12, 13). A pesar de esta alternativa, no deben emplearse directamente por lo que pueden generar efectos adversos sobre sus características. Actualmente, con el fin de realizar un manejo adecuado se someten a diferentes tratamientos que los preparen antes de ser usados dentro de los que se encuentra el compostaje y especialmente el vermicompostaje usando la lombriz roja californiana *Eisenia foetida* o lombricultura, el cual permite la transformación y translocación de materia orgánica (MO) para obtener abonos orgánicos libres de contaminantes (5,8,14,15). El presente trabajo tuvo como objetivo de analizar las condiciones químicas y biológicas del biosólido proveniente de la PTAR Salitre de Bogotá y del humus obtenido.

Es importante anotar que actualmente esta PTAR recibe 9'894.100 m³/mes de aguas residuales y produce aproximadamente 3.361 t/mes de biosólidos, con un alto contenido de nitratos y fosfatos, además de metales pesados con niveles no peligrosos, según estándares internacionales (16). Para algunos autores este lodo se encuentra clasificado como Tipo A, el cual podría usarse sin restricción en agricultura, incluyendo todos los usos urbanos con contacto público directo (6, 11,17).

En general los parámetros químicos y biológicos los podemos encontrar en la literatura de diferentes áreas del mundo. En la Tabla 1 se encuentran los límites máximos de concentración de contaminantes para la clasificación de estos biosólidos.

En la Tabla 2 se presentan los criterios microbiológicos para la caracterización de biosólidos, mostrando la legislación en los diferentes países:

- (1) Estados Unidos de América, Norma 40 CFR parte 503 (EPA, 2003).
- (2) México, NOM-004-2002
- (3) Brasil, Resolución N° 375 de 29 de agosto de 2006
- (4) Chile, Decreto Supremo N°123 (30/08/2006)
- (5) Argentina, Resolución N° 97/01 (22/11/2001).
- (6) Colombia, Propuesta de norma, versión de abril, 2009.

Metodología

El proyecto se llevó a cabo con la implementación de un reactor en los predios de la Universidad Militar Nueva Granada, Sede Calle 100, Bogotá, D.C.

Este mecanismo permitió evaluar en primeras instancias el comportamiento de la especie californiana y su adaptación a este nuevo medio de vida.

El sustrato del reactor, biosólido de la PTAR, fue el obtenido de la sedimentación primaria, que luego es espesado, digerido anaerobiamente por 22 días a 35 °C y posteriormente deshidratado (16).

El diseño del reactor permitió el control con la mínima intervención posible. Con 0,9m de ancho, 1,1m de largo y 1,0m de alto, capacidad de 0,990 m³ y una válvula en la parte inferior para el drenado de lixiviados. 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 (con un total de 90kg) y

Tabla 1. Límites máximos de concentración de metales pesados (18).

Metal	Tierras agrícolas y forestales, sitios públicos, recuperación de suelos ^a		Límites máximos permitidos en compost ^b (mg/kg -peso seco)
	Concentración máxima	Aplicación máxima	
	(mg/ks)	(kg/ha)	
Arsénico	75	41	54
Cadmio	85	39	18
Cromo	3000	3000	1 200
Cobre	4300	1 500	1200
Plomo	840	300	300
Mercurio	57	17	300
Molibdeno	75	18	20
Níquel	420	420	180
Selenio	100	100	14
Zinc	7000	2800	1800

a. Norma 503 EPA.

b. Decreto 822/98 Ministerio de Desarrollo.

Tabla 2. Criterios microbiológicos para la caracterización de biosólidos (19).

Criterio	Unidad	EE.UU. (1)	México (2)	Brasil (3)	Chile (4)	Argentina (5)	Colombia (6)
Coliformes fecales	NMP/g	Clase A: <1 x 10 ³ Clase B: <2 x 10 ⁶	Clase A: <1 x 10 ³ Clase B: <1 x 10 ³ Clase C: <1 x 10 ³	Clase A: <1 x 10 ³ Clase B: <2 x 10 ⁶	Clase A: <1 x 10 ³	Clase A: <1 x 10 ^{3*} Clase B: <2 x 10 ^{6*}	Clase A: <1 x 10 ³ Clase B: <2 x 10 ⁶
<i>Salmonella sp</i>	NMP/g	Clase A: <3/4	Clase A: <3 Clase B: <3 Clase C: <300	Ausencia en 10g	Clase A: <3/4	Clase A: <3/4	Clase A: Ausente Clase B: <1 x 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	-	-	-

* Valores para *E. coli*.

una capa superior o cobertura de tierra de 0,03 m compuesto por arcilla, limo arena y material vegetal descompuesto). La Figura 1 muestra el contenedor. El cual se protegió con una cubierta plástica, con el fin de mitigar los efectos que tienen las variaciones climáticas, que afectan el desarrollo de la lombriz.

Para el Análisis de las muestras se recurrió al Laboratorio Nacional de Suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Bogotá D.C. Para los análisis iniciales se dispuso de 1kg del lodo precompostado. Esta operación consistió en colocarlo

a cielo abierto durante 15 días, antes de la aplicación del pie de cría. La misma cantidad para los análisis finales, después de 60 días.

Los análisis químicos que se llevaron a cabo fueron:

1. Cuantificación nitrógeno, fósforo, potasio (N – P – K);
2. Elementos menores (Mn, Fe, Zn y Cu);
3. Materia orgánica (carbón orgánico);
4. Otros elementos (Cr, Cd y Pb).



Figura 1. Contenedor piloto de lombricultura. Tomado de los autores, 2010.

5. A nivel biológico se efectuó:
6. Porcentaje de germinación a cinco días con semillas de repollo (*Brassicaoleraceae*) 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;
7. Conteo general de hongos y bacterias (método: recuento en placa);
8. Microorganismos fijadores de nitrógeno (método: recuento en placa);
9. Coliformes totales (método: Número Más Probable NMP);
10. Coliformes fecales (método: Número Más Probable NMP).

Resultados

En la Figura 2 se presenta la cuantificación del N,P y K del biosólido inicial y del humus obtenido mostrando el aumento significativo de N, y una disminución de K.

Así mismo, en la Figura 3 se muestra la cuantificación de los elementos menores del biosólido inicial y del humus obtenido: Mn, Fe, Zn y Cu donde se observa la disminución del Mn y aumento de Fe, Zn Cu.

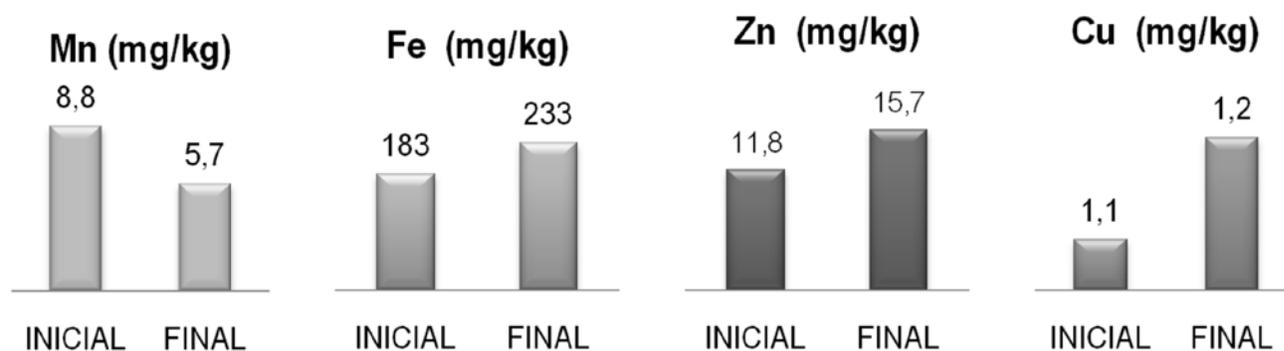


Figura 2. Cuantificación N - P - K del biosólido inicial y del humus obtenido.

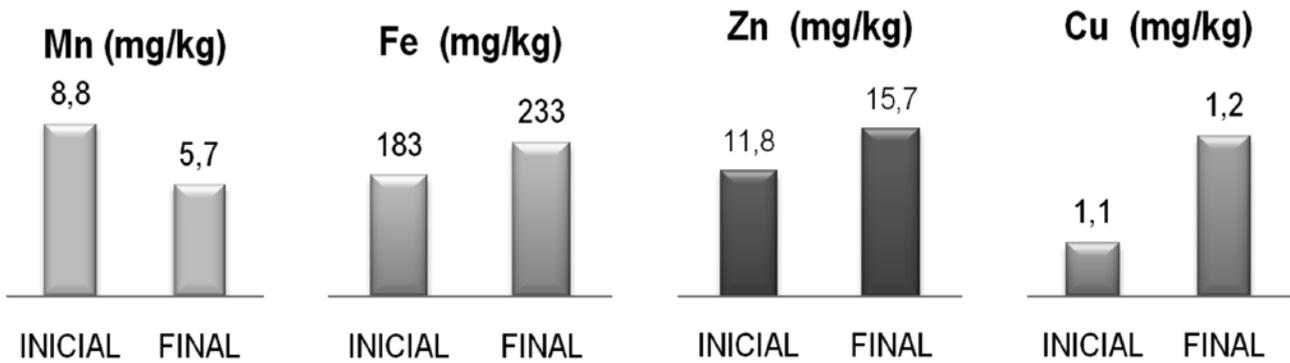


Figura 3. Cuantificación de elementos menores del biosólido inicial y del humus obtenido.

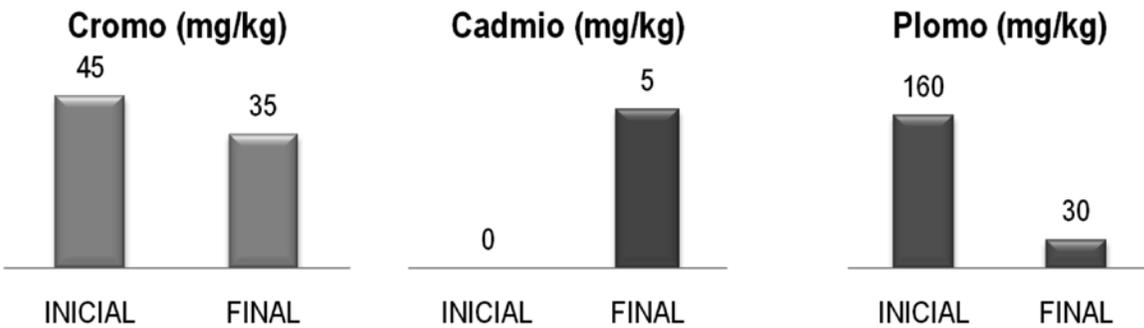


Figura 4. Cuantificación niveles de cromo (Cr), cadmio (Cd) y plomo (Pb) del biosólido inicial y del humus obtenido.

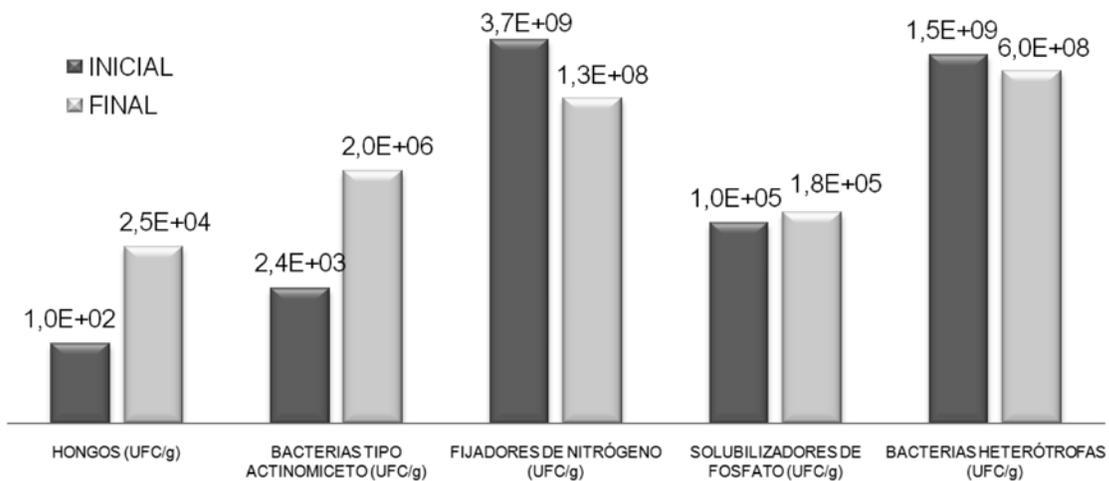


Figura 5. Cuantificación de hongos, bacterias tipo actinomiceto, fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fosfato del biosólido inicial y del humus obtenido.

En cuanto a la cuantificación de metales pesados, Figura 4, el cromo y el plomo disminuyeron en el análisis de la productividad en el cual se observó un aumento de la biomasa del 67,57% en comparación al control.

A nivel biológico el ensayo de germinación mostró que en estado inicial, el biosólido no es apto como sustrato para germinación, sin embargo, luego de 60 días se obtuvo un 112,67% de germinación como se muestra en la Tabla 3.

Los resultados de la cuantificación de hongos, bacterias tipo actinomiceto, fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fosfato del biosólido inicial y del humus obtenido, se presentan en la Figura 5.

Por último los resultados de la cuantificación de microorganismos patógenos se representan en la Tabla 4 en la que se observa una disminución significativa de los niveles de los microorganismos patógenos.

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

Tabla 4. Cuantificación de microorganismos patógenos.

	COLIFORMES TOTALES	COLIFORMES FECALES	SALMONELLA spp
INICIAL	9,20E+07	9,20E+07	ND
FINAL	1,60E+05	1,60E+05	ND

Discusión

Los resultados de los análisis químicos se presentaron en la Figura 2, indicando que la cantidad de N paso de un nivel bajo (<0.25) a uno alto (>0.5). En el caso de P, el valor se incrementó en un 70%, aunque en ambos casos la cantidad se consideró alta, diferente a K el cual se disminuyó 10% y ambos fueron bajos. Teniendo en cuenta que estos son los principales macro elementos de las plantas, el significativo incremento de estos en el humus muestra que es una opción para usarse como abono orgánico.

En cuanto a los elementos menores se observó una disminución de 65% de Mn, mientras que el Fe, Zn y Cu se incrementaron en 27%, 33% y 9% respectivamente, resultados presentados en la Figura 3. Estos elementos son 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 que supla las necesidades vegetales y pueda ser usado como abono (20).

Por otra parte el porcentaje de materia orgánica se analizó con la presencia de carbono orgánico, a diferencia de lo esperado, el porcentaje disminuyó de 11,7% a 10,8%, lo cual corresponde a un 7,69% menos, siendo un elemento fundamental la reducción no beneficiaría el humus obtenido. No obstante, éste también tiene un efecto significativo en la agregación de partículas del suelo, a mayor cantidad de C mayor será el tamaño de los agregados, los de menor tamaño están asociados a la descomposición de la materia. Así, lo que se observa con estos resultados es la fragmentación y degradación de sustrato haciéndolos asimilables como recurso energético para los organismos (21).

De la misma forma se evidenció disminución del cromo en un 22% y el plomo 81,25%. En el humus

se detectó 5% de Cd, este pudo ser absorbido del medio ambiente, ya que tiene cierta afinidad con la materia orgánica del suelo, pese a ello en los tres casos se cumple el máximo aceptado para abonos orgánicos y compost de acuerdo a la NTC 5167.

A nivel biológico el ensayo de germinación mostró que en estado inicial el biosólido no es apto como sustrato para germinación. Sin embargo, luego de 60 días se obtuvo un 112,67% de germinación como se mostró en la Tabla 3. Un 12,67% más respecto al control con turba que es uno de los sustratos más usados en la germinación de plantas. Aunque las diferencias no son significativas estadísticamente se evidenció la capacidad del biosólido vermicompostado como fertilizante y promotor del desarrollo vegetal. En relación con la productividad o biomasa se obtuvo un aumento de 67,57% comparado con el control, generando un efecto benéfico sobre las plántulas, esto permite afirmar que el compost puede ser usado y mezclado con el suelo sin tener efectos adversos.

En cuanto a los análisis microbiológicos se encontró un alto contenido de fijadores de nitrógeno ($3,7E+09$), seguido por la presencia de bacterias heterótrofas con $1,5E+09$, para ambos casos la población se redujo con el proceso de lombricultura, esto se debe a que su presencia está relacionada con proceso de degradación de la materia orgánica y es justamente lo que sucede en la transformación del biosólido en humus.

Por otra parte, la población de hongos y bacterias tipo actinomicetos incrementaron su población en un 25% y 83.33% respectivamente en el humus, puesto que los hongos ayudan a la formación de humus, contribuyen al reciclaje de nutrientes y al igual que los actinomicetos favorecen la estabilidad de agregados mediante la degradación de los residuos, su presencia demuestra que el humus obtenido se puede definir como un compost estabilizado y madurado (19, 21). Así mismo, la presencia de solubilizadores

de fosfato permitió que el biosólido tuviera mejores características microbiológicas que le permiten ser empleado como abono (19).

Como se mostró en la Tabla 4, los niveles de microorganismos patógenos se disminuyeron en más de un 90% tanto para coliformes totales como coliformes fecales. Según la clasificación de biosólidos establecida por la EPA (2003), el de la PTAR Salitre de Bogotá sometido a un proceso de lombricultura pertenece al tipo B, pues obtuvo más de 160000 NMP/g que sobrepasa el límite establecido (1000 NMP/g), a pesar de esto no se detectó presencia de *Salmonella sp.* que es uno de los indicadores de un lodo tipo B como se muestra en la Tabla 2 (11). Por lo anterior los biosólidos obtenidos de la PTAR Salitre no pueden ser considerados como abonos orgánicos de acuerdo a la NTC 5167. Pese a esto pueden ser usados en cultivos ornamentales, forestales y en la recuperación de suelos (11).

En conclusión, se pudo evidenciar que el proceso de lombricultura permite estabilizar el biosólido de tal forma que el humus obtenido presenta condiciones similares a un compost maduro, haciéndolo apto para la germinación y favoreciendo el desarrollo vegetal debido a la degradación de la materia orgánica en elementos asimilables que suplen los requerimientos nutricionales de las plantas.

Los biosólidos de la PTAR se clasificaron como tipo B que se recomienda sean usados en aplicaciones ornamentales, forestales y en la recuperación de suelos degradados limitando el contacto directo con las personas.

Referencias

- Oropeza, N. Lodos residuales: estabilización y manejo. Revista Caos Conciencia; 2006. N 1
- Water Environment Federation. Biosolids Success Stories. Estados Unidos: WEF2000. Disponible en: <<http://www.biosolids.org/docs/source/contents.pdf>>.
- Campbell, H. W. Sludge Management: Future Issues and Trends. En: Water Science and Technology; 2000; 41(8).
- Cornell Waste Management Institute. The Beneficial Uses of Biosolids/Sludge. New York: Cornell Waste Management Institute, Fact Sheet 6, 1996. Retrieved December 13, 2000.
- Chávez A. Descripción de metodologías del sistema de lombricultura para gestión de Residuos Sólidos Orgánicos. Revista Gestión Integral en Ingeniería Neogranadina. Universidad Militar Nueva Granada. Colombia. 2008.
- Dáguer, G. Gestión de Biosólidos en Colombia. ACODAL Sociedad, Ambiente y Futuro, 2005.
- Martínez C. Abonos orgánicos: Lombricultura. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Mexico. 2009.
- Oliveira de Souza W, Wanderley J, Marques M. O lodo de Esgoto: uso na agricultura, compostagem, e outros destinos finais. En: Memorias Curso Internacional de Sistemas Integrados Sostenibles. Cali: Universidad del Valle, IHE, SIDIAT, 2000.
- Ortiz M, Gutiérrez M, Sánchez E. Propuesta de manejo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de la ciudad industrial del Valle de Cuernavaca, Estado de Morelos, México. Revista Internacional de Contaminación y Ambiente. 1995; 11 (2): 105 – 115.
- Romero J. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000.
- United States Environmental Protection Agency. Biosolids: Generation, Use, and Disposal in The United States. Estados Unidos: EPA. 1999.
- Grajales S, Monsalve J, Castaño J. Programa de Manejo Integral de los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Tecnológica de Pereira. Scientia et Technica. 2006; XII (31). 285 – 290.
- Ochoa A. Efecto de la aplicación de biosólidos, sobre el desarrollo de la vegetación en las primeras etapas sucesionales, en la cantera Soratama, Localidad de Usaquén, Bogotá D.C. (Tesis de Grado). Bogotá D.C.: Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Pontificia Universidad Javeriana; 2005.
- Chávez A, Sotelo H. Comportamiento químico del vermi-reactor con sustrato proveniente de agua residual doméstica. En: V Encuentro de Investigaciones UMNG. Bogotá. 2010
- Villanueva, C. 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; 2007.
- Acueducto, Agua y Alcantarillado de Bogotá. PTAR Salitre Fase I. 2011. En: www.acueducto.com.co.
- Ministerio de Desarrollo. Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico Ras – 2000. Sección II: Tratamiento de aguas residuales. Bogotá, 2000.
- ICONTEC. NTC 5167. ICONTEC. Edición 2004.
- Torres P, Madeira C, Silva J. Mejoramiento de la calidad microbiológica de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. Revista EIA. 2009; Julio (11): 21-37.
- BR Global, LLC. Importancia de los micronutrientes. 2001. En: <http://www.brglimited.com/download/MicroNutrientes.pdf>
- Martínez E, Fuentes J, Acevedo E. Carbono orgánico y propiedades del suelo. R.C. Suelo Nutr. Veg. 2008; 8 (1): 68-96.

