

## PROGRAMA DE MANEJO INTEGRAL DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

**RESUMEN:** En este proyecto de investigación se formuló un programa de manejo integral de los lodos generados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Tecnológica de Pereira, con el cual se buscó convertir el lodo en un material útil que pudiera ser incorporado dentro de las áreas verdes de la Universidad. Para este fin, fueron aplicados al lodo los tratamientos de secado, compostaje y lombricompostaje y se evaluó la calidad de los materiales obtenidos mediante la realización de pruebas que permitieron concluir que el *lombricompost* fue el producto que mostró un mejor desempeño como mejorador de suelos.

**PALABRAS CLAVES:** lodo, compostaje, lombricompostaje.

**ABSTRACT:** *This investigation project was focused on identifying best sewage sludge management practices to produce an environmentally safe and beneficial product to use it as a soil enhancer at the Universidad Tecnológica de Pereira. Three types of sewage sludge treatments were evaluated: natural drying, composting and vermicomposting. Additional analysis on sludge characteristics were made to determinate sewage sludge products quality. The results of sludge analysis suggested that vermicompost is the sewage sludge product that easily meets the standards for a good soil enhancer.*

**KEYWORDS:** *sewage sludge, composting, vermicomposting.*

**SANDRA JOHANA GRAJALES**  
Administradora del Medio Ambiente  
johana\_grajales@yahoo.com.ar

**JAIME ANDRÉS MONSALVE**  
Administrador del Medio Ambiente  
monsalve\_jaime@yahoo.com

**JUAN MAURICIO CASTAÑO**  
Ingeniero químico, Ms.C.  
Docente  
Facultad de Ciencias Ambientales  
Universidad Tecnológica de Pereira  
jmc@ambiental.utp.edu.co

### 1. INTRODUCCIÓN

Las investigaciones relacionadas con el manejo de los lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, aparecen a comienzos del siglo XX con el surgimiento de los procesos para tratar las aguas servidas y la consecuente generación de grandes volúmenes de lodo. El manejo de los lodos ha evolucionado durante los últimos 50 años en la búsqueda de alternativas para la disminución de sus costos de tratamiento y disposición final, los que hoy representan el 50% del costo total del tratamiento de las aguas residuales [14].

En la actualidad, los estudios se han enfocado hacia la búsqueda de alternativas para la transformación del lodo en un material útil para ser dispuesto en el suelo, debido principalmente a que cada vez son menores las áreas aptas para la construcción de sitios de disposición final, a los problemas asociados a la contaminación atmosférica generada por la incineración de estos residuos y a que los métodos tradicionales de manejo de los lodos son cada vez más complejos y costosos [2].

De las opciones disponibles para la disposición final de los lodos tratados, su uso como mejorador de suelos es el más eficiente, dado que este residuo encierra en su composición materia orgánica, macro y micro nutrientes,

que hacen que su contribución en el suelo sea de suma importancia en lo que respecta al ahorro de recursos en la compra de fertilizantes, además de proporcionar una mejora en las características físicas, químicas y biológicas del suelo que lo recibe [8], lo que se traduce en bajos costos de disposición final e impactos positivos al ambiente por el reciclaje de nutrientes en el suelo. En otras palabras, el material resultante del tratamiento de los lodos puede ser empleado en actividades agrícolas, de jardinería, en campos deportivos y en la recuperación de suelos deteriorados, entre otros usos [9].

Sin embargo, el lodo proveniente de las plantas de tratamiento de aguas residuales, encierra en su composición constituyentes de varias fuentes, con propiedades y naturaleza diferentes que producen efectos aún poco conocidos al ambiente donde están siendo dispuestos, principalmente cuando la opción de su destino final se da en el suelo para uso agrícola, campo en el cual posee restricciones debido a las concentraciones de organismos patógenos presentes en el lodo que pueden afectar la salud humana [8] [1].

No obstante, es importante señalar, que los lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales independientemente del proceso de tratamiento

del cual provengan, pueden tener un manejo y uso adecuado, aplicando un tratamiento que disminuya el volumen de este residuo y adecue los lodos para su incorporación al suelo.

Por lo tanto, se realizó un estudio que permitiera evaluar la posibilidad de adopción de un sistema de manejo integral de los lodos provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP), *sistema de lodos activados de aireación extendida*, desde su tratamiento hasta su disposición final, para convertir el lodo en un material útil que pudiera ser incorporado dentro de jardines, campos deportivos y/o el vivero de la misma Universidad.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se llevó a cabo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (sistema principal) de La Universidad Tecnológica de Pereira, la cual, se encuentra ubicada contigua al Jardín Botánico en el sector de la cancha de fútbol. Esta zona presenta una temperatura ambiente promedio de 22° C y unas condiciones de humedad relativa altas con valores que oscilan entre el 80 y 95%.

Inicialmente, al lodo fueron aplicados los tratamientos de secado, compostaje y lombricompostaje a los cuales se les realizó seguimiento de las variables de control: *temperatura, humedad, pH y aireación*. Posteriormente se evaluó la calidad del material obtenido basándose en criterios físicos (olor, color, tamaño del grano y presencia de material extraño); en análisis químicos (fósforo, nitrógeno orgánico, relación C/N, materia orgánica, metales pesados y micronutrientes) y análisis bacteriológicos (coliformes fecales), los cuales fueron realizados en los laboratorios de Química Ambiental, de Suelos y de Alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira, mediante procesos determinados en Standar Methods (metales espesados, micro y macro nutrientes), Walkley-Black fotométrico (% materia orgánica) y Diluciones en tubos múltiples (N.M.P. coliformes fecales), de acuerdo a la normatividad de internacional (EPA) y la nacional (NTC 5167)\*.

Finalmente, se realizó una prueba de germinación y biomasa con el fin de determinar el grado de toxicidad de los materiales y la incidencia del lodo tratado sobre el crecimiento de la planta, para ello se empleó lechuga White Boston, dado que ésta es una planta con amplia adaptación a diversos climas y suelos y que puede acusar rápidamente los efectos del ensayo [6].

Para la realización de las pruebas de germinación y biomasa se sembraron las semillas de lechugas White Boston en diferentes combinaciones de lodo tratado y

suelo: **70% lodo – 30% suelo; 30% lodo – 70% suelo y 100% lodo** y se utilizó además como control suelo proveniente del jardín botánico de la Universidad, que es un suelo representativo de los jardines y zonas verdes del campus. Los resultados de estas pruebas se analizaron por medio de los paquetes estadísticos SPSS 9.0 para Windows e Infostat.

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Características Químicas y Bacteriológicas

Los resultados obtenidos de los análisis químicos y bacteriológicos y la comparación con el valor ideal de cada parámetro arrojaron que el lombricompost es el producto más maduro o estable de los tres productos obtenidos con los tratamientos aplicados al lodo\* (Figura 1), ya que presentó un valor de relación C/N más cercano al valor ideal, que debe estar comprendido entre 15 y 18 para considerar un compost como maduro [6]\*\*.

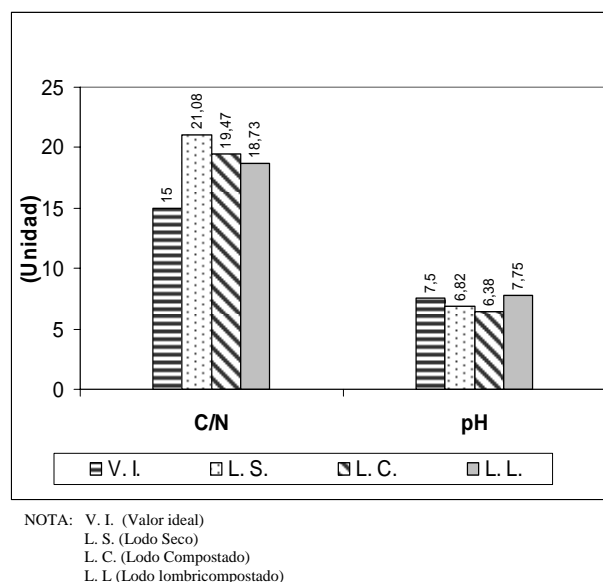


Figura 1. Relación C/N y pH de los lodos tratados.

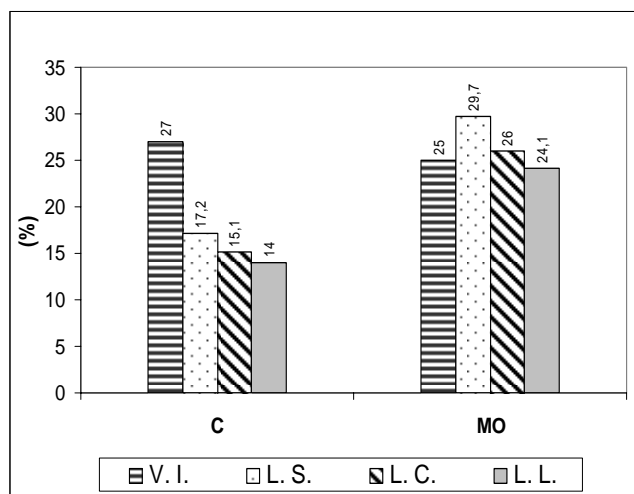
En lo que respecta al pH (Figura 1), se pudo evidenciar que el lombricompost presentó el valor más aproximado al ideal (neutro o ligeramente básico).

Por su parte, los valores de MO para un compost comercialmente aceptable establecidos en [10] obtenidos en los tres tratamientos cumplieron con los valores ideales (Figura 2), reflejando que hay “un continuo de compuestos heterogéneos con base de carbono” [7] que pueden ser aportados a los suelos, generando un impacto positivo.

\* Secado, compostaje y lombricompostaje.

\*\* Sin embargo, el autor también advierte que aún no se ha desarrollado un método totalmente satisfactorio para definir el punto en que la materia orgánica se convierte en compost.

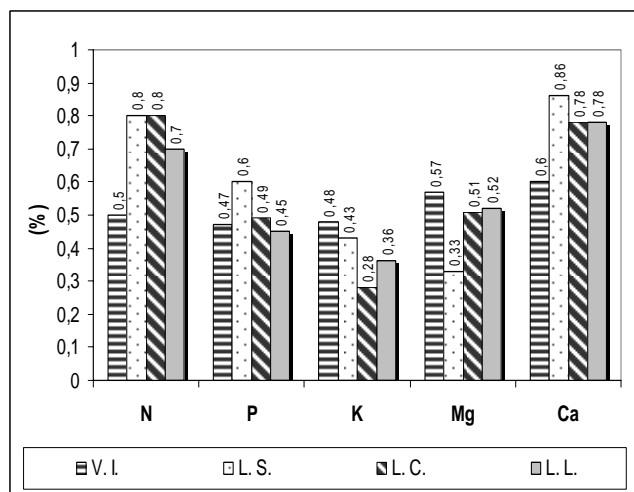
\* Para ampliar información sobre el tema referirse a [3] y [4].



NOTA: V. I. (Valor ideal)  
 L. S. (Lodo Seco)  
 L. C. (Lodo Compostado)  
 L. L. (Lodo lombricompostado)

Figura 2. C y MO de los lodos tratados.

Por otro lado, los contenidos de N, P y K fueron aceptables para los tres tratamientos (Figura 3). Estos nutrientes revistieron una importancia significativa para este análisis, ya que éstos son los nutrientes contenidos en el Triple 15, fertilizante químico que actualmente se emplea para el mantenimiento de los jardines y áreas verdes de la UTP y que se pretende sustituir o por lo menos disminuir su uso con la implementación del Programa de Manejo Integral del Lodo.

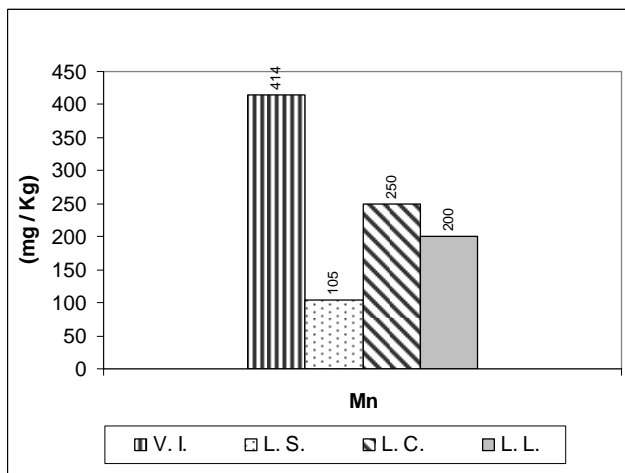


NOTA: V. I. (Valor ideal)  
 L. S. (Lodo Seco)  
 L. C. (Lodo Compostado)  
 L. L. (Lodo lombricompostado)

Figura 3. N, P, K, Mg y Ca de los lodos tratados.

Al comparar el flujo de nutrientes que se desplaza desde el lombricompost con el fertilizante químico hacia los jardines y áreas verdes de la UTP, se concluyó que el

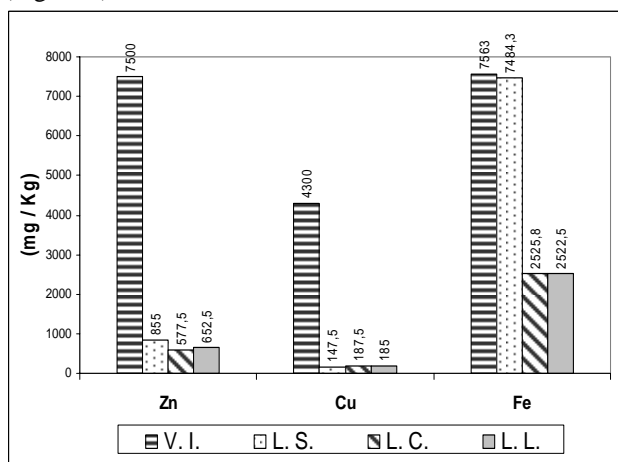
lombricompost obtenido con el tratamiento del lodo podría servir en algún momento como sustituto del fertilizante químico empleado actualmente en la UTP (Triple 15), dado que a la tasa de generación de este lombricompost, se podría aportar al suelo de los jardines y áreas verdes, casi la misma cantidad de los nutrientes aportados por el triple 15 y además se aportarían nutrientes adicionales como el Ca, Mg, Fe y Mn (Figuras 3, 4 y 5).



NOTA: V. I. (Valor ideal)  
 L. S. (Lodo Seco)  
 L. C. (Lodo Compostado)  
 L. L. (Lodo lombricompostado)

Figura 4. Mn de los lodos tratados.

Por otra parte, los metales pesados (Zn y Cu) representan uno de los mayores limitantes para la utilización de fertilizantes naturales en la agricultura [12] [5]. Para el caso de este estudio, los tres tratamientos presentaron una concentración baja de metales, lo que representa un indicador positivo de la calidad de los materiales obtenidos (Figura 5).



NOTA: V. I. (Valor ideal)  
 L. S. (Lodo Seco)  
 L. C. (Lodo Compostado)  
 L. L. (Lodo lombricompostado)

Figura 5. Zn, Cu y Fe de los lodos tratados.

Por su parte, el análisis de coliformes fecales indicó la efectividad de los tratamientos de compostaje y lombricompostaje, toda vez que uno de los propósitos de los tratamientos de desechos es reducir los patógenos capaces de causar enfermedad humana, y por esto es recomendable realizar análisis de organismos indicadores de contaminación bacteriológica como los coliformes fecales [13]. Los resultados obtenidos evidenciaron una reducción de los patógenos en los tratamientos de compostaje y lombricompostaje, toda vez que el lodo seco presentó un valor muy por encima del rango aceptable y para el caso de los tratamientos de estabilización no hay presencia de estos microorganismos (Figura 6).

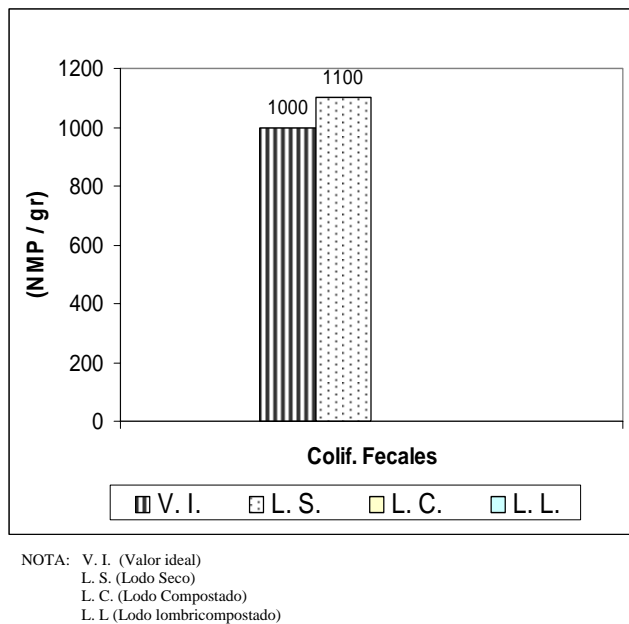


Figura 6. Coliformes Fecales de los lodos tratados.

La reducción de patógenos evidenciada en el lombricompost, sugirió que este tipo de tratamiento logra disminuir los patógenos dado que las transformaciones sufridas por los desechos al ser ingeridos por la lombriz, los cambios en el pH así como la inoculación con la flora microbiana existente en el tracto de la lombriz, provoca cambios en la población microbiana de los desechos reduciendo así la carga de patógenos [13].

Se puede afirmar entonces, que con el lombricompostaje se obtuvo un **Biosólido\* clase A**, ya que, esta clase de biosólidos es la que no posee niveles detectables de patógenos, presenta niveles bajos de metales pesados y por lo tanto, puede ser aplicado sobre el suelo. Por su parte, los **Biosólidos clase B**, que a pesar de resultar también del

\* *Biosólido* es definido como el lodo proveniente de las plantas de tratamiento de aguas residuales que posee un tratamiento suficiente de estabilización y reducción de patógenos, y que presenta una calidad adecuada para ser aplicado al suelo [11].

tratamiento de estabilización de lodos, no presenta una reducción suficiente de patógenos y posee restricciones para su aplicación sobre el suelo [3].

### 3.2. Toxicidad y producción de biomasa

El material obtenido por medio del tratamiento de secado del lodo, resultó ser “muy tóxico” (Figura 7) según el rango establecido en [10], así éste se encuentre mezclado con suelo, lo que dio suficientes argumentos para concluir que el tratamiento de secado no es suficiente para obtener la calidad apropiada que se espera de dicho lodo como mejorador de suelos .

Por su parte, los otros tratamientos (compostaje y lombricompostaje) y el suelo empleado como testigo se enmarcaron dentro del rango de los “no tóxicos”.

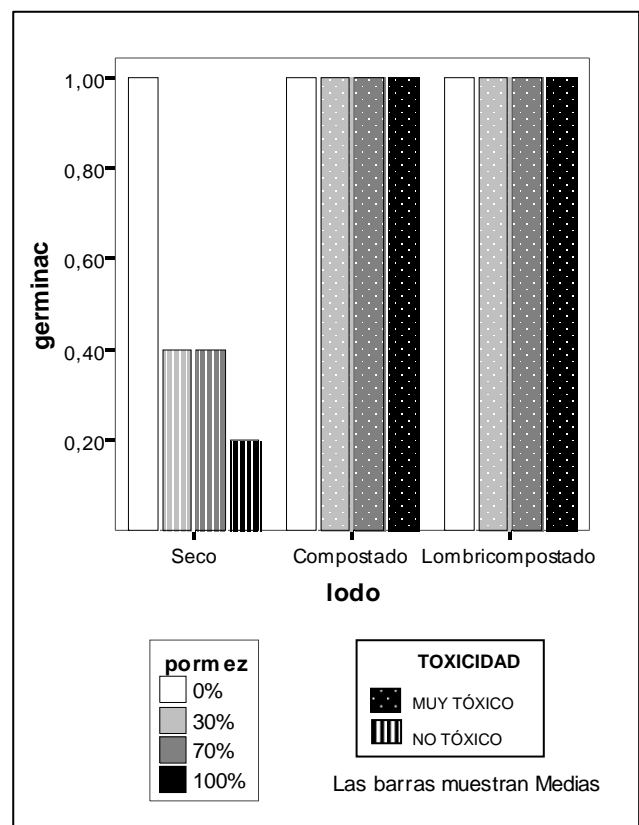


Figura 7. Nivel de toxicidad según Soto y Meléndez (2003) comparados con los resultados de germinación obtenidos con los tratamientos aplicados al lodo.

Es así como se pudo concluir que los procesos de compostaje y lombricompostaje son tratamientos que generan un producto inocuo para ser aplicado al suelo, lo que es una medida indirecta del grado de estabilidad del material.

Por otra parte, se encontró que el lombricompost fue el tratamiento que mejores resultados presentó en cuanto a la producción de biomasa (Figura 8), ya que al comparar los diferentes tratamientos con un mismo porcentaje de

mezcla entre lodo tratado – suelo, fue el lombricompost el que siempre produjo una mayor biomasa y que fue la combinación 30% lombricompost – 70% suelo, la que generó una mayor biomasa al comparar todos los resultados obtenidos con los tratamientos y porcentaje de mezcla evaluadas.

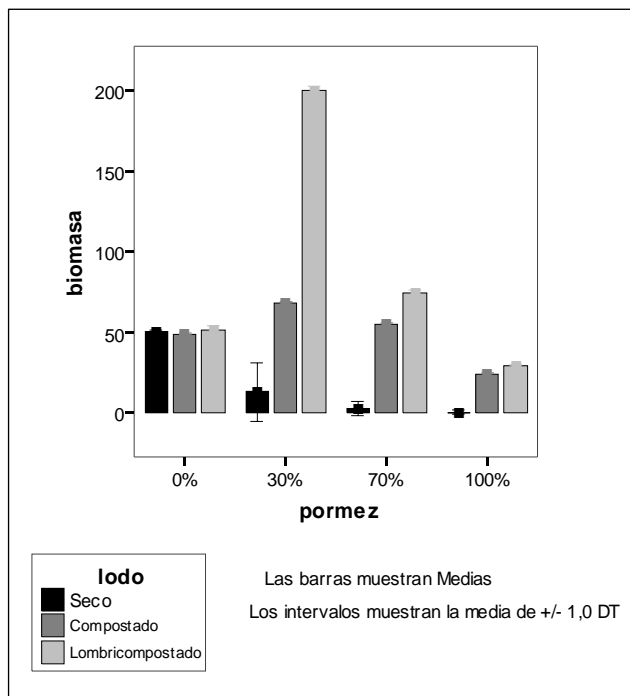


Figura 8. Media y desviación estándar de los valores de biomasa obtenidos con las diferentes combinaciones suelo y lodo tratado.

En este orden de ideas, se pudo concluir que el lombricompost es la mejor alternativa para tratar el lodo, y que de acuerdo a los análisis estadísticos, se puede afirmar que éste puede ser empleado como mejorador de las condiciones del suelo de las áreas verdes y jardines de la Universidad Tecnológica de Pereira.

### 3.3. Programa de manejo

A partir de los resultados obtenidos se establecieron los lineamientos básicos para la construcción y operación de todo el sistema de tratamiento de los lodos así como su manejo desde su generación, hasta su disposición final. Adicionalmente, se establecieron las consideraciones básicas para lograr un material de buena calidad para ser aplicado como mejorador de suelos, las tasas de aplicación del producto y las labores necesarias para manejar apropiadamente el lodo desde su generación hasta su disposición final. Así mismo, se pudieron establecer los posibles problemas que se podrían presentar dentro del proceso y cómo solucionarlos, todo ello se recopiló dentro del *manual de tratamiento de lodos mediante la técnica de lombricompostaje*. Adicionalmente, dentro del programa de manejo, se realizó un análisis presupuestal de

alternativas, un análisis de impactos ambientales, se trazaron unos indicadores de gestión cualitativos y cuantitativos, un plan de contingencia y la manera de fortalecer el programa a partir de unas recomendaciones obtenidas por medio de una matriz DOFA.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El lodo proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Tecnológica de Pereira puede ser manejado en la misma Universidad, desde su generación hasta su disposición final, generándose impactos ambientales positivos.

Durante los procesos de compostaje y lombricompostaje se evidenció la destrucción de los microorganismos patógenos, representados por el grupo de los coliformes fecales, lo que aportó argumentación suficiente para afirmar que el tratamiento del lodo se desarrolló apropiadamente produciéndose un Biosólido Clase A.

Los análisis de los resultados generados con las diferentes pruebas que se realizaron a los productos obtenidos con los tratamientos de secado, compostaje y lombricompostaje, aportaron la información suficiente acerca de la calidad de dichos productos, y permitieron concluir que existen diferencias estadísticamente significativas entre dichos tratamientos y que el lombricompostaje resultó ser el tratamiento que permitió obtener un mejorador de suelos de buena calidad de acuerdo a sus características físicas y químicas, a su alta estabilidad, baja toxicidad, ausencia de microorganismos patógenos y producción de biomasa.

En Colombia no se ha desarrollado una normatividad que contemple la forma en que se deben llevar a cabo los procesos de compostaje y lombricompostaje y tampoco de los parámetros de calidad de los productos obtenidos con dichos procesos, lo que obliga a tener como referente para las investigaciones locales la normatividad que ha sido desarrollada al respecto por otros países, lo cual no es lo ideal ya que las condiciones ambientales varían de un lugar a otro.

Se hace necesario realizar estudios puntuales en nuestro país sobre el tratamiento de los lodos mediante la estabilización biológica (compostaje y lombricompostaje), teniendo en cuenta las diferentes zonas y condiciones ambientales presentes, que permitan establecer un tratamiento acorde a las necesidades y capacidades de cada sistema en particular y el potencial de tratamiento de estos residuos.

Para llevar a cabo el Programa de Manejo Integral de los Lodos, se debe aprovechar el interés y la gestión que se pueda desarrollar a través de los grupos de estudio de Residuos Sólidos y de Investigación de Agua y Saneamiento Básico, de la Facultad de Ciencias Ambientales.

Se recomienda que el Programa de manejo integral de los lodos sea articulado con el programa de manejo de los residuos orgánicos provenientes de las cafeterías de la UTP, liderado actualmente por el grupo de estudio de Residuos Sólidos, con el fin de realizar nuevos aportes que permitan determinar la calidad del producto que resultaría del tratamiento conjunto de estos dos tipos de residuo.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] CAMPBELL, H. W. *Sludge Management : Future Issues and Trends*. En: Water Science and Technology. Vol. 41 No. 8., 2000.
- [2] CORNELL WASTE MANAGEMENT INSTITUTE. *Fact Sheet 6: The Beneficial Uses of Biosolids/Sludge* [online]. New York: Cornell Waste Management Institute, 1996. Retrieved December 13, 2000. [Cited: 25 October 2002]. Available from the World Wide Web: <<http://cwmi.css.cornell.edu/Sludge/Beneficial.pdf>>.
- [3] ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (Estados Unidos). *Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge*. En: Part 503 Rule. Washington: EPA, 1993.
- [4] ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 5167. *Productos para la Industria Agrícola: Materiales Orgánicos usados como Fertilizantes y Acondicionadores del Suelo*. Bogotá. 2003.
- [5] JOHNSON, Carla and VANCE, George. *Long term land application of biosolids: soil and plant trace element compositions*. University of Wyoming: Cooperative Extension Service. College of Agriculture, 1998.
- [6] LÓPEZ MACÍAS, Piedad. *Compostaje de Residuos orgánicos*. Cali: Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, 2002. p. 89.
- [7] MELÉNDEZ, Gloria. *Residuos orgánicos y materia orgánica del suelo*. En: Memorias Taller de Abonos Orgánicos. Costa Rica: CATIE, GTZ, UCR, CANIAN, 2003.
- [8] OLIVEIRA DE SOUZA, Wilson José; WANDERLEY, José de Melo e MARQUES, Marcos Omir. *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.
- [9] ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000.
- [10] SOTO, Gabriela y MELENDEZ, Gloria. *Compost: Abono o enmienda? Cómo medir la calidad de un compost?* En: Memorias Taller de Abonos Orgánicos. Costa Rica: CATIE, GTZ, UCR, CANIAN, 2003.
- [11] STEHOUWER, Richard. *Nontraditional Soil Amendments*. En: The Agronomy Guide. Part 1, section 9. Department of crop and Soil Sciencies (Estados Unidos), 2002.
- [12] THE NATIONAL ACADEMIES (Estados Unidos). *Biosolids applied to land: advancing standards and practices* [online]. Washington: Broad on Environmental Studies and Toxicology, 2002. [Cited: 2 November 2002]. Available from the World Wide Web: <[http://dels.nas.edu/rpt\\_briefs/biosolids\\_final.pdf](http://dels.nas.edu/rpt_briefs/biosolids_final.pdf)>.
- [13] URIBE LORÍO, Lidieth. *Inocuidad de Abonos orgánicos*. En: Memorias Taller de Abonos Orgánicos. Costa Rica: CATIE, GTZ, UCR, CANIAN, 2003.
- [14] WATER ENVIRONMENT FEDERATION (Estados Unidos). *Biosolids Success Stories* [online]. WEF, 2000. [Cited: 15 february 2003]. Available from the World Wide Web: <<http://www.biosolids.org/docs/source/contents.pdf>>.