

Manejo de biosólidos y su posible aplicación al suelo, caso Colombia y Uruguay

Management of biosolids and its possible application to the soil, case Colombia and Uruguay

Gestão de bioossólido e sua possível aplicação ao solo, caso Colômbia e Uruguai

Alexander Rodrigo Melo Cerón¹, Alejandra Rodríguez González²
& Juan Manuel González Guzmán³

¹Estudiante Programa de Ingeniería Civil, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá – Colombia.

²Bióloga. ³Ingeniero civil, Magister en Economía.

^{1,2,3}Grupo PIT, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá – Colombia

^{1,2,3}grupopit.ambiental@unimilitar.edu.co.

Producto Asociado al Proyecto de Investigación INV ING 2127
de la Vicerrectoría de Investigaciones de la UMNG

Resumen

En este artículo se realiza un análisis del manejo de los biosólidos y su posible aplicación en los suelos en países como Colombia y Uruguay a partir de una revisión bibliográfica. Se pretende identificar las diferentes alternativas para la estabilización de los lodos residuales para obtener biosólidos, los cuales son caracterizados de acuerdo con las normas de cada país para su aplicación en usos como remediación y estabilización de suelos, así como en la agricultura, sin que representen peligros para los ecosistemas y el ser humano.

Palabras Clave: lodos, caracterización, estabilización, agricultura,

Abstract

This article present an analysis of the management of biosolids and their possible application in the soils in countries like Colombia and Uruguay based on a bibliographical review. It is intended to identify the different alternatives for the stabilization of the sludge, obtaining biosolids, which are characterized

according to the norms of each country for its application in activities such as remediation and stabilization of soils, as well as in the agriculture, without representing any danger to ecosystems and human being.

Key-words: sludge, characterization, stabilization, agriculture.

Resumo

Neste artigo realiza-se uma análise da gestão dos biosólidos e sua possível aplicação no solo em Colômbia e Uruguai a partir da revisão bibliográfica. Pretende-se identificar as diferentes alternativas para a estabilização dos lodos residuais para obter biosólidos, caracterizados em concordância com as normativas de cada país para sua aplicação em remediação e estabilização de solos, na agricultura, sem apresentar perigos nos ecossistemas e as pessoas.

Palavras-chave: lodos, caracterização, estabilização, agricultura.

Introducción

De acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (1992), el Cambio Climático es un “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables”. El cambio global genera impactos dentro de las cuales se encuentran cambios en las condiciones para la producción de alimentos, derretimiento del hielo de los polos y como consecuencia aumento en el nivel del mar, erosión costera, pérdida de seguridad alimentaria, polarización del clima con tormentas e inundaciones seguidas por intensas sequías y olas de calor, aumento en los índices de mortalidad debido a inundaciones y derrumbes.

A partir de esta situación se han planteado objetivos ambientales a nivel internacional, con lo cual los diferentes países han implementado leyes internas en procura de lograr objetivos ambientales que favorezca el medio ambiente. Colombia presenta trabajos puntuales en donde las diferentes Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales - PTAR del país, vienen realizando estudios en procura de lograr los mejores resultados para la estabilización de los lodos residuales, llevándolos a biosólidos cumpliendo con las reglamentaciones establecidas. Por su parte, Uruguay, presenta leyes ambientales generales, pero no contempla normatividad puntual que regule el tratamiento de biosólidos y su aplicación al suelo; por lo pronto, solo regula las plantas de tratamiento de aguas residuales domiciliarias –PTARD. El objetivo de este artículo, es revisar y analizar manejo de biosólidos

y su posible aplicación al suelo en los países de Colombia y Uruguay.

Los Biosólidos

Los cambios del ecosistema por las actividades antrópicas se ven reflejadas en lo que se ha denominado cambio climático y por lo tanto, con el propósito de disminuir el impacto de estas actividades y procurando que la temperatura del planeta no se incremente, diferentes países han iniciado la implementación de procesos sostenibles como el sistema de saneamiento del agua a través las Plantas de Tratamiento de Agua Residual (PTAR). A este respecto, Trejos & Agudelo (2012), (citando a Conil, 2000) establecen que estas son unidades de transformación de los efluentes industriales y domésticos, o sea unidades de transformación de la materia orgánica, y también afirman que la calidad del agua se mejora al eliminar los contaminantes, que estos se convierten en lodos, que son un concentrado de los compuestos más dañinos, resultantes de las aguas tratadas Guzmán *et al.* (2004). Por su parte, Torres *et al.*, (2008) y Almayá (2010), consideran que la depuración de aguas residuales genera lodos y biosólidos según el nivel de tratamiento, Mantilla (2016). Estiman que los biosólidos pueden ser empleados benéficamente después de ser sometidos a procesos de estabilización (Metcalf & Eddy, 2003). Complementando, dice Hurtado (2015). Que es posible confundir los lodos y los biosólidos y determina que su diferencia radica en que el biosólido fue sometido a un tratamiento o estabilización, que permite reducir el nivel de peligrosidad; se expone entonces la Tabla 1 de comparación de parámetros entre lodos y biosólidos.

Tabla 1. Comparación de parámetros entre lodos y biosólidos.

| Parámetro | Unidad | Lodo | Biosólido |
|-------------------|---------------------------------------|------------|-----------|
| pH | Unidad | 5-8 | 6.5-7.5 |
| Alcalinidad | m/g de CaCO ₃ | 500-1500 | 2500-3500 |
| Nitrógeno | % de ST | 1.5 – 4 | 1.6-6 |
| Fósforo | P ₂ O ₃ % de ST | 0.8-2.8 | 1.5-4 |
| Aceites y Grasas | % de ST | 6-30 | 5-20 |
| Proteínas | % de ST | 20-30 | 15-20 |
| Ácidos Orgánicos | Mg/l Hac | 6800-10000 | 2700-6800 |
| Sólidos Totales | % | 2-8 | 6-12 |
| Sólidos volátiles | % de ST | 60-80 | 30-60 |

Fuente. Crites *et al.* (1998)

Además estima que, los biosólidos presentan un alto valor nutricional y por esta razón pueden ser usados para la agricultura y la jardinería; además considera que su contenido de macro y micronutrientes promueven el crecimiento de las plantas y cultivos. Oropeza (2006), quién establece que de acuerdo con la norma oficial Mexicana NOM-052-SEMAR-NAT-1993 los lodos resultantes de los procesos en las PTAR debe someterse a un análisis que determinar sus características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad y biológico-infecciosas o análisis CRETIB, con el cual se pueda precisar si el lodo resultante es peligroso o no peligroso.

Para destinar estos biosólidos a cultivos, es necesario que se tenga la certeza que dichos biosólidos cumplen con parámetros de sanidad establecidos por las normas de cada país para evitar repercusiones en la salud, como, en el caso colombiano, el decreto 1287 de 2014.

En cuanto al tratamiento de lodos, Vera *et al.* (sf) y Oropeza (2006) concuerdan en que las técnicas más utilizadas son la incineración, la digestión anaerobia, la digestión alcalina de lodos y el tratamiento químico; Vélez (2007), coincide con estos autores en cuanto a la incineración y agrega el vertido controlado. En cuanto a la disposición final se recurre

a varias alternativas como la aplicación en terrenos como rellenos, aplicación de suelos agrícolas y en este sentido, Guzmán & Campos (2001), manifiesta que el uso de este material en campos como la agricultura, recuperación de canteras, reforestación y producción de materiales de construcción, entre otros, son alternativas a su disposición final.

Biosólidos y su manejo en Colombia

De acuerdo con Reina & Suan (2016) en Colombia la entrada en operación de las plantas de tratamiento en las grandes ciudades ha generado un incremento en la producción de biosólidos, en sus inicios, las PTAR, presentaron problemas por la generación de sus lodos y con ello problemas ambientales asociados a su disposición final y/o tratamiento Bolívar *et al.* (2015). A lo largo del tiempo se presenta una amplia legislación en temas ambientales como se ve en la Tabla 1, para los fines pertinentes a los biosólidos, la norma más actualizada que rige este tema es el Decreto 1287 del 10 de Julio de 2014 como se ve en la Tabla 2, y es en el Artículo 8 del citado Decreto del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, que se establecen las alternativas de uso de los biosólidos de acuerdo con la categoría y clasificación A, B. Los de categoría A, se pueden destinar para zonas verdes, separadores viales, campos de golf y lotes vacíos; como producto para uso en jardines,

antejardines, patios, plantas ornamentales y arborización; en agricultura. La categoría B pueden ser destinados para la agricultura y recuperación de suelos degradados, como insumo en procesos de elaboración de abonos, fertilizantes, productos acondicionadores para suelos a través de tratamientos físicos, químicos y biológicos, tratamiento de emisiones y vertimientos, soporte físico y sustrato biológico en sistemas de filtración. absorción y adsorción, como insumo en la fabricación de materiales de construcción, estabilización de taludes de proyectos de la red vial nacional, red vial secundaria

o terciaria, rellenos sanitarios como cobertura diaria, cobertura final de cierre y de clausura de plataformas y en actividades de re-vegetalización y paisajismo y valorización energética. También se presentan restricciones, siendo las más relevantes la prohibición de su utilización en playas, páramos y cuerpos de agua, suelos saturados, en zonas aledañas a fuentes de captación subterráneas, en suelos con alto riesgo de inundación; en los suelos rurales a menos de 100 m de viviendas aisladas; tampoco se pueden utilizar en suelos donde se encuentren especies de fauna y flora amenazados.

Tabla 2. Normatividad de los procesos de tratamiento de biosólidos de PTAR en Colombia.

| | |
|---------------------------------|---|
| Decreto 2811 de 1974 | Código de Recursos Naturales. Art. 34 al 38 se regula lo relacionado con el manejo de residuos sólidos su procesamiento, la obligación de los municipios a organizar la recolección, transporte y disposición final de basuras y establece la posibilidad de exigir el manejo de estos residuos a quien los produce. |
| Decreto 1594 del 1984 | Trata sobre vertimientos sobre las fuentes de Agua. |
| Resolución 2309 de 1986 | Regula lo relacionado con residuos especiales, entendido por tales los patógenos, tóxicos, combustibles inflamables, radioactivos o volatilizables, así como lo relacionado con el manejo de los empaques y envases que los contienen. |
| Ley 99 de 1993 | Art.1-4.Fundamentos de la política ambiental, crea Ministerio ambiente, y SINA |
| | Art.5 Funciones del Ministerio (numeral 2,10,11,14,25,32 respecto a residuos sólidos) |
| | Art.31 funciones de las corporaciones (numeral 10,12 respecto a residuos sólidos) |
| Ley 142 de 1994 | Régimen de servicios Públicos y Domiciliarios. Art. 5 Define competencia de los municipios en cuanto a la prestación de servicios públicos |
| Decreto 2695 de 2000 | Establece las normas y artículos sobre la gestión integral de residuos sólidos. |
| Resolución 1096 de 2000 | Sobre Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico |
| Decreto 1713 de 2002 | Define la terminología correspondiente al manejo de residuos sólidos. Establece normas orientadas a reglamentar el servicio público de aseo en el marco de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Ordinarios, en lo correspondiente a sus componentes, niveles, clases, modalidades y calidad. Además, asigna a los municipios y departamentos la responsabilidad en el manejo de los residuos sólidos y la obligación de formular e implementar planes de gestión integral de residuos sólidos. |
| Resolución 1045 del 2003 | Establece la guía para la elaboración de los planes de gestión Integral de Residuos Sólidos PGIRS. |
| Decreto 1287 de 2014 | Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales |
| Resolución 1433 de 2004 | Por la cual se reglamenta el artículo 12 del Decreto 3100 de 2003, sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV, y se adoptan otras determinaciones. |
| Resolución 2145 de 2005 | Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 1433 de 2004 sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV. |
| Decreto 1076 de 2015 | Ambiente y desarrollo Sostenible. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible |

Aplicación al Suelo

Las PTAR de Colombia generan aproximadamente 274 t/día de biosólidos, (Bedoya *et al.*, 2013) y Vélez (2007) determinan que el 97% de esta producción es generada por plantas como, El Salitre (Bogotá), Cañaveralejo (Cali) y San Fernando (Itagüí), que, en el caso particular de Medellín, en la PTAR San Fernando, se generan cerca de 70 t/día de biosólidos, como producto del tratamiento de 1.100 L/s de aguas residuales. A este respecto Empresas Públicas de Medellín E.S.P explora alternativas en convenio con los entes académicos de la ciudad, con miras a un mejor uso de sus biosólidos y dichos ensayos mostraron que estos biosólidos pueden ser utilizados en protección de taludes, proyectos forestales, recuperación de suelos de minería, explotación de canteras y usos agrícolas y pecuarios (Vélez, 2007). Considérese en este mismo sentido, el uso de los biosólidos de las PTAR colombianas en sus suelos, que según Dágner (2003) y López (2015), han permitido reducir los requerimientos de suelo orgánico para la cobertura final de los sitios de disposición final de residuos sólidos, “de igual manera, han permitido recuperar suelos degradados por actividades antrópicas, hasta el primer semestre de 2003 se habían cubierto más de 20 ha con mezclas de biosólido-suelo para cobertura final y recuperado más de 22 ha de suelos degradados”.

También se evaluó el posible aprovechamiento de tres tipos de biosólidos (Rodríguez, 2008). procedentes del manejo de los lodos producidos en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo, Cali, Colombia, para el cultivo y producción de rábano; en el cultivo midieron el número de hojas de las plantas y la producción de biomasa y en los rábanos el peso final y el contenido de coliformes fecales, *Escherichia coli*, y huevos de helmintos al momento de la cosecha; sus resultados mostraron que la aplicación de biosólidos mejoró entre 17% y 150% los pesos de la planta y del rábano en relación con el tratamiento control; no obstante, no se encontraron diferencias ($P > 0.05$) en el peso del rábano entre tratamientos. Afirman que aunque la aplicación de los biosólidos no influyó en la concentración de coliformes fecales ni de *E. coli* en el rábano al momento de la cosecha, la aplicación de

estos aumentó el contenido de huevos de helmintos viables, lo que presenta un riesgo elevado para la salud humana, (Rincón, 2016), hace necesario implementar prácticas de higienización antes de su uso en cultivos. Concluyeron que los biosólidos producidos en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo, Cali, Colombia, no presentaron restricciones físico-químicas ni microbiológicas para el uso en cultivos agrícolas, con excepción del biosólido deshidratado, que presentó valores de coliformes fecales de 2.08×10^6 UFC/g y de huevos de helmintos de 9 HH/g que limitan su uso en la agricultura; la aplicación de los biosólidos en el suelo mejoró hasta 150% el peso de la parte aérea de la planta y del rábano con relación al tratamiento control; la aplicación del biosólido deshidratado aumentó el contenido de huevos de helmintos en el rábano, lo cual es un alto riesgo para la salud humana y confirma la necesidad de aplicar prácticas de higienización de los biosólidos antes de su aplicación en agricultura, Silva *et al.* (2013).

Biosólidos y su manejo en Uruguay

La Dirección Nacional de Agua y Saneamiento -DINASA, y el Centro de Información Oficial, encargado de difundir y dar a conocer la normativa jurídica en Uruguay, en colaboración con la Dirección Nacional de Medio Ambiente y la Red Uruguaya de ONG ambientalistas, diseñaron una herramienta telemática para la búsqueda de leyes, decretos, resoluciones, normas internacionales y otros documentos legales vinculados con temas ambientales -IMPO- donde fue posible identificar la legislación que se muestra en la Tabla 3, sin embargo no fue posible encontrar una norma específica que sea par al Decreto 1287 de 2014 colombiano. En Uruguay el incremento al programa de construcción de nuevas plantas en diferentes localidades del país ha mejorado la calidad de los vertidos, pero surge el problema del manejo y disposición final de los lodos a causa de la falta de normativa y poca experiencia en el tema a nivel nacional. Gilsanz *et al.* (2012); igualmente, experimentaron con los biosólidos como enmienda orgánica en cultivos como la lechuga cuyo propósito era evaluar el potencial agronómico de los lodos obtenidos en las plantas de tratamiento de líquidos residuales domésticos -PTARD- para su aplicación; dentro de

sus conclusiones consideran que las aplicaciones de los lodos frescos o compostados no afectaron negativamente las propiedades químicas del suelo, esto estaría indicando que la aplicación de lodos al suelo como fuente de materia orgánica es una opción posible, sin embargo, la utilización repetida podría llevar a la acumulación de P en el suelo y que

la seguridad en el empleo de los biosólidos como fuente de materia orgánica para la producción de alimentos no solo dependerá de su calidad inicial y de su manejo, sino también de un correcto manejo de la cosecha y de la desinfección y lavado postcosecha y preconsumo de los alimentos (Gilsanz *et al.*, 2012).

Tabla 3. Normatividad de los procesos de tratamiento de biosólidos de PTARD en Uruguay.

| NORMA | DESCRIPCION |
|-----------------------------------|---|
| Ley 17283 del 2000 | <p>(Ley General de Protección del Medio Ambiente. artículo 21 dispone “es de interés general la protección del ambiente contra toda afectación que pudiera derivarse del manejo y disposición de los residuos cualquiera sea su tipo. Disposición final de basuras y establece la posibilidad de exigir el manejo de estos residuos a quien los produce.</p> <p>El Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente -en acuerdo con los Gobiernos Departamentales, en lo que corresponda y de conformidad con el artículo 8º de esta ley dictará las providencias y aplicará las medidas necesarias para regular la generación, recolección, transporte, almacenamiento, comercialización, tratamiento y disposición final de los residuos</p> |
| Ley 16.465 de 1994 | regula la evaluación de impacto ambiental |
| Decreto 349 de 2005 | Aprueba el Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental y Autorizaciones Ambientales. |
| Decreto 253 del 1979 | Modifica algunos aspectos de la ley N° 14.859 del 15 de diciembre de 1978 (Código de Aguas) en el artículo 12, numeral d, “sean residuos provenientes de la depuración de líquidos residuales cuya disposición final deberá ser estudiada en los proyectos respectivos de manera que no cause perjuicios”. |
| Proyecto PNUD/URU/91/008 | sobre “Clasificación y Reciclo de Residuos Sólidos”, generaron el informe correspondiente a la 2a. Etapa, Asistencia Preparatoria, Setiembre 1996, base para los datos locales sobre los ciclos y mercados de los materiales reciclables |
| Decreto 253 de 1979 | Modificaciones que establece normas de control de aguas |
| Decreto 497 de 88 | Regula la descarga de barométricas. |
| Resolución IMM 117 de 1997 | Para la Recolección, tratamiento y disposición sanitaria de lodos sépticos (Solo aplicable al Departamento de Montevideo), establece criterios sobre la disposición final de lodos de origen industrial. |
| Resolución 162 de 1997 | Modifica criterios sobre lodos no peligrosos aceptables. |

Possible Aplicación al Suelo

Martínez de la Cerda (2003), considera que los biosólidos son utilizados ampliamente por sus bondades, lo que hace que su efecto benéfico como fertilizante orgánico se prolongue por varios ciclos

de siembra con aplicación única, igualando o incrementado el rendimiento de los cultivos comparado con fertilizantes inorgánicos, también considera el mejoramiento del suelo mediante el incremento de materia orgánica, capacidad de intercambio

catiónico, retención de humedad y población de microorganismos. Outwater, 1994, determina que los lodos se utilizan principalmente en agricultura de granos básicos y forrajes, sin embargo, también se utiliza en recuperación de suelos deteriorados, bosques, campos de golf, parques y camellones. Castrejón *et al.* (2000), afirman, la aplicación de biosólidos en el suelo es frecuente en silvicultura -plantaciones forestales o viveros-, recuperación de suelos degradados, adecuación de zonas verdes, abono o enmienda orgánica y como biorremediación de suelos contaminados; consideran que la potencialidad de uso depende del tratamiento previo y del tipo de cultivo donde se apliquen y que los cultivos sobre el suelo y de consumo directo sin procesamiento previo presentan las mayores restricciones por el riesgo de presencia de patógenos.

En la Tabla 4 se puede observar los valores máximos permisibles de metales para los biosólidos en

cada nación comparados con los valores de la EPA, en Uruguay como se mencionó anteriormente no se encuentra una normativa para este fin. Potisek *et al.* (2010), realizaron una investigación sobre la aplicación de biosólidos al suelo y su efecto sobre contenido de materia orgánica y nutrimentos con suelo de textura franco-arcillo-limosa. El objetivo de dicha investigación fue evaluar el contenido de materia orgánica, macro y micronutrientes en el suelo, después de la aplicación de biosólidos, así como su distribución en el perfil del suelo. Sus conclusiones afirman que la aplicación de biosólidos incrementó la materia orgánica en el estrato superficial del suelo, a pesar que no se observaron tendencias significativas en la distribución de la materia orgánica en el perfil del suelo, los biosólidos incrementaron el contenido de nitratos y fósforo aprovechable en el suelo hasta una profundidad de 35 cm, los microelementos también se incrementaron en todo el perfil de suelo.

Tabla 4. Comparación de valores máximos permisibles de metales en los biosólidos

| Variable | unidad de medida | URUGUAY | COLOMBIA | | US EPA |
|----------------|--------------------------------|--|--|----------|--|
| | | Biosólidos valores Máximos permisibles | Categoría Biosólidos valores Máximos permisibles | | Biosólidos valores Máximos permisibles |
| | | | A | B | |
| Arsénico (As) | mg/kg de biosólido (base seca) | - | 20 | 40 | 41 |
| Cadmio (Cd) | | - | 8 | 40 | 39 |
| Cobre (Cu) | | - | 1.000,00 | 1.750,00 | 1.500,00 |
| Cromo (Cr) | | - | 1.000,00 | 1.500,00 | 1.200,00 |
| Mercurio (Hg) | | - | 10 | 20 | 17 |
| Molibdeno (Mb) | | - | 18 | 75 | 18 |
| Níquel (Ni) | | - | 80 | 420 | 420 |
| Plomo (Pb) | | - | 300 | 400 | 300 |
| Selenio (Se) | | - | 36 | 100 | 36 |
| Zinc (Zn) | | - | 2.000,00 | 2.800,00 | 2.800,00 |

Fuente: Decreto 1287; 40 CFR parte 503.

Conclusiones y recomendaciones

Se evidencia que las políticas internacionales sobre el medio ambiente adoptadas por los países en sus legislaciones internas, se traducen en procesos que pretenden mitigar el calentamiento global, con el propósito de evitar que el clima mundial se incremente en 2°C al año 2050. Tanto Colombia como Uruguay son países que han adoptado estas políticas, pero de los dos, es Colombia el que tiene mayores estudios en cuanto a plantas de tratamiento de aguas residuales PTAR y a partir de sus lodos, investigaciones tendientes al saneamiento integral, es decir saneamiento de aguas y saneamiento de sus lodos, los cuales somete a otros procesos para que adquieran las caracterizaciones reglamentarias y disponerlos en los suelos sin que éstos perjudiquen los ecosistemas y la vida misma del ser humano.

Los biosólidos de las PTAR de Colombia han permitido reducir los requerimientos de suelo orgánico para la cobertura final de los sitios de disposición final de residuos sólidos de las principales ciudades del país; también han permitido recuperar suelos degradados por actividades antrópicas, hasta el primer semestre de 2003 se habían cubierto más de 20 ha con mezclas de biosólido-suelo para cobertura final y recuperado más de 22 ha de suelos degradados.

Uruguay, a pesar de aceptar las políticas ambientales mundiales y presentar dentro de su legislación interna, reglamentación ambiental en concordancia con éstas políticas, no presentan normas que caracterizan los biosólidos y vienen implementando sus Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domiciliarias -PTARD-, pero no se registran estudios tendientes al correcto saneamiento de los lodos residuales y convertirlos en biosólidos estabilizados para realizar una disposición final en beneficio de los suelos, sin riesgos para los ecosistemas y la vida humana.

Frente a la problemática de los lodos residuales generados por el saneamiento de aguas residuales domésticas e industriales, es pertinente agilizar las investigaciones que generen desarrollos de

alternativas que permitan el aprovechamiento del 100% de estos residuos, toda vez que es preciso que el saneamiento sea integral, es decir, que no es correcto limpiar el agua y con los residuos contaminar la tierra, así entonces, esto no tendría sentido.

En aras de lograr los mejores resultados, mayor eficiencia y eficacia en el aprovechamiento de los biosólidos y siendo el saneamiento de las aguas y el tratamiento de los lodos una política pública, sería pertinente la unión de todas las PTAR del país, en donde se incluyan tanto las grandes ciudades que cuentan con plantas de gran envergadura, así como los municipios pequeños que aún no cuentan con sistemas de saneamiento, con el propósito de unir esfuerzos, replicar en todos ellos las mejores alternativas logradas en los procesos de estabilización, creando centros especializados conjuntos. En este mismo sentido, replicar el modelo de unión local a nivel internacional con los países vecinos y establecer modelos de cooperación, lo que permitirá que nuestro país exporte conocimiento, se brinde apoyo técnico a otros países que se encuentran atrasados en los procesos de saneamiento integral de las aguas y sus lodos, lo anterior agilizaría los procesos en todos los países y el gran beneficiado sería el medio ambiente para el cual, ya afirmamos que no tiene fronteras y el beneficio que se logre será para toda la humanidad.

Literatura citada

1. Almaya, S. (2010). Transformación de sólidos provenientes de lodos generados en el sistema de alcantarillado de Bogotá mediante lombriz californiana. Facultad de Ingeniería Ambiental Control de Sólidos. Universidad del Bosque.
2. Bedoya, U. K., Acevedo, J. M., Peláez, C. A. & Agudelo, S. (2013). Caracterización de biosólidos generados en la planta de tratamiento de agua residual San Fernando, Itagüí (Antioquia, Colombia). *Rev. salud pública*. 15 (5): 778-790, 2013. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v15n5/v15n5a13.pdf>
3. Bolívar, N. A., Betancur J. F. & Rodríguez, N. (2015). Estudio evaluativo del manejo de biosólidos para el caso de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) El Salitre. Facultad de Ingeniería. Universidad Cooperativa de Colombia. Recuperado de: http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/2280/1/Bolivar_Melendez_Nydiaana_Astrid_2015.pdf

4. Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre El Cambio Climático. Naciones Unidas. (1992). Recuperado de: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
5. Castrejón, J., Bedoya D., & Torres P (2000). Evaluación del potencial de aplicación de biosólidos higienizados en el cultivo de rábano. *Acta Agronómica*, 62 (2), 155-164. Recuperado de http://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/30010/43671.
6. Crites. (1998). *Natural Wastewater Treatment Systems, Second Edition*. Recuperado de: https://books.google.com.co/books?id=m2rSBQAAQBAJ&pg=PA411&lpg=PA411&dq=Crites+et+al,+1998&source=bl&ots=qEy6ZgY0GC&sig=Eyo9jfgOfCQtZi-VnBSYt_Zty1A&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKewjK4rKf6JXUAhVK6yYKHSwVBEMQ6AEIJzAA#v=onepage&q=Crites%20et%20al%2C%201998&f=false
7. Dáguer. (2003) *Gestión de Biosólidos de la PTAR El Salitre*. Pontificia Universidad Javeriana, Curso Internacional de restauración Ecológica De Canteras y Uso de Biosólidos, 28 de Julio – 2 de Agosto, Bogotá
8. EPA, Environmental Protection Agency. (2000). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: Humedales de flujo subsuperficial , EPA 832-F00-023, Washington D.C (USA).
9. Gilsanz, J. C., Leoni, C., Aranda, S. & Schelotto, F. (2012). Uso Agrícola de los Lodos urbanos. Sustentabilidad Ambiental. *Revista INIA*. Recuperado de: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2086/1/18429300612191846.pdf>
10. Guzmán Carolina & Campos Claudia (2001). Indicadores de contaminación fecal en biosólidos aplicados en agricultura. Pontificia Universidad Javeriana. *Revista de la Facultad de Ciencias*. Vol. 9, N° 1: 59-67. Recuperado de: <http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/scientarium/article/viewFile/4923/3798>
11. Guzmán, C., Peláez, D., Blanca L, Rodríguez., G., Acero, F. & Nava, G. (2004). Presencia de virus entéricos en muestras de agua para el consumo humano en Colombia: desafíos de los sistemas de abastecimiento. Recuperado de: <http://www.revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/2987/3257>.
12. Hurtado, A. M. (2015). Proceso de transformación de biosólidos de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) con vermicompostaje y su aplicación en germinación, caso países europeos: España, Reino Unido, Francia, Portugal, Italia. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá D.C. Recuperado de: <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/7524/1/TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
13. López, A. C. (2015) *Manejo de Biosólidos a Raíz de la Nueva Normatividad en la Ptar Río Frío, Bucaramanga (Santander)*. Facultad de Ingeniería Especialización en Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá D.C. Disponible en: <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/6296/1/Trabajo%20final%20UMNG.pdf>
14. Mantilla, G. (2016). Alternativas en el manejo integral de lodos en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. Recuperado de: http://www.convencionaneas.com/doc/Presentacion/06_Alternativas_en_PTARS/06_Alternativas_en_PTARS.pdf
15. Martínez De La Cerda, J. (2003). Efecto del lodo residual en el rendimiento y concentración de metales pesados de hortalizas y granos básicos. Facultad De Agronomía. Subdirección De Estudios De Posgrado. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. Recuperado de: <http://eprints.uanl.mx/5905/1/1020150704.PDF>.
16. Metcalf & Eddy. (2003). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. 3ª edición, Editorial McGraw-Hill.
17. Ministerio De Vivienda, Ciudad Y Territorio. Decreto No. 1287 de Julio 19 de 2014 "Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales." Recuperado de: <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Decretos/2014/Documents/JULIO/10/DECRETO%201287%20DEL%2010%20DE%20JULIO%20DE%202014.pdf>
18. Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993, que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. Recuperado de: http://www.vertic.org/media/National%20Legislation/Mexico/MX_NOM-052-ECOL-1993.pdf.
19. Oropeza, N. (2006). Lodos residuales: estabilización y manejo. Departamento de Ingeniería, Universidad de Quintana Roo Boulevard Bahía s/n esq. Ignacio Comonfort, Col. del Bosque Chetumal, Quintana Roo, México. *Caos Conciencia 1*: 51-58. Recuperado de: http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006_Vol_1/Num_1/NO_Vol_I_21-30_2006.pdf
20. Potisek, T. M. C, Figueroa, U., González, G. Jasso, R. & Orona, I. (2010). Aplicación de biosólidos al suelo y su efecto sobre contenido de materia orgánica y nutrientes. *Terra Latinoamericana*, vol. 28, núm. 4, octubre-diciembre Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57318502004>
21. Rincón, Y. (2016). Regulación de uso de biosólidos. Recuperado de: <http://decreto1287-2014.blogspot.com/>
22. Reina, A. C. & Suan, A. M. (2016). Areas aptas para la utilización de biosólidos en el municipio de Mosquera. facultad de medio ambiente y recursos naturales. Universidad Distrital Francisco José de Caldas Bogotá D.C. Recuperado de: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3282/1/ReinaRojasAndreaCarolinaSuanJim%C3%A9nezAnaMar%C3%ADa2016.pdf>
23. Rodríguez E. (2008). *Gestión Ambiental para los sub-productos derivados de una planta de tratamiento de aguas residuales en el Jardín Botánico de la Universidad Nacional de Colombia y comparación con sistemas similares en San Andrés*. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/684/1/812119.2008.pdf>

24. Silva, J. A., Bedoya, D. F. & Torres, P. (2013). Evaluación del potencial de aplicación de biosólidos higienizados en el cultivo de rábano. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v62n2/v62n2a09.pdf>
25. Torres, P., Madera, C. A., Martínez, G.V. (2008). Estabilización alcalina de biosólidos compostados de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas para aprovechamiento agrícola. *Rev.Fac.Nal.Agr.* Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v61n1/a19v61n1.pdf>
26. Trejos, M. & Agudelo, N. (2012). Propuesta para el aprovechamiento de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa "Comestibles La Rosa" como alternativa para la generación de biosólidos. Facultad De Ciencias Ambientales Administración Ambiental Universidad Tecnológica De Pereira. Recuperado de: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2775/62839T787.pdf?sequence=1>
27. Outwater (1994), Handbook of Environmental Engineering. Recuperado de: <https://books.google.com.co/books?isbn=1498708625>
28. Vélez, J. A. (2007). Los biosólidos: ¿una solución o un problema? *Producción + Limpia - Julio - Diciembre -Vol. 2 No. 2*. Recuperado de: http://www.lasallista.edu.co/fixcul/media/pdf/RevistaLimpia/vol2n2/PL_V2N2_57-71_biosolidos.pdf
29. Vera, A. M., Sánchez, E., Ortiz, M. L., Peña, J. L. & Ortega, M. (sf). Estabilización de lodos residuales municipales por medio de la técnica de lombricompostaje. centro de investigación en biotecnología, Laboratorio de Investigaciones Ambientales, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/267972657_ESTABILIZACION_DE_LODOS_RESIDUALES_MUNICIPALES_POR_MEDIO_DE_LA_TECNICA_DE_LOMBRICOMPOSTAJE

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: agosto 25 de 2016
Aceptado: octubre 03 de 2016