

Estudio evaluativo del manejo de biosólidos para el caso de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) El Salitre.

Nydiana A. Bolívar^{(1)*}, John F. Betancur⁽²⁾, Nelson Rodríguez Valencia⁽²⁾

Nydiana A. Bolívar^{(1)*}, John F. Betancur⁽²⁾, Nelson Rodríguez⁽²⁾

(1) Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ingeniería, Avenida Caracas No. 37 – 63, Bogotá-Colombia (e-mail:nydiana.bolivar@campusucc.edu.co).

(2) Universidad de Manizales, Centro de Investigaciones CIMAD, Carrera 9 Nro. 19-03. Manizales, Colombia (e-mail: jbetancur@umanizales.edu.co; Nelson.Rodriguez@cafedecolombia.com).

* Autor a quien debe ser dirigida la correspondencia

Resumen

El tratamiento de las aguas residuales provenientes tanto del sector residencial como el industrial, genera gran cantidad de lodos residuales o biosólidos, estos reciben diferentes tipos de tratamientos para su posterior uso y/o disposición final. Entre los más comunes se tiene su uso como enmienda orgánica, recuperación de zonas afectadas por la explotación minera, agricultura, fabricación de elementos cerámico entre otros, además de lo anterior un porcentaje de estos tienen como destino final rellenos a cielo abierto, ocasionando problemas sociales y medio ambientales. Existen diversas alternativas usadas a nivel mundial, entre las que se encuentra su uso como generador de energía para disminuir los costos de funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR's), esta es la alternativa analizada para el caso de la PTAR El Salitre.

Palabras clave: biosólido, tratamiento de aguas residuales, metales pesados, patógenos

Evaluative study biosolids management in the case of the Wastewater Treatment Plant (PTAR) El Salitre

Abstract

The treatment of wastewater from both the residential sector and the industrial, generates lots of sludge or biosolids, they receive different types of treatment for later use and / or disposal. Among the most common it has use as organic fertilizer, recovery of areas affected by mining, agriculture, manufacturing ceramic elements among others, in addition to this also a percentage of these are destined for landfills in the open, causing problems social and environmental. There are various alternatives used worldwide, among which is its use as a power generator to reduce the operating costs of the plant wastewater treatment plant (PTAR's), this is the alternative analyzed for the case of the wastewater treatment plant El Salitre .

Keywords: biosolids, wastewater treatment, heavy metals, pathogens,

INTRODUCCIÓN

La implementación y puesta en funcionamiento de las plantas de tratamiento han logrado controlar en gran medida la contaminación de las fuentes hídricas, esto ha propiciado en el país un incremento en la producción de biosólidos forjando un interés investigativo en dicho tópico, con el fin de incrementar el aprovechamiento de los mismo. Según Rojas y Mendoza (2012), en el tratamiento del agua residual (aquella que contiene sólidos, arenas y grasas), se producen residuos conocidos como lodos de depuración o biosólidos, que contienen altos niveles de materia orgánica, elementos químicos, tóxicos, metales pesados, aunque algunos son micronutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas como el Cobre (Cu) y el Zinc (Zn), pero una saturación de estos produciría fitotoxinas en la planta.

Para Zuluaga (2007), los biosólidos son materiales orgánicos, que pueden ser líquidos, sólidos o semisólidos, producidos por las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR's), que aportan diferentes beneficios de acuerdo a su calidad. Su composición se basa principalmente en metales pesados, materia orgánica, agentes patógenos, como virus, bacterias, protozoos, termatodos, cestodos y nematodos, que se asocian directamente con afecciones a la salud humana y animal, ocasionando graves enfermedades e incluso la muerte.

De acuerdo al Estudio de la movilidad de NPK en los biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR Salitre, tratados con vermicompostaje, realizado por Porras y Echeverry (2014), se evidencia que otro de los componentes de los biosólidos, son los contaminante orgánicos, como plaguicidas, solventes, colorantes, entre otros que por su composición molecular, tienen un bajo poder de disolución en el agua, acumulándose con gran facilidad en los biosólidos, ocasionando afectaciones a nivel del medio ambiente, ya que no se degradan y por el contrario tienen un alto potencial para reincorporarse a la cadena alimenticia a través del agua y el suelo, llegando así a las plantas.

De igual manera cabe resaltar del mismo estudio, que por su alto contenido metales pesado como el Manganeseo (Mn), Hierro (Fe), Niquel (Ni) entre otros, contaminantes químicos, biológicos, farmacológicos, desechos de aseo y limpieza del hogar, entre otros, se disminuye la calidad y el potencial de reutilización del agua, ya que este tipo de contaminante es muy difícil de extraer, se convierten en un peligro debido a la bioacumulación en los tejidos humanos y su biomagnificación en la cadena trófica.

Básicamente todo proceso de tratamiento de aguas residuales se basa en la sostenibilidad del recurso hídrico, toda vez que el consumo de agua es de vital importancia en la satisfacción de las necesidades básicas de una comunidad. Generalmente un porcentaje de estos lodos es usado como recuperador de suelos, para Rojas y Mendoza (2012), esta es una de las razones por las cuales estos lodos de depuración son conocidos como biosólidos, con el fin de no ser tipificados como residuos peligrosos o negativos para el medio ambiente, ya que este tipo de residuos no es muy conocido y las personas que saben de su existencia son muy reacias a su utilización por las posibles afectaciones en la salud, posiblemente por su uso improvisado y poco tecnificado.

Cabe resaltar que de acuerdo al artículo “¿Bogotá, ad portas de un nuevo error?”, escrito por Barrera (n.d), donde cita una entrevista realizada a Luis Alejandro Camacho, especifica que *no es solamente aumentar el tamaño de las tuberías y construir plantas de enormes proporciones ya que finalmente esto no es un ambientalmente sostenible, es vital el control del agua en la fuente. Según Camacho, ni la expansión de la Ptar El Salitre, ni la puesta en marcha de la Ptar Canoas que recibirá 18 m³/seg, disminuirán el grado de contaminación del Rio Bogotá que se evidencia principalmente por el nivel de oxígeno disuelto, y en ninguna de las mediciones realizadas por la Universidad de los Andes, presenta recuperación del mismo en la corriente.*

Según Barrera, con base en el proyecto “Red de monitoreo de calidad hídrica en la cuenca del río Bogotá”, que es un convenio que celebro la CAR con la Universidad Nacional de Colombia, a cargo Camacho, quien afirma que *hasta no tener datos estadísticos reales y serios, en aspectos tan delicados como las implicaciones en los sistemas de drenaje de los municipios, metodologías y costos de los sistemas de tratamiento, no se puede pensar siquiera en expansiones de la planta existente, ni mucho menos en la construcción de una nueva PTAR. Este desconocimiento radica básicamente en la falta de seguimientos en cuanto a calidad y cantidad del recurso hídrico, es de vital importancia realizar un modelamiento dinámico de la calidad del agua del río, para que se determine con total exactitud y claridad, la cantidad de agua a tratar y los requerimientos reales en este proceso.*

Un claro indicador del funcionamiento poco eficiente de la PTAR El Salitre, según Camacho, se evidencia en la cantidad de oxígeno disuelto y, de acuerdo a varias mediciones realizadas por la Universidad de los

Andes, muestra que el efecto en este indicador es prácticamente nulo, ya que en ninguna de las mediciones realizadas aumento el 1 mg/l, además de lo anterior piensan en la construcción de la PTAR Canoas, que recibirá cerca de 18 m³/seg, siendo más grande incluso de las plantas de Alemania y el Reino Unido, la implementación se realizara sin saber la efectividad del tratamiento a realizar y, la incertidumbre actual es muy alta por la falta de datos y de estudios de modelación adecuados del impacto de la PTAR Canoas en el río Bogotá y el embalse del Muña. Actualmente el Distrito no sabe qué hacer con los lodos de depuración que se generan por el normal funcionamiento de la Ptar El Salitre.

Según lo expuesto por Gonzáles, Sandoval y Pérez (2013), los biosólidos comúnmente son usados como enmienda agrícola y su estudio se enfoca en el impacto ambiental, económico y social, pero cada uno de los aspectos, presenta cierto beneficio que depende realmente de la cantidad de terreno que posee el beneficiario, es decir el rendimiento y las ganancias tienen una relación directamente proporcional con la extensión de terreno que posee el agricultor.

Sin embargo para Rojas y Mendoza (2012), los biosólidos no son considerados un tema primordial en el manejo de residuos, es por esto que no se supervisan rigurosamente, no reciben tratamiento adecuado, convirtiéndose en un problema de salud y de contaminación ambiental, es de vital importancia conocer técnicas idóneas, referente al aprovechamiento de los biosólidos tanto en el campo nacional como internacional, de tal manera que puedan ser implementados en las PTAR's.

Del mismo modo, del estudio "Utilización de biosólidos para la recuperación energética en México", realizada por Rojas y Mendoza (2012), se puede precisar que generalmente los biosólidos tienen como destino final rellenos a cielo abierto, ocasionando en los habitantes que se encuentran en cercanías de las PTAR's y en los sitios de disposición, quejas referentes a enfermedades que van desde alergias en la piel, irritación en los ojos, afectaciones en las vías respiratorias, gastroenteritis. Así mismo afirma que los trabajadores de las Ptar que se encuentran expuestos a metales pesados, dióxido de carbono y azufre, metano y materia orgánica, tienen una percepción del gusto y olor incorrecta. Aunado a lo anterior los biosólidos poseen un alto contenido de nitrógeno que al no ser absorbido por las plantas, es fácilmente lixiviado y movilizado generando elevados índices de contaminación.

Una de las técnicas para el aprovechamiento óptimo de los biosólidos lo constituye el denominado *secador activado de lodos*, según la industria Thermo-system, este transforma las características físico-químicas de los biosólidos, de manera que se pueden aprovechar casi en un 100% en agricultura sin presentar daño al medio ambiente y a la calidad de vida de la comunidad. Este sistema usa el sol como fuente de energía, reduce las emisiones de dióxido de carbono, produce biosólidos de Clase A, además reduce el volumen de los biosólidos hasta en un 97%, facilitando de este modo su manejo y disposición.

Esta alternativa está siendo apoyada por Instituto de Técnica Agraria, Universidad Hohenheim, Instituto para la Gestión de Aguas en áreas urbanas, Universidad Stuttgart, Instituto para la higiene del medio ambiente y animal, Universidad Hohenheim, Ministerio de Medio Ambiente y de Transporte de Baden-Württemberg, Fundación Federal Alemana de Medio Ambiente, Oficina Regional Bávara de Medio Ambiente. En Estados Unidos las instalaciones que se encuentran funcionando actualmente están ubicadas en: Arkansas, California, Delaware, Florida, Hawaii, Indiana, Maryland, Mississippi, Oregón, South Carolina, Vermont .

Para Ramírez et al., 2007, también se sabe del uso de los biosólidos, en la fabricación de cemento, que son comúnmente usados como combustible alternativo en hornos de fabricación de clínker (uno de los principales componentes del cemento), permite establecer según el estudio realizado por la Dirección General de Calidad Ambiental de la Generalitat de Catalunya, que se reducen las emisiones de gases efecto invernadero, ya que las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), utilizando biosólidos como combustibles son cero, optimizando de esta forma la utilización de los biosólidos, dicho estudio también permite determinar que el biosólido usado debe tener características tales como un contenido de humedad superior al 30% en peso y un pH cercano a 6.

Igualmente se tiene como alternativa, el uso de los biosólidos, en la elaboración de ladrillos, según investigación realizada por Mozo-Cupa et al., 2013, concluyeron que la adición de biosólidos permite la elaboración de ladrillos para mampostería no estructural, es decir elementos cerámicos para muros divisorios o de cierre, que soportan solo cargas debidas a su propio peso.

GENERALIDADES DE LOS BIOSÓLIDOS

Siendo la preservación del medio ambiente un tema que ocupa la atención de diversos sectores, mediante diferentes tipos de implementación de alternativas, tales como las PTAR's, cuya funcionalidad consiste en tratar el agua proveniente de sectores residenciales y comerciales (industrias y demás), convirtiéndose en una herramienta fundamental para el cuidado del medio ambiente, debido a que en estas se realizan procedimientos físicos, químicos y biológicos que permiten disminuir la contaminación del agua que llega a la planta, para retornar libre de contaminantes al cauce receptor. Para por Chávez y Loaiza (2014). Como consecuencia de su normal funcionamiento se producen grandes cantidades de lodos residuales, que según el Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, RAS 2000, son aquellos que contienen material disuelto luego de ser usado por una comunidad o una industria.

De igual manera Chávez y Loaiza, *op. cit.*, p. 2. afirman que estos lodos son materiales ricos en nutrientes que propician un desarrollo óptimo del suelo, ayudan en la recuperación de zonas con altos índices de erosión, terrenos devastados por actividades mineras, siendo uno de los principales uso de los biosólidos, la agricultura, ya que impacta las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo. La cantidad de nutrientes y materia orgánica que contienen fomenta el crecimiento de las plantas, aunque uno de los inconvenientes que se presentan, radica principalmente en el alto contenido de metales pesados que tienen los biosólidos. Según Moreta (2008), tanto nutrientes como materia orgánica en altas cantidades dan como resultado la pérdida en la transparencia del agua, por ende disminuye el proceso de fotosíntesis por falta de luz y, aumenta la descomposición de materia orgánica, además de disminuir la concentración de oxígeno, pero en cantidades reguladas incrementa en el suelo sus propiedades fertilizantes.

Para Rojas y Mendoza (2011), el lodo puede catalogarse como crudo, siendo aquel que proviene de un proceso de decantación primaria; estabilizado cuando pasa por un tratamiento adicional para evitar la putrefacción y la atracción de vectores; lodo higienizado es aquel que paso por un tratamiento que elimina agentes patógenos y; finalmente encontramos el lodo no peligroso, que como su nombre lo indica no presenta ningún riesgo para quien este en contacto directo con el mismo. Según Ozores y Méndez (2010), el tratamiento de biosólidos tiene como propósito principal la destrucción de virus, bacterias y olores.

De acuerdo con Mahamud, Gutiérrez y, Sastre (1996), básicamente los biosólidos se obtiene a partir de dos etapas, mediante el proceso de depuración, en una primera fase conocida como decantación primaria en la cual, por efectos de la gravedad se separan las partículas que se encuentran presentes en el agua y, la decantación secundaria el proceso que permite la separación los flocks (grumos de material orgánico), formado a partir de un líquido existente en un reactor, en este proceso una parte recircula para mantener la biomasa y el resto se extrae como lodo secundario.

Así mismos para Mahamud, Gutiérrez y, Sastre, *op. cit.*, p. 1. El tratamiento de biosólidos está orientado básicamente a conseguir dos fines, uno es La estabilización de los biosólidos, sometidos a tratamientos que deben ser aplicados a estos lodos a fin de transformarlos en materiales estabilizados. Para determinar el grado de estabilización alcanzado por los biosólidos bajo dichos tratamientos, utilizan dos criterios uno de ello es el contenido de sólidos volátiles, que sirve para determinar la cantidad de materia orgánica contenida en el lodo, este es un claro indicador de la efectividad del tratamiento aplicado en la estabilización del mismo también se analiza la reducción de patógenos indicadores, es importante ya que minimiza los riesgos de infección de la población. Entre los patógenos contemplados se encuentran los virus, bacterias, parásitos y hongos. El otro fin es la eliminación de materia orgánica, obteniendo un menor volumen de biosólido más manejable y prácticamente inerte.

Tal y como especifican en su estudio Rojas y Mendoza (2012) Los procesos para la estabilización de lodos residuales son: digestión aerobio, anaerobia y el tratamiento químico, composteo, entre otros, se enfocan principalmente en la eliminación de materia orgánica del lodo, pero otros compuestos como metales pesados, materia inorgánica, siguen presentes, es por esto que se debe realizar análisis para determinar si los biosólidos son o no peligrosos para determinar así su clase y método de disposición final. Estos a fin de obtener un producto adecuado para su posterior utilización, reduciendo su capacidad de fermentación, y presencia de patógenos.

Según el Decreto 1287 del 10 de julio de 2014, de la Republica de Colombia, establece que los biosólidos se clasifican de acuerdo el contenido de patógenos, en Clase A ó Clase B, Biosólidos de clase A: Usados en cultivos de consumo directo, estos están clasificados de esta forma ya que los rangos de presencia bacteriológica en Colombia se encuentran dentro de los límites establecidos por el ADEME (Agencia francesa del Medio Ambiente y Control de la Energía). Para Chávez y Loaiza (2014) estos también

conocidos como biosólidos de calidad excepcional, han sido sometidos a tratamientos que llevan a niveles muy reducidos la cantidad de agentes patógenos presentes en ellos, se aplican sin ningún tipo de restricción, solamente se solicitan permisos para garantizar el cumplimiento de la normatividad en este aspecto y, generalmente se realiza monitoreo sobre los mismos para controlar un posible brote bacterial en los mismo.

De igual manera Chávez y Loaiza, *op. cit.*, p. 4 (2014) caracterizan como biosólidos de clase B: Usados en la recuperación de suelos, rellenos sanitarios y cultivos que no sean consumidos directamente por humanos. Esta clasificación se debe principalmente a que la concentración de coliformes presentes está por encima de la Norma EPA 40 CFR-530 (offices of solid waste and emergency response U.S.). Tiene más restricciones por su alto porcentaje en las concentraciones de microorganismos, su principal aplicación se realiza en la revegetación de suelos.

En Colombia se producen 274 t/d aproximadamente, (94 t base seca), de los cuales el 97% provienen de las PTAR's, El salitre, en Bogotá; San Fernando, en Medellín y, Cañaveralejo, en Cali. De acuerdo con Dágner (2005), se tiene antecedentes en el manejo de biosólidos como la resolución 822 del 98, donde se define el término lodo, la Resolución 1096 del 2000, donde se define el termino Biosólido pero no se reglamenta su gestión, según Montoya y Buitrago (2012), desde marzo de 2003 se presentó o un borrador de la norma que reglamentaría el uso, comercialización y disposición de biosólidos en Colombia presentado por BAS, EMCALI y EEPM, de las tres más grandes plantas del país, donde se especifican regulaciones, en especial se hace énfasis en el uso benéfico de los biosólidos, así como opciones de disposición y, todas las especificaciones técnicas que al respeto se requieren en al país, este fue aprobado Según el Decreto 1287 del 10 de julio de 2014, de la Republica de Colombia.

RECOPIACIÓN DE DATOS

Para Rojas y Mendoza (2012), según el Programa de las Naciones Unidas para asentamientos urbanos en países desarrollados se utiliza un 15% de los biosólidos para la recuperación energética, por medio de digestores anaerobios, ya que reducen un 24% del volumen e los lodos residuales y produce un 25% adicional de energía, esto reduce el 30% del costo anual del manejo y disposición de lodos residuales, el cual es aproximadamente el 45% del gasto anual de una PTAR's.

Así mismo Rojas y Mendoza, *op. cit.*, p.77. hace referencia a los tratamientos para reducción de volumen tales como la deshidratación e incineración, el primero solo reduce el 20%, el segundo el 80%, pero elimina compuestos orgánicos, destruye bacterias y nutrientes, además de generar gases efecto invernadero (GEI), provocando contaminación ambiental. La composición de los gases emitidos por la descomposición de los lodos residuales genera biogás, en porcentajes que van entre el 40-75% metano, 25-40% dióxido de carbono, el resto son pequeñas cantidades de otros gases como Nitrógeno (N), Oxígeno (O); Hidrógeno (H), Cobalto (Co) y, vapor de agua.

De acuerdo con Rojas y Mendoza, *op. cit.*, p.78., según la United States Environmental Protection Agency (EPA), en su reporte acerca de las emisiones mundiales de metano y oportunidades de atenuación del 2008, hace énfasis en una ventaja comparativa entre los GEI, en la Tabla 1, se muestra como el gas metano (CH₄) es aproximadamente 23 veces más efectivo en la captura del calor atmosférico y, su impacto en el ambiente se disminuye ya que solo está en la atmosfera 12 años, lo que no ocurre con el dióxido de carbono cuya presencia en la atmosfera sobrepasa los 100 años. Lo anterior permite concluir el enorme potencial en la producción de energía, siendo este método el más efectivo en la disminución del calentamiento global a corto plazo, pudiendo ser usado como energía renovable (biocombustible).

Tabla 1. Gases efecto invernadero y su potencial de calentamiento (adaptado de Rojas et al (2012))

Gas de efecto invernadero	Potencial de calentamiento (-eq)*	Años de vida en la atmosfera (años)
CO ₂ (Dióxido de carbono)	1	200 a 450
CH ₄ (Metano)	23	12 15

*Unidad de medición utilizada para indicar el potencial global de los GEI en comparación con CO₂

La reducción de gas metano tiene beneficios energéticos, ya que es una fuente de combustible renovable para recuperación de energía, mejorando la calidad ambiental de las comunidades cercanas a la PTAR's. Uno de los procesos de tratamiento de biosólidos es la digestión anaerobia se realiza en ausencia del aire y genera biogás (gas compuesto de metano, dióxido de carbono y nitrógeno), puede ser usado como combustible para la producción de energía eléctrica. De acuerdo a los especificado por Rojas y Mendoza,

op. cit., p.79. El tiempo de retención de los lodos en el digestor está directamente relacionado con el porcentaje de recuperación del biogás.

Existen diferentes tipos de tratamiento para los biosólidos, entre los más usados se encuentra la digestión anaerobia, que según Ozores-Hampon (2010), esta se basa en el uso de bacterias anaerobias que procesan el biosólidos dentro de un digestor y mediante la fermentación se libera Metano y agua residual, una de las ventajas de este tratamiento es que se disminuye la materia orgánica lo que se traduce en una pérdida significativa de su acción contaminante, en la Tabla 2 podemos diferenciar entre las ventajas y desventajas de usar este tipo de tratamiento.

Tabla 2: Ventajas y desventajas en la digestión anaerobia (adaptado de Rojas et al. (2012))

Ventajas	Inconvenientes:
-Reduce los sólidos volátiles entre un 40%-60% -Bajos costos de operación si se recupera el metano producido. -Método más rentable económicamente hablando para plantas que traten por encima de 7500 m ³ /día. -Reducción de microorganismos patógenos. -Reducción de la masa del lodo.	-Elevado costo para su instalación. -Depósito de minerales en sus equipos y dificultad de limpieza, además de la formación de espuma. -Producción de olores. -Producción de gases inflamables. -Producción de sobrenadantes con elevada demanda biológica de oxígeno (DBO) y, demanda química de oxígeno (DQO). -Sólidos en suspensión y, NH ₃ . -Puede presentarse problemas de "digestión acida" ya que los microorganismos productores de metano son de crecimiento lento.

Así mismo del estudio Utilización de biosólidos para la recuperación energética en México. Producción + Limpia (2012), el tiempo mínimo de retención son 20 días a 37.5°C y máximo 40 días a 37.5, siendo este tiempo óptimo para extraer el máximo biogás, pero este tiempo para una PTAR's, se convierte en un problema ya que la producción de lodos es alta y continua, teniendo en cuenta que no se puede tener lodos almacenados más de 20 días, esto implicaría un aumento en el tamaño de los digestores. En la Tabla 3 se especifica el potencial de generación de energía eléctrica mediante los procesos de digestión anaerobia que varían significativamente de acuerdo al proceso que realice.

Tabla 3. Procesos de digestión anaerobia, su producción de biogás y, su potencial de generación de energía eléctrica. (adaptado de Rojas et al. (2012))

<i>Proceso Mesofílico (Mediante la presencia de bacterias y hongos a temperatura ambiente se multiplican y consumen los carbohidratos.)</i>	<i>Termofílico (Incremento de temperatura de 40°C a 60°C, eliminando microorganismos nocivos e iniciando la transformación del nitrógeno en amoníaco)</i>
Temperatura °C: 25-37	Temperatura °C: 38-65
Tiempo de retención (días):15-25	Tiempo de retención (días): 20-30
Biogás por m ³ de lodo (m ³):0.31	Biogás por m ³ de lodo (m ³): 0.36
Metano por m ³ de biogás (%):60-65	Metano por m ³ de biogás (%): 65-70
Energía producida biogás (Kwh):5.5-6	Energía producida biogás (Kwh): 5.5-6
Energía producida metano (Kwh): 9.8-10.4	Energía producida metano (Kwh): 9.8-10.4
Energía generada por una PTAR de 500l/s (Kwh/mes): 3335.430	Energía generada por una PTAR de 500l/s (Kwh/mes): 400,838

ANÁLISIS DE DATOS Y DISCUSIÓN

En cuanto se refiere a los principales parámetros del diseño de tanques digestores anaerobio, se tiene como base la investigación realizada por Rojas-Mendoza (2012), "Utilización de biosólidos para la recuperación energética en México, es importante determinar:

1. Tasa de carga de lodos (Tc)
2. Tiempo de retención (Tr)
3. Cantidad diaria de lodos a digerir Q[m³/d]
4. Concentración de sólidos volátiles por m³ (C_{sv}) [kg/m³]
5. Volumen del tanque reactor V_{Tr} [m³]

La Tabla 4 muestra las relaciones de causalidad determinadas mediante el Teorema de Pi de Buckingham, tomando el sistema dimensional MLT (Masa, Longitud y Tiempo).

Tabla 4. Análisis dimensional de los parámetros de diseño de tanques digestores (adaptado de Rojas et al. (2012))

Parámetro	Ecuación	Análisis dimensional	Resultado	Observaciones
Tasa de carga de lodos (Tc)	$T_c = \frac{C_o}{TR}$ (1)	$\frac{[L^3]}{[T]}$	$L^3 T^{-2}$	CO=Cantidad inicial de lodos residuales TR= Tiempo de retención
Tiempo de retención (Tr)	$TR = \frac{V}{Q}$ (2)	$\frac{[L^3]}{[T]}$	T	V=Volumen Q= Caudal
Cantidad diaria de lodos a digerir Q[m³/d]	$Q = \frac{V}{T}$ (3)	$\frac{[L^3]}{[T]}$	$L^3 T^{-1}$	T= Tiempo
Concentración de sólidos volátiles por m³ (CSV) [kg/m³]	$CSV = \frac{M}{V}$ (4)	$\frac{[M]}{[L^3]}$	ML^{-3}	M= Masa V=Volumen
Volumen del tanque reactor VTr [m³]	$VR = Q \cdot TR$ (5)	$\frac{[L^3]}{[T]} * [T]$	L^3	

De acuerdo con Rojas y Mendoza (2011), se sabe que uso de los biosólidos resultante de la digestión anaerobia, permite aprovecharlo como fertilizante agrícola, con un alto contenido de nutrientes, restaurador de suelos, materia prima para la elaboración de materiales de construcción y, en producción de energía, permitiendo el uso de una energía renovable y limpia, además de capturar GEI, generados en el tratamiento. De la misma investigación se destaca que el biogás es limpio y barato, de manera que puede usarse como fuente para generación de energía eléctrica. La capacidad de generación depende del pH, metales pesados, concentración de materiales tóxicos. Estos deben analizarse a fin de determinar el potencial de generación real, de igual forma el potencial depende del gas metano que contenga en biogás, este se debe analizar para conocer los porcentajes de composición.

Según Infantes, el porcentaje de generación de biogás es de 0.31 m³/kg de lodo y, de acuerdo con Rojas y Mendoza (2012), en un sistema de digestión anaerobia el porcentaje potencial de generación por m³ de biogás es de 1.6 kw/h, es importante resaltar el hecho que la generación de energía eléctrica dependerá de la cantidad de metano que contenga el biogás, para poder usarlo es necesario quitar el CO₂ (gas carbónico) y el H₂S (Sulfuro de Hidrógeno), para obtener CH₄ (Metano)puro y aumentar la eficiencia energética, ya que el potencial de generación de 1 m³ de CH₄ es de 9.8-10.4 kw/h.

Analizando el caso concreto de la PTAR El Salitre, esta produce cerca de 4500 ton/mes de lodo, teniendo en cuenta que a partir del proceso de digestión anaerobia produce 18000 m³/d de biogás, que significa 576000 Kw/h-mes. Este último es el potencial de generación de kilovatios hora-mes.

La planta requiere para su normal funcionamiento 700000 kwh/mes aproximadamente, por lo que podemos concluir que la energía generada al aprovechar el biogás, no es suficiente para bastecer los requerimientos de la planta. De acuerdo con la Empresa de Acueducto de Bogotá, "En la PTAR Salitre se utiliza entre el 30 por ciento y el 35 por ciento de la producción de biogás -la producción mensual es de 360 mil 300 metros cúbicos por segundo- para calentar los lodos espesados y así hacer más eficiente y rápido el proceso de biodigestión. El gas restante es quemado controladamente transformándolo en agua y dióxido de carbono, evitando así la liberación de metano a la atmósfera". Incurriendo en una práctica poco amigable con el medio ambiente, según lo expuesto en el reporte de emisiones mundiales de metano y oportunidades de atenuación 2008.

Para Mahamud, Gutiérrez y Sastre (1996), en cuanto hace referencia al proceso de incineración se puede afirmar que es la destrucción térmica a elevadas temperaturas en presencia de exceso de aire en la Tabla 5 se encuentran las ventajas y desventajas del proceso de incineración. Todo tratamiento de agua, traer asociado la generación de residuos sólidos y el tratamiento de agua se está generalizando y avanzando, produciendo mayores cantidades de biosólidos que se deben gestionar de la manera más adecuada posible.

Tabla 5. Cuadro comparativo entre ventajas y desventajas (adaptado de Mahamud et. al. (1996))

<i>Ventajas</i>	<i>Inconvenientes</i>
-Los biosólidos son reducidos a cenizas in-situ. -La combustión destruye todos los microorganismos presentes y oxida los compuestos orgánicos tóxicos. -Los metales pesados en las cenizas son menos solubles.	-Alternativa más costosa de eliminación de lodos. -Las instalaciones ocasionan problemas medio ambientales

De acuerdo con Montoya y Buitrago (2012), en la PTAR El Salitre se produce 4500t/m, la puesta en marcha de estructuras complementarios propuestas en el esquema de saneamiento (PTAR Canoas, segunda fase PTAR El Salitre) y la reducción de sitios para su disposición normal o temporal, son razones que motivan la búsqueda de nuevas alternativas para la disposición de este producto. Los análisis realizados en la PTAR El Salitre, ha permitido establecer que los biosólidos producidos por esta, son de Clase B según la Tabla 6, cumpliendo con los requerimientos establecidos en la normativa, referente al contenido de microorganismos, es destinado a la cobertura final del predio el Corzo y La Magdalena, terrenos de la localidad de Bosa.

Tabla 6. Concentración de microorganismos patógenos en el biosólidos de la Planta el Salitre frente a la normativa internacional (adaptado de Campos, León (2006))

<i>Parámetro</i>	<i>El Salitre</i>	<i>Clase A</i>	<i>Clase B</i>
Coliformes fecales (UFC/g PS)	3.4×10^6	$< 1 \times 10^3$	$< 2 \times 10^6$
Fangos somáticos (PFP/g PS)	8.5×10^6	< 1	> 1
Huevos de helminto viables/ 4 g PS	10.8	< 1	> 1

Finalmente teniendo en cuenta el Estudio de la movilidad de NPK en los biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales Ptar El Salitre, tratados con vermicompostaje, realizado por Chávez y Loaiza (2014), los directivos de La PTAR El Salitre, manifiestan que sus biosólidos podrían ser usados como abono para el cultivo de hortalizas, si se dejasen madurar por un periodo no inferior a 30 días, pero debido a diversos problemas administrativos, la PTAR no estaría autorizada para realizar este tipo de operaciones. Del mismo estudio se tiene que los directivos consideran que hasta no realizar un tratamiento secundario tanto de aguas residuales como de biosólidos, para el cual se tiene previsto implementar infraestructura y tecnología adecuada, no se comprometen a usar el humus para el cultivo de hortalizas.

CONCLUSIONES

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, la PTAR El Salitre, no es eficiente en su funcionamiento, en primer lugar se debe tener en cuenta el proyecto "Red de monitoreo de calidad hídrica en la cuenca del río Bogotá", que permitió establecer que la cantidad de oxígeno disuelto es casi nula, devolviendo el agua al cauce receptor, con muy poca variación en sus niveles de contaminación, por otro lado, la incineración realizada en la Tea de la PTAR El Salitre del gas que no es usado para generación de energía, libera a la atmosfera CO₂, gas que permanece en la misma por más de 100 años, según informe de la Agencia de Protección ambiental (EPA). En su reporte acerca de las emisiones mundiales de metano y oportunidades de atenuación del 2008 y, finalmente, la cantidad de biogás producido por la PTAR El salitre, no alcanza a cubrir las necesidades energéticas de la planta, ya que produce cerca de 360000 m³/seg al mes que generan 576000 Kw/h-mes y, la planta tiene un gasto de energía cercano a los 700000 Kw/h-mes.

REFERENCIAS

ACUEDUCTO (agua y alcantarillado de Bogotá), Planta de Tratamiento de aguas residuales El Salitre Fase I, Informe mensual de actividades (2014). http://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/ambiental/2015/INF_PTAR_2015/Actualizada/INFORME_FINAL_DICIEMBRE_2014.pdf. Acceso: 29 de enero (2015).

Barrera, P., ¿Bogotá, ad portas de un nuevo error? (n.d.). <http://historico.unperiodico.unal.edu.co/ediciones/115/11.html>. Acceso: 23 de febrero (2015).

Campos C., León A., “Evaluación del comportamiento de indicadores de contaminación fecal (coliformes fecales y fagos somáticos) en mezclas de áridos y biosólidos empleados en la restauración ecológica de la cantera Juan Rey”, Tesis de Grado, Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia (2006).

Chávez, Á., Loaiza, X., “Estudio de la movilidad de npk en los biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales Ptar El Salitre, tratados con vermicompostaje”, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia (2014).

Empresa de Acueducto de Bogotá, <http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/portal>

González Flores, Eduardo, Sandoval Castro, Engelberto, Pérez Magaña, Andrés. “Biosólidos en la producción de maíz: impacto socioeconómico en zonas rurales del municipio de Puebla”. Estudios sociales, ISSN 0188-4557 (en línea), XXII (Enero-Junio), 2014 (Fecha de consulta: 23 de febrero, 2015; www.redalyc.org/articulo.oa?id=41729386003).

Infantes, P. Reporte técnico-tabla de biodigestores (2007), <http://www.engormix.com/MA-porcicultura/manejo/articulos/biodigestores-tabla-valores-ts-t1237/p0.htm>. Acceso: 30 de abril (2015).

Mahamud, M., Gutiérrez, A., Sastre, H., “Biosólidos generados en la depuración de aguas (II). Métodos de tratamiento”, Ingeniería del agua, ISSN 1886-4996 (en línea), 3(3), 1996 (fecha de consulta Marzo 18, 2015; <http://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/2703>)

Montoya, G., Buitrago, J., “Producción de humus a través del tratamiento de biosólidos con vermicompostaje, una mirada al futuro”, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia (2014).

Moreta, J. La eutrofización de los lagos y sus consecuencias (2008). http://www.academia.edu/1439928/La_eutrofizaci%C3%B3n_de_los_lagos_y_sus_consecuencias._Ibarra_2008. Acceso: 25 de marzo (2014).

Mozo, W., Cupa, J., Aponte, G., Camargo, G., “Valorización de Biosólido de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) como Materia Prima para la Fabricación de Ladrillos”, Ingeniar UPB, ISSN 2346 3708 (en línea), 1, 2013 (fecha de consulta Marzo 19, 2015; [http://kosmos.upb.edu.co/web/uploads/articulos/\(A\)_Memorias_XX_Feria_Internacional_de_Ingenieria__INGENIAR_UPB_2013_1106.pdf](http://kosmos.upb.edu.co/web/uploads/articulos/(A)_Memorias_XX_Feria_Internacional_de_Ingenieria__INGENIAR_UPB_2013_1106.pdf)).

Ozores-Hampton, M., Méndez, J., “Uso de biosólidos en producción de hortalizas” UF/IFAS Extension, ISSN HS1183 (en línea), 2010 (fecha de consulta Mayo 25, 2015, <http://edis.ifas.ufl.edu/hs1183>)

Ramírez, M., Larrubia, M., Herrera, M., Malpartida I., Alemany L., Palacios, C., Valorización energética de biosólidos. “Algunos aspectos económicos y ambientales en la EDAR Guadalhorce Málaga” Residuos, ISSN 1131-9526 (en línea), 17(98), 2007 (fecha de consulta Mayo 10, 2015, <http://dialnet.unirioja.es/revista/1111/V/17>)

Rojas, R., Mendoza, E., Leopoldo G., Hacia la sustentabilidad: Los residuos sólidos como fuente de energía y materia prima , ISBN 978-607-607-015-4, pp343-349. España (2011).

Rojas, R., Mendoza, L., “*Utilización de biosólidos para la recuperación energética en México*”, Producción + Limpia, ISSN 1909-0455 (en línea), 7(2), 2012 (fecha de consulta Marzo 2, 2015, http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552012000200006&script=sci_arttext)

THERMO-SYSTEM, Secado solar de lodos (n.d.). <http://www.thermo-system.com/es/productos/secado-solar-de-lodos/>. Acceso: 18 de marzo (2014).

THERMO-SYSTEM, Secador Solar de Lodos Activados (n.d.). <http://www.parkson.com/sites/default/files/documents/document-thermo-system-brochure-spanish-439.pdf>. Acceso: 18 de marzo (2014).

Vélez, J., “*Los biosólidos: ¿una solución o un problema?*” Producción + Limpia, 2(2), 57-71 (2007).