

Artículo No. 07. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

REUTILIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL, PARA LA REDUCCIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES GRACIAS A SU RECICLAJE. CASOS DE ESTUDIO

REUSE OF BIOSOLIDS GENERATED IN WASTEWATER TREATMENT PLANTS, TO REDUCE ENVIRONMENTAL IMPACTS THANKS TO RECYCLING. STUDY CASES

Jáuregui Noriega Juan Pablo¹, González Guzmán Juan Manuel², Isaza Aranguren Carolina³

¹ Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería, Bogotá, Colombia, u1101478@unimilitar.edu.co.

² Docente de Ingeniería Civil, Master en Encomia, Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería, Bogotá, Colombia, juan.gonzalez@unimilitar.edu.co.

³ Docente de Biología Aplicada, Doctorado en Biología, Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería, Bogotá, Colombia, carolina.isaza@unimilitar.edu.co.

Resumen. El constante incremento de la población mundial y la demanda de recursos naturales como lo es el agua, hace que un manejo óptimo de biosólidos que provienen de plantas de tratamiento de aguas residuales, sea una práctica de vital importancia y responsabilidad del ingeniero para evitar su impacto en el ambiente, debido a la composición física, química y biológica, debido a que una mala disposición de estos puede afectar la flora, el recurso hídrico, la fauna y la población en general.

La reutilización de biosólidos en la fabricación de materiales para la industria de la construcción, la generación de biogás y el vermicompostaje, aparte de ser amigables con el ambiente, generan por otro lado una mejora en las características físico-químicas del material, haciendo una práctica viable gracias a las nuevas técnicas para su manejo.

Para un mayor entendimiento en el tema es necesario conocer cómo se generan estos biosólidos en las plantas de tratamiento, su composición y su reutilización que se les puede dar de la normatividad ambiental vigente.

Palabras claves: Reutilización, biosólidos, aguas residuales, PTAR

Abstract. The constant increase of the world population and the demand of natural resources such as water, makes an optimal management of biosolids that come from wastewater treatment plants, is a practice of vital importance and responsibility of the engineer to avoid its impact on the

environment, due to the physical, chemical and biological composition, because a bad disposition of these can affect the flora, the water resource and the fauna and the population in general.

These activities of reuse of biosolids, such as the manufacture of construction materials, the generation of biogas and vermicomposting, apart from being friendly to the environment, they generate on the other hand an improvement in physical and chemical characteristics of the material, turning the reuse of biosolids into a viable practice for environmental impact and the subsequent study of new techniques of reuse.

For a better understanding of the subject is necessary to know how the biosolids are generated, in the wastewater treatment plants, his composition and the reuse that can be given according to the current environmental regulations.

Keywords: Reuse, biosolids, wastewater, WWTP

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales o aguas negras, son una mezcla de sustancias en las que se encuentran contaminantes orgánicos e inorgánicos los cuales se pueden presentar disueltos o suspendidos en las mismas (Kaosol, 2010). Estas aguas residuales como consecuencia del crecimiento de la población mundial y su respectiva generación de residuos son colectadas en un sistema de alcantarillado para posteriormente someter a tratamientos.

La Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) es una estructura cuyo principal objetivo es remover de manera parcial o total los materiales contaminantes presentes en el agua. Esta remoción de sustancias contaminantes se logra con la utilización de diferentes procesos, que permiten lograr los requerimientos específicos de tratamiento a bajo costo y con alta eficiencia (EPA, 2011).

Uno de los subproductos generados en la remoción de contaminantes son los biosólidos, residuos de características sólida, semisólida o líquida, sedimentable y de cantable, conformada por composición orgánica y alto porcentaje de humedad (Santoyo, 2012). Los cuales actualmente presentan varias alternativas de disposición sostenible, para uso producción de materiales de construcción, favoreciendo la constitución físico-químico del producto resultante, la fabricación de biogás y el vermicompostaje (Hamoush y colaboradores 2011; Malakahmad y colaboradores, 2016). Por tanto, el objetivo de esta investigación fue identificar los impactos generados en la disposición de biosólidos provenientes de las plantas de tratamiento de agua residual.

METODOLOGÍA

Teniendo en cuenta que el trabajo busca proponer posibles procesos que permitan la utilización de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia, la metodología empleada consistió en revisar diferentes publicaciones internacionales y nacionales en donde se hayan evaluado ese tipo de opciones y confrontarlas con la normatividad vigente en el país, tal como se presenta a continuación. Esta metodología permite recoger los aportes de esos trabajos a fin de que sean utilizados sus aprendizajes en el país.

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Aprovechamientos de uso general de biosólidos.

Cajahuanca (2016) evaluó una alternativa para la producción de compost a partir del 100% de los residuos orgánicos provenientes de los comedores del campamento de la Central Hidroeléctrica Chagalla a partir de microorganismos eficientes; en este caso se estableció la cantidad de residuos orgánicos generados, los cuales se caracterizaron con el fin de definir su posterior tratamiento en compostaje. Dentro de las conclusiones de ese trabajo se registra que cuando el nivel de oxígeno es insuficiente en un lote de residuos orgánicos en proceso compostaje, el proceso se transforma en anaeróbico, por lo que se generan olores ofensivos debido a la muerte por asfixia de los microorganismos. Así mismo encontraron que el aserrín de manera permite el control de la humedad que se produce en el proceso de compostaje de residuos de origen orgánico, y que se puede producir un material rico en micro y macronutrientes apropiados para la producción agrícola.

El tratamiento de aguas residuales por medio de digestión anaeróbica en una finca de producción porcina en la provincia Cubana de Ciego de Ávila fue el tema abordado por Valdés y colaboradores (2014), con el propósito de cerrar el ciclo en el sector porcino. En ese trabajo se determinaron las características químicas y sanitarias de los lodos tratados en una finca con capacidad para criar 130 cerdos, para evaluar su posible empleo como abono de origen orgánico en cultivos de ciclo corto. Mediante muestras representativas de los biosólidos, se midió el contenido de materia orgánica de nitrógeno, fósforo y potasio, lo que permitió determinar que el contenido de ocho metales pesados se ubicó por debajo de los límites permisibles, mientras que los biosólidos fueron inocuos en cuanto a la presencia de microorganismos nocivos como *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. La aplicación de estos biosólidos en cultivos de boniatos y frijoles, en dosis de entre 6.8 y 9.0 t/ha, permitió la mejora de los rendimientos en la producción, lo que además resultó económicamente rentable, dado que permite la recuperación de la inversión ascendente a partir de los seis meses. De esta manera, la técnica evaluada resultó sostenible desde el punto de vista social, económico y ambiental.

En la ciudad de Bogotá, Rincón y Cepeda (2015) emplearon biosólidos generados en la PTAR El Salitre en la recuperación de suelos degradados para su explotación en proyectos de minería al ser utilizados en suelos de canteras de la ciudad capital. De acuerdo con los resultados de esa investigación, el uso de biosólidos resulta viable en canteras que se encuentren alejadas de zonas residenciales urbanas, aunque se trata de una opción inviable desde el punto de vista económico debido a los costos de transporte de los biosólidos hasta la cantera, aunque es posible que resulte posible en otros casos en donde la PTAR y la explotación minera se ubiquen a una distancia menor.

Así mismo, en el municipio de Guatavita, Ruiz y Quevedo (2017) analizaron los lodos provenientes de la PTAR y propusieron una alternativa para su aprovechamiento; en primer lugar, encontraron que “la PTAR no cumple con todos los parámetros estipulados para un proceso óptimo de la misma” (pág. 102), debido a los niveles de remoción de sustancias sólidas, DBO y DQO, aunque otros parámetros como el caudal de operación, pH y conductividad eléctrica, presentan valores correctos de acuerdo con el Manual de Operación y Mantenimiento de la PTAR y con la

Artículo No. 07. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

normatividad vigente. Así mismo, esos lodos cumplen con los límites reglamentarios para ser empleados en suelos destinados a la agricultura, aunque se deben mezclar con otros materiales como fermento de maíz y residuos de poda, para que aumenten sus nutrientes; sin embargo, existe el riesgo de que los bajos niveles de oxígeno generen presencia de moho.

La técnica de vermicompostaje para transformar residuos sólidos de PTAR en material de germinación en Colombia y países Europa fue el propósito del trabajo de Hurtado (2015), quien tomó como referencia los casos de España, Reino Unido, Francia, Portugal e Italia. El autor señala que:

En este último país existen 24 plantas de vermicompostaje que producen más de 365.000 toneladas de residuos sólidos al año, que se utiliza de manera directa en germinación de plantas y en la recomposición de áreas dedicadas a la agricultura. Así mismo, esas plantas presentan notorias similitudes con las que existen en Colombia, y la principal diferencia corresponde al tamaño de las instalaciones de las PTAR. Así mismo concluye que “Madrid nos demuestra con cifras que es una técnica rentable y muy favorable para la germinación de plantas tanto para el sector agrícola como para la recuperación de tierra” (Hurtado, 2015, pág. 47).

Colombia y Uruguay son el objeto de comparación que realizaron Melo y colaboradores (2017) en cuanto al manejo de biosólidos y su posible aplicación al suelo. En el trabajo se identifican diferentes alternativas para estabilización de lodos residuales en la obtención de biosólidos, que se caracterizan según las normas de cada país para su posterior aplicación en remediación y estabilización de suelos y en agricultura. De acuerdo con los resultados de ese trabajo, Colombia tiene mayor cantidad de estudios relacionados con PTAR y uso de lodos. Los biosólidos provenientes de las PTAR en Colombia han permitido atender los requerimientos de los suelos orgánicos en los sitios de disposición final de las principales ciudades del país, así como la recuperación de suelos. A su vez, Uruguay, no cuenta con normas para la caracterización de biosólidos para el beneficio de suelos.

Otros trabajos sobre el uso de biosólidos muestran su viabilidad en usos como los cultivos de cebollín (Ruesga y colaboradores, 2016), generación de biocompost (López y Herrera, 2018) a partir de residuos de la industria cervecera (Flores y colaboradores, 2018), así como insumo de mampostería (Cuti y Urbina, 2018).

Aprovechamientos de biosólidos en la industria de la construcción.

En cualquier industria, mayor producción es igual a más residuos, más residuos crean preocupaciones ambientales de amenaza tóxica. Una solución económica viable para este problema debería incluir la utilización de materiales de desecho para nuevos productos, que, a su vez, minimicen la carga en los vertederos. El reciclaje de residuos de materiales ahorra recursos naturales y energía, reduce los residuos sólidos, los contaminantes del aire y el agua y reduce los gases de efecto invernadero. La industria de la construcción puede comenzar a conocer y

Artículo No. 07. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

aprovechar los beneficios del uso de residuos y materiales reciclados. Los estudios han investigado el uso de residuos aceptables, materiales y métodos reciclados y reutilizables.

El uso de estiércol de cerdo, grasa animal, humo de sílice, tejas para tejados, racimos de frutos de palma vacíos, cáscaras de cítricos, polvo de horno de cemento, cenizas volátiles, arena de fundición, escoria, vidrio, plástico, alfombras, restos de neumáticos, pavimento asfáltico y agregados de concreto en la construcción, es cada vez más popular debido a la escasez y al aumento del costo de las materias primas.

El reemplazo de las materias primas con materiales reciclados reduce la dependencia de las materias primas en la industria de la construcción. La Administración Federal de Carreteras de Estados Unidos (FHWA) estimó que solo la demolición de edificios en los Estados Unidos produce 123 millones de toneladas de residuos de construcción por año. Begum y colaboradores (2010) apoya la adopción de prefabricación y sistemas de edificios industrializados para reducir la generación de residuos y los problemas de gestión. Su estudio reveló que una cantidad significativa de desperdicio de material puede reducirse mediante la adopción de la prefabricación y las tasas de materiales de desecho reciclados y reutilizados son relativamente más altas en los proyectos que adoptan la prefabricación.

Específicamente en el uso de lodos, Kaosol (2010) realizó una investigación sobre la reutilización de los lodos de tratamiento de agua de una planta de tratamiento de agua para hacer bloques de concreto huecos. Sus objetivos fueron aumentar el valor de los lodos de una planta de tratamiento de agua y hacer una alternativa sostenible y rentable para los lodos de tratamiento de agua. Los hallazgos mostraron que la producción de bloques de concretos huecos mezclados con lodos de tratamiento de agua podría ser una alternativa de eliminación rentable en el futuro.

Los sólidos y los biosólidos acumulados en un proceso de tratamiento de aguas residuales deben tratarse y eliminarse de manera segura y efectiva, lo que crea lodos de aguas residuales. Este material puede contaminarse inadvertidamente con compuestos orgánicos e inorgánicos tóxicos. Sin embargo, se está documentada la utilización de cenizas de lodo en la producción de concreto. Los resultados han indicado los beneficios del uso de cenizas de escoria de aguas residuales en el concreto, como la resistencia a la compresión, la resistencia a la congelación y descongelación y las buenas propiedades de endurecimiento (Kaosol, 2010). Las cenizas de lodos de aguas residuales se pueden usar como sustituto de relleno mineral o como una porción del agregado fino en el pavimento de mezcla asfáltica en caliente.

Cardona y Orozco (2018) realizaron una investigación bibliográfica sobre tecnologías y alternativas que puedan ser implementadas en la valorización de los lodos que se generan en una Planta de Tratamiento de Agua Residual, con el fin de recolectar información para determinar las mejores tecnologías adaptables en el caso de la ciudad de Manizales. De acuerdo con ese trabajo, el lodo empelado como materia prima en la fabricación de materiales para la construcción civil a gran escala como mampostería y bloques de hormigón, puede mejorar la situación medioambiental, así como los costos de eliminación de lodo que se realiza en las plantas de tratamiento de los

Artículo No. 07. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

sistemas de alcantarillado. Las propiedades mecánicas obtenidas mediante esta técnica, dependen de la proporción de arena, mármol y lodo.

Por otro lado, estudios en España realizados en una planta, determinaron la disminución de la porosidad y absorción y un aumento en la resistencia mecánica de la adición de ceniza de lodos de depuradoras (CLD), el cual es sustituido (15%) de arena al hormigón.

Figura 1. investigaciones del lodo empleado como materia prima en la fabricación de mampostería y bloques de hormigón (Cardona y Orozco, 2018)

Fabricación de ladrillos o cerámica	
Ventajas	Desventajas
Durante la cocción, los compuestos orgánicos del lodo se destruyen y crean poros en su lugar (Propiedades de aislamiento térmico).	Se recomienda una estabilización de lodos ya que la mezcla arcilla-lodo se somete a temperaturas de 80-120°C generando olor fuerte característico.
Ahorro energético durante la cocción cerámica.	El máximo porcentaje que se puede usar para mezclar con la arcilla es del 40 % pero las proporciones óptimas están entre el 10 y el 20 %.
Ahorro del consumo de agua, ya que los lodos presentan 70 % de humedad.	
Cumplen estándares de calidad de productos similares.	
No se destacan variaciones importantes en generación de gases durante su cocción.	
Reduce cantidad de arcilla para su fabricación.	
Se dejan de emitir 3.4 Kg de CO_2 por tonelada de producto (Ahorro energético).	

Fuente: Cardona y Orozco (2018)

Bloques de Hormigón con CLD	
Ventajas	Desventajas
Adiciones del 5 al 50 % generan propiedades positivas de aislante térmico y acústico, más porosos y menos densos. Puede ser utilizado para fabricación de hormigón. Influencia significativa en propiedades mecánicas y de trabajabilidad. Comercialmente viable. Sustituciones de arena del 15% de CLD mejora características de los bloques de hormigón como la resistencia a la compresión. Se pueden reducir residuos destinados a vertedero o incineración.	Afecta su resistencia al esfuerzo mecánico debido a una mayor porosidad.

Fuente: Cardona y Orozco (2018)

La infraestructura sostenible es un concepto creciente de ahorro de energía, recursos naturales y costos, así como en la solución de problemas ambientales relacionados con los residuos. Sin embargo, para cumplir con la creciente industria de infraestructura verde, los usuarios finales, incluidos contratistas, ingenieros y proveedores, deben estar informados sobre qué materiales reciclados y/o residuos están disponibles para usar en la industria de la construcción. Bolden, Abu y Fini. (2017) se interesó en establecer cuánto saben los usuarios finales sobre los materiales reciclados y de desecho y quiénes realmente los utilizan en la industria de la construcción. La encuesta buscó revelar las barreras o problemas detrás de la no utilización de materiales reciclados en la industria de la construcción. Los resultados de la encuesta presentan una comprensión inicial de las fortalezas y debilidades actuales de la práctica destinada a apoyar a la industria de la construcción en el desarrollo de políticas efectivas con respecto al uso de desechos y materiales reciclados.

Los hallazgos muestran que el 14% de las empresas desconocen por completo el uso de otros materiales reciclados en la construcción. Esto sugiere la necesidad de programas de educación y concientización para introducir la disponibilidad y aplicabilidad de los materiales reciclados. Hay muchos otros materiales que no se mencionaron en esta encuesta, pero se pueden usar en diferentes proyectos de construcción. Los materiales reciclados, como dátiles y la palma aceitera, los lodos de depuradora, las cáscaras de cítricos, haba de soya, la grasa animal, la madera de poliéster, la

Artículo No. 07. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

cáscara de arroz y el estiércol de cerdo, entre otros, están mal documentados. El motivo de la subutilización se puede remontar a nuevas investigaciones y la falta de regulaciones aprobadas para estos materiales. Para acelerar el crecimiento del uso de materiales reciclados en la industria de la construcción, las empresas encuestadas sugirieron la necesidad de más datos para respaldar el rendimiento de los materiales. De las 50 empresas encuestadas, los resultados indicaron las áreas que necesitan más investigación, análisis y datos antes del uso en la aplicación de construcción.

Atribuyen la calidad a algunos materiales reciclados que pueden mejorar la resistencia, como el humo de sílice que se puede usar para producir concreto de alta resistencia; las cenizas volátiles mejoran la trabajabilidad del concreto; y caucho de miga para mejorar la resistencia térmica. El costo puede reducirse utilizando materiales reciclados en comparación con las materias primas.

Por su parte, Barrera y colaboradores (2011) en su investigación abordaron dos problemas a la vez. Uno es la utilización de lodos del tratamiento de aguas residuales y el otro es la modificación de las propiedades mecánicas del hormigón. En su estudio, el lodo fue sometido a dos series de tratamientos; en una serie, se usaron coagulantes, incluyendo sulfato ferroso, sulfato de aluminio o polihidroxiclорuro de aluminio. En las otras series, se aplicó un tratamiento electroquímico con varios valores iniciales de pH. Luego, se desarrollaron hormigones consistentes en una matriz de cemento, arena de sílice, mármol y uno de los lodos. Se prepararon muestras sin lodo para comparación. Se variaron los tiempos de curado y las concentraciones de agregados y se determinaron la resistencia a la compresión, la tensión de compresión en el punto de rendimiento y los módulos elásticos estáticos y dinámicos.

Existen diferentes tratamientos de lodos, y los más comunes son la estabilización y la deshidratación. La estabilización de lodos se puede realizar mediante tratamiento térmico, químico o biológico. La deshidratación de lodos se puede lograr por medios mecánicos y térmicos (Barrera y colaboradores, 2011); la primera consiste en procesos como la sedimentación por gravedad, la centrifugación y la filtración (cinta, vacío o presión). Sin embargo, esos tratamientos y el transporte de lodos relacionados son costosos. El tratamiento térmico implica un proceso de incineración que permite obtener cenizas de lodos de aguas residuales del incinerador; tales residuos se someten a lavado con ácido y tiene potencial para ser utilizado en productos de construcción.

También en el trabajo de Barrera y colaboradores (2011), la producción de lodos con tratamiento electroquímico es viable para su reutilización, porque es un lodo con menos contaminantes orgánicos en comparación con otros lodos obtenidos por otros procesos físicoquímicos de tratamiento de aguas residuales. Por lo que, la producción de lodos se puede utilizar como materia prima de componentes para la fabricación de materiales de construcción civil. Las concentraciones más altas de partículas de arena y mármol de sílice crean menos espacio en el concreto y, en consecuencia, aumentan la resistencia a la compresión y la deformación por compresión. Además, cuando se agrega el lodo las características mecánicas tienen valores más bajos.

CONCLUSIONES

Se identificaron los impactos ocasionados por los biosólidos en el ambiente, los cuales se reflejan principalmente la contaminación de suelos en donde se vierten dichos residuos, cuando éstos no son tratados o aprovechados adecuadamente.

Se exponen los procesos de aprovechamiento de biosólidos, como los residuos orgánicos de comedores tratados en compostaje; se registran en el trabajo de la fabricación de material no estructural a emplear en componentes no estructurales de construcciones, la digestión anaeróbica en fincas dedicadas a la explotación porcina, el aprovechamiento de biosólidos para recuperar suelos degradados por la explotación minera, el vermicompostaje para obtener insumos para la germinación de plantas, y producción de fertilizantes

AGRADECIMIENTOS

Proyecto de investigación INV-ING -2986 “Efecto de humus de biosólidos obtenido de la PTAR de la UMNG Cajicá sobre las primeras fases del desarrollo de dos especies de palmas” financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada en la vigencia 2019.

REFERENCIAS

Barrera, C., Martínez, G., Gencelc, O., Bernal, L. (2011). Processed wastewater sludge for improvement of mechanical properties of concretes. *Journal of hazardous materials*, 108-115.

Begum, R., Siwar, C., Pereira, J., Jaafar, A. (2010). Benefit-cost analysis on the economic feasibility of construction waste minimization: the case of Malaysia. *Resources, Conservation and Recycling*, 86-98.

Bolden, J., Abu, T., Fini, E. (2017). Utilización de materiales reciclados y de desecho en diversas aplicaciones de construcción. *American Journal of Environmental Science*, 14-24.

Cajahuanca, S. (2016). Optimización del manejo de residuos orgánicos por medio de la utilización de microorganismos eficientes (*Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus sp.*, *Lactobacillus sp.*) en el proceso de compostaje en la central hidroeléctrica Chaglla. Huánuco, Perú: Universidad de Huánuco.

Cardona, D., Orozco, N. (2018). Valorización de los lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Manizales: Universidad Católica de Manizales.

Cuti, S., Urbina, A. (2018). Análisis de la re-valorización de biosólidos de la PTAR, El Peral, Ambato, para insumos de mampostería. Quido, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.

EPA. (2011). Glosario bilingüe de términos, abreviaturas y siglas relativos al medio ambiente. Obtenido de EPA (Agencia de Protección Ambiental de estados Unidos): <http://www.epa.gov/superfund/spanish/glosario/>

Artículo No. 07. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

Flores, C., Esther, B., & Juscamaita, J. (2018). Tratamiento de lodos residuales de una industria cervecera a través de fermentación homoláctica para la producción acelerada de abono orgánico. *Ecología Aplicada*, 107-118.

Hamoush, S., Taher, A., Lebdeh, Picornel, M., Amer, S. (2011). Development of sustainable engineered stone cladding for toughness, durability, and energy conservation. *Construction and Building materials*, 4006-4016.

Hurtado, A. (2015). Aguas residuales (ptar) con vermicompostaje y su aplicación en germinación, caso países europeos: España, Reino Unido, Francia, Portugal, Italia. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

Kaosol, T. (2010). Reuse water treatment sludge for hollow concrete block manufacture. *Energy Res.*, 131-134.

López, C., & Herrera, Y. (2018). Propuesta para el aprovechamiento de lodos del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Estelí, I semestre 2017. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.

Malakahmad, A., Kok, J., Gardezi, S. (2016). Carbon footprint reduction in building construction by less usage of ore-based materials. *Structural and Construction Engineering*, Dong-A University, Busan, South Korea, 22-101.

Melo, A., Rodríguez, A., González, J. (2017). Manejo de biosólidos y su posible aplicación al suelo, caso Colombia y Uruguay. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 217-226.

Mlina, N. F., León, S. A. I., & Mendoza, J. G. A. (2017). Biosólidos de tratamiento de aguas residuales domésticas, como adiciones en la elaboración de ladrillos cerámicos. *Producción Limpia*, 12(2).

Rincón, S., Cepeda, J. (2015). Análisis del uso de biosólidos para la recuperación de suelos degradados por proyectos mineros que se encuentran en fase de cierre y abandono en Bogotá d.c. Bogotá: Universidad Libre. Facultad de Ingeniería.

Ruesga, L., Ocando, M., López, M., Gutiérrez, E., Caldera, Y., Gutiérrez, E. (2016). Aporte nutricional de un biosólido avícola obtenido en un proceso de digestión aerobia sobre un cultivo de cebollín. *Revista Tecnocientífica URU*, 71-80.

Ruiz, A., Quevedo, L. (2017). Análisis de los lodos provenientes del proceso de tratamiento de aguas residuales del municipio de guatavita. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.

Santoyo, E. R. (2012). Manejo y uso de biosólidos en suelos agrícolas. Montecillo, Texcoco, EDO. México.

Valdés, L., Ulloa, D., Jiménez, Y., Negrin, A., Vidal, V., Castro, M. (2014). Ciclo cerrado en sistemas de producción porcina con la utilización de la tecnología del biogás. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, 188-193