

Artículo No. 04. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

UTILIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL COMO ADICIÓN EN ADOQUINES DE CONCRETO PARA SU POSIBLE USO EN VÍAS DE SERVICIO PEATONAL EN COLOMBIA. CASO DE ESTUDIO ESPAÑA

USE OF BIOSOLIDS FROM WASTEWATER TREATMENT PLANTS AS AN ADDITION IN CONCRETE PAVERS FOR POSSIBLE USE ON PEDESTRIAN SERVICE ROADS IN COLOMBIA. CASE STUDY SPAIN.

Rivera Díaz Paola Andrea¹, González Guzmán Juan Manuel², Jiménez Morales Pedro Adolfo³

¹Estudiante de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería civil, Universidad Militar Nueva Granada. Colombia, Bogotá, u110169@unimilitar.edu.co.

² Docente de Ingeniería civil, MSc, Facultad de Ingeniería civil, Universidad Militar Nueva Granada. Colombia, Bogotá, juan.gonzalez@unimilitar.edu.co.

³ Docente de Biología Aplicada, PhD, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Militar Nueva Granada. Colombia, Cajicá, pedro.jimenez@unimilitar.edu.co

Resumen. Es importante el manejo adecuado de los lodos generados en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales - PTAR, dadas las afectaciones ambientales que se pueden generar en el ambiente, a causa de la presencia de contaminantes derivados del proceso, los cuales pueden generar contaminación a las cuencas hídricas, y posible riesgo para la salud pública. En Colombia se generan 274 toneladas de biosólidos al día producto del tratamiento de aguas residuales dentro de las PTAR, El 97% de esta producción es generada por tres plantas: El Salitre (Bogotá), Cañaveralejo (Cali) y San Fernando (Medellín) (Dáguer, 2003). Desde hace una década se vienen desarrollando en algunos países un marco normativo que regula su aprovechamiento en actividades agrícolas y no agrícolas. El proceso de tratamiento de los lodos residuales genera costos de operación, aproximadamente la mitad del costo total del tratamiento de las aguas residuales convirtiéndose en un problema el cual debe ser abordado. La normativa colombiana mediante el decreto 1287 del 2014 del Ministerio de vivienda, ciudad y territorio define los biosólidos como el producto de la estabilización de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales municipales, con características físicas, químicas y microbiológicas que permiten su uso se presentan también las directrices para el uso de estos residuos en Colombia. Este trabajo presenta la revisión bibliográfica acerca de la utilización de los lodos generados en las PTAR como agregado

Artículo No. 04. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

en la prefabricación de adoquines de concreto para ser usados en vías peatonales de Colombia buscando el valor adicional que estos proporcionarían al comportamiento físicoquímico y mecánico, con estabilidad biológica, y así poder ser usados en vías y ser un punto de partida para futuras investigaciones acerca de este tema basándose en los estudios realizados previamente en países como España.

Palabras clave: Adoquines, Biosólidos, Construcción, Reutilización, Vía Peatonal.

Abstract. It is important to properly manage the sludge generated in a Wastewater Treatment Plant - WWTP, given the environmental effects that can be generated in the environment, due to the presence of pollutants derived from the process, which can generate contamination watersheds, and possible risk to public health. In Colombia, 274 tons of biosolids are generated per day as a result of wastewater treatment within the WWTPs. 97% of this production is generated by three plants: El Salitre (Bogotá), Cañavalejo (Cali) and San Fernando (Medellín) (Dágner, 2003). For a decade, a regulatory framework has been developed in some countries that regulates its use in agricultural and non-agricultural activities. The waste sludge treatment process generates operating costs, approximately half of the total cost of wastewater treatment, becoming a problem that must be addressed. Colombian regulations through Decree 1287 of 2014 of the Ministry of Housing, City and Territory defines biosolids as the product of the stabilization of the sludge generated in the treatment of municipal wastewater, with physical, chemical and microbiological characteristics that allow their use. They also present the guidelines for the use of these wastes in Colombia. This paper presents the bibliographic review about the use of the sludge generated in the WWTPs as aggregate in the prefabrication of concrete pavers to be used in pedestrian streets in Colombia, seeking the additional value that these provide to the physicochemical and mechanical behavior, with biological stability, and thus be able to be used on roads and be a starting point for future research on this topic based on studies previously carried out in countries such as Spain.

Keywords: Cobblestones, Biosolids, Construction, Reuse, pedestrian path.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales se compone de una serie de técnicas y procesos que buscan disminuir los valores de contaminantes físicos, químicos y biológicos, con el fin de depurar los efluentes donde son vertidas las aguas residuales de una región.

Las aguas residuales se componen en su mayoría de vertimientos residenciales, comerciales e industriales, además del aporte de aguas superficiales.

Las aguas residuales se caracterizan por presentar los siguientes componentes:

Artículo No. 04. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

- Sólidos totales: El 0,1% del peso total del agua residual corresponde a fracción sólida, y el 70% de los sólidos corresponde a sólidos de tipo orgánico, los sólidos totales de un agua residual son definidos por el autor como “toda la materia que queda como residuo de evaporación a los 103-105°C. Éstos sólidos pueden clasificarse en sólidos suspendidos (no filtrables) y sólidos filtrables.” (Metcalf & Eddy, Inc., 1985).
- Los sólidos sedimentables son aproximadamente la cantidad de lodos que se eliminarán mediante la sedimentación.
- Adicionalmente los sólidos filtrables se componen de sólidos coloidales los cuales no pueden ser eliminados mediante sedimentación y sólidos disueltos que se componen de moléculas orgánicas e inorgánicas y iones (Toro Carrasco, 2005). En los tratamientos secundarios se busca la eliminación del 85% de DBO y de sólidos suspendidos además de remoción en baja escala de nutrientes. Dentro de los procesos tradicionalmente usados se encuentran los lodos activados, reactores anaerobios, lagunas, etc.... (Aldana, Zuluaga, & Arredondo, 2011):
- Lodos activados: Agitación y aireación de una mezcla de agua residual y lodos biológicos, buscando que las bacterias reciban el oxígeno y así consuman la materia orgánica del agua residual y la transforme en sustancias más simples.

Los lodos son la suspensión de sólidos dentro de los líquidos provenientes del tratamiento de aguas residuales (Ministerio de vivienda, 2014). Generados principalmente por la formación de sólidos en el agua con gran cantidad de materia orgánica, microorganismos, metales pesados entre otros agentes contaminantes que dan como resultado la acumulación de materias en suspensión y compuestos orgánicos dentro proceso de tratamiento (Díaz, 2015). Se producen principalmente en la etapas primaria y secundaria del proceso de tratamiento de aguas residuales. Los biosólidos se obtienen por separación de la fase líquida en dos etapas del proceso de depuración convencional (Mahamud López, Gutiérrez Lavin, & Sastre Andrés, 1996):

- *Decantación primaria:* Por medio de gravedad se separan parte de las partículas que lleva en suspensión el agua residual en la entrada de la planta.
- *Decantación secundaria:* Separación de los flóculos de microorganismos formados a partir del licor de mezcla existente en el reactor biológico del efluente.

Según la normativa colombiana un productor de biosólidos es aquel prestador del servicio público domiciliario de alcantarillado en el componente de tratamiento de aguas residuales municipales que realiza procesos de estabilización de lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales. (Ministerio de vivienda, 2014). De acuerdo con su clasificación, los biosólidos pueden ser utilizados de la siguiente manera (Ministerio de vivienda, 2014):

Artículo No. 04. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

Clase A.

1. Zonas verdes tales como cementerios, separadores viales y lotes vacíos.
2. Áreas privadas tales como jardines, antejardines, patios, plantas ornamentales y arborización.
3. Agricultura.
4. Usos de la Categoría B.

Clase B.

1. Agricultura
2. Recuperación, restauración o mejoramiento de suelos degradados.
3. Insumo en procesos de elaboración de abonos o fertilizantes orgánicos o productos acondicionadores para suelos
4. Remediación de suelos contaminados
5. Insumo en la fabricación de materiales de construcción.
6. Estabilización de taludes
7. Operación de rellenos sanitarios

Eliminación de biosólidos

Dentro de los métodos de eliminación de biosólidos más populares se encuentran la incineración, secado y deshidratación para el vertido controlado y el vertimiento en el mar. La última presenta grandes afectaciones al medio ambiente por lo cual está en camino de ser abolida por todas las legislaciones en el mundo (Zuluaga, 2007).

Según datos de la EPA, se calcula que las 16.000 de las PTAR en Estados Unidos produjeron 7 millones de toneladas de biosólidos en el 2005. La eliminación se realizó de la siguiente manera: 60% de todos los biosólidos fueron usados como fertilizante en las tierras de cultivo, 17% disposición en relleno sanitarios, 20% se incineración y 3% cobertura de tierras (Gervin, 2005).

METODOLOGÍA

Se realizó la búsqueda del procesamiento de biosólidos para la producción de adoquines en comparación del procesamiento entre dos países Colombia y España, se examinó el caso de estudio de España.



Figura 1. Metodología planteada.

RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

El concreto prefabricado es una mezcla de materiales como Cemento, Arena, Agregados Minerales y Aditivos presentes en la naturaleza los cuales a través de procesos controlados y medios mecánicos son combinados y mezclados con agua. Posteriormente el concreto es vertido dentro de moldes según las especificaciones del cliente en plantas de producción con ambientes de calidad controlada a través de procesos industriales o semi-industriales. (Ing Ares Juan & Arq Ochoa Garay, 2014).

Los elementos prefabricados de concreto son actualmente uno de los principales materiales de construcción en la industria de la construcción. En los Estados Unidos, se producen anualmente entre 23 y 30 millones de piezas y más de 2000 tipos de bloques de concreto (Fan, 1996).

Los elementos prefabricados pueden ser clasificados en (Euclid Group Toxement, 2017):

- *Prefabricados Livianos:* Pequeños elementos prefabricados de bajo peso. Se caracterizan porque pueden ser colocados de forma manual como, por ejemplo: losetas, adoquines, tabletas, pequeños paneles, ladrillos, entre otros.

Artículo No. 04. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

- *Prefabricados Semipesados*: Son elementos cuyo peso es inferior a media tonelada. Para su colocación en obra se emplean medios mecánicos simples. Su manejo y colocación exige montacargas, grúas, torres de isaje, etc.
- *Prefabricados Pesados*: El peso de los elementos supera la media tonelada, requiriéndose para su puesta en obra, por ejemplo: Vigas de puentes, postes, grandes paneles.

Agregados

El crecimiento de la industria de la construcción da lugar a problemas ambientales causados por la minería excesiva y el uso de recursos naturales como los agregados y el cemento (Mo, y otros, 2016). Actualmente se están llevando a cabo investigaciones alrededor de la incorporación de desechos en diversos procesos como agregados dentro de elementos de concreto prefabricados, buscando una solución efectiva para el manejo de la enorme cantidad de desechos generados cada año (Yang, Du, & Bao, 2011).

En las investigaciones realizadas se ha encontrado que la incorporación de diversos tipos de desechos puede mejorar las propiedades de los elementos prefabricados de concreto tales como resistencia a la compresión y resistencia al fuego, como, por ejemplo: Ladrillos triturados, residuos de concreto etc... (Zhan & Poon, 2015). La mayoría de los materiales de desecho se investigaron para su uso como reemplazo de los agregados tradicionales para producir elementos prefabricados con algunos valores adicionales en sus propiedades (Zhan, Poon, & Shi, 2013).

Adoquines

Elementos no aligerados en su masa, de concreto prefabricado utilizados como material de acabado para la construcción de superficies para el tránsito peatonal y pavimentos de tráfico (IDU, 2013). A diferencia del concreto normal fundido *in situ*, los adoquines de concreto son producidos en masa dentro de fábricas que utilizan el método de prensado en seco. Las materias primas que componen el adoquín son moldeados bajo cargas específicas con vibración (Poon, C.S., Kou, & Lam, L., 2002).

El adoquín de concreto prefabricado posee la capacidad de moldearse en diferentes formas, espesores, densidades y resistencias (Scholz, M & Grabowiecki, P., 2007). El requerimiento mínimo de resistencia a tracción es de 3.6 Mpa, puesto que los adoquines de concreto son más propensos a agrietarse bajo la influencia de cargas, (Ghafoori, N. & Mathis, R., 1998).

Clasificación de los adoquines

Según la geometría los adoquines se pueden clasificar principalmente de la siguiente manera debido a la unidad (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2004):

1. *Adoquín Estándar:* En conjunto forman una superficie continua.
2. *Sistema de adoquines:* Poseen formas o tamaños creando una secuencia de estética.
3. *Adoquín drenante:* Tienen Perforaciones en el centro de su masa por lo cual son usados como rejillas para pavimentación.
4. *Unidades especiales:* La forma no necesariamente está asociada a la de un adoquín como por ejemplo la Mitra.

Según las aristas los adoquines se pueden clasificar principalmente de la siguiente manera (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2004):

- *Adoquín biselado:* En la cara de desgaste todas sus aristas están biseladas
- *Sistema parcialmente biselado:* En la cara de desgaste algunas de sus aristas están biseladas.
- *Adoquín no biselado:* En la cara de desgaste ninguna de sus aristas está biseladas.

El caso de estudio en el cual es basado este trabajo consiste en el uso de biosólidos generados en la PTAR de Sabadell (Riu Sec) como adición en la fabricación de adoquines prefabricados de concreto

El caso de estudio se realizó en la PTAR Riu Sec localizada en Sabadell, España un municipio de la provincia española de Barcelona el cual contaba en el 2017 con una población de 209 931 habitantes

La PTAR Riu Sec fue inaugurada en el año de 1992 la cual permitía el tratamiento primario de las aguas residuales además de un tratamiento posterior fisicoquímico para un caudal de 50.000 m³/día; En el año de 1997 fue puesta en marcha la segunda fase de la planta permitiendo el tratamiento biológico de las aguas mediante digestión anaerobia aumentando la capacidad de la planta 33.000 m³/día más (Ajuntament de Sabadell, 2012).

En 2007 fue ampliada la planta adicionando el tratamiento de Biorreactores de Membrana (MBR) el cual permite la reutilización del agua residual (Ajuntament de Sabadell, 2012).

Aigües de Sabadell es la encargada de operar la PTAR, además de reutilizar el agua tratada aportando 119.000 m³ de agua cada año. El agua es destinada al riego de zonas verdes y la limpieza de algunas zonas comerciales e industriales de la ciudad (Aigües de Sabadell, 2019).

El biosólido usado en el caso de estudio es procedente de un lodo tratado secundaria o biológicamente dentro de la PTAR Riu Sec y posteriormente secado en incinerado térmicamente (A Yagüe, S. Valls, E. Vázquez, & V. Kuchinow, 2002).

Artículo No. 04. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

Dentro de los estudios que se han realizado en torno de los biosólidos los autores han realizado análisis granulométricos con el fin de caracterizar mejor los mismos, el caso de estudio no fue la excepción realizado un análisis granulométrico con el biosólido que se utilizará posteriormente en la elaboración de los adoquines obteniendo los datos que se observan en la siguiente grafica, por lo cual según los lineamientos expuestos por la AASHTO el biosólido puede ser clasificado como una arena fina (A2) .

Los biosólidos tratados térmicamente para su deshidratación o secado presentan tradicionalmente la siguiente curva granulométrica, a continuación, se presenta una curva obtenida de tres muestras de lodos tratados térmicamente o biosólidos dentro una PTAR ubicada en España (Gobierno de España, CEDEX Centro de estudios y experimentación de obras públicas), se observa gran presencia de materiales finos retenidos entre 0.02 mm y 0.2 mm.

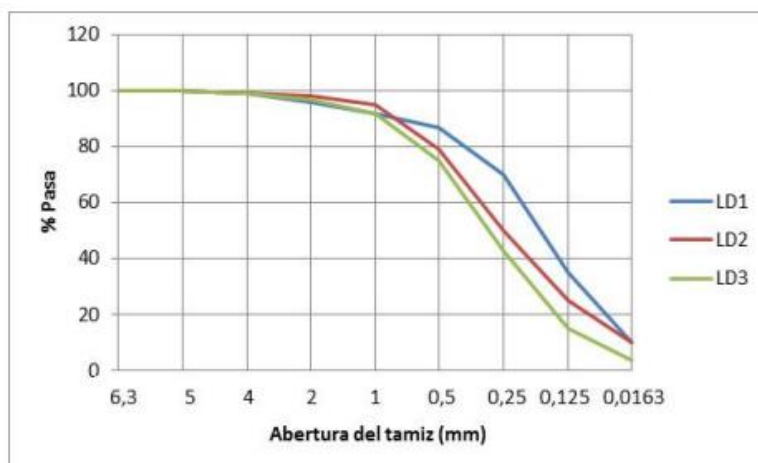


Figura 2. Curva granulométrica de los biosólidos generados en una PTAR española

Fuente: (Gobierno de España, CEDEX Centro de estudios y experimentación de obras públicas)

Los biosólidos utilizados en el caso de estudio fueron sometidos a diferentes ensayos según la normativa española con el fin de observar la concentración de metales pesados y la composición del biosólidos; Dentro de los ensayos utilizados se encuentra: Ensayo por fluorescencia de rayos X para la determinación de la composición química del biosólido, Ensayo por lixiviación (DIN 38414-S4), Ensayo por lixiviación (NEN -7341) tomado de la normativa holandesa NNI (Netherlands Normalisation Institute) y posteriormente reglamentada por la Comunidad Europea para su utilización en toda Europa (Martínez López , Torres Agredo , & Mejía de Gutiérrez , 2013).

con el fin de comparar con la normativa colombiana presentada en el decreto 1287 del 2014 se usarán los resultados del ensayo anteriormente mencionado observando que el biosólido utilizado en el caso de estudio es posible clasificarlo como tipo A, el cual en resumen es permitido usar como insumo en la fabricación de materiales de construcción.

Artículo No. 04. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

Se evidencia dentro del informe presentado en el caso de estudio que no se reportaron ensayos ni resultados acerca de este análisis en el cual se incluye el contenido de patógenos como: Coliformes fecales, huevos de Helminto, Salmonella, etc.

De manera muy acertada los investigadores buscaron que el proceso de fabricación no fuera afectado de manera significativa (A Yagüe, S. Valls, E. Vázquez, & V. Kuchinow, 2002) para que fuera viable industrialmente el uso del biosólido en el adoquín a gran escala.

Dentro del proceso de elaboración de los adoquines se usó un 2% de biosólido por el peso de cemento, adicionalmente se trata de un adoquín bicapa por lo cual los investigadores dividieron en dos el lote de investigación: Adoquines con presencia de biosólido en las dos capas y adoquines con presencia de biosólido en una sola capa.

A continuación, se muestran un resumen de los resultados obtenidos por el grupo investigador del caso de estudio, las muestras fueron ensayadas a los 28 días y al año según se observa, teniendo en cuenta variables como la densidad basados en la norma UNE 1097 3:1999 (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2004), resistencia a la compresión y el porcentaje de absorción para las muestras 1,4,6,7 las cuales dependen de la posición en la bandeja asimismo las muestras fueron divididas en tres: No: Sin biosólido en ninguna capa, N1: 2% de biosólido en una de las capas del adoquín, N2: 2 % de biosólido en las dos capas del adoquín.

Tabla 1. Resultados obtenidos en el caso de estudio a los 28 días

Fuente: (A Yagüe, S. Valls, E. Vázquez, & V. Kuchinow, 2002)

Variable	Muestra a los 28 días					
	1 No	1 N1	1N2	4 No	4 N1	4 N2
Resistencia a la compresión (Mpa)	38,6	36,7	34,4	30,3	37	33,4
Densidad aparente	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
Absorción (%)	6,9	5,8	5,6	6,7	6,2	6,5

Tabla 2. Resultados obtenidos en el caso de estudio a los 365 días

Fuente: (A Yagüe, S. Valls, E. Vázquez, & V. Kuchinow, 2002)

Variable	Muestra a los 365 días					
	6 No	6 N1	6 N2	7 No	7 N1	7 N2
Resistencia a la compresión (Mpa)	45,2	53,7	44,6	45,2	45,9	47,6
Densidad	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
Absorción (%)	5,5	5,7	5,3	5,9	4,7	5,3

Artículo No. 04. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

Apoyados en la normativa holandesa la cual busca encontrar la lixiviación de componentes inorgánicos (metales pesados) originados a partir de materiales de construcción, residuos monolíticos y materiales de residuo los autores determinaron la concentración de metales pesados presentes en los adoquines estudiados, actualmente la norma NEN-7345 esta derogada por lo cual no será puesta a consideración en este trabajo.

Análisis en base a la normativa colombiana

Frente a la normatividad presentada dentro de las normas NTC 2017 “Adoquines de concreto para pavimentos” se observa que la variable de % Absorción la cual debe ser de máximo 7% es cumplida en todas las muestras que son presentadas en el informe del caso de estudio, sin embargo, la NTC no da valores los cuales debe cumplir el adoquín en torno a la resistencia a compresión por lo cual es necesario remitirse a las normas INVIAS para la construcción de carreteras que son aplicables para tráfico vehicular, frente a esto la resistencia a compresión a los 28 días es en promedio 35.1 MPa en el caso de estudio y lo exigido por INVIAS es 50 MPa; Es evidente que la resistencia de los adoquines estudiados en España son menores a los límites que exige el Instituto Nacional de Vías INVIAS, Pero es preciso recordar que este trabajo se basa en el uso de adoquines prefabricados con adición de biosólidos para vías de uso peatonal.

Para el caso de Bogotá la normativa es impuesta por el desarrollo urbano IDU que establece que la resistencia mínima a compresión debe ser de 3000 psi (20.7 MPa) (IDU, Instituto de desarrollo urbano, 2013), observando el valor promedio de la resistencia a la compresión se concluye que para el caso de los andenes y zonas de uso peatonal los adoquines pueden ser usados según el reglamento bogotano. Adicionalmente el % de absorción debe ser de máximo el 7%, variable que se cumple en los resultados de los autores presentados anteriormente.

Actualmente en nuestro país no existe reglamentación acerca de la concentración de metales pesados en materiales de construcción como los adoquines por lo que es necesario apoyarse en normativas internacionales como la holandesa que si lo hacen.

El molde “vía verde” usado en la fabricación de los adoquines no cumple con las dimensiones establecidas por la NTC 2017 por lo cual en Colombia deberá ajustarse a lo planteado por la norma en nuestro país.



Figura 3. Ilustración de los adoquines del caso de estudio Fuente: (Ica Sorigue, s.f.)

CONCLUSIONES

Aspecto ambiental

El estudio realizado en España es un interesante punto de partida para acoger en Colombia metodologías para el tratamiento de los biosólidos que se generan dentro de las PTAR de nuestro país, el remplazo de las materias primas dentro de la construcción debe hacerse en un mediano plazo ya que es inminente el daño ambiental que se está generando con la extracción indiscriminada de estos.

El caso de estudio no presenta información acerca del impacto ambiental en el secado térmico o deshidratación de los lodos o biosólidos por lo cual se hace necesario que en trabajos futuros se investigue la huella ambiental que el proceso tiene en el ambiente además de buscar alternativas como el uso de la totalidad del biogás generado en el tratamiento de aguas para volver el proceso más eficiente energéticamente. Actualmente muchos países ya están usando esta metodología como es el caso de España.

Mediante el decreto 1713 de 2002 se incentiva la reutilización de los residuos sólidos desarrolla los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos municipales, con el fin de implementar iniciativas para el aprovechamiento de estos.

Aspecto técnico

Siguiendo los lineamientos planteados por los autores sería interesante replicar la investigación utilizando diferentes porcentajes de biosólido dentro del adoquín con el fin de buscar una mayor cantidad de biosólido reutilizado sin afectar el proceso de fabricación.

Al agregar un residuo como los biosólidos a un material cementante se general afectaciones en su comportamiento debido a la presencia de materia orgánica, que reduce el tiempo de fraguado, y puede reaccionar químicamente con la composición del biosólido (Jamshidi, Mehrdadi, & Jamshidi, 2011).

En la literatura se han observado investigaciones en las cuales se concluye que las resistencias de elementos prefabricados de concretos con un 2,5-5% de biosólido son parecidas a las resistencias de los elementos sin la adición del residuo, sin embargo, al incrementar la cantidad de biosólido se reduce exponencialmente la resistencia de los elementos (Valls & Vázquez, 2006).

Para una mayor difusión de los adoquines modificados en un trabajo futuro se podría buscar una combinación efectiva de concreto y biosólido en pequeñas cantidades que permita el cumplimiento de la normativa para adoquines de uso vehicular (automóviles).

Artículo No. 04. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

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

A Yagüe, S. Valls, E. Vázquez , & V. Kuchinow. (2002). Utilización de Iodo seco de depuradora de aguas residuales como adición en adoquines de hormigón prefabricado. (U. P. Dept. Ingeniería de la Construcción, Ed.) MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, 52(267).

Aigües de Sabadell. (2019). Aigües de Sabadell. Obtenido de <https://www.aiguessabadell.cat/es/depuracio/>

Ajuntament de Sabadell. (2012). Depuradora Riu Sec . Obtenido de El web de l'aigua: http://ca.sabadell.cat/Aigua/p/EDARRiuSec_cat.asp

Aldana, M., Zuluaga, N., & Arredondo, S. (2011). Seminario Manejo integrado del agua: Tratamiento de aguas residuales. Manizales: Universidad de Manizales.

Asociación Española de Normalización y Certificación . (2004). Adoquines de hormigón: Especificaciones y métodos de ensayo. AENOR 2003, 70.

Dáguer, G. P. (2003). Gestión de biosólidos en Colombia. Bogotá D.C: 46° Congreso internacional ACODAL.

Díaz, V.-L. B.-V. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. Revista CENIC ciencias químicas, 46, 11.

Euclid Group Toxement. (2017). Prefabricados de concreto. Obtenido de http://www.toxement.com.co/media/3380/prefabricado_concreto.pdf

Fan, J. (1996). Foreign Conrete Block Production Equipment and Development Trend. Hebei province Building Materials Bureau, 6, 41-42.

Gobierno de España, CEDEX Centro de estudios y experimentación de obras públicas . (s.f.). Catálogo de residuos utilizables en construcción . Madrid, España: Gobierno de España, ministerio de fomento .

Ghafoori, N., & Mathis, R.,. (1998). Prediction of freezing and thawing durability of concrete. J. Mater. Civil Eng. 10, 45-51.

Artículo No. 04. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

Gervin, S. (2005). Lo que usted necesita saber sobre biosolidos. Recuperado el 2019, de Washington Suburban Sanitary Comisión: <http://www.wsscwater.com>

Ica Sorigue. (s.f.). Ica Sorigue. Recuperado el Marzo de 2019, de Adoquín vía verde: <http://www.icasorigue.com/verde.php?expandable=0#>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2004). NTC 2017-Adoquines de concreto para pavimentos. Bogotá D.C.

IDU, Instituto de desarrollo urbano. (2013). instalación de adoquines de concreto para superficies de tránsito peatonal y vehicular. especificaciones técnicas generales de materiales y construcción, para proyectos de infraestructura vial y de espacio público para Bogotá D.C., 1-19.

Ing Ares Juan, C., & Arq Ochoa Garay, E. (2014). Instituto mexicano del cemento y del concreto. Obtenido de http://ich.cl/descargas/wp-content/uploads/2014_01_21_PREF_DOC_vivienda_prefabricada_imcyc.pdf

Instituto Nacional de Vías INVIAS . (2013). Pavimentos de adoquines de concreto Artículo 510-13. Bogotá.

Jamshidi, A., Mehrdadi, N., & Jamshidi, M. (2011). Application of Sewage Dry Sludge as fine aggregate in concrete. Journal of Environmental Studies, 37(59), 552-559.

Mahamud Lopez , M., Gutierrez Lavin , A., & Sastre Andres, H. (1996). BIOSÓLIDOS GENERADOS EN LA DEPURACIÓN DE AGUAS (I): PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. Ingeniería del Agua, 3(2), 47. Mo, K., Alengaram, U.J, J., M.Z, Y., S.P , L., & S.C. (2016). Green concrete partially comprised of farming waste residues. J clean, 122-138.

Martinez Lopez , C., Torres Agredo , J., & Mejia de Gutierrez , R. (Septiembre de 2013). Uso de test de lixiviación para determinar la migración de contaminantes en morteros de sustitución con residuos de catalizador de craqueo catalítico (fcc). Recuperado el Marzo de 2019, de DYNA Portal de revistas de la Universidad Nacional de Colombia : <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/36052/45327>

Mo, K., Alengaram, U.J, J., M.Z, Y., S.P , L., & S.C. (2016). Green concrete partially comprised of farming waste residues. J clean, 122-138.

Metcalf & Eddy, Inc. (1985). Ingeniería Sanitaria: Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales (2 ed.). Barcelona: Editorial Labor S.A.

Ministerio de vivienda, c. y. (2014). Decreto 1287 del 2014. Recuperado el 3 de Octubre de 2018, de Minvivienda: www.minvivienda.gov.co/Decretos%20Vivienda/1287%20-%202014.pdf

Artículo No. 04. No. 11, Vol. VI, Año 6, 2019. Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial <REDI4>

Poon, C.S., Kou, & Lam, L.,. (2002). Use of recycled aggregates in molded concrete bricks. Constr. Build. Mater., 281-289.

Scholz, M, & Grabowiecki, P. (2007). Review of permeable pavement systems. Build Environ, 3830-3836.

Toro Carrasco, F. C. (2005). Áreas potenciales para la aplicación de biosólidos en plantaciones de la VI región de Chile. (U. d. Facultad de ciencias forestales, Ed.) Departamento de manejo de recursos forestales, Escuela de ciencias forestales.

Valls , S., & Vázquez, E. (Septiembre de 2006). Stabilisation and solidification of sewage sludge with Portland Cement. Obtenido de <http://bibliotecnica.upc.es>

Yang, J., Du, Q., & Bao, Y. (2011). Concrete with recycled concrete aggregate and crushed clay bricks. Constr Build Mater, 25, 1935-1945.

Zhan , B., & Poon, C. (2015). Study on feasibility of reutilizing textile effluent sludge for producing concrete blocks . J Clean , 174-179.

Zhan , B., Poon, C., & Shi, C. (2013). CO2 curing for improving the properties of concrete blocks containing recycled aggregates. Cem. Concr. Comp., 1-8.

Zuluaga, J. A. (2007). Los biosólidos, ¿Una solución o un problema? Produccion + limpia, 2(2), 57-71.