



CAPÍTULO 1

**LODOS Y BIOSÓLIDOS GENERADOS
EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS:**

DE LA DISPOSICIÓN FINAL DE UN

**» RESIDUO A LA GESTIÓN, MANEJO Y
APROVECHAMIENTO DE UN RECURSO**



DOI: <https://doi.org/10.24267/9789585120136.1>



JAIME DÍAZ GÓMEZ

Ingeniero Sanitario de la Universidad del Valle; Msc. en Ciencias Ambientales y Tecnología del IHE-Delft. Líder del grupo de investigación de Recursos Hídricos y docente del programa de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Boyacá. E-mail: jaimediaz@uniboyaca.edu.co

GABRIEL RICARDO CIFUENTES OSORIO

Lic. en Biología y Química de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia; Especialista en Química Ambiental de la Universidad Industrial de Santander; MsC. en Ciencias Ambientales de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. Doctorando en Ciencia y Tecnología del ambiente y la Tierra Universidad de Jaén. España. Docente Titular; Director de Investigaciones Facultad de Ciencias e Ingeniería Universidad de Boyacá, Grupo de investigación Gestión del Recurso Hídrico. E-mail: grcifuentes@uniboyaca.edu.co

ERIKA SIERRA CÁRDENAS

Ingeniera Sanitaria y Ambiental de la Universidad de Boyacá; Msc en Ingeniería de Recursos Hídricos y Ambientales de la Universidad Federal de Paraná. Docente de tiempo completo en el programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Boyacá- Grupo de Investigación Gestión Ambiental. E-mail: efsierra@uniboyaca.edu.co

JOSÉ ÉDGAR VILLALOBOS ENCISO

Ingeniero Civil de la Universidad Autónoma de Chiapas. Msc IHE-Delf. Profesor de Tiempo Completo Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas-México. E-mail: eenciso@unach.mx

CARLOS RAFAEL LARA MENDOZA

Ingeniero Sanitario de la Universidad de Boyacá, Colombia, Msc. en Ingeniería, área civil, de la Universidad de los Andes, Colombia. Docente de los programas Ingeniería Sanitaria e Ingeniería Ambiental de la Universidad de Boyacá. Investigador del Grupo Gestión del Recurso Hídrico de la Universidad de Boyacá. E-mail: carlara@uniboyaca.edu.co



Una de las consecuencias del crecimiento de la población mundial es el incremento en la demanda de agua potable y el respectivo aumento en la cantidad de las aguas residuales generadas. Para satisfacer esa demanda, es necesaria la implementación de estaciones de tratamiento que suministren suficiente agua con la calidad requerida. Al mismo tiempo, se deben construir las estaciones de tratamiento de las aguas residuales para el mejoramiento de la calidad de los efluentes y, además, reducir los impactos ambientales causados por su inadecuada disposición en el ambiente. La implementación de estos sistemas trae como consecuencia la generación de un subproducto denominado comúnmente como lodo.

Con el aumento global de la cantidad de estaciones de tratamiento de agua y aguas residuales, la gestión del lodo, de forma económica y ambientalmente aceptable, es uno de los aspectos más críticos que enfrenta la sociedad contemporánea (Spinosa, 2004).

Actualmente, el lodo es reconocido como un subproducto del tratamiento del agua que una vez tratado, contiene recursos valiosos como agua, nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, entre otros), minerales, carbono orgánico y energía, que pueden ser recuperados y obtener de ellos múltiples usos (Drechel, Qadir & Wichelns, 2015).

Reconociendo los beneficios y el valor económico en su apropiada gestión, la denominación "lodo" se refiere a los sólidos generados por los sistemas de tratamiento sin ningún tipo de adecuación; asimismo, el concepto "biosólido" remite al recurso cuyas características permiten su reutilización benéfica para un uso específico (Bridle, 2001). Esta es una visión integral en la que el tratamiento de agua ya no está orientado solamente a la calidad del efluente líquido, pues adquiere una dimensión en la que se habla de manejo integral de recursos, involucrando uso y generación de recursos en términos de agua, energía y minerales (Wilsenach, Maurer, Larsen & van Loosdrecht, 2003). Por lo anterior, actualmente las plantas de tratamiento de aguas residuales son consideradas Estaciones de Aguas Residuales para Recuperación de Recursos (EARR). En las EARR se producen recursos valiosos que pueden ser productos químicos como nutrientes (principalmente fósforo), bioenergía (metano de digestión anaerobia) y biosólidos (Guest et al., 2009). Este mismo concepto es aplicable a los sólidos producidos en las plantas convencionales empleadas para la producción de agua potable (Babatunde et al., 2007).

Lodo y biosólidos generados en el tratamiento de aguas residuales

En el caso del lodo proveniente del tratamiento de aguas residuales, el lodo en exceso, también conocido como lodo activado, puede ser clasificado en primario y secundario (Tchobanoglous et al., 2014). El lodo primario está compuesto de los sólidos sedimentables removidos del agua cruda en la sedimentación primaria. Adicionalmente, se deben incluir los residuos como: la arena y los materiales sólidos de diferente constitución y tamaño, generados en el tratamiento preliminar como el cribado y la desarenación. El lodo activado es el lodo generado por los procesos biológicos de tratamiento secundario. Este lodo consiste básicamente de sustancias orgánicas e inorgánicas sobre las cuales se desarrollan poblaciones de bacterias en continuo crecimiento, sustancias poliméricas extracelulares, excretadas por las bacterias, compuestos orgánicos recalcitrantes (originalmente presentes en el agua residual cruda o formados durante el decaimiento de los microorganismos), y compuestos inorgánicos presentes en el agua residual (Zhang, Hu, Lee, Chang & Lee, 2017).

En el contexto mundial, se estima que la producción per cápita de lodo generado en el tratamiento de aguas residuales se encuentra dentro de un amplio rango de entre 16 a 94 g/persona, esto debido a las diferencias en los grados de tratamiento que reciben las aguas residuales (Werle, 2013).

Características de los biosólidos provenientes del tratamiento de aguas residuales

El lodo residual del tratamiento de aguas puede recibir la denominación de biosólido cuando es debidamente procesado y tiene una calidad apropiada para ser empleado con propósitos de aprovechamiento como recurso (Andreoli, Von Sperling & Fernandes, 2007). La producción, reutilización y disposición final de este subproducto están entre los aspectos más relevantes en el tratamiento de las aguas residuales tanto en los países desarrollados como en los que se encuentran en vías de desarrollo. Dentro de los procesos a que son sometidos estos lodos se encuentran el espesamiento y la digestión, complementados con secado térmico y tratamiento alcalino para su estabilización, y la reducción de los niveles de microorganismos patógenos dentro de ellos (Silva-Leal, Bedoya-Rios & Torres-Lozada, 2013).

Los biosólidos generados en los procesos biológicos contienen cantidades significativas de fósforo (P) (2-4%, en peso seco) y nitrógeno (N) (2.8-3.8%, en peso seco), siendo ambos elementos esenciales para el crecimiento de las plantas (Haynes, Murtaza & Naidu, 2009). Adicionalmente, el lodo es rico en materia orgánica, potasio y micronutrientes como cobre y zinc (Sternbeck, 2011). El fósforo presente en el biosólidos es reconocido como el elemento más valioso desde el punto de vista del valor económico, además, es coadyuvante de la sostenibilidad en el uso del agua. Lo anterior, adquiere mayor relevancia ante la gran demanda de fertilizantes fosfatados en la agricultura, mismos que actualmente se producen a partir de roca fosfórica, un recurso natural no renovable que podría ser sustituido por el fósforo contenido en los biosólidos (Childers, Corman, Edwards & Elser, 2011).

Este uso ha sido sugerido también por otros autores a fin de reemplazar el fósforo, y parcialmente el nitrógeno, que toma la producción de vegetación; no obstante, la disponibilidad de fósforo proveniente de los biosólidos, comparada con la de los fertilizantes comerciales, ha sido tradicionalmente baja (Seyhan & Erdinçler, 2003), aunque algunos estudios reportan que la cantidad de P y N utilizable en los biosólidos se asimila a la de los fertilizantes inorgánicos (Kahiluoto, Kuisma, Ketoja, Salo & Heikkinen, 2015; Rigby, et al., 2016). Adicionalmente, el riesgo potencial de introducir metales pesados en los suelos, relacionado con la aplicación directa de biosólidos, ha fomentado el desarrollo de procesos dirigidos a la extracción del fósforo dentro de ellos. Sin embargo, dichos manejos aún no demuestran viabilidad económica (Egle, Rechberger, Krampe & Zessner, 2016).

Los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales también pueden contener otros contaminantes que pueden limitar su uso en agricultura, como son: organismos patógenos y parásitos (huevos de helminto) (Vieira da Rocha, Bares & Borba, 2016; Pinheiro, Andreoli, Alcantara & Aisse, 2016); empero, se ha demostrado que con el tratamiento por diversos métodos se logran reducir los niveles de estos organismos en los biosólidos hasta porcentajes seguros para actividades como la agricultura.

Reutilización de biosólidos producidos en el tratamiento de aguas residuales

Históricamente, la disposición final de los biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales se ha centrado en la incineración, disposición final en relleno sanitario y uso agrícola (Fijalkowski, Rorat, Grobelak &

Kacprzak, 2017). Hoy en día, se reconocen alternativas de reuso como recuperación de suelos degradados; paisajismo y horticultura; fertilización de bosques; procesos industriales; recuperación de minerales y materiales, así como la recuperación de energía (Zhang, et al., 2017).

Reconociendo su valor como recurso, es importante mencionar que los biosólidos contienen sustancias que pueden afectar el balance ambiental, en especial cuando se aplican directamente en el suelo (Xia, Bhandari, Das & Pillar, 2005). Entre estos constituyentes, se pueden mencionar los residuos de los productos empleados en la economía doméstica conocidos como contaminantes emergentes (CE) (Jelic, et al., 2011). Ejemplos de estos residuos, son los restos de los productos farmacéuticos y del cuidado personal, no aprovechados (Clarke y Cummins, 2015). En la actualidad, se considera que esta situación debe recibir especial atención y estudio, ya que no existen suficientes análisis sobre su acumulación y uso en el ambiente ni legislación que regule el uso de biosólidos en suelo agrícola con respecto a la concentración de este tipo de sustancias (Sörme Lindqvist y Söderberg, 2003; Petrie, Barden & Kasprzyk-Hordern, 2015).

Lodos y biosólidos generados en la operación de sistemas de potabilización de agua

Dentro del tratamiento del agua para abastecimiento humano, los procesos que generan lodo incluyen: filtración (lavado de filtros), procesos de membrana e intercambio iónico (regeneración de intercambiadores iónicos). El lodo de tratamiento de agua para potabilización se produce durante operaciones unitarias como coagulación con sales de aluminio o hierro y ablandamiento del agua por precipitación. La cantidad producida depende de la calidad y cantidad del agua tratada, el tipo y dosis de coagulante y las condiciones del proceso como la mezcla (Torres, Hernández & Paredes, 2012). El contenido de agua está entre 98.5 y 99.9%. En la actualidad, se estima una producción a nivel global alrededor de 10,000 ton/d de lodo de tratamiento de agua (Babatunde & Zhao, 2007).

Características del lodo originado en el proceso de tratamiento de agua potable

De acuerdo con Sales et al. (2011), los coagulantes más comúnmente usados en el tratamiento de agua para abastecimiento son los óxidos o sales de aluminio ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$), hierro férrico (e.g., $FeCl_3 \cdot 6H_2O$) e hierro

(e.g., FeCl_2 , $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), por tanto, el lodo producido en este tipo de tratamiento contiene residuos de estos productos coagulantes, además de concentraciones variables de microorganismos, sólidos suspendidos orgánicos y elementos químicos (Babatunde y Zhao, 2007).

La composición de óxidos varía según la calidad del agua cruda, naturaleza del coagulante, tecnología de tratamiento empleada y la calidad de agua producida (Ahmad, Ahmad & Alam, 2016). En general, el SiO_2 forma la mayor porción del lodo, seguido por el Al_2O_3 y el Fe_2O_3 , también se encuentran otros óxidos como: CaO , MgO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , y en una pequeña porción el TiO_2 (Huang, Pan & Liu, 2005). La cantidad de Al_2O_3 o Fe_2O_3 en el lodo está asociada con el tipo de coagulante empleado (sales de Al o Fe), y la concentración de esos metales en el agua cruda. Algunos metales pesados también pueden estar presentes asociados con el agua cruda y/o como impurezas en los coagulantes (Chiang, Chou, Hua, Chien & Cheeseman, 2009; Ippolito, Barbarick & Elliott, 2014; Zou, Xu & Li, 2009).

Reutilización de los biosólidos de tratamiento de agua

El lodo generado por el uso de sales de aluminio empleadas en el tratamiento de agua para abastecimiento humano ha sido clasificado como un residuo no peligroso (Chiang, et al., 2009). Esto implica que no está sujeto a las restricciones de ese tipo de residuos. De acuerdo con Elliot y Dempsey (1991), las concentraciones de metales en lodos de tratamiento de agua son generalmente bajas y similares a las de los suelos. Sin embargo, para uso agrícola, Dassannayake, Jayasinghe, Surapaneni y Hetherington (2015) sugieren que se deben evaluar con profundidad las características de los biosólidos y su interacción con la biota del suelo, en una visión de largo plazo.

En general, el tratamiento para generar un biosólido incluye procesos de espesamiento, centrifugación y filtración, a fin de recuperar agua y minimizar el flujo de residuos, al mismo tiempo que los sólidos resultantes puedan estar en un valor de alrededor del 30% de materia seca (MS).

Por mucho tiempo, la disposición final de biosólidos ha sido en relleno sanitario, sin embargo, esta práctica es cada vez más costosa e insostenible, por lo que han surgido nuevas alternativas que buscan su reutilización como un recurso benéfico. Entre los usos de estos biosólidos se destacan: material para recuperación de áreas degradadas (Dayton & Basta, 2001), fabricación de materiales cerámicos refractarios, con alto contenido de

aluminio (Benlalla, Elmoussaouiti, Cherkaoui, Aithsain & Assafi, 2015), material primario para fabricación de clinker (Ferreira & Olhero, 2002), material de relleno para la industria de la construcción (Ramadan, Fouad & Hassainain, 2008), sustitución de la arcilla en la fabricación de ladrillos (Teixeira, et al., 2011), reutilización y recuperación de coagulantes (Parsons y Daniels, 1999), uso como sustrato en humedales artificiales (Tomenko, V., Ahmed, S. & Popov, V., 2007) y aplicación en remoción de contaminantes y metales pesados de aguas residuales (Yang, Wei, Zhang, Wang & Wang, 2014).

El proceso de investigación, bien sea a nivel científico o tecnológico, se encuentra directa o indirectamente relacionado y enfocado hacia un desarrollo económico-ambiental, en el contexto regional, nacional o internacional, reflejando su impacto sobre toda la comunidad. Hoy en día, las investigaciones se encuentran asociadas a la llamada competitividad internacional, por lo cual se requieren estudios que conlleven innovación, aprovechamiento y beneficio para las comunidades, tanto académicas como científicas, y para la sociedad en general. Los resultados obtenidos en las investigaciones realizadas por cada uno de los autores nacionales e internacionales, pertenecientes a instituciones de educación superior, adquieren sentido y valor si se dan a conocer públicamente, es así, que este libro producto de investigaciones se enmarca dentro del llamado reporte técnico de investigación que, de forma general y concisa, se utiliza para informar procedimientos, resultados y alternativas de solución de las investigaciones dentro de una estructura lógica (Donald, Jacobs & Razavieh, 1982).

Este libro está dirigido a las personas interesadas en los temas de lodos y biosólidos generados en el tratamiento de aguas; asimismo, proporciona fundamentos básicos derivados de investigaciones científicas, nacionales e internacionales, con el fin de apropiar el proceso investigativo en esta área.

El material aquí presentado pretende, en primer lugar, dar una visión general sobre la normatividad colombiana existente frente a la generación de lodos y biosólidos en las plantas de tratamiento de agua residual; en segunda instancia, se aborda el contexto internacional, caso de Brasil, donde está la legislación sobre el uso de estos materiales y su destinación agrícola, con criterios como clase de lodos, valores admisibles, usos y aspectos relacionados con la calidad de los mismos, entre otros. Teniendo como base dicha normatividad, se presenta la caracterización general de lodos y biosólidos producidos en las Plantas de Tratamiento de

Agua Residual (PTAR); a partir de ahí, se hace un recorrido por el ámbito nacional e internacional, fundamentalmente, con base en criterios físico-químicos y microbiológicos; además, se tiene en cuenta la deshidratación y el tiempo de secado de este tipo de material, para luego continuar con el denominado saneamiento de lodos y biosólidos, apartado que incluye el tratamiento y estabilización de los mismos utilizando diferentes metodologías, tanto en Colombia como en Brasil. Por último, se encentra el aprovechamiento, uso y destino.

Conclusiones

Durante la última década se presentó una tendencia mundial para la variación del enfoque convencional del tratamiento de agua hacia el concepto de gestión integral de recursos naturales. Con base en este concepto, el lodo generado en el tratamiento de aguas, una vez convertido en biosólido, deja de ser un residuo para ser considerado un recurso benéfico que se puede reutilizar con diferentes propósitos.

Con relación a los biosólidos producidos en el tratamiento de agua para abastecimiento, existe hasta el momento un consenso en el sentido de que, por sus características, no debe ser clasificado como un residuo con restricciones para su reutilización con diferentes propósitos; sin embargo, en el caso de aplicaciones directas en suelos, es necesario evaluar en cada situación las características de los biosólidos y las interacciones entre los biosólidos y la biota del suelo.

Cuando se trata del uso para el mejoramiento de suelos de los biosólidos generados en el tratamiento de aguas residuales, se deben incluir las características de los biosólidos en cuanto al contenido de los CE. Cabe señalar que aún se debe desarrollar el marco normativo a este respecto.

Referencias

- Ahmad, T., Ahmad, K., & Alam, W. (2016). Sustainable management of water treatment sludge through 3 'R' concept. *Journal of Cleaner Production*, 124, 1-13.
- Andreoli, C. V., Von Sperling, M., Fernandes, F., & Ronteltap, M. (2007). *Sludge treatment and disposal*. London, UK: IWA publishing

- Babatunde, A.O., & Zhao, Y.Q. (2007). Constructive approaches towards water treatment works sludge management: an international review of beneficial re-uses. *Critical Review Environmental Science and Technology*, 37(2), 129-164.
- Benlalla, A., Elmoussaouiti, M., Cherkaoui, M., Aithsain, L., & Assafi, M. (2015). Characterization and valorization of drinking water sludges applied to agricultural spreading. *Journal of Materials and Environmental Science*, 6(1), 1692-1698.
- Bridle, T. (2001). Other thermal processes. *Sludge into Biosolids*. 130-146. London, UK: IWA Publishing.
- Chiang, K. Y., Chou, P. H., Hua, C. R., Chien, K. L., & Cheeseman, C. (2009). Lightweight bricks manufactured from water treatment sludge and rice husks. *Journal of Hazardous Materials*, 171(1-3), 76-82.
- Childers, D. L., Corman, J., Edwards, M., & Elser, J. J. (2011). Sustainability Challenges of Phosphorus and Food: Solutions from Closing the Human Phosphorus Cycle. *BioScience*, 61(2), 117-124
- Clarke, R. M., & Cummins, E. (2015). Evaluation of "Classic" and Emerging Contaminants Resulting from the Application of Biosolids to Agricultural Lands: A Review. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 21(2), 492-513.
- Donald, A., Cheser, J., & Razavieh, A. (1982). *Introducción a la Investigación Pedagógica*, 2ª. ed., México: Ed. Interamericana.
- Dassanayake, K. B., Jayasinghe, G. Y., Surapaneni, A., & Hetherington, C. (2015). A review on alum sludge with special reference to agricultural applications and future challenges. *Waste Management*, 38, 321-335.
- Dayton, E. A., & Basta, N. T. (2001). Characterization of drinking water treatment residuals for 644 use as a soil substitute. *Water Environment Research*, 73(1), 52-57.
- Drechel, P., Qadir, M., & Wichelns, D. (Eds.) (2015). *Wastewater: An economic asset in an urbanizing world*. Springer.
- Egle, L., Rechberger, H., Krampe, J., & Zessner, M. (2016). Phosphorus recovery from municipal wastewater: an integrated comparative technological, environmental and economic assessment of P recovery technologies. *Science of the Total Environment*, 571, 522-542.
- Elliott, H., & Dempsey, V. (1991). Agronomic effects of and application of water treatment sludges. *J. Am. Water Works Assoc.* 83, 126-131.
- Ferreira, J.M.F., Olhero, S.M., 2002. Al-rich sludge treatments towards recycling. *J. Eur. Ceram. Soc.* 22, 2243-2249. [https://doi.org/10.1016/S0955-2219\(02\)00023-7](https://doi.org/10.1016/S0955-2219(02)00023-7).

- Fijalkowski, K., Rorat, A., Grobelak, A., & Kacprzak, M, J. (2017). The presence of contaminations in sewage sludge - The current situation. *Journal of Environmental Management*, 203, 1126-1136.
- Guest, J. S., Skerlos, S. J., Barnard, J. L., Beck, M. B., Daigger, G. T., Hilger, H., Love, N. G. (2009). A new planning and design paradigm to achieve sustainable resource recovery from wastewater. *Environmental Science and Technology*, 43(16), 6126-6130. <https://doi.org/10.1021/es9010515>.
- Haynes, R. J., Murtaza, G., & Naidu, R. (2009). Inorganic and Organic Constituents and Contaminants of Biosolids: Implications for Land Application. *Advances in Agronomy*, 104, 165-267.
- Huang, C., Pan, J. R., & Liu, Y. (2005). Mixing water treatment residual with excavation waste soil in brick and artificial aggregate making. *Journal of Environmental Engineering*, 131(2), 272-277.
- Ippolito, J. A., Barbarick, K. A., & Elliott, H. A. (2011). Drinking water treatment residuals: a review of recent uses. *Journal of Environmental Quality*, 40(1), 1-12.
- Jelic, A., Gros, M., Ginebreda, A., Cespedes-Sánchez, R., Ventura, F., Petrovic, M., & Barcelo, D. (2011). Occurrence, partition and removal of pharmaceuticals in sewage water and sludge during wastewater treatment. *Water Research*, 45(3), 1165-1176.
- Kahiluoto, H., Kuisma, M., Ketoja, E., Salo, T., & Heikkinen, J. (2015). Phosphorus in manure and sewage sludge more recyclable than in soluble inorganic fertilizer. *Environmental Science and Technology*, 49(4), 2115-2122.
- Petrie, B., Barden, R., & Kasprzyk-Hordern, B. (2015). A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment: Current knowledge, understudied areas and recommendations for future monitoring. *Water Research*, 72, 3-27.
- Pinheiro Pompeo, R., Andreoli, C, V., Alcantara de Castro, E., & Aisse, M, M. (2016). Influence of long-term storage operating conditions on the reduction of viable *Ascaris* eggs in sewage sludge for agricultural reuse. *Water Air & Soil Pollution*, 227(5), 144-158.
- Ramadan, M, O., Fouad, H. A., & Hassanain, A. M. (2008). Reuse of water treatment plant sludge in brick manufacturing. *Journal of Applied Sciences Research*, 4(10), 1223-1229.
- Rigby, H., Clarke, B. O., Pritchard, D. L., Meehan, B., Beshah, F., Smith, S. R., & Porter, N. A. (2016). A critical review of nitrogen mineralization in biosolids-amended soil, the associated fertilizer value for crop production and potential for emissions to the environment. *Science of the Total Environment*, 541, 1310-1338.

- Sales, A., Rodrigues de Souza, F., & Almeida, F.C.R. (2011). Mechanical properties of concrete produced with a composite of water treatment sludge and sawdust. *Construction and Building Materials*, 25(6), 2793-2798.
- Parsons S. A. & Daniels S. J. (1999). The Use of Recovered Coagulants in Wastewater Treatment. *Environmental Technology*, 20(9), 979-986. DOI: 10.1080/09593332008616893
- Seyhan, D., & Erdinçler, A. (2003). Effect of lime stabilisation of enhanced biological phosphorus removal sludges on the phosphorus availability to plants. *Water Science and Technology*, 48(1), 155-162.
- Silva-Leal, J., Bedoya-Ríos, D., & Torres-Lozada, P. (2013). Efecto del secado alcalino en las características microbiológicas y químicas de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. *Química Nova*, 36(2), 207-214.
- Sörme, L., Lindqvist, A., & Söderberg, H. (2003). Capacity to influence sources of heavy metals to wastewater treatment sludge. *Environmental Management*, 31(3), 0421-0428.
- Spinosa, L. (2004). From sludge to resources through biosolids. *Water Science and Technology*, 50(9), 1-9.
- Sternbeck, J. (2011). *Using sludge on arable land: Effect based levels and longterm accumulation for certain organic pollutants*. Copenhagen: Nordic Council of Ministers.
- Teixeira, S.R., Santos, G.T.A., Souza, A.E., Alessio, P., Souza, S.A., & Souza, N.R. (2011). The effect of incorporation of a Brazilian water treatment plant sludge on the properties of ceramic materials. *Applied Clay Science*, 53(4), 561-565.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Stensel, H. D., & Metcalf & Eddy. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and reuse*. Boston: McGraw-Hill.
- Tomenko, V., Ahmed, S. & Popov, V. 2007. "Modelling constructed wetland treatment system performance," *Ecological Modelling*. Elsevier, 205(3), 355-364.
- Torres, P., Hernández, D., & Paredes, D. (2012). Uso productivo de lodos de plantas de tratamiento de agua potable en la fabricación de ladrillos cerámicos. *Revista Ingeniería de Construcción*, 27(3), 145-154.
- Vieira da Rocha, M, C., Barés, M. E., & Braga, M. C. B. (2016). Quantification of viable helminth eggs in samples of sewage sludge. *Water Research*, 103, 245-255.
- Werle, S. (2013). Potential and properties of the granular sewage sludge as a renewable energy source. *Journal of Ecological Engineering*, 14(1), 17-21.

- Wilsenach, J. A., Maurer, M., Larsen, T. A. & van Loosdrecht, M. C. M. (2003). From waste treatment to integrated resource management. *Water Science and Technology*, 48(1), 1-9.
- Xia, K., Bhandari, A., Das, K., & Pillar, G. (2005). Occurrence and fate of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in biosolids. *Journal of environmental quality*, 34(1).91-104
- Yang, L., Wei, J., Zhang, Y., Wang, J., Wang, D., 2014. Reuse of acid coagulant recovered drinking waterworks sludge residual to remove phosphorus from wastewater. *Appl. Surf. Sci.* 305, 337-346. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.03.081>.
- Zhang, Q., Hu, J., Lee, D. J., Chang, Y. & Lee, Y. J. (2017). Sludge treatment: current research trends. *Bioresource technology*, 243, 1159-1172.
- Zou, J. L., Xu, G. R., & Li, G.B. (2009). Ceramsite obtained from water and wastewater sludge and its characteristics affected by Fe_2O_3 , CaO , and MgO . *Journal of Hazardous Materials*, 165(1-3), 995-1001.

