

Valoración energética de lodos en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas – Lima

Energy evaluation of sludge in domestic wastewater treatment plants - Lima

Juan Edmundo Estrada Alarcón¹, Carlos Francisco Cabrera Carranza²

Recibido: 25/09/2020 - Aprobado: 04/10/2021 – Publicado: 23/12/2021

RESUMEN

Las plantas de tratamiento de aguas residuales en general (PTAR), dan como resultado final, lodos, que representan el 2 % aproximadamente de agua residual tratada. En la ciudad de Lima, con el crecimiento poblacional cada vez mayor, los lodos producidos serán también mayores y por ende se considerará mayor contaminación ambiental. Una de las vías para eliminarlos, es la valoración energética, es decir, calcular el poder calorífico de los lodos y compararlo con otros combustibles sólidos. El trabajo que presentamos, consiste en realizar un análisis químico, biológico, porcentaje de humedad y carbono fijo de muestra de lodo de la PTAR - Ventanilla, finalmente se calculó el poder calorífico por el método de Gouthal, resultando (P.C = 21667,68J/kg) para la PTAR Ventanilla, luego comparamos con otros combustibles sólidos como la antracita que tiene (P.C. 27907,2kJ/kg) y lignito (P.C. = 9108,57 kJ/kg), resultando aceptable utilizar lodos con este fin como alternativa a la extracción de materiales fósiles.

Palabras claves: Aguas residuales; lodos; poder calorífico; ecoenergía; valoración energética.

ABSTRACT

The wastewater treatment plants in general (WWTP), give as a final result, sludge, which represents approximately 2% of the treated wastewater. In the city of Lima, with increasing population growth, the sludge produced will also be greater and therefore greater environmental pollution will be considered. One of the ways to eliminate them is the energy assessment, that is, calculating the calorific value of the sludge and comparing it with other solid fuels. The work that we present consists of carrying out a chemical, biological, percentage of humidity and fixed carbon analysis of the sludge sample from the WWTP - Ventanilla, finally the calorific value was calculated by the Gouthal method, resulting in (PC = 21667.68J / kg) for the Ventanilla WWTP, then we compare it with other solid fuels such as anthracite (PC 27907.2kJ / kg) and lignite (PC = 9108.57 kJ / kg), making it acceptable to use sludge for this purpose as an alternative to extraction of fossil materials.

Keywords: Wastewater; sludge; calorific value; eco-energy; energy valuation.

1 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Lima, Perú. Docente.

Autor para correspondencia: eestradaa@unmsms.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3742-9348>

2 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Lima, Perú. Docente.

E-mail: ccabrera@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5821-5886>

I. INTRODUCCIÓN

Como resultado del tratamiento de las aguas residuales, en las plantas de tratamientos, se producen residuos sólidos, arena, espuma y lodos.

La evacuación y el tratamiento de los lodos son el problema más complejo que se presenta en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Los lodos son producto del tratamiento de la concentración de sólidos contenidos en los efluentes (lodos primarios) o los sólidos suspendidos formados (lodos secundarios) que resultan en los sólidos disueltos de aguas residuales (Morales Rojo, 2005). Los lodos son producidos durante el proceso de tratamiento mecánico, biológico y químico de las aguas servidas (Marambio & Ortega, 2003). La gran cantidad de materia orgánica, contienen, microorganismos, macro y micronutrientes, metales pesados y agua (Cuevas B. J. et al., 2006).

Las operaciones primarias (sin digestión) y operaciones secundarias (con digestión), comprenden procedimientos físicos y biológicos, con la finalidad de reducir la presencia de parásitos, patógenos y compuestos carbonados lábiles en los lodos, en los cuales también se hacen tratamientos químicos (Adriana María Quinchía & Dora María Carmona, 2004). La disposición final de estos lodos comúnmente son los rellenos sanitarios, que son de alto costo de instalación de reactores de estabilización de lodos, además del costo de transporte a deposición final, actualmente se está haciendo la incineración, para poder aprovechar su poder calorífico (Cardosa L.; & Ramírez Camperos, 2002).

Para muchos países, se hace difícil el manejo de estas enormes masas de lodo y transporte a un destino final, constituyendo un serio problema (Davis, 1996), en la búsqueda de un destino final se han encontrado que, se puede aplicar los lodos al suelo, encontrándose beneficios, tanto de tipo ambiental como económico, debido a que los lodos proporcionan material orgánico y enriquecen la estructura del suelo.

Podemos utilizar los lodos en suelos agrícolas y forestales, porque estos son ricos en nutrientes (Salcedo-Pérez et al., 2007). Las concentraciones altas en Nitrógeno, fósforo y material orgánico en los lodos se pueden aprovechar para el mejor desarrollo de las plantas.

Reutilizar materiales orgánicos ricos en nutrientes posibilitan la aplicación de los lodos en suelos agrícolas y forestales una alternativa importante (Salcedo-Pérez et al., 2007). Las altas concentraciones de nutrientes de los lodos (Nitrógeno, fósforo, materia orgánica) pueden ser aprovechado para el desarrollo de las plantas.

Se pueden producir los lodos residuales, llamados también biosólidos como consecuencia de las aguas residuales, estos biosólidos (lodos) se pueden utilizar como estabilizadores de suelos, fertilizantes y generar energía. Los lodos producidos y extraídos de las respectivas operaciones y procesos de las aguas residuales generalmente son líquidos o semilíquidos con 0.25 a 12% en peso de sólidos. La fracción de lodo a evacuar es aproximadamente de

2% del caudal de agua residual tratada biológicamente se convierte en lodo (Limón Macías, 2013).

Si el manejo y disposición de estos lodos es ineficiente, podemos crear un problema ambiental y por ende a la sociedad, por las grandes cantidades que se generan. Se realizaron estimaciones sobre el potencial de generación de biogás instalando un sistema de digestión anaerobia utilizando lodos como materia prima, así como el potencial de generación de energía eléctrica y otros usos en beneficio de las PTAR. También se han hecho estimaciones sobre los impactos ambientales y sociales que conlleva el reúso de los lodos (Remis & Mendoza Espinosa, 2011).

El trabajo de investigación se eligió, porque las PTAR en el Perú, actualmente no resuelven el problema de disposición final y tratamiento de lodos producidos, siendo un problema ambiental, además, de los costos de tratamiento.

El objetivo radica en aprovechar el poder calorífico de los lodos, con la finalidad de utilizar la energía generada por incineración de los sólidos (lodos secos) en las operaciones y procesos de las PTAR, ello debido a que la energía que se genera a partir de los combustibles fósiles, como el petróleo y carbón (antracita o lignito) tiene un alto costo.

Se justifica el trabajo de investigación, porque de acuerdo con los resultados obtenidos, la utilización de lodos para la generación de energía calorífica y conversión de energía eléctrica es viable. Además, creará más fuente de trabajo para la población.

II. METODOS

Con ocasión de las visitas a la PTAR de Ventanilla, tomamos nota del procedimiento experimental del tratamiento de los residuos sólidos, de acuerdo a lo observado, construimos un diagrama de flujo que se muestra en la (Figura 1), se tomaron muestras de los lodos “secos” al medio ambiente, por el método del cuarteo, para evaluarlos en laboratorios y realizar los Análisis químicos (Tabla 1) y biológicos (Tabla 2); (Ramírez et al., 2007); las muestras de lodos “secos” al medio ambiente, se pasa por secado mecánico al lodo pastoso, por secado térmico al lodo húmedo y finalmente al horno de incineración, como se muestra en el diagrama de flujo (Figura 2) donde se analizan el % de carbono fijo y el % de material volátil (Tabla 3) y finalmente, determinar el poder calorífico de los lodos por el método de Gouthal.

Se presenta el diagrama del tratamiento de los residuos provenientes de la PTAR (Figura 1). Los análisis químicos biológicos de lodos de la PTAR Ventanilla de acuerdo con el protocolo de métodos de análisis para suelos y lodos del Gobierno de Chile -2007.

III. RESULTADOS

Para calcular el valor del poder calorífico se tomaron en cuenta los informes de los análisis químicos y biológicos de la PTAR Ventanilla. Análisis Químicos ver Tabla 1 y Análisis Biológicos en Tabla 2.

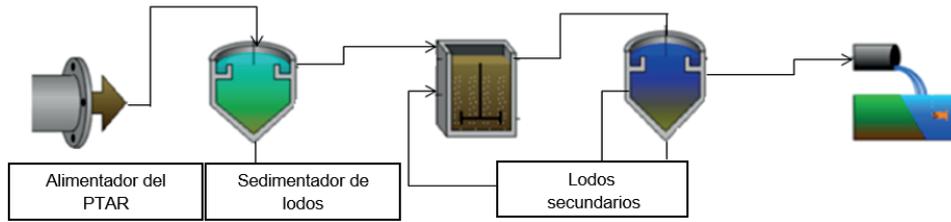


Figura 1. Diagrama de tratamiento de residuos PTAR. Proceso de tratamiento de los residuos, pasa por sedimentador de lodos primarios, una fracción de lodos pasan a digestor anaerobio, de este pasan a otro sedimentador produciendo los lodos secundarios y el agua para regadío. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Contenido de metales totales en muestra de lodo

Parámetros	mg/kg
Arsénico	< 0,02
Cadmio	3
Cromo	853,0
Cobre	616,0
Mercurio	2,61
Molibdeno	<0,1
Níquel	19,9
Plomo	25
Selenio	< 0,02
Zinc	714

Fuente. Elaboración propia

Tabla 2. Parámetros biológicos

Parámetros		Expresado en:
Coliformes Totales (35 °C)	54 x 10 ⁵	NMP/30g
Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	92 x 10 ⁴	NMP/30g
Huevos de Helmintos	< 1	Huevos/ 2g
Salmonella	Ausente	Presencia-Ausencia/25g
Quistes de Protozoarios	13	Quistes/g
Cryptosporidium	1	Nº quistes/mg

Fuente. Elaboración propia

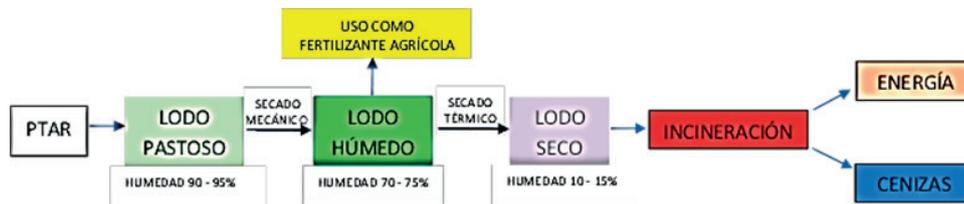


Figura 2. Diagrama de proceso de secado e incineración de lodos. Diagrama de secado, incineración y generación de energía. Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Porcentaje de humedad y carbono fijo PTAR Ventanilla

Parámetros	Porcentaje
% de humedad	10,55%
Materia volátil	37,51%
Cenizas	45,64%
Carbono fijo	12,85%

Fuente. Elaboración propia

Así mismo, se realizaron análisis, para determinar el % de carbono fijo y % de humedad de los lodos secos, reportado en la Tabla 3.

Los resultados obtenidos en los análisis químicos y biológicos registrados en las Tablas 1 y 2 están por debajo de los estándares máximo-permisibles, de acuerdo con las normas exigidas por Norma Oficial Máxima (NOM-004-SEMARNAT, 2002).

Con los datos reportados, se calcula el poder calorífico de los lodos, de acuerdo con el método Gouthal.

$$V' = \frac{\%MV}{\%MV + \%CF} \times 100$$

$$PC = 82CF + \alpha V'$$

Donde:

PC = poder calorífico en kJ/kg

CF = % carbono fijo

MV = % Material Volátil

α = factor que se determina en la tabla de GOUTHAL en función de V'

resultando:

PTAR Ventanilla: **PC = 21667.68 kJ/kg**

El Poder Calorífico de los lodos de PTAR Ventanilla calculado, nos indica que sería una buena alternativa usar como materia prima los lodos de las PTAR, para la generación de Energía, en lugar de usar como materia prima para lo mismo, petróleo o los diferentes tipos de carbón actualmente utilizados y además estos materiales fósiles son causantes de la producción de gases contaminantes atmosféricos como el CH_4 , CO_2 y otros. Además, el uso de los combustibles fósiles es de elevado costo. De la misma manera se puede hallar el valor energético, para los lodos de las otras PTAR de Lima.

IV. DISCUSIÓN

El resultado del valor energético (poder calorífico) obtenido de los lodos secos de PTAR Ventanilla (PC. 21667,68 kJ/kg) es lo suficientemente alto para que su valoración energética sea viable. Sin embargo sería conveniente hacer notar que debido a su alto contenido de humedad al salir del secado mecánico, su transporte hacia la planta incineradora, encarecería el proceso, por lo tanto se recomienda un secado térmico previo a su traslado, por cuanto de esa manera el secado térmico hace que se elimine la mayor cantidad de agua intracelular de los lodos por la aplicación de calor externo, de esta manera su humedad se reduce a 10 – 15%. Finalmente podríamos que recomendar que todo este proceso, se realice en la misma planta o muy cerca, para de esa manera eliminar costos de transporte y contaminación.

Al hacer la comparación del poder calorífico de los lodos de la PTAR con otros combustibles como antracita y lignito que son combustibles sólidos fósiles, podríamos decir que los lodos procedentes de PTAR se pueden utilizar muy bien como combustibles.

V. CONCLUSIONES

La investigación se ha centrado en analizar la viabilidad de realizar una incineración con recuperación de energía para los lodos estudiados.

El poder calorífico de la PTAR a partir de lodos con un contenido de humedad próximo al 11%, después someterlo a secado mecánico y térmico, es de 21667,68kJ/kg siendo aceptable.

Con el poder calorífico de estos lodos (PTAR Ventanilla) se eliminan los residuos de manera sostenible. Con el poder calculado y aceptable se estaría evitando el uso de materiales fósiles como la Antracita (P.C.=27907.28 kJ/kg) y Lignito (P.C.= 9108.57 kJ/kg) que se viene usando como materia prima para la generación de energía, que como sabemos produce gases de efecto invernadero.

VI. AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a los profesionales de la Unidad de Servicio de Análisis Químicos (USAQ) de la Facultad de química e Ingeniería Química de la UNMSM. Por los análisis de las muestras de lodos.

VII. REFERENCIAS

- Adriana María Quinchía, & Dora María Carmona. (2004). Factibilidad de disposición de los biosólidos generados en una planta de tratamiento de aguas residuales combinada. *Rev.EIA.Esc.Ing.Antioq*, 2. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372004000200009
- Cardosa L., & Ramirez Camperos, E. (2002). Vermicomposting of sewage sludge: a new technology for Mexico | Water Science & Technology | IWA Publishing. *Water Science and Technology*, 46(10), 153–158. <https://iwaponline.com/wst/article-abstract/46/10/153/7524/Vermicomposting-of-sewage-sludge-a-new-technology?redirectedFrom=fulltext>
- Cuevas B. J., Seguel S. O., Ellies S. A., & Dörner F. J. (2006). Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencias a la adicción de los lodos urbanos. *Revista de La Ciencia Del Suelo y Nutrición Vegetal*, 6(2), 1–12. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912006000200001
- Davis, R. D. (1996). The Impact of EU and UK Environmental Pressures on the Future of Sludge Treatment and Disposal. *Water and Environment Journal*, 10(1), 65–69. https://www.researchgate.net/publication/229551507_The_Impact_of_EU_and_UK_Environmental_Pressures_on_the_Future_of_Sludge_Treatment_and_Disposal
- Limón Macias, J. G. (2013). *Los Lodos de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. ¿Problema o Recurso?* https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/

LIM%C3%93N%202013.%20Los%20lodos%20de%20 las%20plantas%20de%20tratamiento%20de%20aguas.pdf

- Marambio, C. ;, & Ortega, B. (2003). *Uso potencial de lodos derivados del tratamiento de aguas servidas en la producción de cultivos en Chile*. Revista de Agronomía y Forestal UC. . http://agronomia.uc.cl/component/com_sobipro/Itemid,232/pid,107/sid,857/
- Morales Rojo, P. M. (2005). *Digestión Anaerobia de lodos de plantas de tratamiento de aguas y su aprovechamiento*. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leia/morales_r_pm/
- NOM-004-SEMARNAT. (2002). *Norma Oficial Mexicana*. <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/ecol/semarnat004.pdf>
- Ramírez, M. C. , Larrubia, M. A. , Herrera, M. C. , Guerrero-Pérez, M. O. , García, I. M., Alemany, L. J. , & Palacios, C. (2007). Valorización energética de biosólidos: algunos aspectos económicos y ambientales en la EDAR Guadalhorce (Málaga). *Residuos: Revista Técnica*, 17(98), 60–67. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2355624>
- Remis, R. R., & Mendoza Espinosa, L. G. (2011). El potencial de generación de energía eléctrica empleando biosólidos como fuente de materia prima: El caso de la ciudad de Ensenada, Baja California. In *Memorias del IV Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, Recuperación de Energía a Partir de Residuos*. http://www.redisa.net/doc/artSim2011/RecuperacionDeEnergiaAPartirDeResiduos/EI%20potencial%20de%20generaci%C3%B3n%20de%20energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica%20empleando%20bios%C3%B3lidos%20como%20fuente%20de%20materia%20prima_%20El%20caso%20de%20la%20ciudad%20de%20Ensenada,%20Baja%20California.pdf
- Salcedo-Pérez, E. , Vázquez-Alaran, A. , Krishnamurthy, L., Zamora-Ntera, F. , Hernandez-Avarez, E., & Rodriguez-Macias, R. (2007). Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en jalisco, México. *Interciencia*, 32(2), 115–120. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007000200009