

Alternativas en la estabilización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales

Castillo Sánchez Jonathan Gustavo, Balarezo Saltos Luis David, Vinces Obando María Belén,
Zambrano Rizo Héctor Andrés

*Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Ecuador, Carrera de Ingeniería Ambiental,
Campus Politécnico, El Limón, Km 2,7 vía Calceta-Morro-El Limón sector La Pastora*

gusta_vk@hotmail.com, lbalarezos19@hotmail.com, mabelen1997@hotmail.com,
hectorzam18@gmail.com

Resumen— La contaminación de los lodos que provienen de plantas de tratamiento de aguas residuales, afecta al medio ambiente y a la salud, por su contenido de materia orgánica, microorganismos y metales pesados. La presente investigación se realizó una caracterización físico-química y microbiológica en cuanto a humedad, proteínas, acidez, análisis del total de nitrógeno básico volátil (TVB-N), materia orgánica, metales pesados y parámetros microbiológicos con la finalidad de establecer la clase de lodo en base a las normativas ambientales internacionales, tales como USEPA, norma de la directiva europea y norma oficial mexicana, debido a la usencia de estas en el Ecuador. La concentración de metales se encuentra entre límite máximo de concentraciones estipulados por las tres normativas analizadas. En cuanto a los resultados de coliformes fecales se obtuvo $2,4 \times 10^4$ UFC/g, correspondiendo a un lodo de clase B según la USEPA; y a un lodo de clase C de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana. En el presente se da un panorama general de los diferentes métodos de estabilización de lodos, en el cual se sugiere la utilización de cal debido a evidencias experimentales por diferentes investigaciones, siendo esta una de las más accesibles y eficientes.

Palabras claves— lodo residual, caracterización, estabilización, cal.

Abstract— Contamination of sludge from wastewater treatment plants affects the environment and health, because of their organic matter content, microorganisms and heavy metals. This research carried out a physical-chemical and microbiological characterization in terms of moisture, proteins, acidity, analysis of total volatile basic nitrogen (TVB-N), organic matter, heavy metals and microbiological parameters with the to establish the sludge class based on international environmental regulations, such as USEPA, the standard of the European directive and the official Mexican standard, due to the use of these in Ecuador. The concentration of metals is between the maximum limit of concentrations stipulated by the three regulations analyzed. As for the results of faecal coliforms, $2,4 \times 10^4$ CFUs/g was obtained, corresponding to a Class B

sludge according to USEPA; and a Class C sludge according to the official Mexican standard. The present gives an overview of the different methods of sludge stabilization, in which the use of lime is suggested due to experimental evidence by different research, this being one of the most accessible and efficient.

Index Terms— residual sludge, characterization, stabilization, lime.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la gestión de lodos es uno de los problemas ambientales más complejos y preocupantes asociados al tratamiento de aguas residuales, ya que estos contienen microorganismos patógenos que constituyen riesgos para la salud y el ambiente (Flores & Morales, 2018; Montes Morán & Menéndez Díaz, 2010; Ospina López et al., 2017). De esta manera, EPA, ente rector para Norteamérica en materia de lodos, calcula que las 16000 plantas de tratamiento de aguas residuales en Estados Unidos generan aproximadamente 7 millones de toneladas de lodos cada año (Vélez Zuluaga, 2007). La disposición final de lodos residuales implica gastos económicos sumamente elevados, debido a la instalación de reactores estabilizadores o sistemas de deshidratación e incineración para su tratamiento y evacuación (Mahamud López et al., 1996). Es por ello, que en muchas ocasiones estos lodos son vertidos al drenaje, descargados a cuerpos de aguas superficiales y rellenos sanitarios e incluso incinerados sin ningún tipo de medidas de protección adecuadas para evitar la polución ambiental (Paredes, 2014; Toro & Guerrero, 2013). Los lodos generados por una PTAR, son objeto de recurso para su reutilización, ya que contienen propiedades benéficas como nutrientes minerales y materia orgánica, las cuales pueden ser aprovechadas en la agricultura o mejoramiento de suelos (Amador-Díaz et al., 2015). Sin embargo, antes de ser comercializados, deben ser estabilizados para eliminar patógenos, disminuir la atracción de vectores y la capacidad de

putrefacción, con el fin de reducir los riesgos de contaminación (Rodríguez, 2006). Esto genera la búsqueda de procesos más eficientes para su tratamiento, consiguiendo estabilizar y degradar controladamente las sustancias orgánicas que contienen, eliminar malos olores e inactivar organismos patogénicos para su posible utilización posterior o disposición final (Tobón, 2013).

En el presente trabajo se caracterizan los lodos generados durante el tratamiento de las aguas residuales de TADEL S.A. tomando como referencia las normativas ambientales internacionales tales como (USEPA), norma de la directiva europea y norma oficial mexicana, debido a la usencia de estas en el Ecuador. Por tanto, en base a diferentes investigaciones y las características físico-químicas y microbiológicas de dichos lodos, la investigación tiene como objetivo proponer el mejor tratamiento de estabilización con la finalidad de darle un valor agregado y reducir la contaminación por la generación de los mismos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Muestreo

Las muestras de lodo residual fueron colectadas en la Procesadora Industrial de Harina de Pescado Secada al Vapor TADEL S.A. Esta se llevó a cabo bajo la metodología de (Medina et al., 2009) la cual consistió en coleccionar cinco submuestras en una cantidad de 1 Kg en la descarga de la línea conductora de lodos hacia un sedimentador en la planta de tratamiento de aguas residuales de dicha empresa, las mismas que fueron homogenizadas y colocadas en envases esterilizados, a temperatura ambiente, para ser transportadas al laboratorio.



Fig. 1. Lodo residual de la PTAR de TADEL S.A.

B. Análisis físico-químicos y microbiológicos

Las muestras fueron desmenuzadas con el objetivo de eliminar los aglomerados que se forman, producto de la humedad que poseen, luego se homogeneizaron por el método del anillo y el cono. Una vez homogéneas las muestras, se tomaron las porciones para la caracterización. El porcentaje de humedad se obtuvo mediante el método de secado en termobalanza, en el cual se evaporó de manera continua la

humedad de la muestra y el registro incesante de la pérdida de peso, hasta que la muestra se situó a peso constante. El porcentaje proteínas se determinó por el método Kjeldahl propuesto por Johann Kjeldahl (1883) en el que se pesó 1 g de la muestra y se envolvió en papel seda, para colocarla en un balón de destilación. Posteriormente, se le agregó 18 g de Na₂SO₄, 1 g de CuSO₄ y 25 ml de H₂SO₄ en el matraz. La acidez se midió utilizando técnicas de titulación, donde se pesó 0,6308 g de la muestra de lodo en un matraz, y se le adicionó 50 ml alcohol neutro (etanol, 6 gotas de fenolftaleína y 3 gotas de NaOH).

La determinación de bases volátiles totales de nitrógeno TVB-N se realizó bajo la metodología propuesta (Goulas & Kontominas, 2005) donde se pesó 10 g de la muestra (lodo residual) y se colocó en un matraz balón. Luego se pesó 1 g de MgO y se le adicionó a la muestra; seguidamente, se agregó 50 ml de agua destilada, 25 ml de ácido bórico y seis gotas de rojo metilo. Para densidad de la muestra de lodo se procedió a secar la muestra en estufa a 105 °C por una hora, se determinó la masa de la muestra en una balanza analítica y su volumen que es equivalente al volumen de agua destilada desplazado al introducir la muestra en ella. Para el pH y la conductividad eléctrica se utilizó el método del potenciómetro y del conductímetro. El procedimiento para la determinación de materia orgánica del lodo se realizó pesando 0,5008 g de la muestra la cual se mantuvo en una fiola y se midió en una probeta 10 ml de dicromato de potasio para homogeneizarlas dentro de la fiola que contiene la muestra. Se calculó en un vaso de precipitación 20 ml de ácido sulfúrico concentrado al 97%, para homogeneizarlo, se agregó a la solución fenolftaleína al 1%, entre 10 a 12 gotas, donde finalmente se adicionó sulfato ferroso para dar paso a la titulación.

La concentración de metales pesados (Cd, Hg y Pb) fue analizada por el Laboratorio WSS WORLD SURVEY SERVICES ECUADOR S.A. Se determinó Cd, Hg y Pb por los métodos de espectrofotometría de absorción atómica por llama, espectrofotometría de absorción atómica por generación de vapor frío y espectroscopía de emisión atómica con plasma de acoplamiento, respectivamente.

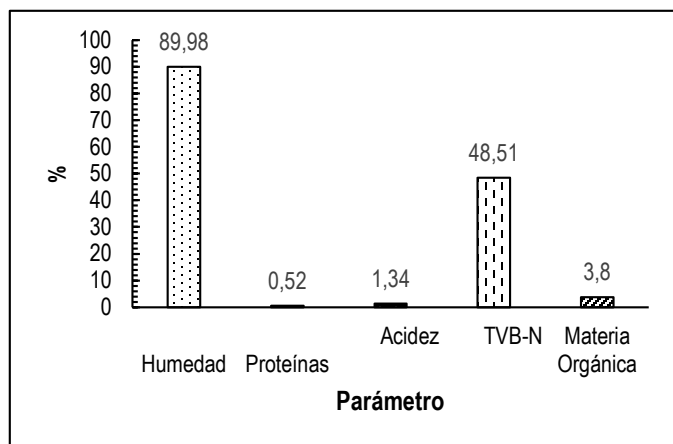
La determinación de los parámetros microbiológicos fue ejecutada mediante procedimientos referidos en la literatura especializada por parte del mismo laboratorio. Los coliformes totales y fecales fueron determinados según el protocolo que se presenta en la norma INEN 1529-7:2013, mientras que los aerobios mesófilos fueron determinados por el método P-LM-09 (REF. NTE INEN ISO 4833-1:2013).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se presenta los resultados obtenidos la caracterización físico-química del lodo residual.

TABLE I
CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL LODO RESIDUAL

Parámetro	Unidad	Cantidad
Humedad	%	89,98
Proteínas	%	0,52
Acidez	%	1,34
TVB-N	%	48,51
Densidad	gr/ml	1,118
pH		7,2
Conductividad	dS/m	1,51
Eléctrica		
Materia Orgánica	%	3,8



De los resultados expresados en la Tabla 1, se observa que el porcentaje de humedad fue de 89,98%. En efecto, humedades superiores a 50% podrían promover el recrecimiento de microorganismos, y por lo tanto, la inactivación de microorganismos patógenos del proceso se da por factores como el sostenimiento del pH elevado o la formación de productos biosidas como el amoníaco (Bedoya-Rios & Torres-Lozada, 2013). La cantidad de proteína es sumamente baja con 0,52%. El elevado contenido de carbohidratos, lípidos y proteínas hace que los lodos sean considerados como un residuo complejo, con una importante fracción de materia orgánica en suspensión de lenta biodegradabilidad (Torres et al., 2010). La acidez fue 1,34%, clasificando el lodo como extremadamente ácido, debido a que se encuentra en el rango de <4.5. (Molina & Bermudez, 2016). El lodo presentó una conductividad eléctrica de 1,51 dS/m y un pH de 7,2; lo cual significa que se trata de un lodo casi neutro y que, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana, no representa peligro alguno por corrosividad. El contenido de nitrógeno fue de 48,51%. Consecuentemente, al ser aplicados, no representan un riesgo de contaminación potencial a los cuerpos de agua superficial o subterránea (Flores et al., 2014). En cuanto a materia orgánica se obtuvo un valor de 3,8 %, la cual tiene capacidad de intercambio catiónico, esto es una gran capacidad para retener

caciones en el suelo o lodo (López et al., 1996; Rojo, 2005).

TABLE II
CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL LODO RESIDUAL

Metales	Valor	Concentración Límite (mg/kg en base seca)			
		USEPA	Direct. Europea	Norma Ofi.Mex. Excelente	Bueno
Cadmio	0,3	39	20	39	85
Mercurio	<0,25	17	16	17	57
Plomo	<0,25	300	750	300	840

En la concentración cadmio, mercurio y plomo, se obtuvieron valores de 0,3 mg/kg y <0,25 mg/kg en base seca, respectivamente. Si se encuentra presencia mayor a 300 mg/kg de cadmio, la reproducción de microorganismos disminuye, debido a que el ADN sufre lesiones y afecta directamente al crecimiento; mientras que el mercurio hace que los microorganismos aerobios mesófilos, coliformes totales y fecales reduzcan sus colonias, ya que es altamente tóxico y radioactivo. El plomo forma complejos fuertemente enlazados con la materia orgánica. Por lo tanto, la adición de esta, en los lodos explicaría la baja disponibilidad de este metal, la cual fue 3,8% en la muestra analizada. Además de que el pH, el cual resultó ser de 7,2 (ligeramente alcalino) también es un factor que inhibe la biodisponibilidad de este metal (González et al., 2011; Serpa, 2017). Por lo tanto, los metales analizados se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por las tres normas internacionales. Además, de acuerdo a la norma oficial mexicana, el lodo es de excelente calidad.

TABLE III
RECUESTO DE AEROBIOS MESÓFILOS Y COLIFORMES EN EL LODO RESIDUAL.

Criterio	Unidad	Cantid.	US EPA	Norma Ofi.Mex.
Aerobios mesófilos	UFC/gr	7x10 ⁶	-	
Coliformes totales	UFC/gr	6,7x10 ⁴	-	
Coliformes fecales	UFC/gr	2,4x10 ⁴	Clase A:<1000 Clase B:<2x10 ⁶	Clase A:<1000 Clase B:<1000 Clase C: <2x10 ⁶

En cuanto a los análisis microbiológicos se obtuvo una cantidad de 7,0x10⁶ UFC/g de aerobios mesófilos en la muestra de lodo. Sin embargo, esto no es indicio de presencia de patógenos en la muestra analizada, ya que un recuento bajo de estos no asegura la ausencia de patógenos, de la misma manera un recuento elevado no significa presencia de flora patógena (Toro & Guerrero, 2013). El recuento de coliformes totales fue de 6,7x10⁴ UFC/g y de coliformes fecales 2,4x10⁴ UFC/g; este valor, se mantiene dentro de los criterios señalados por la NOM-004-SEMARNAT-2002 para un lodo residual crudo clase C, el cual puede ser utilizado en usos forestales, mejoramiento de suelos y usos agrícolas. No obstante, para la USEPA, corresponde a un lodo clase B debido a que la densidad

de coliformes fecales es inferior a 2×10^6 UFC/g, los cuales una vez tratados y convertidos en biosólidos pueden ser aptos para recuperación de suelos, plantaciones forestales, cultivos que no se consuman directamente y cobertura de rellenos sanitarios. Sin embargo, las concentraciones de indicadores de contaminación fecal limitan su aprovechamiento por un tiempo en cultivos agrícolas de consumo directo como las hortalizas (Amador-Díaz et al., 2015; Moreno & Colín, 2000).

Por esta razón, es importante considerar tratamientos que reduzcan el alto contenido microbiológico de los lodos, mejorando las eficiencias de destrucción de microorganismos y modificando las condiciones de operación de los procesos existentes o añadiendo procesos que complementen su estabilización microbiológica (Mendoza & Prats, 2010; Salcedo et al., 2007). De este modo, existen diferentes tipos de tratamiento, entre ellos, la pasteurización, digestión anaerobia mesófila, digestión aerobia termófila, compostaje, estabilización con cal, almacenamiento líquido, deshidratación y acondicionamiento térmico (Mahamud et al., 1996). Una de las técnicas más económicas y simples para evitar la actividad bacteriana en el lodo, es la estabilización química con adición de cal hasta elevar el pH por encima de 11,0. Acorde con lo anterior, una ventaja de la estabilización con cal es que el pH alto favorece la precipitación de metales en el lodo, minimizando así su solubilidad y movilidad (Feria & Martínez, 2014).

La cal es un producto que comercialmente se encuentra principalmente en dos presentaciones: cal viva (CaO) y cal hidratada (Ca(OH)_2), estos productos generan un aumento de la temperatura y producen iones hidróxido que aumentan el pH (Queiroz & Costa, 2016).

Moeller et al., (2000) utilizaron cal hidratada en una proporción volumen a volumen de 30% CH en 100 ml de biosólido digerido en condición anaerobia de la PTAR de Chapultepec, para elevar el pH a 12 unidades en un tiempo de exposición de 2 horas, reduciendo los coliformes fecales de $1,1 \times 10^7$ a $1,81 \times 10^2$ UFC/g, lo que permitió clasificarlo como biosólido Tipo A.

Torres et al., (2013) emplearon cal viva para mejorar la calidad microbiológica de lodos digeridos de una laguna anaerobia en Ginebra, Colombia, empleando dosis de 20, 40 y 60% (peso a peso), encontrando una remoción del 100% en coliformes fecales y huevos de helmintos para todas las dosis de cal aplicada. Por esta razón, se propone como eco-alternativa de estabilización la utilización de cal como tratamiento previo, el cual en base a diferentes investigaciones es considerado como el más accesible y eficaz entre los diferentes métodos de estabilización existentes.

IV. CONCLUSIÓN

De acuerdo a la caracterización físico química y microbiológica de los lodos residuales, corresponden a un lodo de clase B por contener más de 1000 UFC/g de coliformes fecales según la USEPA; y a un lodo de clase C de acuerdo a la norma oficial mexicana por poseer menos de 2 000 000 UFC/g, siendo aptos para actividades agrícolas o recuperación de suelos, después de ser tratados y convertidos en biosólidos. La estabilización del

lodo mediante la aplicación de cal es una opción que permite mejorar sus características, aumentando su potencial de aplicación con menor riesgo al medio ambiente y a la salud pública.

AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen y agradecen a la Procesadora Industrial de Harina de Pescado Secada al Vapor TADEL S.A por el apoyo económico y permitir incondicionalmente el acceso a sus instalaciones; al laboratorio de química ambiental del área agroindustrial de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, por facilitar los medios para la realización de esta investigación. Asimismo, se agradece a el Ing. Carlos Banchón por sus conocimientos impartidos sobre redacción científica, los cuales fueron de vital importancia para el presente trabajo.

REFERENCIAS

- [1] Amador-Díaz, A., Veliz-Lorenzo, E., & Bataller-Venta, M. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. 46, 11.
- [2] Bedoya-Rios, D., & Torres-Lozada, P. (2013). Efecto del secado térmico y el tratamiento alcalino en las características microbiológicas y químicas de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. *Química Nova*, 36(2), 207-214. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000200002>.
- [3] Carranza, C. C. (s. f.). Compatibilidad ambiental de la industria de harina de pescado en paracas - PISCO. 10.
- [4] Flores, B. E. C., & Morales, J. G. J. (2018). Tratamiento de lodos residuales de una industria cervecera a través de fermentación homoláctica para la producción acelerada de abono orgánico. *Ecología Aplicada*, 17(1), 107-118. <https://doi.org/10.21704/rea.v17i1.1179>
- [5] Flores, E., Moreno, H., Figueroa, U., & Potisek, M. (2014). Disponibilidad de nitrógeno y desarrollo de avena forrajera (*Avena sativa* L.) con aplicación de biosólidos. 7.
- [6] González, E., Tórnero-Campante, M. A., Sandoval-Castro, E., Pérez-Magaña, A., & Gordillo-Martínez, A. J. (2011). Biodisponibilidad y fraccionamiento de metales pesados en suelos agrícolas enmendados con biosólidos de origen municipal. 11. *Goulas2005.pdf*. (s. f.).
- [7] Mahamud López, M., Gutiérrez Lavín, A., & Sastre Andrés, H. (1996). Biosólidos generados en la depuración de aguas (I): Planteamiento del problema. *Ingeniería del agua*, 3(2). <https://doi.org/10.4995/ia.1996.2698>.
- [8] Medina, E. C., Rojas, N. G., Rodríguez, A. V., & Fabila, M. G. (2009). Análisis básico del reuso de lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales en suelos de pradera del parque nacional nevado de toluca. 18.
- [9] Mendoza, C., & Prats, H. (2010). Opciones de valorización de lodos de distintas estaciones depuradoras de aguas residuales. 15.
- [10] Moeller, G., Ferat, C., & López, R. (2000). Aplicación del procesamiento térmico y alcalino para la desinfección de lodos residuales primarios. Un estudio comparativo. Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Porto Alegre. Brasil.
- [11] Molina, L. L. G., & Bermudez, A. M. M. (2016). Caracterización fisicoquímica de los lodos provenientes de una planta de tratamiento de agua residual industrial de una empresa de café del departamento de caldas. 166.
- [12] Montes Morán, M. Á., & Menéndez Díaz, J. Á. (2010). El problema de la gestión de lodos en EDARs.
- [13] Moreno, J., & Colín, A. (2000). Irradiación de lodos residuales y su uso en el cultivo de avena. 5.
- [14] Ospina López, F. A., Rodríguez González, A., & González Guzmán, J. M. (2017). Comparación de la reglamentación para el manejo de lodos provenientes de agua residual en Argentina, Chile y Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(1), 227-237. <https://doi.org/10.22490/21456453.1852>.

- [15] Paredes Concepción, P. (2014). Producción más limpia y el manejo de efluentes en plantas de harina y aceite de pescado. *Industrial Data*, 17(2), 72. <https://doi.org/10.15381/idata.v17i2.12050>.
- [16] Rodríguez, M. G. (2006). Depuración de aguas residuales: Modelización de procesos de lodos activos. Editorial CSIC - CSIC Press.
- [17] Rojo, P. M. M. (2005). Digestion Anaerobia de Lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas y su aprovechamiento.
- [18] Salcedo-Pérez, E., Vázquez-Alarcón, A., Krishnamurthy, L., & Zamora-Natera, F. (2007). Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco, México. 32, 7.
- [19] Tobón, H. M. C. (2013). Biolodos: Tratamiento de lodos y aguas residuales en el municipio de Villapinzón. *Uniandes*.
- [20] Toro, J. G., & Guerrero, X. R. (2013). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos presentes en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (PTARI) de la empresa Jugos Hit de la ciudad de Pereira.
- [21] Torres, M. L., Veliz, E., & García, L. A. F. (2010). Tratamiento de lodos. Una etapa necesaria dentro del proceso tecnológico Sludge treatment. A necessary step inside the technological process. 8.
- [22] Torres, P., Madera, C., & Silva, J. (2013). Mejoramiento de la calidad microbiológica de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas (microbiological quality improvement of biosolids from domestic wastewater treatment plants). *Revista EIA*, 6(11), 21-37.
- [23] Vélez Zuluaga, J. A. (2007). Los biosólidos: ¿una solución o un problema?
- [24] Yule Queiroz de Oliveira, I., & Costa Rondon, O. (2016). Diagnóstico da gestão de lodo de estação de tratamento de água em Mato Grosso do Sul.

Interações (Campo Grande), 17(4). [https://doi.org/10.20435/1984-042X-2016-v.17-n.4\(11\)](https://doi.org/10.20435/1984-042X-2016-v.17-n.4(11)).



Zambrano Rizo Héctor Andrés
Estudiante del décimo semestre de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí.



Castillo Sánchez Jonathan Gustavo
Estudiante del décimo semestre de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí.



Balarezo Saltos Luis David Estudiante del décimo semestre de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí.



Vinces Obando María Belén Estudiante del décimo semestre de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí.