

ALTERNATIVAS DE P+L A PARTIR DE LA CALIDAD DE LODOS
PROVENIENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES TADEL S.A.

ALTERNATIVES OF P+L FROM THE QUALITY OF THE
PROVIDED OF THE TREATMENT FLOOR OF RESIDUAL
WATERS TADEL S.A.

Aenny Carolina Cedeño-Alcívar¹, Luis David Balarezo-Saltos², Jonathan Gustavo Castillo-Sánchez³, Héctor Andrés
Zambrano-Rizo⁴

Carrera de Ingeniería Ambiental, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Campus
Politécnico El Limón, Km 2.7 Vía Calceta-El Limón.

Email: ¹annycarolina97@hotmail.com, ²lbalarezos19@hotmail.com, ³gusta_vk@hotmail.com, ⁴Hectorzam18@gmail.com

Resumen

La presente investigación se realizó en la Procesadora Industrial de Harina de Pescado Secada al Vapor TADEL S.A. Manta, Ecuador. Tuvo como objetivo diseñar alternativas de producciones más limpias y por ende caracterizar el lodo procedente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de dicha industria, en cuanto a parámetros como humedad, proteínas, acidez, análisis del total de nitrógeno básico volátil (TVB-N), materia orgánica, metales pesados y parámetros microbiológicos con la finalidad de establecer su posición dentro de los rangos que establecen los límites permisibles de las normativas ambientales internacionales como de Estados Unidos (USEPA), norma de la directiva europea y norma oficial mexicana, debido a la ausencia de normativas en el Ecuador. Los valores reportados fueron de 0,30 para cadmio, <0,25 mercurio y <0,25 plomo; por lo tanto, ninguno de ellos excede el 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 por contener más de 1000 UFC/g 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, todo esto evaluado en cuanto a las normativas internacionales. Es por ello que se planteó como alternativa para aprovechar los lodos, convertirlos en biosólidos mediante la estabilización con cal, ya que es uno de los métodos más factibles a nivel económico y tecnológico.

Palabras claves: Agua residual, biosólido, harina de pescado.

1. INTRODUCCIÓN

La forma habitual de la que provienen los lodos residuales, ya sea incinerarlos, verterlos al mar y lagunas, descargados al drenaje o ser desechados sin ningún tratamiento se ha convertido en un grave problema (Amador *et al.*, 2014). Particularmente, los lodos de desecho generados en gran cantidad por los tratamientos de aguas residuales, son

objeto de recurso para una reutilización agrícola alrededor del mundo, por su alto contenido de nutrientes minerales. Sin embargo, antes de ser comercializados, deben ser estabilizados para eliminar patógenos, y disminuir la atracción de vectores y la capacidad de putrefacción, con el fin de reducir los riesgos de contaminación. De esta manera, los lodos estabilizados (biosólidos) podrán utilizarse como mejoradores de suelos sin riesgo para el ambiente y la salud pública.

Esta investigación tiene como prioridad que en el Ecuador se establezcan normas para la caracterización de lodos, y que las empresas cumplan con las normas ya estipuladas para dichos tratamientos; sin embargo, por la ausencia de las mismas en el país, se propone acatar y guiarse mediante normativas internacionales, como es el caso de la Unión Europea, que exige y hace que se beneficien las empresas aplicando tratamientos a los lodos para garantizar y darles un valor agregado, todo esto de acuerdo a la calidad que tengan, basándose en los diferentes criterios emitidos por las normas con el fin de ser aplicados en diversas actividades, principalmente como biofertilizantes y por ende contribuyendo a la naturaleza (Arostegi, 2011).

Se determinó la calidad de los lodos residuales procedentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la Procesadora Industrial de Harina de Pescado Secada al Vapor TADEL S.A. Manta, Ecuador, donde se midieron parámetros físicos, químicos y microbiológicos, tales como humedad, proteínas, acidez, análisis del total de nitrógeno básico volátil (TVB-N), materia orgánica, metales pesados y parámetros microbiológicos con la finalidad de

establecer suposición dentro de los rangos que establecen los límites permisibles de las normativas ambientales internacionales como de Estados Unidos (USEPA), norma de la directiva europea y norma oficial mexicana, debido a la usencia de normativas en el Ecuador.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló en la provincia de Manabí, cantón Manta, en la Procesadora Industrial de Harina de Pescado Secada al Vapor TADEL S.A.

Se realizó la respectiva visita técnica en las instalaciones de la empresa, con la guía del jefe de aseguramiento de calidad. Este recorrido se llevó a cabo por cada una de las etapas por la cual el agua es tratada, iniciando desde el tanque 1 en el cual se deposita el agua proveniente del proceso productivo hasta el tanque el último tanque de agua osmotizada, el cual contiene una capacidad de 137,48 m³. Finalmente, mediante una observación directa se constató la expulsión del lodo a partir de un sedimentador.

Los lodos utilizados procedieron de la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR). Esta se llevó a cabo bajo la metodología de Campos *et al.*, (2009) la cual consistió en coleccionar seis submuestras

en una cantidad de 1 Kg, las mismas que fueron homogenizadas y se colocadas en envases esterilizados, a temperatura ambiente, para ser transportadas al laboratorio.

En los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, se determinaron: la humedad la cual se obtuvo mediante el Método de secado en termobalanza, que consistió en evaporar de manera continua la humedad de la muestra y el registro continuo de la pérdida de peso, hasta que la muestra se sitúe a peso constante.

La determinación de proteínas por el método Kjeldahl propuesto por Johann Kjeldahl (1883) se basó principalmente en pesar 1 g de la muestra y envolverla en el papel seda, para colocarla en un balón matraz. Posteriormente, se le agregó 18 g de Na_2SO_4 , 1 g de CuSO_4 y 25 ml de H_2SO_4 en el tubo. La determinación de la acidez se realizó 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 y

Kontominas (2005), donde se pesó 10 g de la muestra (lodo) la cual se colocó en un matraz balón. Luego se pesó 1 g de MgO y se le adicionó a la muestra; seguidamente, se le agregó 50 ml de agua destilada, 25 ml de ácido bórico y 6 gotas de rojo metilo.

En la determinación de la densidad de la muestra de lodo se procedió a secar la muestra en estufa a $105\text{ }^\circ\text{C}$ por una hora de tiempo, seguidamente se calculó utilizando para ello una balanza analítica, en la cual se determinó la masa de la muestra y su volumen que es equivalente al volumen de agua destilada desplazado al introducir la muestra en ella. Para el pH y la CE se utilizó el método del potenciómetro y del conductímetro.

El contenido de MO se procedió en una balanza analítica a pesar 0,5008 g de la muestra la cual se mantendrá en una fiola. Luego de esto se medirán en una probeta 10 ml de dicromato de potasio para a continuación homogenizarlas dentro de la fiola que contiene la muestra. Una vez ya obtenido esto, se procedió a medir en un vaso de precipitación 20 ml de ácido sulfúrico concentrado al 97%, para homogenizarlo. Después se agregó a la solución fenolftaleína al 1%, entre 10 a 12 gotas, donde finalmente se adicionará sulfato ferroso para dar paso a la titulación.

Los metales pesados (Cd, Hg y Pb) se determinaron por la Industria de Harina de Pescado TADEL S.A. la cual gestionó el envío de las muestras al Laboratorio WSS WORLD SURVEY SERVICES ECUADOR

S.A. Para la determinación de Cd en se lo realizó mediante el método espectrofotométrico de Absorción Atómica por llama, la determinación de Hg mediante el método espectrofotométrico de Absorción Atómica por generación de vapor frío y el Pb el método espectrómetro de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente.

Se determinaron las características microbiológicas de los lodos presentes en la PTAR de TADEL S.A de la ciudad de Manta, tales como: bacterias mesófilas aerobias, Coliformes totales y fecales, los cuales fueron gestionados por la misma y analizados en el laboratorio antes mencionado. En los aerobios mesófilos la metodología a seguir es realizar una siembra utilizando el método de “Siembra en profundidad” por triplicado para la Solución madre y hasta la dilución de 10⁻³ usando como medio de cultivo el Agar Plate Count. En los coliformes totales y fecales se tomaron 10 g de la muestra y se llevó a un frasco tapa azul que contenía 90 ml de APE (Agua Peptona Estéril). Para este tipo de

microorganismos la siembra se realizó en tubos de ensayo tapa rosca donde se encontraban 10 ml del medio de cultivo y Campanas de Durham.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 4.1. Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos de los lodos de la PTAR.

PARÁMETRO	CRITERIO	UNIDAD	CANTIDAD	US EPA	DIRECTIVA EUROPEA	NORMA OFICIAL MEXICANA
Fisicoquímicos	Humedad	%	89,98	-	-	-
	Proteínas	%	0,52	-	-	-
	Acidez	%	1,34	-	-	-
	TVB-N	%	48,51	-	-	-
	Densidad	gr/ml	1,118	-	-	-
	pH	-	7,2	-	-	-
	Conductividad eléctrica	dS/m	1,51	-	-	-
	Materia orgánica	%	3,8	-	-	-
	Cadmio	mg/kg	0,3	39 - 85	20 - 40	-
	Mercurio	mg/kg	<0,25	17 - 57	16 - 25	-
Plomo	mg/kg	<0,25	300 - 850	750 - 1200	-	
Microbiológicos	Aerobios mesófilos	UFC/g	7x10 ⁶	-	-	-
	Coliformes totales	UFC/g	6,7x10 ⁴	-	-	-
	Coliformes fecales	UFC/g	2,4x10 ⁴	Clase A: <1000 Clase B: <2x10 ⁶	-	Clase A: <1000 Clase B: <1000 Clase C: <2x10 ⁶

Tal como se muestra en la tabla 4.1 el porcentaje de humedad de la muestra de lodo obtenido durante los análisis fue de 89,98%. Silva *et al.*, (2013) mencionan que las altas humedades superiores a 50% podrían promover el recrecimiento de microorganismos, y, por lo tanto, la inactivación de microorganismos patógenos del proceso se da por otros factores como el sostenimiento del pH elevado o la formación de productos biosidas como el amoniaco.

La cantidad de proteína del lodo es 0,52%, este valor es muy bajo, ya que al producto se le proporciona en gran medida una cantidad adecuada para una mejor calidad de producción. Así mismo algunos autores concuerdan, como es el caso de López *et al.*, (2010) que manifiestan que el elevado

contenido de carbohidratos, lípidos y proteínas de los lodos hacen que sean considerados como un residuo complejo, con una importante fracción de materia orgánica en suspensión de lenta biodegradabilidad, siendo la etapa de hidrólisis la etapa limitante del proceso de degradación.

Se pudo constatar que la muestra de lodo presenta una acidez de 1,34%, según Gómez y Merchán (2016) estos lodos se los considera como extremadamente ácidos, debido a que se encuentra en el rango de <4.5.

Se obtuvo como resultado de nitrógeno un 48,51%, por lo cual es importante referenciarlos en investigaciones de Flores *et al.*, (2014) los mismos que nos atribuyen la estimación del N disponible de abonos orgánicos como de biosólidos. La disponibilidad del N total en dicha investigación fue de 23,3%. Por lo tanto, los nutrientes contenidos en los biosólidos pueden representar un riesgo de contaminación potencial a los cuerpos de agua superficial o subterránea cuando se aplican en exceso.

La conductividad eléctrica de la muestra de lodo fue de 1,51 dS/m y el pH de la misma 7,2; por lo cual según investigaciones realizadas por Torres (2010) este se

encuentra dentro de los lodos secundarios, que pueden presentar metales pesados y presencia de microorganismos patógenos al estar ligeramente alcalino, ya que se encuentra en el rango 6,5 - 7,5 de la clasificación reacción acidez - alcalinidad.

En cuanto a materia orgánica se obtuvo un valor de 3,8 %, de acuerdo a estudios realizados por Gómez y Merchán (2016) la materia orgánica tiene una elevada capacidad de intercambio catiónico, esto es una gran capacidad para retener cationes en el suelo o lodo.

En la determinación de metales pesados, se obtuvo 0,3 mg/kg de cadmio, donde las concentraciones límites máximas permisibles de metales pesados en los lodos según la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 y USEPA, la cual se encuentra dentro de los rangos permisibles, ya que entra en la calidad de 39 a 85 mg/kg. Aun así, está dentro de las concentraciones de límites de metales pesados (mg/kg en base seca) en los lodos por Directiva Europea, siendo los valores mucho más exigentes que varían entre 20 a 40 mg/kg; es decir, que los lodos se encuentra en excelente calidad por la baja presencia de cadmio. Serpa (2017) menciona que, si se encuentra presencia mayor a 300 mg/kg de cadmio, hace que la

reproducción de microorganismos disminuya, debido a que el ADN sufre lesiones y afecta directamente al crecimiento.

En la obtención del mercurio dio como resultado $<0,25$ mg/kg, donde las concentraciones límites máximas permisibles de metales pesados en los lodos según la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 y USEPA, la cual se encuentra dentro de los rangos permisibles, ya que entra en la calidad de esta entre 17 a 57 mg/kg. Aun así, está dentro de las concentraciones de límites de metales pesados (mg/kg en base seca) en los lodos por Directiva Europea, siendo los valores mucho más exigentes que varían entre 16 a 25 mg/kg; entonces a los lodos se los considera como de buena calidad, por la presencia en este caso media baja de mercurio. Así mismo Serpa (2017) menciona que el mercurio, hace que los microorganismos aerobios mesófilos, Coliformes totales y fecales reduzcan sus colonias, ya que es altamente tóxico y radioactivo.

Para el plomo se obtuvo como resultado $<0,25$ mg/kg, donde las concentraciones límites máximas permisibles de metales pesados en los lodos según la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 y

USEPA, la cual se encuentra dentro de los rangos permisibles, ya que entra en la calidad de esta entre 300 a 840 mg/kg, es decir que dentro de estas dos normas si cumple y se la considera de excelente calidad. Y dentro de la norma de las concentraciones de límites de metales pesados (mg/kg en base seca) en los lodos por Directiva Europea, siendo los valores mucho menos exigentes en este caso, donde varían entre 750 a 1200, hace que se los considere como lodos óptimos y de excelente calidad por la baja presencia de plomo. El plomo forma complejos fuertemente enlazados con la MO. Por lo tanto, la adición de la 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).

En cuanto a los análisis microbiológicos se obtuvo una cantidad de $7,0 \times 10^6$ UFC/g de aerobios mesófilos en la muestra de lodo.

Sin embargo, esto no es indicio de que existan patógenos en la muestra analizada. Esto se confirma con la investigación realizada por Galvis (2013) en la cual menciona que un recuento bajo de aerobios

mesófilos no asegura la ausencia de patógenos o sus toxinas, de la misma manera un recuento elevado no significa presencia de flora patógena. Así mismo, el autor antes mencionado indica que un recuento elevado puede significar excesiva contaminación de la materia prima, deficiente manipulación durante el proceso de elaboración o inmediata alteración del producto.

Los resultados de Coliformes totales fueron de $6,7 \times 10^4$ UFC/g y de Coliformes fecales se obtuvo $2,4 \times 10^4$ UFC/g; este valor, se mantiene dentro de los criterios señalados por la NOM-004-SEMARNAT-2002 para un lodo residual crudo clase C, sin embargo, rebasa los criterios señalados para un lodo residual crudo clase B. Mientras que para Norma de la Agencia para la Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) se encuentra dentro de los criterios como un lodo de clase B ya que contienen una densidad de Coliformes fecales inferiores a 2×10^6 UFC/g. Por lo cual, según los estudios realizados por Díaz *et al.*, (2015) los lodos de clase B son aptos para la aplicación en el suelo, con restricciones sanitarias de aplicación según tipo y localización de los suelos o cultivos.

Moreno *et al.*, (2000) atribuye que estos resultados en relación a la NOM-

004SEMARNAT-2002 indican que el lodo una vez tratado y convertido en biosólido se clasificaría en la categoría Excelente y de tipo B, por lo que este puede ser aprovechado en 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.

Por lo tanto, se comprobó que el principal factor que afecta la calidad de la muestra de lodo es el contenido microbiológico, mientras que el contenido de metales pesados no representa problemas en la calidad del mismo, cuando éstos provienen de plantas con poca contribución industrial. Además, cabe mencionar que la muestra de lodo se considera residuo no peligroso, de calidad Excelente en cuanto al contenido de metales pesados.

Por todo lo antes mencionado es importante considerar tratamientos que reduzcan el alto contenido microbiológico de los lodos, lo que requiere mejorar las eficiencias de destrucción de microorganismos, modificando las condiciones de operación de los procesos existentes en la actualidad

o añadiendo procesos que complementen la estabilización microbiológica de los lodos. Donde es necesario el establecimiento de prácticas de manejo de lodos de acuerdo con la calidad de los mismos.

De esta forma se propone como alternativa de P+L la utilización de cal como tratamiento previo de estabilización, el cual en base a diferentes investigaciones es considerado como el más accesible y eficaz ya que cumple con una alta eficiencia debido a su facilidad en el momento de utilizarla.

Esta técnica propuesta se fundamenta científicamente en los estudios realizados por Jiménez, Barrios y Maya (1999) quienes evaluaron cal viva e hidratada en proporciones peso a peso entre 15% y 40%, en lodos de tratamiento primario avanzado (TPA) previamente deshidratados (71%–86% de humedad) de una PTAR piloto, alcanzando pH mayores a 12 unidades con los dos materiales en dosis superiores a 20% y removiendo entre 98 a 99% de Coliformes fecales (alrededor de 103 UFC/g) y 50 a 75% de huevos de helmintos (entre 1 y 10 HH/g); donde los lodos presentaron características de biosólidos Tipo B.

Así mismo, en un estudio realizado por Moeller, Ferat y López (2005) utilizaron cal

hidratada (CH) 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. Así mismo, Madera et al., (2002) 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.

4. CONCLUSIONES

- La industria TADEL S.A. consta de la fabricación de harina de pescado en diferentes procesos los cuales son controlados teniendo como bases las normativas expuestas por el TULSMA, sin embargo, en la PTAR de la misma no se cuenta con ningún tratamiento en cuanto a los lodos producidos debido a la falta de conocimiento y normativas en el país.
- TADEL S.A. no constaba con cuantificación alguna de los lodos

residuales generados a partir de la PTAR lo cuales eran depositados en las tierras aledañas a la industria donde cumplían la función de abono, pero sin tratamiento alguno lo cual no estaba siendo de gran ayuda para la tierra y las plantas.

- En la caracterización de los lodos obtenidos a partir de PTAR se pudo obtener resultados microbiológicos como Coliformes totales ($6,7 \times 10^4$ UFC/g), Coliformes fecales ($2,4 \times 10^4$ UFC/g) y aerobios mesófilos ($7,0 \times 10^6$ UFC/g).
- Se pudo considerar que este tipo de lodo generado en la empresa corresponde 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.
- De acuerdo al contenido de metales pesados se concluye que los valores reportados fueron de 0,30 para cadmio, <0,25 mercurio y <0,25 plomo; por lo tanto, ninguno de ellos excede el límite máximo de concentraciones estipulados por las tres normativas analizadas.

- Finalmente se considera que a pesar que en TADEL S.A. no se realizan análisis ni cuantificación respectiva a los lodos generados, éstos se mantienen bajo un límite aceptable o permisible para reprimir cualquier impacto negativo ambiental que puedan causar.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Amador, A., Veliz, E., y Bataller, M. (2014). *Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones*. Recuperado de https://revista.cnic.edu.cu/revistaCQ/sites/default/files/articulos/CQ%2018-14_M1.pdf.
- Arostegi, P. 2011. *Lodos limpios que sirven de fertilizantes para suelos agrícolas*. Recuperado de <http://www.elmundo.es/elmundo/2011/12/19/paisvasco/1324283458.htm>.
- Campos, E., García, N., Velásquez, A y García, M. (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. Toluca. ME. *Revista Quivera*, 11(2), 35-51.
- Díaz, A., Veliz, L y Venta, M. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. *Revista CENIC*, 46, 1-10.
- Flores, E., Moreno, H., Figueroa, U y Postisek. (2014). Disponibilidad de nitrógeno y desarrollo de avena forrajera (*Avena sativa L.*) con aplicación de biosólidos. *Revista*

Terra Latinoamericana, 32(2), 99-105.

Galvis, J. (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* (tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.

Gómez, L y Merchán, A. (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* (tesis de pregrado). Universidad Católica de Manizales, Manizales – Caldas, Colombia.

González, E., Tornero, M., Sandoval, E., Pérez, A y Gordilla, J. (2011). Biodisponibilidad y fraccionamiento de metales pesados en suelos agrícolas enmendados con biosólidos de origen municipal. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(4), 291-301.

Jiménez, B; Barrios, J y Maya, C. (2001). *Estabilización alcalina de lodos generados en un tratamiento primario avanzado*. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/ratagua/mexicana/R-0119.pdf>.

López, M; Veliz, E; Fernández, L; Espinosa M. (2010). Tratamiento de lodos. Una etapa necesaria dentro del proceso tecnológico. *Revista CENIC*. 41, p 1-6.

Moeller, G; Ferat, C y López, R. (2005). Aplicación de procesamiento térmico

y alcalino para la desinfección de lodos residuales primarios un estudio comparativo. No. 1169. En: XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitaria e Ambiental. Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental - AIDIS. Montevideo, Uruguay.

Moreno, J., Colín, A y Gomeztaglet, M. (2000). Irradiación de lodos residuales y su uso en el cultivo de avena. *Revista de la sociedad química de México*, 44, 35.

Serpa, M. (2017). *Remoción de metales pesados Cd y Hg en lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria el espinar-puno, utilizando vermicomposteo*. Recuperado de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/5070/Serpa_Juli_Margarita_Susana.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Silva, J., Bedoya, D y Torres, 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. *Revista Química Nova*, 36(2), 207-214.

Torres, E. (2010). *Reutilización de aguas y lodos residuales*. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/lodos.pdf>.