

Evaluación de diferentes tipos de cal y digestor enzimático de rastrojos en la disminución de coliformes fecales en lodos provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Luis Talpa, La Paz, El Salvador

Reyes-Melara, EG
Estudiante tesista
Facultad de Ciencias Agronómicas,
Universidad de El Salvador.
Correo electrónico: edgar_melara@hotmail.es

Mendoza-Miranda, AL
Estudiante tesista
Facultad de Ciencias Agronómicas,
Universidad de El Salvador.
Correo electrónico: lisandroamendoza@gmail.com

Rodríguez-Urrutia, EA
Docente Director
Departamento de Desarrollo Rural
Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.
Correo electrónico: earu_1663@yahoo.com.mx

Resumen

La investigación se realizó en la Estación Experimental y de Prácticas, de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador (UES), ubicada en el cantón Tecualuya, municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, en El Salvador; iniciando el 19 de marzo y finalizando el 30 de septiembre de 2016.

Se evaluaron la cal hidratada, cal agrícola y la cal yeso, y tres dosis de un Digestor Enzimático, con el objetivo de disminuir las concentraciones de coliformes fecales y metales pesados como el cobre (Cu) y zinc (Zn), en lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del municipio de San Luis Talpa, La Paz, El Salvador, la cual es administrada por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), y determinar si cumplen los parámetros establecidos en la Norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, para que puedan ser utilizados en la agricultura sin riesgos de contaminación.

Las concentraciones de coliformes fecales después de 26 días de estar los lodos en los patios de secado de la Planta de Tratamiento y antes de establecer los diferentes tratamientos, fue de 23, 105,000 NMP/g, según los resultados de los análisis de laboratorio del Centro de Investigación y Desarrollo en Salud (CENSALUD), de la UES. La Norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, clasifica los lodos con esa concentración de coliformes fecales en clase "C", lo que significa que no pueden ser utilizados en agricultura.

El tratamiento más efectivo de la investigación después de 40 días de aplicados los tratamientos, que es el tiempo necesario para que la cal y el digestor enzimático hagan su efecto, es el uso de dos libras de cal hidratada más 0.61 cc de Digestor Enzimático en nueve libras de lodo, el cual disminuyó las poblaciones de coliformes fecales hasta en un 99.97% en los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Luis Talpa, en comparación con el testigo, lo que permite que puedan ser utilizados en la agricultura.

Palabras clave: Lodos, coliformes fecales, cal, digestor enzimático, planta de tratamiento, aguas residuales, contaminación, El Salvador.

Abstract

The research was carried out at the Experimental and Practical Station of the Faculty of Agronomic Sciences of the University of El Salvador (UES), located in Tecualuya, municipality of San Luis Talpa, department of La Paz, El Salvador; Starting on March 19 and ending on September 30, 2016.

Hydrated lime, agricultural lime and Gypsum lime and three doses of an Enzymatic Digestor were evaluated in order to reduce concentrations of Fecal Coliforms in sludge from the Wastewater Treatment Plant of the municipality of San Luis Talpa, La Paz, El Salvador, which is administered by the National Aqueduct and Sewerage Administration (ANDA), and determine if they comply with the Mexican Standard NOM-004-SEMARNAT-2002, so that they can be used in agriculture without risks of contamination.

The fecal coliform concentrations after 26 days of the sludge in the treatment plants drying yards and before establishing the different treatments were 23,105,000 NMP/g, according to the results of the laboratory analysis of the Research Center And Development in Health (CENSALUD), UES. The Mexican Standard NOM-004-SEMARNAT-2002 classifies the sludge with that concentration of fecal coliforms in class "C", which means that they can not be used in agriculture.

The most effective treatment of the research after 40 days of applied treatments, which is the time required for the lime and the enzymatic digester to have their effect, is the application of two pounds of Hydrated lime plus 0.61 cc of Enzymatic Digestor in nine Pounds of sludge, which reduced fecal coliform populations by up to 99.97% in sludge from the San Luis Talpa Wastewater Treatment Plant, compared to the control, which allows them to be used in agriculture.

Key words: Sludge, fecal coliforms, lime, enzymatic digester, treatment plant, sewage, pollution, El Salvador.

Introducción

El lodo de aguas residuales se compone de sólidos orgánicos e inorgánicos presentes en el agua residual cruda y removida en el clarificador primario, y de sólidos orgánicos generados en el tratamiento secundario y removidos en el clarificador secundario o en un proceso de espesamiento separado. La cantidad de sólidos en agua residual doméstica cruda es en general de 90 galones/día por habitante, con concentraciones reportadas de 100 a 350 mg/l dependiendo del flujo (León s. f.). Los lodos sin tratar o parcialmente tratados solo deben aplicarse en zanjas cubiertas antes de la temporada de cultivo o deben inyectarse al suelo. En cambio, los lodos totalmente tratados (digeridos y sin agentes patógenos) pueden aplicarse en el terreno sin riesgo para la salud (Anónimo s. f.).

La estabilización con la cal es un proceso muy simple, su principal ventaja sobre otros procesos de estabilización es su bajo costo y simplicidad de operación, durante el tratamiento con cal no ocurre ninguna reducción de materia orgánica y existen dos procesos principales, el primero: el lodo estabilizado pierde fácilmente su humedad y se puede aplicar a la tierra con propósitos agrícolas o disponer en un relleno sanitario, siendo muy fácil su manejo en esta forma, únicamente debemos prevenir que el pH no baje a menos de 11. El segundo: la cantidad de lodo del que debe disponerse aumentara por la adición de cal en un mayor volumen de material para su aplicación final (Anónimo s. f.).

Galvis Toro (2013) y Rivera Guerrero (2013) mencionan que el pH óptimo para el crecimiento y supervivencia de coliformes fecales es de 7.0 a 7.5, con un pH mínimo de 4.0 y un pH máximo de 8.5. Estos microorganismos son relativamente termosensibles y pueden ser destruidos con facilidad a temperaturas de pasteurización. Torres *et al.*, (2009) evaluaron la estabilización alcalina con cal hidratada de los biosólidos deshidratados de reactores UASB de una PTAR en Brasil, las proporciones peso a peso evaluadas fueron 30%, 40% y 50% del biosólido y el tiempo del ensayo fue 60 días. La mejor proporción fue 50%, en la cual se encontraron reducciones máximas de 6 unidades logarítmicas para los coliformes fecales y la eliminación total de huevos de helmintos, permitiendo su uso en la agricultura sin restricción acorde con la legislación brasilera. Con esta proporción de cal se presentaron pérdidas de nitrógeno total en el biosólido del 59% a 72%, debidas probablemente a la volatilización del amonio. La temperatura se mantuvo entre 24° C y 36° C, y el pH fue mayor de 11 unidades durante los 60 días de seguimiento.

Dicha investigación genero una alternativa de solución para disminuir las poblaciones de coliformes fecales en lodos de la Planta de Tratamientos de Aguas Residuales, demostraron que al aplicar dos libras de cal hidratada más 0.61 cc de digestor enzimático (promedio de las dosis evaluadas) a nueve libras de lodo de la PTAR hasta en un 99.99% (de 23,105,000 NMP-/g a 9.67 NMP-/g), y el pH de 6.0 a 11.4 lo cual disminuyó las poblaciones de bacterias coliformes fecales, permitiendo que se clasifiquen en lodos clase A, lo que permite que puedan ser manipulados por el ser humano, y que puedan ser utilizados en la agricultura, como enmienda en suelos con uso intensivos o suelos ácidos.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en la Estación Experimental y de Prácticas (EEP) de la Facultad de Ciencias Agronómicas, de la Universidad de El Salvador, ubicada en el cantón Tecualuya, municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, El Salvador, con coordenadas geográficas O 13°47'49.71" y 89°09'60.63" N, a 50 metros sobre el nivel del mar. Los lodos utilizados en la investigación son de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) ubicada en el municipio de San Luis Talpa.

Metodología de campo

Previo al montaje de las Unidades Experimentales, se tomaron dos muestras de lodos de 26 días de secado de los patios de secado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, una muestra se envió al laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador para realizar análisis de metales pesados (con el equipo de absorción atómica) y para medir el pH; la otra muestra fue enviada al Centro de Investigación y Desarrollo en Salud (CENSALUD), de la Universidad de El Salvador, para analizar coliformes fecales, aplicando la metodología de enzima base bajo la técnica del Número Más Probable (NMP).

Para comparar y analizar los resultados obtenidos de los laboratorios es necesario utilizar una norma oficial de lodos, los países Centro Americanos incluyendo El Salvador no cuentan con esta normativa sin embargo México si, por esta razón se utilizó la Norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.

Para el montaje de las Unidades Experimentales, los demás lodos (de 26 días de secado) se colocaron nueve libras en cada caja de durapax, haciendo un total de 16 cajas, las cuales fueron trasladadas a la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador. Se limpió y adecuo el lugar donde se estableció la investigación

en un área de 20 m², fueron colocadas en estantes de madera, a una altura de un metro del nivel del suelo.

Según Horcalsa (s. f.) se deben agregar 500 libras de cal viva por tonelada métrica de lodos para producir resultados efectivos en la disminución de coliformes, basado en dicha afirmación se extrapolo para conocer la necesidad por cada nueve libras de lodos, resultando en dos libras de cal, la cual se pesó en una balanza de reloj y se incorporó a los lodos.

Inmediatamente después de aplicada la cal se incorporó el digestor de rastrosos, que según la empresa distribuidora Cinco Ache, la dosis que se recomienda son 100 centímetros cúbicos (cc) por tonelada métrica de lodo, evaluando para esta investigación tres dosis, las cuales fueron: 100 cc, 150 cc y 210 cc, estas dosis fueron diluidas en 20 litros de agua (Cinco Ache s.f.).

Al realizar el cálculo para las nueve libras de lodo en estudio, resultó que se debía de aplicar 0.41 cc, 0.61 cc y 0.85 cc de digestor de rastrosos por cada nueve libras de lodo, lo cual se diluyo en 0.082 L, 0.12 L y 0.17 L de agua, se midieron las dosis utilizando jeringas, posteriormente se aplicó el producto con una asperjadora de mano sobre las nueve libras de lodo y se removió.

Metodología de laboratorio

La recolección de las muestras se realizó 40 días después de aplicado los tratamientos, para lo cual se extrajo de cada tratamiento una muestra en frascos de polietileno de alta resistencia de 500 ml cada uno, para ser enviados al laboratorio de CENSALUD en la Universidad de El Salvador, donde se realizaron análisis de coliformes fecales por el método de enzima sustrato, por la técnica del Número Más Probable, según la Norma Oficial Mexicana NO-004-SEMARNAT-2002 Protección ambiental-lodos y biosólidos-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final, y la determinación de pH se hizo por el método potenciómetro, según TC WI, 2003.

También se enviaron muestras al laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, para analizar el comportamiento de los metales pesados Zn, Cu y Pb, por el método de absorción atómica.

Metodología estadística

Además de los análisis de los resultados de laboratorio, para el análisis de los datos se aplicó el Arreglo Factorial tres por tres, bajo un Diseño Simple Completamente al Azar, con tres repeticiones, y por tener efecto significativo

entre tratamientos y factores, se aplicó la prueba estadística de Análisis de Varianza y de Contrastes Ortogonales, con probabilidad de 0.05%, apoyados del software Infostat versión 9.0.

Los tratamientos que se establecieron fueron:

T 1 = 2 lb de cal Hidratada + 0.41 cc de digestor de rastrosos.

T 2 = 2 lb de cal Hidratada + 0.61 cc de digestor de rastrosos.

T 3 = 2 lb de cal Hidratada + 0.85 cc de digestor de rastrosos.

T 4 = 2 lb de cal Hidratada + 0.00 cc de digestor de rastrosos.

T 5 = 2 lb de cal Yeso + 0.41 cc de digestor de rastrosos.

T 6 = 2 lb de cal Yeso + 0.61 cc de digestor de rastrosos.

T 7 = 2 lb de cal Yeso + 0.85 cc de digestor de rastrosos.

T 8 = 2 lb de cal Yeso + 0.00 cc de digestor de rastrosos.

T 9 = 2 lb de cal Agrícola + 0.41 cc de digestor de rastrosos.

T 10 = 2 lb de cal Agrícola + 0.61 cc de digestor de rastrosos.

T 11 = 2 lb de cal Agrícola + 0.85 cc de digestor de rastrosos.

T 12 = 2 lb de cal Agrícola + 0.00 cc de digestor de rastrosos.

T 13 = 0 cal + 0.41 cc de digestor de rastrosos.

T 14 = 0 Cal + 0.61 cc de digestor de rastrosos.

T 15 = 0 Cal + 0.85 cc de digestor de rastrosos.

T 16 = 0 Cal + 0.00 cc de digestor de rastrosos.

Resultados y discusión

Resultados de bacterias coliformes fecales

La determinación de bacterias coliformes fecales en lodos después de 26 días de estar en los patios de secado de la PTAR de San Luis Talpa, La Paz, se realizó según la Norma Oficial Mexicana NO-004-SEMARNAT-2002, obteniendo una población promedio de bacterias coliformes fecales de 23,105,000 NMP⁻/g dato promedio, Al hacer la comparación con la Norma

Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, estos lodos para coliformes fecales están clasificados como clase "C", lo que significa que no pueden usarse en agricultura, debido a su alto contenido de bacterias patógenas que afectan la salud de los humanos. Después de aplicar los tratamientos respectivos a los lodos, se monitorearon durante 40 días y después de ese tiempo se tomaron muestras para enviarlas al laboratorio para su análisis, obteniendo los resultados siguientes: Los resultados de coliformes fecales (expresados en gramos de base seca) demuestran que al aplicar dos libras de cal Hidratada más 0.61 cc de digestor de Rastrojos (promedio de las dosis evaluadas) a nueve libras de lodo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, las bacterias coliformes fecales disminuyen hasta en un 99.99% (de 23,105,000 NMP⁻/g a 9.67 NMP⁻/g) en comparación con los lodos analizados a los 26 días de secado; asimismo, la aplicación de la cal hidratada aumento el pH de 6.0 a 11.4, lo cual disminuyó las poblaciones de bacterias Coliformes Fecales, permitiendo que se clasifiquen en lodos clase A, según la Norma NOM-004-SEMARNAT-2002.

La interacción de dos libras de cal Yeso con 0.61 cc de Digestor de Rastrojos disminuyó las poblaciones de Coliformes Fecales en 95.83% en comparación con la aplicación de solo cal yeso (de 10,476.66 NMP⁻/g a 436.67 NMP⁻/g). La interacción de dos libras de cal Agrícola con 0.61 cc de Digestor de Rastrojos disminuyo las poblaciones de Coliformes Fecales en 89.04% en comparación con el Testigo; al aplicar solo dos libras de cal Agrícola las disminuye en 94.19% en comparación con el Testigo (37,070 NMP⁻/g a 2,153.33 NMP⁻/g); y solo la dosis de 0.85 cc de Digestor de Rastrojos disminuyo las poblaciones de Coliformes Fecales en 98.71%, clasificando los lodos en clase A (cuadro 1).

Abu-Orf *et al.* (2004) citado por Araque Manrique (2006), utilizaron cal viva para la eliminación de microorganismos patógenos y la reducción de olores ofensivos, las dosis empleadas fueron de 50, 100 y 200 g de cal viva por kilogramo de biosólido durante 356 días de seguimiento, los resultados mostraron una eliminación total de huevos de helmintos (*Ascaris lumbricoides*), esporas de *Clostridium pefringens* y reovirus, los cuales son indicadores de la presencia o no de coliformes fecales, a los 69 días de tratamiento.

Cuadro 1. Resultados promedio de laboratorio obtenidos de bacterias coliformes fecales.

Tratamientos	Resultados promedios de las tres repeticiones de Coliformes Fecales (NMP/g)	Especificación de los lodos en clase
T1 = 2 lb de cal Hidratada + 0.41 cc de Digestor de rastrojos	16.53	A
T 2 = 2 lb de cal Hidratada + 0.61 cc de Digestor de Rastrojos	9.67	A
T 3 = 2 lb de cal Hidratada + 0.85 cc de Digestor de rastrojos	30.67	A
T 4 = 2 lb de cal Hidratada + 0.00 cc de Digestor rastrojo	750.33	A
T 5 = 2 lb de cal Yeso + 0.41 cc de Digestor de rastrojos	7,688.67	B
T 6 = 2 lb de cal Yeso + 0.61 cc de Digestor de Rastrojos	436.67	A
T 7 = 2 lb de cal Yeso + 0.85 cc de Digestor rastrojos	1,176.67	B
T 8 = 2 lb de cal Yeso + 0.00 cc de Digestor rastrojos	7,176.67	B
T 9 = 2 lb de cal Agrícola + 0.41 cc de Digestor de rastrojos	47,133.33	B
T 10 = 2 lb de cal Agrícola + 0.61 cc de Digestor de rastrojos	4,060.00	B
T 11 = 2 lb de cal Agrícola + 0.85 cc de Digestor de rastrojos	7,166.67	B
T 12 = 2 lb de cal Agrícola + 0.00 cc de Digestor de rastrojos	2,153.33	B
T 13 = 0 cal + 0.41 cc de Digestor de rastrojos	16,040.33	B
T 14 = 0 Cal + 0.61 cc de Digestor de rastrojos	2,403.33	B
T 15 = 0 Cal + 0.85 cc de Digestor de Rastrojos	477.67	A
T 16 = 0 Cal + 0.00 cc de Digestor de rastrojos	37,070.00	B

Fuente: Elaboración propia con datos del laboratorio de CENSALUD (2016).

Al evaluar el digestor enzimático de forma individual, dio como resultado la disminución de coliformes fecales hasta en un 82.98% con respecto al tratamiento testigo (de 37,070 NMP⁻/g disminuyó a 6,307.11 NMP⁻/g; sin embargo, al interactuar con la cal hidratada produce un mejor efecto según la Norma NOM-004-SEMARNAT-2002, los lodos se clasifican en clase "A" lo que significa que pueden utilizarse en la agricultura sin equipo de protección. Así también, se demuestra que la cal agrícola produjo efectos en la disminución de coliformes fecales en 94.19% en comparación con el tratamiento testigo (de 37,070 NMP⁻/g a 2,153.33 NMP⁻/g) (Fig. 1).

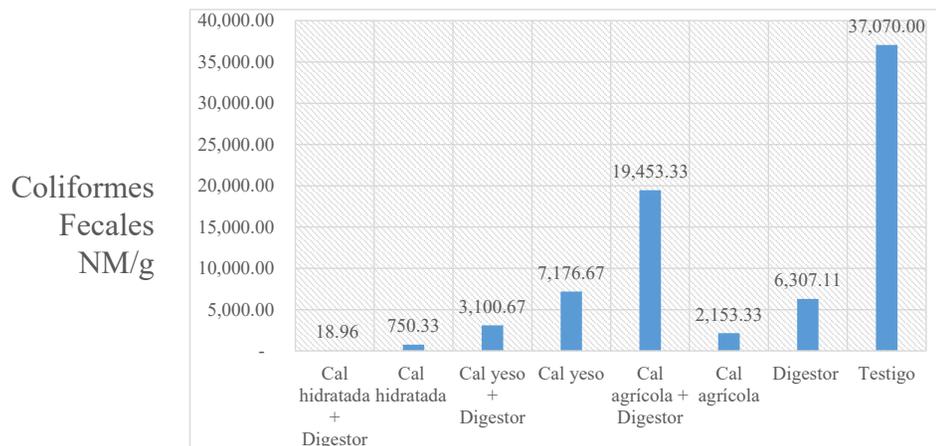


Figura 1. Concentración de Coliformes Fecales después de la aplicación de los tipos de cal y el Digestor de Rastrojos, y la interacción entre ellos

Resultados de metales pesados

Según los resultados de los análisis realizados en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la UES, para determinar metales pesados en lodos de 26 días de estar en los patios de secado de la PTAR de San Luis Talpa, se encontraron los siguientes resultados: 58.41 mg/kg de Zn, 905.97 mg/kg de Cu, 11,781.27 mg/kg de Pb, con un pH de 6.12.

La Norma Oficial Mexicana NO-004-SEMARNAT-2002, clasifica los biosólidos en excelentes y buenos en función del contenido de metales presentes, y según los resultados de esta investigación, para el caso del Zinc (Zn) y Cobre (Cu) son Excelentes, ya que los valores son bajos en comparación con la Norma (2,800 mg/kg para Zinc y 1,500 mg/kg para Cu); para el caso del Plomo (Pb), que sobrepasa los límites máximos permisibles por la Norma (300 mg/kg), este no clasifica ni como Bueno ni Excelente.

En el cuadro 2 se presentan los resultados de laboratorio de metales pesados 40 días después de haber aplicado los diferentes tratamientos en los lodos, para el Zinc se incrementaron pero siempre quedan clasificados como Excelentes, en el caso del Cobre y Plomo disminuyeron los valores en comparación con el tratamiento testigo.

Cuadro 2. Resultados de laboratorio de metales pesados obtenidos 40 días después de aplicados los tratamientos.

Tratamiento	Metales pesados (mg/kg) y pH				Clasificación según la Norma Mexicana		
	Zn	Cu	Pb	pH	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)
Testigo	847	58.28	22.71	6.07	Excelentes 2,800	Excelentes 1,500	Excelentes 300
Cal Agrícola	571	45.06	20.98	6.88			
Cal Yeso	688.48	46.25	21.13	6.32	Buenos 7,500	Buenos 4,300	Buenos 840
Cal Hidratada	689.38	61.28	23.68	10.98			
Digestor enzimático	864.5	59.94	23.76	6.42			

En la figura 2 se presenta la comparación de los resultados de laboratorio de metales pesados del testigo en comparación con lo cual demuestra que la cal agrícola y la cal yeso disminuyeron las cantidades de Zinc, Cobre y Plomo en comparación con el Testigo, pero la cal hidratada y el digestor enzimático incrementaron las cantidades de metales pesados en comparación con el tratamiento testigo.

En el caso del Cobre, la absorción puede ser tan fuerte que son estabilizados, formando quelatos muy estables, como puede pasar con el Plomo y el Zinc, que en muchos casos se forman complejos organometálicos, lo que facilita la solubilidad del metal, otras condiciones de oxidación-reducción son responsables de que los metales se encuentren en estado oxidado o reducido, la presencia de carbonatos garantiza el mantenimiento de los pH altos y en estas condiciones tienden a precipitar los metales pesados; el aumento de la salinidad también puede incrementar la movilización de metales y su retención por dos mecanismos, primeramente, los cationes sodio y potasio pueden reemplazar a metales pesados en lugares del intercambio catiónico. En una segunda fase, los aniones cloruro y sulfato pueden formar compuestos más estables con el Plomo, Zinc y Cobre (Galán Huertos *et al.*).

La cal es un reactivo de bajo costo, que sirve de precipitación y sedimentación química, llevadas a cabo de manera independiente o en combinación con reacciones de oxidación-reducción, se utiliza para eliminación de metales, para retirar Cadmio, Níquel Plomo. Suele adicionarse en la etapa de precipitación con cal un agente de captación para estos compuestos que está formado de silicatos, carbonatos y fosfatos de metales alcalino (Simón 2008).

Efecto de cal y digestor en metales ppm

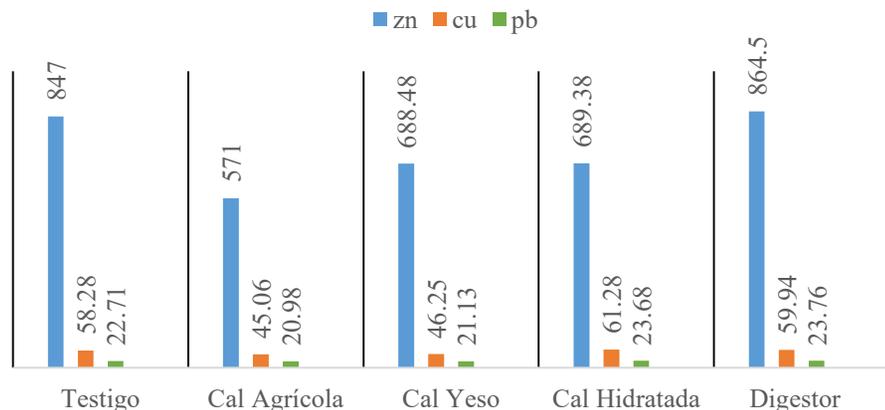


Figura 2. Concentración de metales pesados en lodos de la PTAR de San Luis Talpa, después de 40 días de aplicados los tratamientos.

Inversión económica de los tratamientos

En el cuadro 3 se detalla el costo de los tipos de cal y digestor enzimático, la presentación del producto de venta en el mercado, la cantidad de producto por tonelada métrica para aplicarla al lodo de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. La inversión económica a realizar en el tratamiento más efectivo de la investigación: 2 libras de cal Hidratada más 0.61 cc de Digestor Enzimático aplicados en 9 libras de lodo, que es equivalente a 500 libras de cal Hidratada más 1,000 cc de Digestor Enzimático por tonelada de lodo, es de \$112.10 dólares por tonelada de lodos tratados o estabilizados.

Cuadro 3. Inversión económica por tratamiento

Tratamiento	Cantidad por tonelada métrica	Costo (\$) / tonelada métrica
Cal hidratada	500 libras	102.10
Cal hidratada más digestor	500 libras más 1litro	112.10
Cal yeso	500 libras	134.50
Cal yeso más digestor	500 libras más 1litro	144.50
Cal agrícola	500 libras	70.00
Cal agrícola más digestor	500 libras más 1litro	80.00
Digestor enzimático	1 Litro	10.00

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Luis Talpa después de 26 días de estar en los patios de secado tenían poblaciones de coliformes de 23,105,000 NMP/g, los cuales según la Norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 están en Clase "C", lo que significa que no pueden ser utilizados en agricultura.

El mejor tratamiento de la investigación es la aplicación de dos libras de cal Hidratada más 0.61 cc de Digestor de Rastrojos en nueve libras de lodo, que disminuyó las poblaciones de coliformes fecales hasta en un 99.97% en los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Luis Talpa, en comparación con el testigo, lo que permite que puedan ser utilizados en la agricultura con una inversión de \$112.10 dólares por tonelada métrica.

El Digestor de Rastrojos disminuyó las poblaciones de coliformes fecales en los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales hasta en un 82.77% en comparación con el testigo, lo que permite que puedan ser utilizados en la agricultura, con una inversión de \$10.00 dólares por tonelada métrica.

La cal Yeso disminuye las poblaciones de coliformes fecales en los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, hasta en un 71.62% en comparación con el testigo, lo que permite que puedan ser utilizados en la agricultura, con una inversión de \$134.50 por tonelada métrica.

La cal Agrícola disminuye las poblaciones de coliformes fecales en los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, hasta en un 56.78% en comparación con el testigo, lo que permite que puedan ser utilizados en la agricultura, con una inversión de \$70.00 por tonelada métrica.

En cuanto a metales pesados, no hay riesgo, ya que los lodos presentan cantidades de metales pesados menores a las cantidades que la Norma Mexicana permite para el uso en la agricultura.

Recomendaciones

Según los resultados obtenidos en esta investigación, los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Luis Talpa, en el departamento de La Paz, en El Salvador, tratados con dos libras de cal Hidratada y 0.61 cc de Digestor de Rastrojos, aplicados a nueve libras de lodos, pueden ser utilizados en la agricultura, ya que es el mejor tratamiento en la disminución de Coliformes fecales.

Aplicar 500 libras de cal Hidratada más un litro de Digestor de Rastrojos por tonelada métrica de lodos, para disminuir las poblaciones de Coliformes Fecales en un 99.97%, con una inversión de \$112.10 dólares.

Evaluar otras dosis de cal y de Digestor de Rastrojos en futuras investigaciones en lodos provenientes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

Para la manipulación de lodos es necesario utilizar equipo de protección, para evitar contaminación, ya que las cantidades de bacterias patógenas son altas, según los análisis de laboratorio.

Evaluar en nuevas investigaciones el tiempo de secado de los lodos que se realiza en las diferentes Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

Realizar investigaciones a futuro en cuanto al contenido de huevos de helmintos, salmonella, nutrientes, en lodos provenientes de plantas de tratamiento.

La presencia de metales pesados como Zinc, Cobre y Plomo en los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, demuestran que en el sistema de alcantarillado de San Luis Talpa hay conexiones diferentes a las aguas residuales ordinarias, por lo que ANDA debe hacer un monitoreo continuo de las mismas.

Bibliografía

Anónimo s. f. Estabilización con cal de lodos provenientes de plantas de tratamientos de aguas residuales municipales (en línea). Consultado el 17 de febrero 2016. Disponible en http://anfocal.org/media/Biblioteca_Digital/Usos_Ecologicos/Tratamiento_de_Lodos/ESTABILIZACION_CON_CAL_DE_LODOS_PROVENIENTES_DE_PLANTAS_DE_TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RESIDUALES_MUNICIPALES.pdf.

Araque Manrique, M. 2006. Evaluación de los tratamientos térmico y alcalino en la desinfección de lodo generado en la PTAR El Salitre. Tesis Ing. Civil. Bogotá, Colombia. Universidad de Los Andes. 60 p.

Cinco Ache. s. f. Ecodigestor: digestor ecológico balanceado. San Salvador, El Salvador. 1 plegable. 4 p.

Galán Huertos, E; Romero Baena, A. Sevilla. 2008. Revista de la sociedad española de mineralogía. (Nº 10, 2008, mineralogía y Química Agrícola. Facultad de Química) Contaminación de suelos por metales pesados. España 13 p (en línea) consultado 03 de noviembre de 2016. Disponible en. http://www.ehu.es/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf.

Galvis Toro, J; Rivera Guerrero, X. 2013. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos presentes en la planta de tratamientos de aguas residuales industriales (PTARI) de la empresa jugos hit de la ciudad de Pereira. Trabajo de grado tecnóloga química. Universidad Tecnológica de Pereira. 101 p.

Horcalsa. s. f. Cal para medio ambiente (en línea). S. l. formato html. Consultado 11 abr 2016. Disponible en <http://horcalsa.com/cal-para-medio-ambiente/>.

León, SG. s. f. Protección sanitaria en el uso de aguas residuales y lodos de plantas de tratamiento (en línea) Consultado 6 de enero de 2016. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/aya2/tema03.pdf>. 10 p.

Norma Oficial Mexicana NO-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental- Lodos y biosólidos- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final (en línea). Consultado 25 de febrero de 2016. Disponible en <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Publicaciones/CDs2006/CDAmbiente/pdf/NOM52.pdf>.

- Rivera Guerrero. 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 tecnóloga Química. Pereira, Universidad Tecnológica de Pereira. 101 p.
- Simón, E. 2008. Los metales pesados en las aguas residuales. Grupo de fisicoquímica de procesos industriales y medioambientales. Universidad Complutense de Madrid (en línea). Consultado 15 de septiembre de 2016. Disponible en <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2008/02/02/83698>.
- TC WI. 2003. Determination of dry matter and water content on a mass basis in sediment, sludge, soil, and waste – Gravimetric method (en línea). Consultado 12 julio de 2016. Disponible en. http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=20886
- Torres, P; Madera, C; Silva J. 2009. Mejoramiento de la calidad Microbiológica de biosólido generados en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. Antioquia, Medellín, Colombia. 17 p. (en línea). Consultado el 16 de noviembre 2016. Disponible en. www.scielo.org.co/pdf/eia/n11/n11a03.pdf.