

Elaboración de biofertilizante a partir de los lodos residuales de la Planta Tratadora de Aguas Residuales de Torreón, Coahuila

Montiel-Soto, L.E.¹, Núñez-Contreras, E.², Viramontes-Acosta, A.³

Resumen— Las aguas industriales y domésticas de la ciudad de Torreón, Coahuila; son tratadas en una planta de lagunas de oxidación y una vez depuradas se usan para el riego agrícola y para disposición industrial, sin embargo los lodos producidos diariamente durante 12 años alcanzan aproximadamente 10 mil toneladas. La disposición final de estos es uno de los principales problemas presentes; este estudio se realizó con la finalidad de caracterizar los lodos y proponer su uso como mejorador de suelos. También se llevó a cabo un análisis CRETIB. De acuerdo al análisis, los resultados microbiológicos muestran la presencia de coliformes totales por lo tanto se realizó una estabilización previa por medio de la técnica de compostaje por su composición rica en nutrientes. Una vez realizada toda la metodología los lodos se consideran adecuados para mejorar la calidad de los suelos dentro de la planta tratadora.

Palabras claves— Caracterización, Coliformes fecales, Disposición final, Estabilización, Lodos residuales.

Abstract— Industrial and domestic water from the city of Torreon, Coahuila are treated in a plant of oxidation lagoon and purified once used for agricultural irrigation and for industrial disposal. However sludge produced every day for 12 years reaches about 10 thousand tons. The final disposition of these is one of the main problems present; this study was conducted in order to characterize the sludge and propose its use as a soil. He also conducted an analysis CRETIF. According to the analysis, microbiological results show the presence of total coliforms therefore prior stabilization was performed by the technique of composting for its rich nutrient composition. Once all the methodology sludge is considered appropriate to improve the quality of the soil within the treatment plant.

Keywords— Characterization, Fecal coliforms, Final disposition, Sewage sludge, Stabilization.

¹Montiel Soto Luisa Estefanía (fanny.touche@hotmail.com). Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico S/N Periférico 35150, Lerdo, Durango.

²Núñez Contreras Evaristo (Nucev@hotmail.com). Sistema Municipal de Agua y Saneamiento (SIMAS).

³Viramontes Acosta Adriana (laquimicaitl@gmail.com). Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico S/N Periférico 35150, Lerdo, Durango.

I. INTRODUCCIÓN

El tratamiento de las aguas residuales, tanto municipales como industriales, tiene como objetivo remover los contaminantes presentes con el fin de hacerlas aptas para otros usos o bien para evitar daños al ambiente. Sin embargo, el tratamiento del agua siempre trae como consecuencia la formación de lodos residuales, subproductos indeseables difíciles de tratar y que implican un costo extra en su manejo y disposición.

Se les llaman “lodos residuales” a los residuos sólidos remanentes del proceso de tratamiento de aguas de desecho, que están compuestos por materia orgánica residual no descompuesta, microorganismos, compuestos no biodegradables y potencialmente tóxicos y sales inocuas y/o potencialmente tóxicas que se han removido durante el tratamiento. Pueden estar presentes en sus formas originales o haber sufrido transformaciones durante el proceso [1].

La Planta Tratadora de Aguas Residuales (PTAR) de Torreón, cuenta con un proceso de oxidación el cual se realiza en 12 lagunas, 6 lagunas anaerobias y 6 lagunas facultativas. Los contaminantes contenidos en las aguas residuales que llegan a la PTAR reciben un tratamiento donde se eliminan en gran medida por la oxidación de la materia orgánica y la absorción en el lodo, producto de un tratamiento fisicoquímico y biológico. El lodo resultante de estos procesos deben someterse a un análisis para determinar sus características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad y biológico-infecciosas (análisis CRETIB), lo que permitirá precisar si el lodo es considerado como un residuo peligroso o como un residuo no peligroso (NOM-052-ECOL-1993) [5] y con base en esto, plantear las alternativas para el manejo y disposición de los mismos, de lo contrario se deben mandar a confinamiento, lo cual resulta muy poco viable para una empresa ya que es un proceso muy costoso.

Las técnicas que han sido utilizadas para el tratamiento y la disposición final de residuos sólidos en otros países y que pueden aplicarse al manejo de lodos residuales en México son las siguientes: tratamientos anaerobio y aerobio, disposición en suelos, tratamientos térmicos (pirólisis e incineración) y confinamiento controlado. Por su bajo costo, simplicidad y beneficios para la agricultura,

la mayor parte de los lodos se utilizan como mejoradores de suelo y solamente algunos se confinan o se incineran [2].

Si los lodos no están estabilizados o se les da un tratamiento no pueden ser utilizables para alguna actividad humana, ya que estos pueden contener parásitos y patógenos y las personas que los manipulen estarían expuestas a estos. Cabe destacar que los lodos pueden contener metales pesados como lo son: arsénico, cadmio, plomo, cromo, cobre, mercurio, níquel y zinc. Que en contacto, ya sea vía oral o cutánea, puede provocar diferentes síntomas a largo, mediano o hasta corto plazo, dependiendo del metal pesado y de la vía de absorción.

La forma habitual de proceder a la disposición de los lodos residuales, ya sea incinerarlos o verterlos al mar realmente se ha constituido en un serio problema para muchos países [3], los cuales en la búsqueda de una solución a éste, han encontrado que aplicando estos lodos residuales al suelo se han obtenido beneficios tanto de tipo ambiental como económico debido a que estos lodos proporcionan material orgánico, mejoran la estructura del suelo, y ofrecen un gran potencial para el reciclaje de nutrientes [4]. Por lo anterior, el objetivo principal de este trabajo es efectuar un estudio acerca de las características químicas, físicas y biológicas del lodo residual proveniente de la Planta Tratadora de Aguas Residuales (PTAR) de Torreón, Coahuila, de forma que pueda atribuírsele valor como fertilizante y su posible aplicación en suelos característicos de zonas semiáridas como las del Estado de Coahuila, sin embargo por el motivo de evaluar el lodo solo se llegará a aplicar dentro de la PTAR.

II. MÉTODOS Y MATERIALES

El presente estudio se realizó en el municipio de Torreón Coahuila, México, en la planta tratadora de aguas residuales (PTAR) municipal, la cual utiliza un proceso de lagunas de oxidación, con la siguiente localización geográfica: 25° 30' 50.3" N; 103° 19' 16.8" W. Este estudio se realizó durante el periodo de agosto a diciembre del 2015.

A. Muestreo de lodos residuales

Se realizó un muestreo de lodos residuales de acuerdo a la normatividad (NOM-004-SEMARNAT-2002) correspondiente. En base a la norma y a especificaciones dentro de la planta, se muestrearon los días 7 de agosto del 2015 y 12 de agosto del 2015, para realizar el correspondiente análisis CRIT y determinar el contenido de coliformes fecales, *salmonella spp.*, huevos de helminto, tasas específicas de absorción de oxígeno, contenido de sólidos totales y sólidos volátiles, arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel y zinc.

El muestreo de los lodos consiste en obtener una porción del volumen total, la cual debe conservar todas sus características iniciales al momento de ser tomada (para lograr mejores lecturas), esta debe ser representativa [6].

B. Caracterización de los lodos residuales

Se realizó un análisis a los lodos residuales para determinar la presencia de metales pesados, coliformes fecales, huevos de helminto, etc., mediante un laboratorio certificado ante la EMA. El laboratorio que realizó estos análisis es MICROLAB INDUSTRIAL S.A DE C.V.

Fue necesario monitorear constantemente y realizarle diversas pruebas, como lo son de oxígeno disuelto, pH, color, olor y metales, en el laboratorio de la planta, cabe destacar que aunque el laboratorio de la PTAR no está certificado cuenta con los reactivos y equipos necesarios para llevar a cabo una bitácora de resultados.

C. Realización de un plan de manejo de residuos de manejo especial

Se realizó un plan de manejo para los residuos de manejo especial, en este caso son los lodos residuales de la PTAR, para así lograr una buena disposición final.

La NOM-161-SEMARNAT-2011 establece los criterios para determinar los residuos de manejo especial sujetos a la presentación de plan de manejo.

D. Realización del compostaje

El compostaje se puede considerar como una alternativa de aprovechamiento simple y de bajo costo, también como una tecnología ambiental para convertir estos residuos en un producto de alta calidad, logrando reducir el efecto contaminante y a la vez permitir su reutilización en la agricultura [7].

Con lo planteado, la estrategia general que guíe el manejo correcto de lodos debe contener acciones de prevención, reúso o revalorización y disposición ambientalmente adecuada de los mismos.

Se realizó una metodología para llevar a cabo el compostaje de acuerdo a las características del lodo residual. Las cuales se enlistaran a continuación:

1. **Desaguado de lodos.** El proceso de desaguado consiste en remover agua de los lodos para tener un material que pueda ser utilizado o dispuesto en algún sitio. En este proceso se tienen dos productos: una torta con características similares a un material sólido, y un sobrenadante con concentraciones elevadas de contaminantes.

2. **Transporte de lodos.** El transporte de los lodos residuales de la laguna anaerobia A al área dictaminada para su estabilización se realizara por medio de maquinaria específica como lo son excavadoras hidráulicas y retroexcavadoras.
3. **Disposición de lodos.** Una vez fuera de la laguna, los lodos se dispondrán en una zona en particular como se muestra en la figura 1. Se dispondrán primero una cuarta parte de los lodos para la creación de la composta.



Figura 1. Plano del área de la PTAR

4. **Disposición de la materia verde.** Como materia verde para la composta se utilizará la poda de los mezquites que se encuentran en la PTAR además de poda de pasto y diversos árboles como lo son fresno, casuarina, pino Alepo, truenos, álamos, huizaches, mezquites texanos, pinabetes, entre otros., que también se encuentran plantados en la PTAR.
5. **Mezcla.** Con ayuda de una trituradora, se triturará toda la materia verde para realizar la combinación de los materiales verdes y cafés para el compostaje. De acuerdo a la composición de los lodos residuales se llevó a cabo una combinación como lo es de un 35 % material verde y un 65 % de lodos residuales.

Después de tener ya todos los componentes para la composta, se dispondrá a realizar las pilas con unas medidas de 10 metros de largo por 1.5 de alto. Con la retroexcavadora se realizarán las pilas de composta y con

esta misma se planea darles la aireación cada semana al igual que con un paleo manual realizado por los trabajadores de la PTAR.



Figura 2. Realización de las pilas de compostaje

Una vez realizadas las pilas de compostaje se les regará con agua proveniente del efluente-Parshall, procurando mantener las pilas humedecidas pero no mojadas, ya que esto puede causar problemas en el proceso de maduración. Se rotarán los materiales constantemente con la retroexcavadora como ya se ha mencionado para oxigenar la materia ya que sin la presencia del oxígeno no es posible la degradación de los materiales por los microorganismos.

Se roto la composta durante 4 meses, en los cuales con ayuda de los trabajadores de la PTAR se logró realizar de manera uniforme.

III. RESULTADOS

De acuerdo a las diversas actividades realizadas para llevar a cabo la caracterización y lograr el objetivo de ver el lodo residual como un fertilizante natural se logró elaborar el plan de manejo para los lodos residuales de la PTAR, los cuales entran en la clasificación de residuos de manejo especial de acuerdo a la NOM-161-SEMARNAT-2011 de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). De acuerdo a lo establecido en el plan de manejo y a las autoridades correspondientes, encargadas de dar el permiso, se puede llevar a cabo el desazolve de los lodos. Este permiso fue otorgado antes de dar inicio con el proceso de compostaje.

De acuerdo a los resultados obtenidos, para la caracterización inicial del lodo, de acuerdo a los análisis

realizados por los laboratorios MICROLAB INDUSTRIAL se resumen en las Tablas I-II.

TABLA I
RESULTADOS DE METALES PESADOS DEL LABORATORIO
MICROLAB

Parámetro	Resultado (mg/kg en basé seca)	Límites máximos permisibles	
		Excelente	Bueno
Arsénico	<0.001	41	75
Cadmio	27.67	39	85
Cromo	8.56	1200	3000
Cobre	37.39	1500	4300
Plomo	36.75	300	840
Mercurio	<0.001	17	57
Níquel	5.56	420	420
Zinc	331.30	2800	7500

TABLA II
RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS DEL LABORATORIO
MICROLAB

Parámetro	Resultado	Límites máximos permisibles		
		Clase		
		A	B	C
Coliformes fecales	200 000 NMP/g en base seca	< 1000	< 1000	< 2 000 000
<i>Salmonella spp</i>	< 3 NMP/g en base seca	< 3	< 3	< 300
Huevos de helminto	< 1/2g en base seca	< 1 viable	<10	< 35

En relación a los resultados del análisis de la muestra de lodos, la cual fue obtenida de la laguna anaerobia "A" se observa que en cuanto al contenido de metales pesados se considera un lodo excelente, en cuanto a los parámetros microbiológicos pertenece a la clase C.

De acuerdo a los resultados del análisis CRIT realizados por el laboratorio acreditado ante la EMA se puede decir que el lodo:

- No es Corrosivo
- No es Reactivo
- No es Explosivo
- No es Tóxico al ambiente
- No es Inflamable

De acuerdo a los análisis obtenidos se puede proceder con la estabilización de los lodos, puesto que como aún contiene una gran cantidad de coliformes fecales no puede utilizarse directamente en los suelos de la planta.

Una vez realizada la composta, se dejó reposar 4 meses, para lograr tener un mejor proceso de maduración y con esto una buena calidad.

Pasado el tiempo de maduración del compostaje se pudo obtener un biofertilizante, con la siguiente caracterización final mostrada en la Tabla III.

Los análisis recopilados en la Tabla III fueron realizados por el laboratorio de la PTAR así como también por el laboratorio MICROLAB.

TABLA III
RESULTADOS DEL BIOFERTILIZANTE

Parámetro	Unidades	Resultado
Concentración de sólidos	%	0.9
Sólidos volátiles	% de ST ¹	66
Proteína	% de ST	35
Nitrógeno (N)	% de ST	4.3
Fosforo (P ₂ O ₅)	% de ST	8
Oxido de potasio (K ₂ O)	% de ST	0.6
Celulosa	% de ST	-
Hierro	% de ST	-
Oxido de silicio (SiO ₂)	% de ST	-
pH	u. pH	7.46
Alcalinidad	Mg CaCO ₃ /l	990
Ácidos orgánicos	Mg HAc/l	1 500
Contenido energético	kJ ST/kg	20 000

De acuerdo a los resultados mostrados por los diferentes análisis de los laboratorios y al proceso de compostaje, el biofertilizante obtenido ha dado buenos resultados en cuanto a las concentraciones de nutrientes.

Se puso a prueba el biofertilizante en el suelo de la PTAR así como también con los arboles de esta. Los resultados positivos fueron notorios. Por lo tanto el biofertilizante puede ser utilizado dentro de la PTAR y por los trabajadores sin tener algún riesgo por patógenos.

IV. CONCLUSIÓN

Los lodos residuales hoy en día son un problema en las plantas de tratamiento de agua ya que muchas de estas no tienen un plan de manejo para estos y cabe destacar que la mayoría de las veces se deshacen de ellos de una manera clandestina para no tener que invertir en una solución.

Sin embargo de acuerdo a los diferentes resultados obtenidos se puede llegar a la consumación de que el compostaje es una manera ambientalmente aceptada para

disminuir los elevados volúmenes de residuos que se generan.

Los fundamentos del compostaje son sencillos, lo cual lo convierte en una metodología de fácil realización y manejo, además de una fácil comprensión para los trabajadores. El compost es un producto de bajo costo que puede reemplazar la aplicación en algunos casos de fertilizantes artificiales. Es una vía natural para conservar los suelos y evitar el empobrecimiento de éstos.

De igual forma la calidad final del producto, dependerá principalmente de los materiales de origen y de las condiciones de temperatura, humedad y aireación que existan durante el proceso. Desde el punto de vista de las características físicas del suelo, la incorporación de estos lodos mejoró la capacidad de retención de humedad del suelo así como también la agregación de sus partículas, demostrando ser un buen acondicionador, que no altera la permeabilidad ni causa aumentos nocivos en la acidez del suelo.

Como se logró denotar el suelo reacciono de manera positiva ante el biofertilizante y la caracterización final del producto lo respalda. Fueron resultados aprobados. De lo anterior se afina que la aplicación de lodos residuales a suelos pocos fértiles y bajos en materia orgánica, como los utilizados dentro de la PTAR, puede ser un método alternativo válido por su bajo costo en comparación a la aplicación de fertilizantes inorgánicos. Además de que este lodo puede producir eventuales beneficios económicos al comercializarse en forma racional, se solucionaría también el problema ambiental de su acumulación y disposición final.

Se observa que el lodo residual es apto para hacer compost, de igual forma existen diversos métodos que son útiles para lograr una estabilización exitosa en los lodos, siempre y cuando se siga la normatividad correspondiente y se ajuste a las necesidades del lugar.

V. AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo (ITSL) por las actitudes que me ayudaron a formar y por todo el conocimiento que se me brindó en los 4 años y medio de carrera, cuyo amplio campo laboral me ha permitido participar en diferentes proyectos.

A mis profesores, que fueron el apoyo para que me superara y lograra mis objetivos, a mis amigos que me dieron ánimos y a mi familia los cuales me apoyaron en todo momento y me ayudaron a sobrepasar diferentes adversidades que se cruzaron en mi camino al momento de elaborar este proyecto.

Agradezco a la empresa en donde resido ahora, por todo el apoyo que se me brindó para llevar a cabo los análisis así como también agradezco a mis compañeros de trabajo que me ayudaron en todo momento.

VI. APÉNDICES

Los límites máximos permisibles mencionados en las tablas I-II se encuentran en la NOM-004-SEMARNAT-2002 en el punto 4.6 y 4.7 de la norma.

TABLA IV
NORMATIVIDAD EMPLEADA PARA LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

NOM	NOMBRE
NOM-001-SEMARNAT-1996	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
NOM-003-SEMARNAT-1997	Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.
NOM-004-SEMARNAT-2002	Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.
NOM-052-SEMARNAT-2005	Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.
NOM-161-SEMARNAT-2011	Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos.

VII. REFERENCIAS

- [1] Dégremont (1980). *Manual técnico del agua*, Bilbao, pp 105-473, 749-781.
- [2] Lester N. (1987). *Heavy metals in wastewater and sludge treatment processes*. Vol. 1. Sources, analysis and legislation. CRC Press, Florida.
- [3] Juárez, M., Sánchez y J. Mataix (1987). *Interés Agrícola de Lodos de Depuradoras de Aguas Residuales*. An. Edafol. Agrobiol, pp221-228.
- [4] Elliot, H., and L.M. Singer (1988). *Efect Water Treatment Sludge on Growth and Elemental Compositions of Tomato (Lycopersicon Esculentum) Shoots*. Commun. Soil Science. Plant Anal, pp345-354.
- [5] Metcalf and Eddy (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse* (4 Ed.). Nueva York, Nueva York, Estados Unidos. McGraw-Hill.
- [6] Diario Oficial de la Federación (2003). *NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental.- Lodos y*

biosólidos.-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. México, D.F., Diario Oficial.

- [7] Rojas, D. A. (Septiembre de 2003). El proceso de compostaje. *El proceso de compostaje*. Chile: Departamento de Fruticultura y Enología.

VIII. BIOGRAFÍA



Luisa Estefanía Montiel Soto. Gómez Palacio, Durango. 07 de mayo de 1993. Aspirante a egresar de Ingeniero Ambiental en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en Lerdo, Durango, México, 2015.

Actualmente labora en la Planta Tratadora de Aguas Residuales de Torreón (PTAR), Coahuila de Zaragoza, en el área de Gestión Ambiental, SIMAS Torreón Coahuila de Zaragoza, México.



Evaristo Núñez Contreras. Lerdo, Durango. 08 octubre de 1980. Químico farmacéutico biólogo, Universidad Juárez del estado de Durango. México, 2006.

Actualmente labora en la Planta Tratadora de Aguas Residuales Torreón (PTAR), Torreón Coahuila de Zaragoza, Analista en laboratorio de aguas residuales, SIMAS Torreón Coahuila de Zaragoza, México.



Adriana Viramontes Acosta. Torreón, Coahuila. 08 de julio de 1978. Licenciatura en Ingeniero químico, Universidad Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coahuila, México, 2000.

Actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Lerdo, Durango, Docente en el área de ingeniería ambiental.