

# COMBINACIÓN DE UN PROCESO FISICOQUÍMICO Y BIOLÓGICO PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS PROVENIENTES DE UN SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL DE RSU

Alejandra Paola Huichapa Tinoco (1), Arodí Bernal Martínez (2)

1 Licenciatura en Ingeniería Ambiental | aleht1@hotmail.com

2 Departamento de Ingeniería Civil, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato | arodiberna@ugto.mx

## Resumen

La generación de lixiviados en los sitios de disposición final de RSU representa un riesgo potencial de contaminación tanto para las aguas superficiales y subterráneas, como para el suelo, trayendo también consecuencias para la salud. Uno de los tratamientos fisicoquímicos más prometedores para lixiviados, es el proceso Fenton, sin embargo, los efluentes generados a partir de este proceso contienen altas concentraciones de fósforo y nitrógeno. Por lo que se requiere dar tratamiento de pulimento. El proceso con microalgas se trata de un proceso biológico económico y eficiente para la remoción de nutrientes (N y P). El objetivo de este trabajo, fue evaluar la tratabilidad de lixiviados provenientes del sitio de disposición final de RSU de Irapuato, Guanajuato, México por la combinación de los procesos Fenton y microalgas. La dosis más eficiente para el tratamiento Fenton fue 1250 mg/L de  $\text{FeSO}_4$  y 1000 mg/L de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , obteniendo una remoción del 96.8% de la turbidez, 81.3% para la DQOs y 44.2% para los SST. En cuanto al sistema de microalgas, en un tiempo de operación de 24 días se presentó un aumento de la biomasa de microalgas y, altos porcentajes de remoción de los nutrientes; 93% para los nitritos, 90.5% para nitratos y 72.6% para fosfatos.

## Abstract

The formation of leachate in a municipal solid waste landfill represents a high risk of contamination to fresh waters rivers and farming fields and eventually the citizen's health that are in contact with this dangerous substance. One of the most promising physicochemical treatments for leachate is the Fenton process that will help lower the high level of toxins in leachate. However the effluent generated from the Fenton process contains a higher concentration of phosphorus and nitrogen and it will need additional treatment. The next treatment will be a microalgae treatment that is economical and efficient biological process for nutrient removal. The objective of this study was to evaluate the treatability of leachate in a waste land located in Irapuato, Guanajuato, Mexico by Fenton processes and microalgae. The most efficient dose for the Fenton treatment was 1250 mg/L of  $\text{FeSO}_4$  and 1000 mg/L  $\text{H}_2\text{O}_2$ , obtaining a 96.8% removal of turbidity, 81.3% removal of DQOs and 44.2% removal of SST. For the system of microalgae, there was an increase in the biomass of microalgae and high percentages of removal of nutrients; 93% for nitrites, 90.5% for nitrates and 72.6% for phosphates.

## Palabras Clave

Lixiviado; Tratamiento; Proceso Fenton; Microalgas.

## INTRODUCCIÓN

La mayoría de los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos (RSU) en nuestro país no cumplen en su totalidad con la normatividad vigente para que este sea una alternativa efectiva, continúan siendo sitios de disposición final a cielo abierto que pueden llegar a ocasionar graves problemas ambientales.

Los impactos ambientales de mayor consideración en estos sitios, son aquellos de consecuencias a mediano y largo plazo y están, fundamentalmente, relacionados con los gases y los lixiviados que se generan en ellos [1].

De acuerdo a la NOM-083-SEMARNAT-2003, un lixiviado se puede definir como el líquido que se forma por la reacción, arrastre o filtración de los materiales que constituyen los residuos y que contienen en forma disuelta o en suspensión, sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios, en los que se depositan los residuos y, que puede dar lugar a la contaminación del suelo y de los cuerpos de agua, provocando su deterioro y representando un riesgo potencial a la salud humana y a los demás organismos vivos.

Resulta complicado encontrar un tratamiento adecuado para los lixiviados debido a su composición altamente tóxica y variable. Se han realizado diversas investigaciones en busca del tratamiento adecuado para éstos; sin embargo debido a la heterogeneidad en su composición y a la variabilidad de los volúmenes generados, no se puede comparar directamente los resultados obtenidos con tratamientos de un lixiviado a otro [2]. Por lo tanto, cada lixiviado debe evaluarse individualmente para encontrar el tratamiento más adecuado para su manejo.

Uno de los tratamientos fisicoquímicos más prometedores para lixiviados, es el proceso Fenton, el cual consiste en la oxidación de los compuestos orgánicos con una combinación de peróxido de hidrógeno y sulfato ferroso (reactivo

Fenton), típicamente a presión atmosférica y temperatura entre 20 °C y 40 °C y en condiciones ácidas [3].

La mayor ventaja del reactivo Fenton es que sus componentes son fáciles de manipular, ambientalmente benignos y económicos [4]. Sin embargo, los efluentes generados a partir de este proceso contienen altas concentraciones de fósforo y nitrógeno. Por lo que, se requiere dar un tratamiento de pulimento.

El tratamiento con microalgas se presentan como una alternativa, ya que se trata de un proceso biológico económico y eficiente para la remoción de nutrientes. Se ha demostrado que en la eliminación del fósforo pueden ser tan eficientes como en los tratamiento químico convencionales [5]. Sus principales ventajas son el menor coste, ya que no son necesarios productos químicos, y la recuperación de los nutrientes en forma de biomasa, puede ser empleada como fertilizante.

Además de ser un proceso global: la remoción de sales (amonio, nitritos, nitratos, ortofosfatos), el aumento del pH de los efluentes (proceso fotosintético), lo cual favorece la precipitación de ortofosfatos, la eliminación de nitrógeno amoniacal por efecto de intercambio gaseoso, la disminución de la demanda biológica de oxígeno, la oxigenación del agua, favoreciendo la oxidación continua de materia orgánica, la acción bactericida, reduciendo la sobrevivencia de organismos patógenos, la recuperación de CO<sub>2</sub>, liberado en los procesos, mediante su empleo en el proceso fotosintético y un alto rendimiento en la bioconversión de la energía solar (4 y 8%) respecto a algunas plantas agrícolas convencionales (azúcar y sorgo), siendo del 1.5% [6].

El objetivo de este trabajo fue evaluar la tratabilidad de lixiviados provenientes de un sitio de disposición final de RSU, ubicado en la ciudad de Irapuato, Guanajuato, México con la combinación de dos procesos; El proceso de oxidación avanzada Fenton y un sistema de pulimento con microalgas para el efluente Fenton.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Primeramente se realizó el muestreo y caracterización del lixiviado recolectado de una de las lagunas formadas de manera natural en un escurrimiento que proviene del sitio de disposición final de Irapuato, Guanajuato. Debido a las altas concentraciones de contaminantes del lixiviado fue imposible su tratamiento, por lo que se decidió realizar una sinergia con agua residual. Tanto para el agua residual, como para el lixiviado los parámetros analizados fueron: pH, DQO, turbidez, sólidos totales (ST), sólidos totales volátiles (STV), sólidos totales fijos (STF), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV), sólidos suspendidos fijos (SSF), sólidos disueltos totales (SDT), Sólidos disueltos volátiles (SDV), sólidos disueltos fijos (SDF), conductividad, color, todas las determinaciones fueron realizadas de acuerdo a los métodos Normalizados [7].

En la siguiente etapa, fue probado el método Fenton para el tratamiento del lixiviado. Los reactivos usados fueron: Sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ) y peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Las dosis empleadas en este método fueron: 750, 1000, 1250, 1500 y 1750 mg/L de  $\text{FeSO}_4$  y 1000 mg/L de  $\text{H}_2\text{O}_2$  a dos distintos pH; 3 y 4. El tratamiento Fenton se realizó mediante las pruebas de jarras en un equipo de agitación de 6 módulos (Phipps & Bird, mod. PB-700). Se utilizó un volumen de 300 mL para cada jarra con dilución 50:50 con el agua residual. Inicialmente se les ajustó el pH a 3 o 4 adicionando  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (1:1). Posteriormente fueron adicionadas de forma simultánea las diferentes dosis del reactivo Fenton, primero fue sometida a una agitación rápida (100 rpm) durante un minuto y después una agitación lenta (50 rpm) durante media hora. Cada muestra se dejó en reposo durante 30 minutos, para así permitir la separación del clarificado a analizar. Se analizaron los siguientes parámetros: ST, SS, DQOT, DQOs, Turbidez, conductividad, pH, color y volumen de lodos.

Después de comparar los resultados obtenidos en el proceso Fenton y determinar la dosis óptima se

monto un sistema de pulimiento usando microalgas cuyo principal objetivo fue eliminar los macronutrientes (N y P) que estén presentes en el efluente proveniente del proceso Fenton.

El sistema fue un reactor de 2 L de capacidad, con una agitación y aireación constante, se agregó 1 L de solución mineral y 0.5 L de agua residual y 0.5 L de inóculo con microalgas. A los 8 días se alimentó el con agua residual y a los 16 días de operación con una sinergia del efluente Fenton y agua residual en una relación 50:50. Los parámetros analizados cada semana tanto antes como después de la alimentación fueron: pH, DQO, turbidez, SST, SSV, SSF, conductividad, nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se muestra la caracterización fisicoquímica de los lixiviados de Irapuato, Gto. Se trata de lixiviados con una DQO de 5902 mg/L, pH alcalino y una turbidez de 30.6 UNT, la alcalinidad fue de 1490 mgCaCO<sub>3</sub>/L. Estos valores se encontraron dentro del intervalo típico, sobre la composición de lixiviados procedentes de sitios maduros [2], en los cuales la DQO se encuentra entre 3000-60,000 mg/L de acuerdo a esto, se trata de un lixiviado combinado joven con maduro.

Tabla 1: Caracterización fisicoquímica de los lixiviados de Irapuato, Guanajuato.

Parámetros	mg/L
DQO Total	6383.65 ± 124.94
DQO Soluble	5902.2 ± 23.05
SST	1305 ± 120.20
SSV	610 ± 42.42
SSF	695 ± 77.78
Alcalinidad mg CaCO <sub>3</sub> /L	1490 ± 14.14
pH	7.71 ± 0.1
Conductividad (mS/cm)	24.23 ± 0.2
Turbidez (UNT)	30.6 ± 0.1

### Tratabilidad con Fenton

En la imagen 1 se muestran los valores de porcentajes de remoción de la DQOt, después del tratamiento Fenton a los dos pH evaluados. En ambos casos, se obtuvieron porcentajes arriba del 70 %, los mejores resultados fueron a pH 4, siendo más eficiente con la aplicación de 1250 mg/L de  $\text{FeSO}_4$  y 1000 mg/L de  $\text{H}_2\text{O}_2$  con un 89% de remoción.

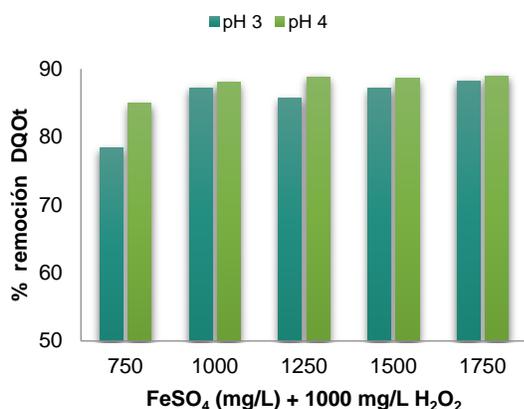


IMAGEN 1: Remoción de la DQOt de los lixiviados con el proceso Fenton bajos dos pHs.

La imagen 2 muestra los porcentajes de remoción para la turbidez después del tratamiento Fenton. Los mejores resultados fueron a pH 4 y el mayor porcentaje fue de 97% para 1250 mg/L de  $\text{FeSO}_4$  y 1000 mg/L de  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

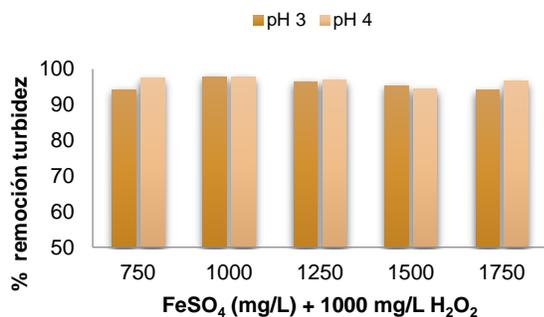


IMAGEN 2: Remoción de la turbidez de los lixiviados con el proceso Fenton bajos dos pHs.

Las mejores dosis para el tratamiento Fenton fueron 1250 mg/L de  $\text{FeSO}_4$  y 1000 mg/L de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . En la tabla 2 se muestra un resumen de los resultados a esta dosis así como la comparación con los valores iniciales del lixiviado.

Tabla 2: Resumen del mejor resultado para el tratamiento de lixiviados con el tratamiento Fenton.

Parámetros	Inicial mg/L	Fenton pH 4 1250 mg/L $\text{FeSO}_4$ +1000 mg/L $\text{H}_2\text{O}_2$	
		Final mg/L	% R
DQOs	3677.5	684.5	81.35
SST	760	423.3	44.29
PO <sub>4</sub>	31.7	7.75	75.5
NO <sub>3</sub>	73	2.55	96.5
NO <sub>2</sub>	8.6	7.5	12.8
Turbidez UNT	133	4.1	96.88
Generación de lodos (g ST)	-	1.60	-

### Sistema de microalgas

En la imagen 3 se muestran la evolución de los SST y SSV durante los 24 días de operación. En el arranque se registraron 326.6 mg/L y 306.6 mg/L respectivamente alcanzando hasta 1865 y 1560 mg/L. Las condiciones que se establecieron en el sistema fueron las adecuadas para el establecimiento de las microalgas.

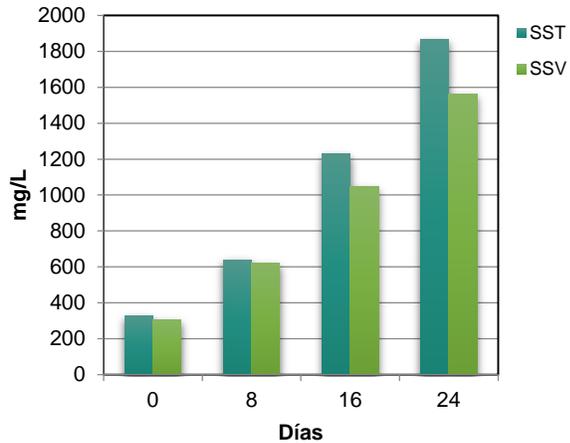


IMAGEN 3: SST y SSV en el sistema de microalgas.

La imagen 4 muestra la cantidad de nitritos, nitratos y fosfatos en los 24 días de operación. Se puede apreciar claramente que el sistema fue eficiente para la eliminación de dichos nutrientes. Con un porcentaje de eliminación para el día 24 de; 93% de nitritos, 90.5% de nitratos y 72.6% de fosfato

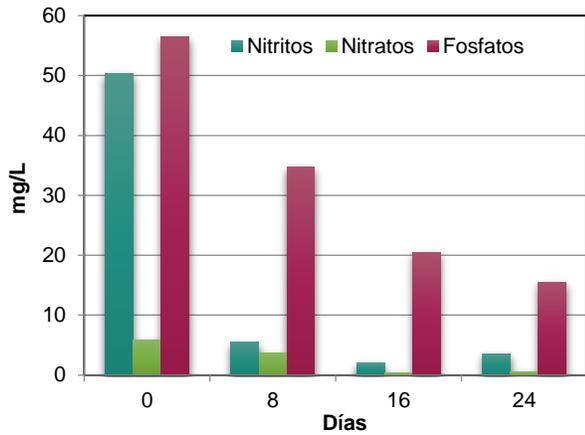


IMAGEN 4: Nitritos, nitratos y fosfatos del sistema de microalgas.

## CONCLUSIONES

La dosis más eficiente para el tratamiento Fenton fue 1250 mg/L de  $\text{FeSO}_4$  y 1000 mg/L de  $\text{H}_2\text{O}_2$  bajo un pH de 4, con una remoción del 96.8% de la turbidez, 81.3% para la DQOs y 44.2% para los SST. En cuanto al sistema de microalgas, durante los 24 días de operación de este se observó un aumento de la biomasa de microalgas y altos porcentajes de remoción de nitritos, nitratos y fosfatos; 93% para los nitritos, 90.5% para nitratos y 72.6% para fosfatos.

## REFERENCIAS

- [1] Pellón Arrechea Alexis, López Torres Matilde, Espinosa Lloréns María del Carmen, González Díaz Orestes (2015). Proposal for leachates treatment in municipal solid waste landfill. *Revista de Ingeniería Hidráulica y ambiental*, 36(2), 3-16.
- [2] Tchobanoglous G., Theisen H. and Vigil S. (1998). *Gestión integral de los residuos sólidos* (Primera edición). España. Mc Graw Hill, Vol.1 y 2.
- [3] Martínez E.C. y López G.D (2001). Tratamiento químico de contaminantes orgánicos: el proceso Fenton. *Revista. Internacional de Contaminación Ambiental*, 26 (3),149-153.
- [4] Kavitha V. y Palanivelu K. (2003). Degradation of 2-chlorophenol by Fenton and photo-Fenton processes: a comparative study. *Journal Environmental Science Health*, 20(10), 1215-1231.
- [5] Hoffman, J.P. (1998). Wastewater treatment with suspended and nonsuspended algae. *Journal of Phycology*, 34, 757-763.
- [6] Kojima, H. and Lee y K. (2001). Photosynthetic microorganisms in Environmental Biotechnology. Hong-Kong, Springer-Verlag.
- [7] Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998). 20th Ed, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA.