

Evaluación de la toxicidad de los lixiviados de relleno sanitario tratados mediante un proceso optimizado de Fenton/adsorción

Toxicity assessment in landfill leachates treated by an optimized Fenton/adsorption process

Ana M. Escalante-Mañé¹, Carlos Puch-Hau², Roger I. Méndez-Novelo¹, Germán Giacomán-Vallejos¹, De la Vega-Lille Marisela¹, Mercedes Quintanilla-Mena²

¹Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán. Av. Industrias No Contaminantes por Periférico Norte s/n, Mérida, Yucatán, México. mmagne21@yahoo.com.mx

²Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Departamento de Recursos del Mar, Unidad Mérida. Km. 6 Antigua Carretera a Progreso, Cordemex, 97310, Mérida, Yucatán, México.

Palabras clave: *Danio rerio*, embriotoxicidad, Fenton, lixiviados, relleno sanitario.

Key words: *Danio rerio*, embryotoxicity, Fenton, landfill, leachate.

INTRODUCCION

El relleno sanitario es un método ampliamente empleado para la disposición final de los residuos sólidos urbanos. Una de las principales desventajas de este método es la generación de lixiviados los cuales son líquidos que se forman por la humedad de los residuos en proceso de descomposición, así como por el agua proveniente de las precipitaciones pluviales que al entrar en contacto con los residuos disuelven y arrastran sustancias contaminantes. Estas mezclas acuosas son tóxicas y constituyen un riesgo para la salud humana y el ambiente por lo que deben ser tratadas para disminuir su peligrosidad (Luo y col., 2020).

Existen diversas tecnologías para el tratamiento de los lixiviados y la eficiencia de cada una de ellas dependerá de las características químicas del lixiviado y de su edad. Los lixiviados jóvenes son generalmente tratados con procesos biológicos mientras que los lixiviados maduros por su alto contenido de compuestos orgánicos recalcitrantes, principalmente ácidos húmicos y fúlvicos, requieren de la aplicación de tratamientos fisicoquímicos como los Procesos de Oxidación Avanzada (POA's). Los POA's se basan en la utilización del radical hidroxilo ($\cdot\text{OH}$), el cual es una especie química altamente reactiva y no selectiva que puede oxidar y descomponer numerosos compuestos a CO_2 , y agua (Gheraout y Elboughdiri 2020). El proceso Fenton es uno de los POA's más comúnmente utilizados ya que ofrece ventajas frente a otro tipo de tratamientos de aguas residuales como lo son la abundancia y bajo costo del hierro y la facilidad del manejo del peróxido de hidrógeno el cual se considera ambientalmente benigno. Sin embargo, es necesario optimizar el proceso Fenton para asegurar la generación continua del radical $\cdot\text{OH}$ que permita mejorar la eficiencia de la oxidación ya que la oxidación parcial de los contaminantes orgánicos puede resultar en la

formación de intermediarios aún más tóxicos que los compuestos que les dieron origen (Dantas y col., 2019). Asimismo, la combinación con otros tratamientos como filtración o adsorción permiten remover parcialmente los productos de la oxidación. La adsorción con carbón activado granular (CAG) elimina un amplio espectro de contaminantes orgánicos como plaguicidas y compuestos orgánicos sintéticos por lo que es utilizada comúnmente como post tratamiento. La eficiencia de detoxificación de los tratamientos empleados debe ser evaluada de forma conjunta con los parámetros fisicoquímicos; una forma de medir la seguridad toxicológica de los efluentes es a través de los bioensayos (Luo y col., 2020).

El pez cebra (*Danio rerio*) es un organismo ampliamente utilizado en bioensayos de toxicidad debido a su tamaño pequeño, alta fecundidad, fertilización externa y la transparencia de sus embriones (Di Paolo y col., 2015). La prueba de embriotoxicidad en pez cebra es un método para estudiar la toxicidad de sustancias químicas durante la embriogénesis *in ovo* (Hermsen y col., 2011). La exposición de los embriones a diferentes concentraciones de contaminantes permite la cuantificación de parámetros como toxicidad letal y subletal. Por tal motivo, el objetivo de este estudio fue evaluar la eficiencia de detoxificación de los lixiviados tratados por un proceso optimizado de Fenton/adsorción utilizando como organismo modelo *D. rerio*.

METODOLOGIA

El lixiviado fue colectado en las lagunas de evaporación del Relleno Sanitario de Mérida, Yucatán, México. Como una estrategia para optimizar el proceso Fenton se realizaron tres etapas consecutivas de oxidación seguidas de una etapa adsorción con carbón activado granular (Fenton-adsorción). Los parámetros fisicoquímicos del lixiviado fueron determinados de acuerdo con los métodos estándar (APHA-AWWA-WPCF, 2005).

La evaluación de la toxicidad se realizó mediante un ensayo con embriones de pez cebra. Para ello se prepararon diluciones dobles del lixiviado tratado (1:32, 1:64, 1:128, 1:156 y 1:512) y se colocaron 2 mL de cada dilución en los pozos de una microplaca de cultivo. Se utilizó agua de dilución como control negativo. Por pozo, se colocaron 10 huevos de pez cebra recientemente fertilizados. La mortalidad y eclosión fueron registradas cada 24 durante el período de exposición (120 h). El desarrollo embrionario fue evaluado de acuerdo con el sistema de puntuación desarrollado por Hermsen y col., (2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos en el lixiviado crudo los cuales correspondieron a un lixiviado maduro, esto fue determinado debido a que presentó bajo índice de biodegradabilidad (IB), color oscuro y alta concentración de nitrógeno amoniacal. Estas características indican que un tratamiento por métodos biológicos dificultaría la remoción eficiente de los contaminantes. Por tal motivo, el lixiviado tratado con Fenton-Adsorción logró una eficiencia satisfactoria de remoción de contaminantes orgánicos con una

reducción de la demanda química de oxígeno (DQO) y color del 98% y 100%, respectivamente.

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica del lixiviado no tratado y tratado por el método Fenton-Adsorción.

Parámetro	Lixiviado no tratado	Lixiviado tratado
pH	8.4	7
DQO (mg/L)	14600	256
DBO (mg/L)	109.7	37.9
IB (DBO/DQO)	0.007	0.15
NTK (mg/L)	4671	1430
N-NH ₃	4239	1408
Color (U-PT-Co)	22593	6.3

Los resultados de los ensayos embriotoxicidad en *D. rerio*, revelaron que la toxicidad del efluente tratado con Fenton-adsorción se redujo de forma significativa. Como se puede observar en la Figura 1a, durante las 120 h post exposición no se encontraron diferencias estadísticamente significativas de los porcentajes de eclosión de los peces, en las diluciones evaluadas (1:32, 1:64, 1:128, 1:156 y 1:512) con respecto al control. De forma similar, los porcentajes de mortalidad no difirieron de manera significativa con respecto al control negativo (Figura 1b).

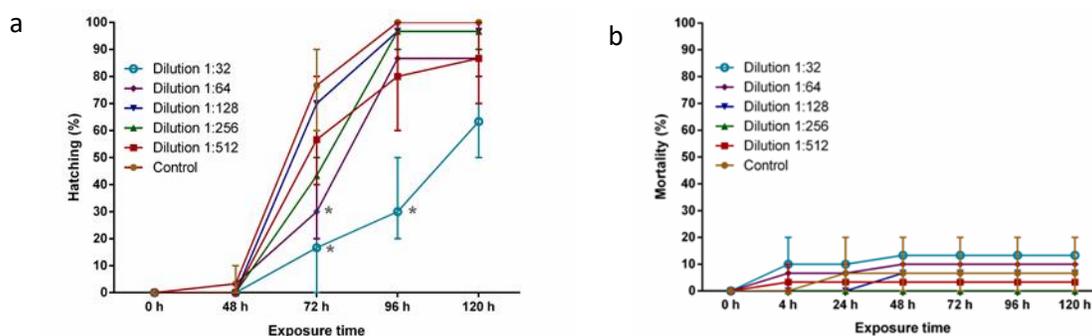


Figura 1. a) Porcentaje de eclosión y b) porcentaje de mortalidad de los embriones de pez cebra expuestos a diferentes diluciones del lixiviado tratado con Fenton/adsorción. Las barras de error representan el rango y los símbolos la media de tres réplicas. Los asteriscos representan las diferencias significativas de las diluciones con respecto al control (valor $P < 0.05$).

Al evaluar el desarrollo de los embriones expuestos al lixiviado tratado, no se encontró ninguna alteración en los parámetros evaluados como separación de la cola, latido cardíaco,

movimiento, entre otros; obteniendo una puntuación del 100% con respecto al control. En contraste, en los embriones expuestos al lixiviado no tratado se observó un retraso en el desarrollo el cual se hizo evidente desde las 48 h obteniéndose puntuaciones del 80% en la dilución 1:512 y 0% en las diluciones 1:256, 1:125, 1:64 y 1:32.



Figura 2. Fotos representativas de los embriones de pez cebra a las 48 h post exposición: a) control, b) lixiviado tratado, c) lixiviado crudo

CONCLUSION

El tratamiento optimizado de Fenton/adsorción redujo significativamente la toxicidad del efluente, lo que contribuye a disminuir el riesgo de contaminación del acuífero de la Península de Yucatán.

BIBLIOGRAFIA

APHA-AWWA-WPCF (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 18th ed. American Public Health Association. Washington DC.

Dantas, E.R., Silva, E.J., Lopes, W.S., do Nascimento, M.R., Leite, V.D., de Sousa, J.T. (2020). *Fenton treatment of sanitary landfill leachate: optimization of operational parameters, characterization of sludge and toxicology*. Environ. Technol. 41(20): 2637-2647.

Di Paolo, C., Seiler, T.B., Keiter, S., Hu, M., Muz, M., Brack, W., Hollert, H. (2015). *The value of zebrafish as an integrative model in effect-directed analysis-a review*. Environ. Sci. Eur. 27(1): 8.

Ghernaout, D. Elboughdiri N. (2020). *Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment: Facts and Future Trends*. OALib Journal 7(02): 1.

Hermesen, S.A., van den Brandhof, E.J., van der Ven, L.T., Piersma, A.H. (2011). *Relative embryotoxicity of two classes of chemicals in a modified zebrafish embryotoxicity test and comparison with their in vivo potencies*. Toxicol. in Vitro 25(3): 745-753.

Luo, H., Zeng, Y., Cheng, Y., He, D., Pan, X. (2020). *Recent advances in municipal landfill leachate: A review focusing on its characteristics, treatment, and toxicity assessment*. Sci. Total Environ. 703: 135468.