

Evaluación de la eliminación del endosulfán en un sistema híbrido y su efecto sobre el consorcio microbiano presente

Evaluation of endosulfan removal in a hybrid system and its effect on the microbial consortium present

Fabián Porfirio Vázquez Contreras¹, Kadiya del Carmen Calderón Alvarado⁴, Edna Rosalba Meza Escalante¹, Luis Humberto Álvarez Valencia², Lourdes Mariana Díaz Tenorio³, Denisse Serrano Palacios¹

¹Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente ²Departamento de Ciencias Agronómicas y Veterinarias ³Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias. Instituto Tecnológico de Sonora. 5 de febrero 818 Sur, C.P. 85000 Col. Centro, Cd. Obregón, Sonora, México.

⁴Departamento de Investigación Científica y Tecnológica, Universidad de Sonora. Avenida Luis Donaldo Colosio s/n Edificio 7G, C.P. 83000 Col. Centro, Hermosillo, Son.

Palabras clave: carbón activado granular, endosulfán, sistema híbrido, plaguicidas organoclorados.

Key words: granular activated carbon, endosulfan, hybrid system, organochlorine pesticides.

INTRODUCCIÓN

El aumento en la demanda agrícola ha llevado a la aplicación de grandes cantidades de plaguicidas para reducir las pérdidas ocasionadas por plagas de microorganismos, hongos, insectos, malezas, entre otros depredadores que atacan a los cultivos (Harsimran y Harsh, 2014), los cuales debido a su toxicidad ocasionan daños al ambiente deteriorando las tierras de cultivo y a los seres vivos (Albert, 2015).

Un ejemplo es el plaguicida organoclorado endosulfán, clasificado como moderadamente peligroso por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2010) e introducido para su prohibición al anexo A del Convenio de Estocolmo en el 2011. Este compuesto tiene la capacidad de bioacumularse y está clasificado como un compuesto orgánico persistente, que al entrar en contacto con microorganismos presentes en el ambiente tiende a metabolizarse y generar endosulfán sulfato, el cual tiene características de toxicidad y persistencia mayores al compuesto original (Bejarano et al., 2008; Rojas et al., 2013).

El Reactor Secuencial tipo Lote (RSL), es un proceso biológico utilizado para la eliminación de compuestos persistentes, con múltiples beneficios como cortos tiempo de operación, poco espacio, permite la eliminación de nutrientes y opera múltiples procesos biológicos en un solo tanque (Serrano et al., 2011). Además, se ha reportado que la combinación de reactores en lote con materiales adsorbentes como el carbón activado granular (GAC), permite mejorar la eliminación de compuestos contaminantes, alcanzando remociones de hasta un 100% de remoción de 2,4-dichlorophenol, COD y NH₃-N, (Muhamad et al., 2013). Otro beneficio del GAC, es la promoción del crecimiento bacteriano formando una biopelícula en su superficie donde los microorganismos son capaces de consumir y biotransformar sustancias tóxicas e inhibitorias como el endosulfán (Ortiz-Hernández et al., 2013). En relación con lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar la eliminación de endosulfán con el uso combinado de un Reactor Secuencia tipo Lote (RSL) con Carbón Activado Granular (GAC).

METODOLOGIA

Para el desarrollo experimental se utilizó un sistema RSL con un volumen útil de 3L, el cual fue inoculado con una biomasa aerobia (18.7 g ST/L, 7 g STV/L) el TRH del sistema fue de 0.6 d y opero con una relación C/N de 4. Se utilizo un agua sintética para alimentar el sistema, el tiempo de operación del reactor se dividió en tres etapas: I) arranque y estabilización; II) adición de 4 mg/L de endosulfán a la alimentación del RSL; y III) adición de una dosis única de 1 g/L de GAC directamente al licor de mezcla del reactor. Durante las tres etapas de operación del RSL, la temperatura y el pH se mantuvieron en 23 °C y 7.0, respectivamente. Se tomaron muestras semanales del RSL en tres puntos: influente, licor de mezcla y efluente, para la evaluación del desempeño del sistema a través del análisis de DQO, Sólidos Totales (ST), Sólidos Totales Volátiles (STV), Índice Volumétrico de Lodo (IVL), OD, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, N-NO₂⁻ y P-PO₄⁻³, siguiendo los métodos estandarizados por APHA (2015).

Análisis de endosulfán

Se prepararon muestras integradas con un volumen de 300 mL, las cuales fueron tomadas dos veces por semana tanto del influente como del efluente del RSL y se filtraron a través de membranas de 0.45 µm, posteriormente se realizó la extracción y cuantificación del endosulfán de acuerdo a la metodología 3546 y 8081A de la EPA (EPA, 1996, 2007).

Crecimiento y aislamiento de microorganismos

Se tomaron 3 muestras homogéneas del licor de mezcla, durante la fase aerobia en cada una de las etapas de operación y se prepararon cultivos independientes en agua sintética, simulando la alimentación del reactor. Los cultivos se mantuvieron 4 días en agitación (180 rpm a 28°C) y posteriormente se prepararon diluciones seriadas y fueron inoculadas en cajas Petri e incubadas a 28 °C hasta la presencia de colonias para determinar las unidades formadoras de colonias (UFC) de los microorganismos cultivables de acuerdo a la normatividad nacional vigente (NOM-092-SSA1-1994).

Cinética de crecimiento de microorganismos en presencia de endosulfán

Se seleccionaron cinco cepas de la población obtenida previamente para determinar su velocidad de crecimiento en presencia de endosulfán de acuerdo a la metodología de Thangaduri (2014), los ensayos se llevaron a cabo por duplicado en matraces de 125 mL en condiciones asépticas, con 50 mL de AS y añadiendo una concentración final de 4 mg/L de endosulfán, a 28 °C y agitación de 180 rpm. La tasa de crecimiento se determinó a través de la medición de la Densidad Óptica (DO) a 630 nm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En etapa III de operación del RSL caracterizada por la adición de 1 g/L de GAC, la eficiencia de remoción de macrocontaminantes se incrementó considerablemente en comparación con las primeras etapas de operación, alcanzando una remoción de DQO del 96%, de N-NH₄⁺ del 72% y para P-PO₄⁻³ de 48%. Un comportamiento similar con el fósforo, se observó en un estudio realizado por Serrano et al. (2011) quienes evaluaron añadir 1 g/L de carbón activado en forma de polvo a un SBR, obteniendo una eliminación de hasta el 80% de fósforo, atribuido al crecimiento de bacterias PAOs.

Las remociones obtenidas de endosulfán durante las etapas II y III, únicamente diferenciadas por la adición de 1 g/L de GAC, fueron de 79% (57% α- endosulfán, 17% β-endosulfán y 5%

endosulfán sulfato) y 99% (40% α - endosulfán y 60% a β -endosulfán) respectivamente. Ravindran et al. (2009) al operar un biorreactor de membrana con 0.5 g/L de carbón activado en polvo, obtuvieron un aumento en la eliminación del plaguicida alaclor del 36 al 99%, con lo que demostraron que la combinación de sistemas físicos y biológicos fomenta una mejora en la eficiencia de remoción de contaminantes organoclorados como el endosulfán.

Aislamiento de cepas microbianas

A partir del cultivo en placa de las muestras del reactor, se realizó el conteo de poblaciones totales, obteniendo 1.36×10^6 UFC/mL (etapa I), 1.89×10^4 UFC/mL (etapa II) y 1.28×10^5 UFC/mL (etapa III), y se determinó la abundancia relativa. Se observó una disminución del 86% en el número de colonias de la etapa I a la II, atribuido al efecto inhibitorio del endosulfán (FAO, 2000). Durante la etapa III, las colonias de microorganismos aumentaron debido al efecto del GAC, tal como lo observaron Mercier et al. (2013), quienes evaluaron la formación de biopelícula alrededor de GAC, con y sin presencia de un compuesto organoclorado, y observaron un crecimiento de microorganismos de forma natural.

Efecto del endosulfán en el crecimiento de los microorganismos

Se seleccionaron cinco cepas de la población microbiana total, con el fin de evaluar el tiempo de crecimiento y comportamiento individual ante la presencia del endosulfán a una concentración de 4 mg/L (**Tabla 1**).

La cepa (C1) no mostró diferencia significativa en presencia o ausencia de endosulfán, indicando una tolerancia a este plaguicida. En la cepa (C2) se pudo observar inhibición causada por el plaguicida, y que se comprueba con su desaparición en las etapas II y III, la cepa (C3) mostró un retraso en el tiempo de crecimiento en presencia del endosulfán lo que puede ser debido a una síntesis de enzimas que oxidan, hidrolizan o hidroxilan al plaguicida (Castellanos, 2013). La cepa C4 en presencia de endosulfán llegó a un crecimiento máximo en menos de 3 días, después ésta decae rápidamente, por lo que no es posible asumir un efecto inhibitorio por parte del endosulfán. Por último, la cepa C5 se caracterizó por su aparición tras la adición de GAC observando que el contaminante no reprimió el crecimiento de la cepa, tal como lo observaron Shafiani & Malik (2003) quienes estudiaron la degradación de endosulfán con un consorcio bacteriano, los resultados indicaron una inhibición total de las cepas a una concentración de 800 mg/L, por lo que una cantidad de 4 mg/L de endosulfán en el medio no se considera como tóxica.

Tabla 1. Tiempo de duplicación y tiempo máximo de crecimiento a partir de las cepas seleccionadas del sistema RSL, en presencia y ausencia de endosulfán.

Cepa	Etapa en la que se encuentra	Tiempo de duplicación (d)		Tiempo máximo de crecimiento (d)	
		Con endosulfán	Sin endosulfán	Con endosulfán	Sin endosulfán
C1	I, II y III	6.85	7.57	3.96	3.96
C2	I	3.96	10.04	3.96	3.04
C3	II y III	2.86	3.13	6.04	5.25
C4	II	1.52	1.55	3.04	3.04
C5	III	1.49	0.74	3.04	1.04

CONCLUSIÓN

El estudio mostro que las concentraciones de los macrocontaminantes evaluados disminuyó significativamente al final de la operación del sistema RSL (DQO del 96%, de N-NH₄⁺ de 1 72% y para P-PO₄⁻³ de 48%) y se observó una mejora en las características físicas de la biomasa (IVL 28 mg/L y 3.2 a 5.6 mg STV/L). Por otro lado, la eliminación de endosulfán incremento de 79% en la etapa II a un 99% en la última etapa de operación del sistema, asociado a la adición del GAC y este permite el crecimiento de nuevas cepas (C5). Por lo anterior, el sistema RSL en combinación con GAC es una herramienta eficiente para la remoción de macrocontaminantes y plaguicidas organoclorados como el endosulfán.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por el proyecto: “Evaluación del Impacto de los cambios metabólicos en la comunidad microbiana de un sistema híbrido por la eliminación de antibióticos presentes en agua residual porcícola” del fondo CONACYT_ Proyectos de Investigación Científica Básica_2019-2021 con folio_ A1-S-43472.

REFERENCIAS

- FAO Information Division. (2000). *FAO PESTICIDE DISPOSAL SERIES 8: Assessing soil contamination (a reference manual)*. Rome. Retrieved from <http://www.fao.org/3/X2570E00.htm>
- WHO. (2010). *The WHO Recommended Classification of Pesticides by Hazard and Guidelines to Classification 2009*. Retrieved from https://www.who.int/ipcs/publications/pesticides_hazard/en/
- Bejarano, F., Souza, J., Weber, J. M., Guadarrama, C., Escamilla, E., Beristán, B., ... Ramírez, F. (2008). *El endosulfán y sus alternativas en América Latina*. Retrieved from http://pnp.cr/plataforma/sites/default/files/rap-al-ipen-rapam_2009._el_endosulfan_y_sus_alternativas_en_america_latina_tomo_ii.pdf
- Rojas, R., Morillo, J., Usero, J., Delgado-Moreno, L., & Gan, J. (2013). Enhancing soil sorption capacity of an agricultural soil by addition of three different organic wastes. *Science of The Total Environment*, 458–460, 614–623. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2013.04.032>
- Serrano, D., Suárez, S., Lema, J. M., & Omil, F. (2011). Removal of persistent pharmaceutical micropollutants from sewage by addition of PAC in a sequential membrane bioreactor. *Water Research*, 45(16), 5323–5333. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.07.037>
- Thangadurai, P., & Suresh, S. (2014). Biodegradation of endosulfan by soil bacterial cultures. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 94, 38–47. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.06.017>
- Gonzalez, M., Miglioranza, K. S. B., Aizpún De Moreno, J. E., & Moreno, V. J. (2003). Organochlorine Pesticide Residues in Leek (*Allium porrum*) Crops Grown on Untreated Soils from an Agricultural Environmet. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 5024–5029. <https://doi.org/10.1021/jf034349>
- Ravindran, V., Tsai, H.-H., Williams, M. D., & Pirbazari, M. (2009). Hybrid membrane bioreactor technology for small water treatment utilities: Process evaluation and primordial considerations. *Journal of Membrane Science*, 344(1–2), 39–54. <https://doi.org/10.1016/J.MEMSCI.2009.07.032>

- Mercier, A., Wille, G., Michel, C., Harris-Hellal, J., Amalric, L., Morlay, C., & Battaglia-Brunet, F. (2013). Biofilm formation vs. PCB adsorption on granular activated carbon in PCB-contaminated aquatic sediment. *Journal of Soils and Sediments*, 13(4), 793–800. <https://doi.org/10.1007/s11368-012-0647-1>
- Castellanos, J., & Rache, L. Y. (2013). Microorganismos, enzimas, plásmidos y genes involucrados en la degradación de plaguicidas N-metilcarbamatos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29, 105–119.
- Shafiani, S., & Malik, A. (2003). Tolerance of pesticides and antibiotic resistance in bacteria isolated from wastewater-irrigated soil. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 19(9), 897–901. <https://doi.org/10.1023/B:WIBI.00000007290.94694.4f>