

Remoción de 2,4-D y carbono orgánico disuelto utilizando humedales construidos de flujo subsuperficial a escala piloto

Andrés Echeverri González¹, Gustavo Peñuela Mesa

Andrés Echeverri González: Grupo de Diagnóstico y Control de la Contaminación, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Colombia. E-mail: andresphelipe@gmail.com

Palabras clave: 2,4-D, carbono orgánico disuelto, humedales construidos de flujo subsuperficial, *Phragmites australis*.

Resumen

El 2,4-D es uno de los herbicidas más utilizados a nivel mundial y el segundo en Colombia después del glifosato, como consecuencia, es común encontrarlo en aguas superficiales y subterráneas. En la actualidad se han propuesto diversos tipos de sistemas para el tratamiento de 2,4-D en aguas, pero muy pocas investigaciones reportan sistemas biológicos para este fin, por tal motivo en este trabajo se evaluó la eficiencia de humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal para la remoción de 2,4-D en aguas. Los humedales utilizados fueron construidos en fibra de vidrio y se plantaron con *Phragmites australis*, y como afluente se utilizó agua residual sintética, la cual fue adicionada con diferentes concentraciones de 2,4-D (20, 40 y 60 mg/L) y glucosa (COD=30, 60 y 90 mg/L). Al final se alcanzaron remociones entre 71%-99% y 73%-98% para 2,4-D y carbono orgánico disuelto (COD), respectivamente, obteniéndose efluentes con concentraciones menores a 0.05 mg/L para 2,4-D y entre 5-15 mg/L para COD. Se comprobó que a medida que aumentaba la concentración de 2,4D en el afluente, disminuía la eficiencia de remoción del mismo en el sistema, debido quizás a un efecto tóxico sobre el componente biológico, además, la concentración de COD en el afluente tuvo un efecto significativo sobre la remoción del herbicida y el COD, lo que demuestra que en los humedales construidos la materia orgánica juega un rol importante en los procesos de remoción de los contaminantes. Los resultados obtenidos dejan ver que este tipo de sistemas son una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con 2,4-D y materia orgánica para zonas rurales.

Abstract

2,4-D is one of the most widely used herbicides in the world and second in Colombia after glyphosate. Therefore, this herbicide is commonly found in surface water and groundwater. Various types of systems for treating water containing the pesticide 2,4-D have been proposed, but few studies report the use of biological systems for this purpose. Thus, in this work the efficiency of horizontal subsurface flow constructed wetlands were evaluated for the removal of 2,4-D in water. The wetlands were constructed using fiberglass and planted with *Phragmites australis*. Synthetic wastewater was used as the influent, which was added to different concentrations of 2,4-D (20, 40 and 60 mg/L) and glucose (DOC = 30, 60 and 90 mg/L). Removals of 71%-99% and 73%-98% were achieved for 2,4-D and dissolved organic carbon (DOC) respectively, resulting in effluent concentrations below 0.05 mg/L for 2,4-D and from 5-15 mg/L for DOC. It was found that with increasing concentrations of 2,4-D in the influent, the removal efficiency decreased, perhaps due to a toxic effect on the biological component. The DOC concentration in the influent had a significant effect on the removal of the herbicide and the DOC, demonstrating that organic matter in constructed wetlands is important to the contaminant removal process. It can be concluded that constructed wetlands are a viable alternative for the treatment of wastewater contaminated with the pesticide 2,4-D.

Introducción

El ácido 2,4 diclorofenoxiacético (2,4-D), es un herbicida de tipo hormonal que actúa como análogo de la auxina, es ampliamente utilizado en cultivos de arroz, avena y maíz para el control de malezas dicotiledóneas (RAPAM et al., 2007). El 2,4-D es uno de los herbicidas más utilizados a nivel mundial y el segundo en Colombia después del glifosato, este hecho, sumado a su alta solubilidad en agua (900 mg/L, como sal dimetilamina) y movilidad, hace que sea común encontrarlo en aguas superficiales y subterráneas (Laganà et al., 2000; Zamba, 2003).

El 2,4-D es un herbicida neurotóxico, se absorbe con facilidad a través de la piel o por inhalación y puede causar daños al hígado, a los riñones, a los músculos y al tejido cerebral (Russell, 2001). Además, investigaciones realizadas por Pavlica et al. (1991) demostraron que el 2,4 D puede causar mutación genética en procariotas, insectos y células de mamíferos (in vitro) y efectos cromosómicos en plantas, y células somáticas de mamíferos (in vivo).

En la actualidad se han propuesto diversos tipos de sistemas para el tratamiento de 2,4-D en aguas, la mayoría de estos utilizan sistemas físicos o químicos para la remoción, como los reportados por Tang et al. (2012) y Han, Jia y Lian (2010), pero muy pocas investigaciones reportan sistemas biológicos para este fin, por tal motivo en este trabajo se evaluó la eficiencia de un sistema biológico tipo humedal construido para la remoción simultánea de 2,4-D y COD en aguas.

Metodología

Los humedales utilizados fueron contruidos en fibra de vidrio, sus dimensiones fueron 1m x 0,6m x 0,6m de largo, ancho y profundidad respectivamente, dentro de éstos se dispuso 0,3 m de grava con granulometría de 1"-1/2", la altura de la lámina de agua fue de 0,2m, los humedales fueron plantados con *Phragmites australis* a una densidad de 6,67 plantas/m² y el tiempo de retención hidráulico fue 4,2 días, durante la fase experimental los humedales

fueron operados bajo un régimen de flujo subsuperficial horizontal, de manera continua y el control de caudal se realizó mediante la instalación de flujómetros a la entrada de cada sistema, como afluente se utilizó agua residual sintética de acuerdo a lo descrito por Dangcong et al. (2000), la cual fue adicionada con diferentes concentraciones de 2,4-D (20, 40 y 60 mg/L) y glucosa, como carbón orgánico disuelto (COD=30, 60 y 90 mg/L), se tomaron muestras a la entrada del sistema los días 0, 1 y 2 y a la salida del mismo los días 4, 5 y 6.

Con el objetivo de obtener una mayor veracidad desde el punto de vista estadístico cada tratamiento fue realizado con 3 replicas. Para la determinación de la normalidad en la distribución de los resultados se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov, para determinar la determinación de homocedasticidad se aplicó el test de Levene, la presencia de diferencias significativas entre los tratamientos fue hallada mediante un Análisis de Varianza factorial y posterior aplicación de la prueba de contraste de medias de Tukey, todos los análisis se realizaron con un nivel de significancia de 5% y utilizando el paquete estadístico R versión 3.0.1.

Resultados y Discusión

Al final se alcanzaron remociones entre 73%-98% de COD, obteniendo en el mejor de los casos un efluente con concentración de 1,6 mg/L para este parámetro, cuando se comparó la eficiencia en la remoción de COD de acuerdo a la concentración de COD en el afluente, se observó que la menor remoción se obtuvo cuando la concentración en el afluente fue la más baja (30 mg/L), con un promedio de 87,7%, cuando el COD en el afluente aumentó a 60 mg/L y 90 mg/L las remociones fueron significativamente más altas ($p < 0.05$) (Figura 1). El hecho que la eficiencia del sistema para remover COD se viera afectada por la concentración inicial de éste en el afluente, sugiere que el metabolismo microbiano pudo verse afectado por la baja concentración inicial de una fuente de carbono, inhibiendo la

capacidad de los microorganismos para degradarlo.

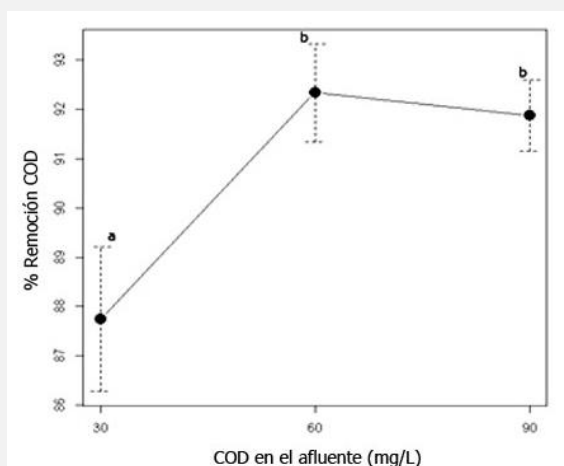


Figura 1. Efecto de la concentración inicial de COD sobre la remoción de COD. Nota: letras diferentes indican diferencias significativas (Prueba HSD Tukey).

La remoción de 2,4D en los humedales construidos fue alta, con un promedio de 92,2% y una eficiencia máxima de 99,92%, de acuerdo al análisis de varianza tanto la concentración inicial de COD como la de 2,4D, tuvieron un efecto significativo sobre la remoción de 2,4 D en el sistema ($p < 0,05$).

La remoción de 2,4D en los humedales construidos estuvo en función de la concentración de COD en el afluente (Figura 2), la mayor eficiencia de remoción (95,3%) se alcanzó con una concentración de 60 mg/L, mientras que para una concentración de COD de 30 mg/L, la remoción disminuyó hasta 89,6%, este comportamiento sugiere que la glucosa adicionada al agua residual podría estar actuando como cosustrato y que a una concentración adecuada podría estimular el metabolismo microbiano favoreciendo así la degradación del 2,4D, estudios como los de Xie, Liu y Li (2009) y Widehem et al. (2002) han demostrado la importancia de utilizar un cosustrato fácilmente biodegradable para mejorar la eficiencia en la degradación microbiológica de plaguicidas.

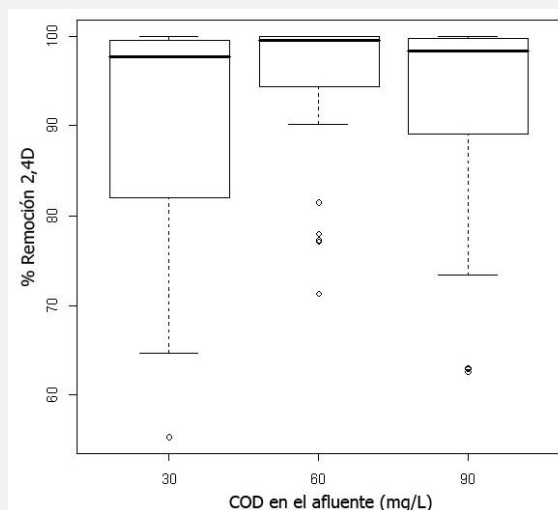


Figura 2. Efecto de la concentración inicial de COD sobre la remoción de 2,4 D.

En la figura 3. Se aprecia que para la concentración mas baja 2,4D en el afluente (20 mg/L), la remoción del herbicida fue la mas alta (98,2%), cuando la concentración de 2,4D aumentó a 40 mg/L y 60 mg/L, se obtuvieron remociones de 85.8 %y 92,8%, aunque las eficiencias del sistema para remover 2,4D disminuyeron con el aumento del plaguicida, en todos las concentraciones de 2,4D evaluadas se obtuvieron remociones altas, logrando obtener efluentes con concentraciones de 2,4D por debajo del limite maximo establecido por la norma internacional sobre la calidad del agua para consumo humano establecido en 0,07 mg/L (EPA, 2011).

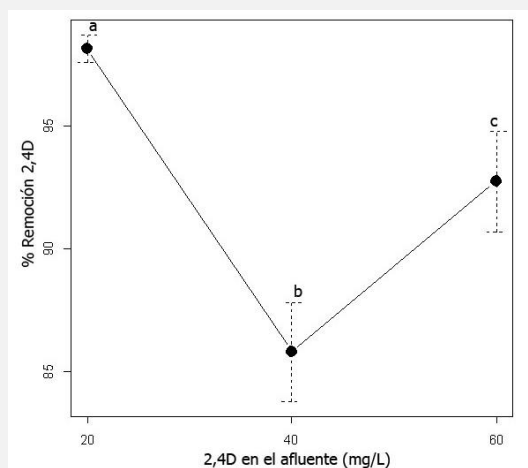


Figura 3. Efecto de la concentración inicial de 2,4D sobre la remoción de 2,4D. Nota: letras diferentes indican diferencias significativas (Prueba HSD Tukey).

Conclusiones

Los humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal empleados en esta investigación mostraron alta eficiencia en el tratamiento simultáneo 2,4D y del COD en aguas residuales, obteniendo remociones de 99,2% y 98,0%, respectivamente.

Esta investigación comprobó que al aumentar la concentración del COD incrementó la remoción tanto de 2,4D como de COD, lo que está acorde con otras investigaciones realizadas donde la adición de una fuente de carbono fácilmente biodegradable favorece el proceso de degradación de plaguicidas.

Referencias Bibliográficas

1. RAPAM, RAP-AL, and IPEN, 2,4-D: Razones para su prohibición mundial., 2007.
2. Laganà, A., A. Bacaloni, I. Leva, A. Faberi, G. Fago and A. Marino, Occurrence and determination of herbicides and their major transformation products in environmental waters. *Anal Chim Acta*, 2000; p. 187–198.
3. Zamba. 2,4 D Amina Zamba. Hoja de datos de seguridad. 2003 [cited 2013 01/06/2013].
4. Russell, J., June Russell's Health Facts. Pesticides – 2,4-D and Roundup. 2001.
5. Pavlica, M., D. Papeš, and B. Nagy, 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid causes chromatin and chromosome abnormalities in plant cells and mutation in cultured mammalian cells. *Mutation Research Letters*, 1991. 263(2): p. 77-81.
6. Tang, Y., S. Luo, Y. Teng, C. Liu, X. Xu, X. Zhang and L. Chen, Efficient removal of herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid from water using Ag/reduced graphene oxide co-decorated TiO₂ nanotube arrays. *Journal of Hazardous Materials*, 2012. 241–242(0): p. 323-330.
7. Han, D., W. Jia, and H. Liang, Selective removal of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid from water by molecularly-imprinted amino-functionalized silica gel sorbent. *Journal of Environmental Sciences*, 2010. 22(2): p. 237-241.
8. Dangcong, P., N. Bernet, JP. Delgenes, and R. Moletta, Effects of Oxygen Supply Methods on the Performance of a Sequencing Batch Reactor for High Ammonium Nitrification. *Water Environment Research*, 2000. 72(2): p. 195-200.
9. Xie, S., J. Liu, L. Li, C. Qiao, Biodegradation of malathion by *Acinetobacter johnsonii* MA19 and optimization of cometabolism substrates. *Journal of Environmental Sciences*, 2009. 21(1): p. 76-82.
10. Widehem, P., S. Ait-Aïssa, C. Tixier, M. Sancelme, H. Veschambre and N. Truffaut, Isolation, characterization and diuron transformation capacities of a bacterial strain *Arthrobacter* sp. N2. *Chemosphere*, 2002. 46(4): p. 527-534.
11. EPA, 2011 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories, 2011: Washington, DC.