



Fitorremediación de aguas residuales industriales en humedales artificiales para uso agrícola

A. García-Valero¹, S. Martínez-Martínez, M.A. Terrero, A. Faz, M.A. Muñoz, M. Gómez-Garrido, J.A. Acosta

¹ Grupo de Investigación Gestión, Aprovechamiento y Recuperación de Suelos y Aguas, Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII 48, 30203 Cartagena, España; amalia.garcia@upct.es

Resumen: La regeneración de aguas en áreas de escasez y déficit hídrico es una práctica extendida que complementa los procesos físicos y químicos propios de las plantas de tratamiento con otras tecnologías que permiten su reutilización. En este estudio, fue utilizado un sistema de fitorremediación para mejorar el tratamiento de aguas residuales industriales. Se trata de un humedal artificial horizontal de flujo subsuperficial. *Phragmites australis*, el carrizo común, fue la especie vegetal seleccionada por su habilidad para adaptarse al clima y por su capacidad de absorber contaminantes. Las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl (NK), fósforo (P), boro (B) y cromo (Cr) en agua fueron analizadas y se calcularon las eficiencias. Además, la capacidad de absorción de las plantas fue analizada en las partes aérea y radicular. Los resultados del estudio mostraron que los niveles de contaminantes en agua fueron reducidos para ambos tiempos de retención hidráulicos (TRHs), siendo más efectivo para TRH = 3 días con eficiencias de remoción de 9,8, 78, 13 y 36 % para NK, P, B y Cr, respectivamente. Sin embargo, las eficiencias de absorción por *P.australis* en la parte aérea para NK, P y B fueron mayores a los 7 días. Por el contrario, el Cr fue retenido mayormente a los 3 días. Por lo tanto, *P.australis* es una especie fitoextractora ideal, que combinada con humedales artificiales reduce considerablemente los contaminantes en aguas residuales.

Palabras clave: *Phragmites australis*; biofiltro; contaminación; curtiduría; depuración

1. Introducción

La generación de aguas residuales se ha visto acentuada debido al incremento de la actividad industrial como consecuencia del crecimiento económico. Es por ello que la reutilización del agua es una parte operativa clave en la mayoría de los procesos industriales [1]. Las aguas residuales industriales representan una gran proporción de la contaminación en los sistemas de agua dulce y están reguladas en todo el mundo [2]. A medida que aumenta la demanda de agua dulce, también aumenta su escasez, por lo que la disminución de agua dulce se agrava aún más debido a la descarga de aguas residuales industriales no tratadas y/o tratadas inadecuadamente, generando un riesgo que puede repercutir en la producción de alimentos, dificulta la expansión industrial y aumenta los riesgos para la salud humana y ambiental [3]. La curtiduría representa una industria de gran relevancia y requiere que durante la ejecución de cada una de sus operaciones se lleve a cabo un elevado control para evitar posibles impactos ambientales que puedan originar la contaminación del aire y del agua [4].

Debido a la gran cantidad de productos químicos contaminantes y residuos biológicos durante su proceso de producción, las aguas residuales de la industria del cuero deben tratarse de manera efectiva. El tratamiento de aguas residuales ha evolucionado como consecuencia de las crecientes presiones sobre los recursos hídricos y las preocupaciones sobre cómo encontrar nuevos recursos capaces de ayudar a alcanzar el equilibrio entre la demanda y la oferta [1].

La protección del medio ambiente es una preocupación importante en todo el mundo [5], por lo que ha habido un profundo interés en varias técnicas de tratamiento para aguas residuales industriales [6]. El tratamiento de aguas residuales en humedales artificiales es un proceso biotecnológico que se ha utilizado durante más de cinco décadas. Los humedales artificiales son sistemas que se han diseñado y construido para imitar procesos que ocurren en humedales naturales, pero lo hacen dentro de un ambiente más controlado [7]. Además, son sistemas con reducidos costos operativos y de mantenimiento [8] capaces de reducir los contaminantes cuando reciben las aguas residuales y purificarlas [9]. El humedal artificial es una tecnología potencial de tratamiento natural para aguas residuales industriales debido a que permite la eliminación de metales pesados [10] sin consumo de energía para su operación, pues utilizan la combinación de plantas, microorganismos y sustratos que juntos promueven una purificación eficiente [11].

Numerosos estudios han evaluado el rendimiento del tratamiento de los humedales con y sin vegetación, y se ha podido concluir que el rendimiento de los humedales es mejor cuando las plantas están presentes. El uso de la fitorremediación para mejorar el tratamiento de aguas residuales industriales es un nuevo concepto de tecnología que se puede aplicar a varios tipos de flujos de aguas residuales [12]. Además, la selección de las especies vegetales para humedales artificiales requiere una cuidadosa consideración, ya que la vegetación debe ser capaz de sobrevivir a los efectos tóxicos potenciales de las aguas residuales y su variabilidad. El carrizo común, *Phragmites australis* (*P. australis*), se utiliza en todo el mundo para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales en humedales artificiales [13]. *P. australis* es la macrófita más estudiada cuya función en los humedales artificiales es crear condiciones adecuadas para la eliminación de contaminantes mediante la absorción de nutrientes y contaminantes [7]. El objetivo de este trabajo fue evaluar un sistema de tratamiento compuesto por un humedal artificial plantado con *P. australis* para la reducción de contaminantes presentes en aguas residuales industriales procedentes de la curtiduría.

2. Materiales y métodos

2.1. Localización

Este estudio fue llevado a cabo en Lorca, Región de Murcia, España (Figura 1), específicamente en “Finca Las Minas” (37° 41' 54" N, 1° 43' 19" W) donde un humedal artificial fue instalado. El agua residual sometida a depuración en el humedal artificial procedía de una Estación Depuradora de Aguas Residuales Industriales cuya principal actividad es la curtiduría.

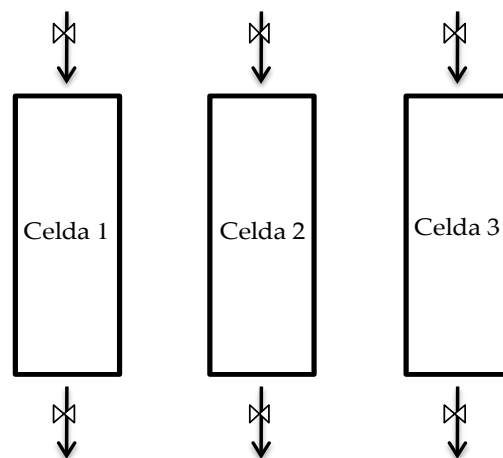


Figura 1. Localización del estudio.

2.2. Diseño experimental

El sistema de purificación consistió en un humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial que trabajó en paralelo y estuvo compuesto por tres celdas (Figura 2) de 27 m de largo por 2,5 m de ancho y con una pendiente de sección transversal del 1%; la profundidad de cada celda se mantuvo en 1 m. Cada una de las celdas estaba constituida por grava gruesa procedente de rocas calizas compuestas por carbonatos hidratados en el fondo (80 cm) y arena lavada en la superficie (20 cm), y plantadas con *P. australis* como especie fitoextractora (Figura 3) con una densidad de 10 plantas por m². Los tiempos de retención hidráulica (TRH) en el humedal fueron de 3 y 7 días. Tres ciclos fueron realizados por cada TRH y las muestras fueron recogidas a la entrada y a la salida de cada celda por triplicado. Además, se tomaron muestras control de planta antes del paso del agua industrial por el humedal.

Agua procedente de la Estación De Aguas Residuales Industriales



Agua tratada en el humedal artificial

Figura 2. Sistema de tratamiento con humedal artificial compuesto por tres celdas.

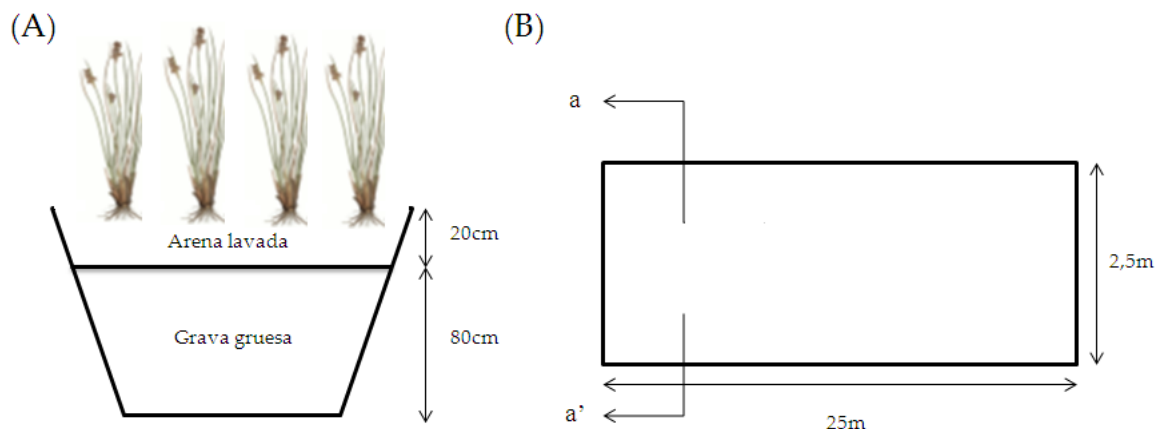


Figura 3. Sección (A) y vista en planta (B) de cada celda del humedal.

2.3. Métodos analíticos

Las muestras de agua depurada en el humedal artificial fueron recogidas tras 3 y 7 días de tiempo de retención. Los análisis químicos del agua proveniente de la estación de tratamiento y el agua una vez tratada en el humedal fueron llevados a cabo en el laboratorio. El Nitrógeno Total (NT) fue determinado mediante el método Kjeldahl [14]; el fósforo (P) fue designado fotométricamente con azul de molibdeno después de la hidrólisis ácida y la oxidación a 120 °C (Macherey-Nagel GmbH & Co. KG. Nanocolor Test; ref 985 055); y las concentraciones de boro (B) y cromo (Cr) fueron determinadas usando ICP-MS (Espectrometría de Masas por Inducción de Plasma) tras la filtración de las muestras (0.45 µm).

Las muestras de *P. australis* fueron recogidas al mismo tiempo que las muestras de agua depurada. Las plantas fueron lavadas con agua desionizada y separadas la parte aérea de la radicular. El Nitrógeno Total (NT) fue determinado mediante el método Kjeldahl [14]; el fósforo (P) fue cuantificado de acuerdo al método de Watanabe y Olsen [15]; y las concentraciones de boro (B) y cromo (Cr) fueron determinadas usando ICP-MS (Espectrometría de Masas por Inducción de Plasma) tras la mineralización de la planta.

3. Resultados y discusión

3.1. Eficiencias de depuración en agua

La eficiencia total de depuración del sistema de tratamiento para TRH = 3 fue de 9,6, 77,7, 13,4 y 36,3% para NT, P, B y Cr, respectivamente. Sin embargo, TRH = 7 tuvo una eficiencia menor, siendo 1,4, 66,4, 10,8 y 23,5% (Figura 4). Los principales mecanismos para la eliminación del fósforo en los humedales son la adsorción en el sustrato y la precipitación química con calcio, hierro, aluminio o materia orgánica [16]. Algunos autores observaron reducciones en los contenidos de Cr en las aguas residuales tratadas en humedales artificiales con *P. australis* [17]. Varios estudios han demostrado que los humedales tienen un potencial considerable para eliminar B de las aguas residuales y se ha demostrado que las plantas y los sustratos tienen una fuerte capacidad de eliminación de B del agua contaminada [18]. Además, ha sido corroborado que el sistema permite la acumulación de metales tanto en los sustratos como en la vegetación incluida en el biofiltro [10].

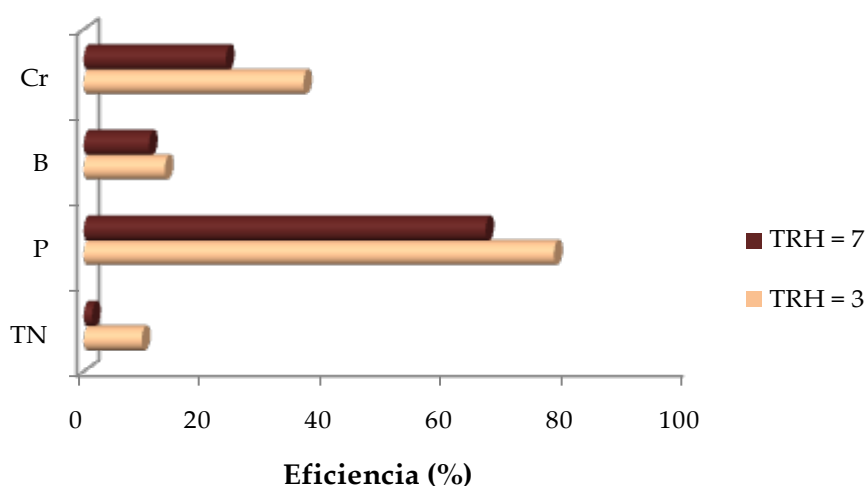


Figura 4. Eficiencia de purificación en agua.

3.2. Capacidad de absorción por *Phragmites australis*

La concentración de nitrógeno total en *P. australis* fue de 809 mg Kg⁻¹ en la parte aérea y 762 mg Kg⁻¹ en la parte radicular. Cuando las aguas residuales se retuvieron en el humedal durante 3 días, las plantas acumularon 2091 y 1312 mg Kg⁻¹ de N en la parte aérea y de la raíz, respectivamente. Valores de 2516 y 1756 mg Kg⁻¹ de N fueron obtenidos en la parte aérea y radicular cuando el agua permaneció 7 días en el humedal. Un comportamiento similar fue observado con el P al registrarse valores de 4816 y 1676 mg Kg⁻¹ en la parte aérea y radicular durante 7 días. *P. australis* no obtuvo una absorción considerable de boro. En la planta control la concentración de Cr fue de 5,4 mg Kg⁻¹, sin embargo, para TRH = 3 se obtuvo una concentración de 13,4 mg Kg⁻¹ en la parte aérea (Figura 5).

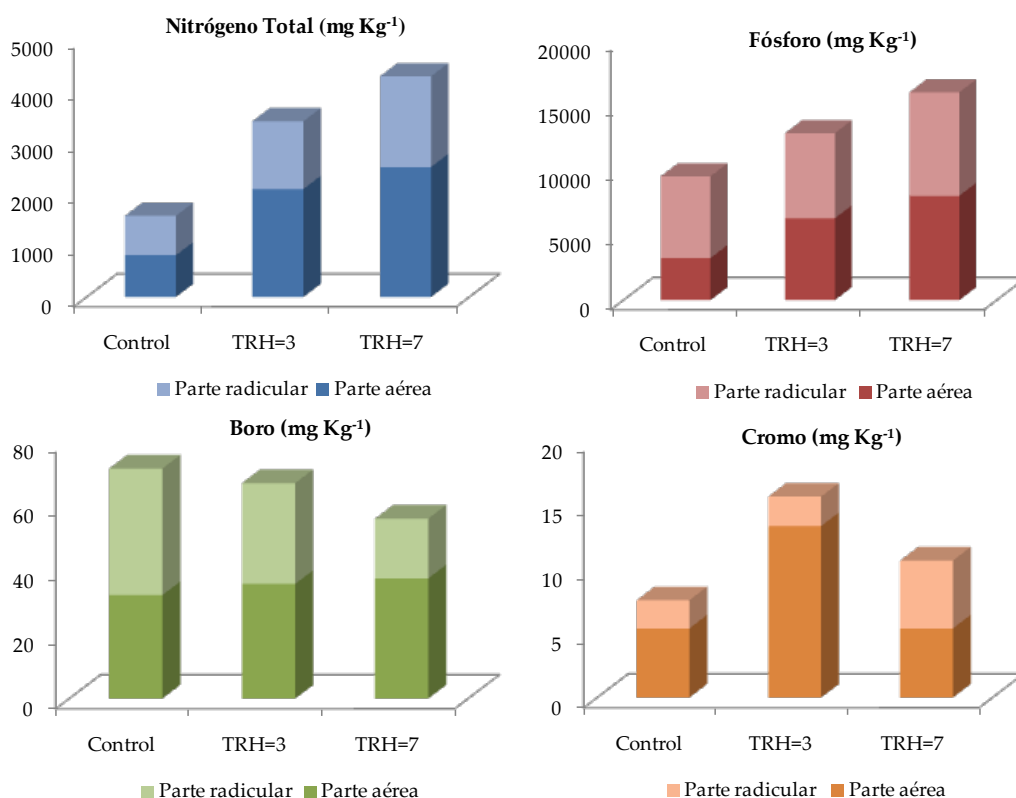


Figura 5. Concentración de NT, P, B y Cr en *P. australis*.

Los humedales plantados pueden asimilar una gran cantidad de metales pesados y desempeñan un papel importante en la purificación de aguas residuales [19]. En general, se acepta que las funciones principales de las plantas en los humedales artificiales son crear condiciones adecuadas para la eliminación de contaminantes, aunque a veces el papel directo de las plantas se limita a la absorción de nutrientes y metales pesados. *P. australis* tiene una alta capacidad para absorber contaminantes y los contenidos en la raíz son más altos que la parte aérea. Sin embargo, otros autores han establecido que la cantidad de metales pesados acumulados en la parte aérea representa solo una pequeña fracción. En la actualidad hay un gran campo de conocimiento que descubrir acerca de la acumulación de contaminantes en tejidos, es decir, las condiciones que promoverían la absorción de contaminantes y la posterior translocación a la biomasa de la planta [7].

4. Conclusiones

La utilización de macrófitas acuáticas en humedales artificiales como sistema de tratamiento de aguas residuales tiene bajo coste y presenta una adecuada alternativa de tratamiento de efluentes industriales. Los resultados de este estudio ponen de manifiesto que el tiempo de retención hidráulico óptimo es de 3 días. *P. australis* mostró su capacidad de absorber y almacenar nutrientes debido a que es capaz de absorber NT, P, B y Cr tanto en la parte aérea como en la radicular, siendo un ideal fitoextractor que combinado con el humedal artificial reduce considerablemente la carga contaminante del agua residual.

Por tanto, el humedal artificial fue apropiado para la reducción de contaminantes del agua residual industrial cuya principal actividad es la curtiduría.

Con el fin de establecer mejoras en futuras investigaciones, sería ideal utilizar otras nuevas especies macrófitas para el tratamiento de aguas. Estas plantas deberán presentar una elevada biomasa aérea, e incluso, una alta superficie radicular debido a que estas características biológicas favorecen un área para retener y adsorber nutrientes. Además, un nuevo tiempo de retención hidráulico podría ser investigado.

Referencias

1. Salgot M. and Folch M. Wastewater treatment and water reuse. J. Environ. Sci. Health. 2018, 2, 64-74.
2. Raper E., Stephenson T., Anderson D.R., Fisher R., Soares A. Industrial wastewater treatment through bioaugmentation. Process Saf. Environ. 2018, 118, 178-187.
3. Swain A.K., Sahoo A., Jena H.M., Patra H. Industrial wastewater treatment by Aerobic Inverse Fluidized Bed Biofilm Reactors (AIFBBRs): A review. J. Water Process Eng. 2018, 23, 61-74.
4. Nacer D.W., Al-Sa'ed R.M., Siebel M.A. Reducing the environmental impact of the unhairing liming process in the leather tanning industry. J. Cleaner Prod. 2006, 14, 65-74.
5. Crudu M., Deselnicu V., Deselnicu D.C., Albu L. Valorization of titanium metal wastes as tanning agent used in leather industry. Waste Manage. 2014, 34, 1806-1814.
6. Gerek E.E., Yilmaz S., Koparal A.S., Gerek, N. Combined energy and removal efficiency of electrochemical wastewater treatment for leather industry. J. Water Process Eng. 2017, xxx, xxx-xxx (in press).
7. Vymazal J. and Brezinová T. Accumulation of heavy metals in aboveground biomass of *Phragmites australis* in horizontal flow constructed wetlands for wastewater treatment: A review. Chem. Eng. J. 2016, 290, 232-242.
8. Luna-Pabello V.M. and Aburto-Catañeda S. Sistema de humedales artificiales para el control de la eutrofización del lago del Bosque de San Juan de Aragón. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas. 2014, 17(1), 32-55.
9. Di Luca G.A., Maine M.A., Mufarrege M.M., Hadad H.R., Pedro M.C., Sánchez G.C. Phosphorus distribution pattern in sediments of natural and constructed wetlands. Ecol. Eng. 2017, 108, 227-233.

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

10. Gill L.W., Brian Casey P.R., Higgins M.P., Johnston P.M. Long term heavy metal removal by a constructed wetland treating rainfall runoff from a motorway. *Sci. Total Environ.* 2017, 301-602, 32-44.
11. Irwin N.B., Irwin E.G., Martin J.F., Aracena P. Constructed wetlands for water quality improvements: Benefit transfer analysis from Ohio. *J. Environ. Manage.* 2018, 206, 1063-1071.
12. Riggio V.A., Ruffino B., Campo G., Comino E., Comoglio C., Zanetti M. Constructed wetlands for the reuse of industrial wastewater: A case-study. *J. Cleaner Prod.* 2018, 171, 723-732.
13. Mulkeen C.J., Williams C.D., Gormally M.J., Healy M.G. Seasonal patterns of metals and nutrients in *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steudel in a constructed wetland in the west of Ireland. *Ecol. Eng.* 2017, 107, 192-197.
14. Duchaufour P. *Precis de Pedologie*. Paris:Masson. EEC. (1991). Council Directive of 12 December 1991 Concerning the Protection of Waters Against Pollution by Nitrates from Agriculture Sources (91/676/ EEC). 1970.
15. Watanabe F.S., Olsen S.R. Test of ascorbic acid method for determining phosphorous in water and NaHCO₃ extracts from soil. *Soil Science Society of America Proceedings*. 1965, 677-678.
16. Healy M.G. and O'Flynn C.F. The performance of constructed wetlands treating primary, secondary and dairy soiled water in Ireland (a review). *J. Environ. Manage.* 2011, 92, 2348-2354.
17. Kucuk O.S., Sengul F., Kapdan I.K. Removal of ammonia from tannery effluents in a red bed constructed wetland. *Water Scie. Technol.* 2003, 48, 179-186.
18. Yildirim K., Kasim G.C. Phytoremediation potential of poplar and willow species in small scale constructed wetland for boron removal. *Chemosphere*. 2018, 194, 722-736.
19. Zhang S., Bai J., Wang W., Huang L., Zhang G., Wang D. Heavy metal contents and transfer capacities of *Phragmites australis* and *Suaeda salsa* in the Yellow River Delta, China. *Phys. Chem. Earth*. 2018, 104, 3-8.