



Universidad Nacional de San Martín
Fundación Innovación y Tecnología (FUNINTEC)
Director: Alberto Pochettino

Programa FUTUROS
Escuela de Posgrado: Agua + Humedales

Fitorremediación de aguas grises con ornamentales comerciales.

(Trabajo de investigación)

Por Ángela Yumil Romero Mozqueda¹, María Cecilia Valles Aragón² y María Teresa Alarcón Herrera³

Filiación:

¹ México. Email: angela.romero@cimav.edu.mx.

² Cd. Universitaria Campus 1, Santo Niño, Chihuahua, México valles. Email: cecilia@gmail.com.

³ México. Email: teresa.alarcon@cimav.edu.mx.

Registro del trabajo de investigación en el libro digital

Título del capítulo: Fitorremediación de aguas grises con ornamentales comerciales.

Autor/es capítulo: Romero Mozqueda, Ángela Yumil; Valles Aragón, María Cecilia; Alarcón Herrera, María Teresa

Páginas: 323-332

Título del libro: Agua + Humedales

Editor: UNSAM Edita.

Serie: Futuros

Fecha de publicación: junio 2018

Páginas: 485

Derechos: Se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos, mencionando la fuente.

Idioma: Español

Identificación y acceso

ISBN: 978-987-4027-68-9

URL: <https://www.funintec.org.ar/contenidos/aguahumedales-es-el-primer-libro-de-la-serie-futuros/>

Cita del capítulo: Romero Mozqueda, Á. Y.; Valles Aragón, M. C.; Alarcón Herrera, M. T. (2018) Fitorremediación de aguas grises con ornamentales comerciales. En: Universidad Nacional de San Martín y Fundación Innovación Tecnológica (FUNINTEC). *Programa Futuros: Escuela de Posgrado: Agua + Humedales*. (Serie Futuros). Buenos Aires: UNSAM Edita.

Área de conocimiento

Área: Recursos naturales

Categoría: Ciencias ambientales e ingeniería

Palabras clave: AGUA SUPERFICIAL; ZONA HÚMEDA; INDICADORES AMBIENTALES; SUSTANCIA PELIGROSA; EFECTOS DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS

Este documento forma parte de la Colección Programa FUTUROS del Repositorio Institucional de la UNSAM, desarrollado por la Biblioteca Central. El propósito es difundir y preservar la producción intelectual de la Institución. Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica y con reconocimiento de la fuente.

Disponible en el Repositorio Institucional de la UNSAM

Romero Mozqueda, Á. Y.; Valles Aragón, M. C.; Alarcón Herrera, M. T. (2018) Fitorremediación de aguas grises con ornamentales comerciales. En: Universidad Nacional de San Martín y Fundación Innovación Tecnológica (FUNINTEC). *Programa Futuros: Escuela de Posgrado: Agua + Humedales*. (Serie Futuros). Buenos Aires: UNSAM Edita. [En línea] Disponible en: Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de San Martín: Colección Programa Futuros. (PFAH 2018 TRMVAAH) <http://bit.ly/2gDqQLp> [Fecha de consulta:.....]

Fitorremediación de aguas grises con ornamentales comerciales

Ángela Yumil Romero Mozqueda¹
María Cecilia Valles Aragón²
María Teresa Alarcón Herrera³



Palabras clave: Fitorremediación; humedales; ornamentales comerciales.

1. Introducción

Uno de los problemas que enfrentamos actualmente en el mundo es la contaminación del agua. La magnitud del problema radica en lo vital que resulta este líquido para la mayoría de los organismos vivos que habitan en el planeta y sus repercusiones en el desarrollo social y económico de las comunidades. El uso que se hace del agua va en aumento en relación con la cantidad disponible (UNESCO, 2003). Los 6000 millones de habitantes del planeta ya se han adueñado del 54% del agua dulce disponible en ríos, lagos y acuíferos subterráneos. Según dichos cálculos, en el 2025, el hombre consumirá el 70% del agua disponible, considerando únicamente el crecimiento demográfico. Sin embargo, si el consumo de recursos hídricos per cápita sigue creciendo al ritmo actual, el hombre podría llegar a utilizar más del 90% del agua dulce disponible, dejando solo un 10% para el resto de especies que pueblan el planeta. En esta problemática se suman, por consiguiente, las aguas residuales producidas por las diferentes actividades humanas en

1 México. angela.romero@cimav.edu.mx.

2 Cd. Universitaria Campus 1, Santo Niño, Chihuahua, México [valles.cecilia@gmail.com](mailto:cecilia@gmail.com).

3 México. teresa.alarcon@cimav.edu.mx.

constante incremento. En este sentido, se plantea un conflicto, pues el agua residual es una fuente alternativa importante para el riego de los cultivos, pero su uso para este fin, sin un adecuado tratamiento, puede constituirse, a su vez, en un problema mayor, ya que se han registrado a nivel mundial muchos casos de brotes de enfermedades, casos de intoxicaciones masivas, y se ha propiciado la degradación de diversos cuerpos de agua (Delgadillo *et al.*, 2010). Por lo anterior, diferentes centros de investigación se han dado a la tarea de encontrar y aplicar alternativas de tratamientos de depuración eficientes y económicamente viables, llegando así a los humedales construidos entre otras opciones.

Los humedales construidos han sido reconocidos como una alternativa tecnológica para el tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas (Alarcón *et al.*, 2012). Además, estos sistemas de tratamiento son buenos en la eliminación no solo de patógenos y nutrientes, sino también metales tóxicos y contaminantes orgánicos (Belmont *et al.*, 2006).

Muchas de las investigaciones muestran el uso de plantas silvestres endémicas para fines de fitorremediación, sin embargo, en los últimos años, y debido a los climas cálidos y a la biodiversidad, en la mayoría de los países en desarrollo, se ha optado por el uso de especies no convencionales, tales como plantas ornamentales de valor comercial a manera de plantas emergentes en humedales artificiales. El uso de especies de plantas no convencionales como plantas emergentes en los humedales construidos puede agregar beneficios económicos, además de tratamiento de aguas residuales (Zurita *et al.*, 2008). Esto se sustenta en los resultados que encontramos en la literatura sobre estas hermosas plantas, que además de mejorar el paisaje y funcionar como un sistema de tratamiento de biorremediación, pueden proporcionar beneficios económicos a la comunidad a través de la producción de flores (Belmont *et al.*, 2004; Zurita *et al.*, 2006, 2008). Sin embargo, es necesario desarrollar trabajos bajo condiciones regionales, puesto que la gran mayoría de experiencias se han dado en lugares sujetos a variaciones climáticas y ambientales propias de cada lugar. Este trabajo propone el uso de variedades ornamentales de valor comercial en humedales de subsuperficiales para tratamiento de aguas residuales domésticas. Buscando obtener una alternativa sustentable para el desarrollo de comunidades o grupos sociales vulnerables con un potencial productivo a esta actividad comercial.

2. Revisión bibliográfica

La fitorremediación es vista como la tecnología innovadora y sustentable que permite la descontaminación de suelos, agua y aire, por medio de plantas vasculares, hongos o algas, dependiendo el ecosistema (Wetzel *et al.*, 1997). Ofrece grandes ventajas como bajos costos de construcción, operación y mantenimiento en comparación a otros sistemas de tratamiento con excelente remoción de contaminantes típicos de agua residual doméstica (Alarcón *et al.*, 2012). Debido a lo anterior, los humedales artificiales han sido sugeridos como una atractiva solución para el tratamiento de aguas residuales.

Los humedales son ecosistemas naturales o artificiales que actúan como filtros que proporcionan mecanismos de retención a sustancias tóxicas para el medio ambiente (Frers, 2008). Además, se consideran trampas de nutrientes y poseen bajos costos, entre muchos otros beneficios para el medio ambiente comparados con otros sistemas de tratamiento de aguas residuales (Rios *et al.*, 2007).

Durante cuatro décadas los investigadores han estado buscando continuamente mejorar el rendimiento del tratamientos (Březinová y Vymazal, 2015). Las mejoras incluyen, por ejemplo, el uso de sistemas de híbridos de humedales construidos (Ye y Li, 2009; Vymazal, 2013), humedales artificiales (Zhai *et al.*, 2011; Wangetal, 2012), efluente de recirculación (Brix *et al.*, 2003; Sun *et al.*, 2003; Prost-Boucle y Molle, 2012), el funcionamiento de las mareas (Sunetal, 1999; Chanetal, 2008), aireación artificial (Nivala *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2010), flujo de dirección movimiento alternativo (Behrends, 2000), la bioaumentación (Runesetal, 2001; Zaytsev *et al.*, 2011) o el uso de varios sustratos para la eliminación mejorada de fósforo (Mann y Bavor, 1993; Jenssen y Krogstad, 2003; Vohla *et al.*, 2011).

Dentro de los tratamientos antes mencionados se encontró que los humedales con vegetación emergente resultaron más eficientes en comparación con los sistemas donde no son usadas (Brisson y Chazarenc, 2009; Zhang *et al.*, 2010; Vymazal, 2011b) y también que algunas especies son más eficaz que otras (Gersberg *et al.*, 1986; Coleman *et al.*, 2001; Brisson y Chazarenc, 2009). Por lo tanto, el uso de humedales artificiales con flujo horizontal y vertical está aumentando en todo el mundo para el tratamiento de aguas residuales domésticas (Vymazal, 2002, 2005; Senzia *et al.*, 2003; Liu *et al.*, 2005). Cabe

señalar que al referirse a los humedales artificiales construidos, se entiende que son sistemas poco profundos de plantas, donde participa la mano del hombre para el tratamiento de aguas residuales, que a su vez pueden tener el flujo del agua en dirección horizontal o vertical, según se requiera. En los EE. UU., así como en Europa, la mayoría de los sistemas operan con flujo horizontal, y en los EE. UU. hay alrededor de 8000 instalaciones, mientras que en Alemania la estimación es de aproximadamente 50.000 (Vymazal, 2005). Esto debido a la practicidad de estos sistemas, tal y como se planea utilizar en esta investigación.

3. Materiales y métodos

Este estudio pretende realizarse en la ciudad de Chihuahua, calificada con un clima seco y semiseco (INEGI, 2010). Serán consideradas las diferentes alternativas comerciales de ornamentales, las características climáticas y las condiciones geográficas para definir las posibles especies a utilizar. Se considera comparar al menos tres ornamentales, entre ellas *Zantedeschia aethiopica*, *Strelitzia reginae*, *Anturium andreaeanum* y *Agapanthus africanus*, ya que tienen antecedentes científicos en tratamientos de humedales horizontales (Zurita *et al.*, 2006), aparte de cumplir con las características antes mencionadas (Belmont y Metcalfe, 2003; Belmont *et al.*, 2004), ubicando los humedales piloto en invernadero o bajo techo.

Se plantea que el sistema de tratamiento a escala piloto consista en un tanque para almacenar las aguas residuales domésticas sintéticas, alimentando de forma continua y sistemática bajo flujo subsuperficial tres prototipos de humedales construidos, 2 repeticiones y un control, con las dimensiones que se muestran en la figura 1.

Para la realización de este proyecto se cuenta actualmente con la instalación de los prototipos destinados a esta investigación en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas (UACH) y con el sostén económico del Apoyo de fomento a la generación de aplicación innovadora del conocimiento a la incorporación de nuevos PTC, a cargo de la Dra. María Cecilia Valles Aragón, quien se desempeña como investigadora y catedrática de tiempo completo en dicha institución y quien también fungirá como codirectora presencial en la ciudad de Chihuahua para este proyecto.

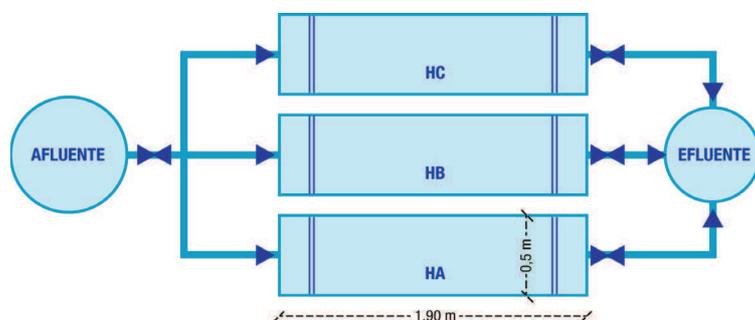


Figura 1. Escala piloto construido para humedales subsuperficial de flujo horizontal. Fuente: Elaboración propia.

Se propagarán especies de las ornamentales *Zantedeschia aethiopica*, *Strelitzia reginae*, *Anturium andreaeanum* y *Agapanthus africanus*. Estando las plántulas, se evaluará su desarrollo y crecimiento con el riego de agua gris sintética, a nivel maceta. El experimento durará cerca de 12 meses, entre propagación y pruebas a nivel maceta. La especie con mejor desarrollo y crecimiento se seleccionará para ser probada a escala piloto.

Los prototipos se llenarán con arena a una altura de 35 cm como medio de soporte. Se trasplantarán plántulas de la especie seleccionada en dos de los prototipos de humedales, y uno se dejará con arena como control. Las plantas serán regadas con agua gris sintética hasta el período de su cosecha. Posteriormente se trasplantarán nuevas plántulas, y así sucesivamente durante un año. Durante la operación del sistema se realizará monitoreo continuo de los humedales; las muestras se tomarán semanalmente en la entrada del sistema y la salida de cada humedal. Serán determinados parámetros como pH, potencial de óxido-reducción, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos disueltos totales, materia orgánica, entre otros.

Otras de las mediciones contempladas serán la temperatura y humedad, debido a su alta influencia en el crecimiento y desarrollo de plantas ornamentales, así como el número de hojas producidas, el número de brotes, la altura del tallo y su grosor, el tamaño de las hojas y las flores producidas (Zurita *et al.*, 2009).

El análisis estadístico se realizará con análisis de varianza (ANOVA) y comparación de la prueba de rango múltiple con el menos significativo con diferencia (LSD) para las diferencias entre las medias.

En cuanto al análisis comercial, se definirán canales de comercialización por medio de bases de datos secundarios y estudio con consumidores para medir la disponibilidad a pagar así como hábitos de consumo y apreciación del producto. En este último estudio se diseñarán las preguntas, serán cerradas otorgando opciones y utilizando una escala de linker en algunos casos (Espejel y Fandos, 2008, 2009); y se realizarán al mismo tiempo encuestas en profundidad con los individuos que resulten más representativos al momento de responder los cuestionarios, con el fin de detallar las características de cada uno de los segmentos de mercado encontrados. Tras realizar las encuestas, se procederá al análisis estadístico de los datos obtenidos con la metodología de los Modelos de Ecuaciones Estructurales (SEM, por sus siglas en inglés) con la técnica de Mínimos Cuadrados Parciales (PLS, por sus siglas en inglés) aplicando el paquete estadístico Smart PLS versión 3.0 (Ringle, Wende y Will, 2005).

Esta investigación puede llegar a ser empleada como una actividad económica bien remunerada para el desarrollo sustentable de comunidades vulnerables, una vez obtenidos los resultados que permitan una mayor certidumbre para su aplicación. Sin embargo, por los tiempos y recursos de la investigación resulta difícil realizarlo *in situ*. La fundación Vida y Familia A. C. Vifac Chihuahua se encuentra interesada en el proyecto, su directora, la Lic. Beatriz Amaya, expresó el interés en el mismo, por lo que esta investigación culminará en la elaboración del anteproyecto para la solicitud de recursos con la intención de construir los humedales a escala piloto en las instalaciones de esta asociación.

4. Bibliografía

Alarcón-Herrera M. et al. (2012). Assessments of Plants for Phytoremediation of Arsenic-Contaminated Water and Soil. *Paper was presented at the 4th International Symposium on Trace Elements in the Food Chain, Friends or Foes*, 15-17 November, Visegrád, Hungary.

Behrends, L. L. (2000). "Reciprocating subsurface-flow wetlands for municipal and onsite wastewater treatment", en Means, J. F. y Hinchee, R. E. (eds.): *Wetlands and Remediation*. Columbus, OH, Batelle Press, pp. 179-186.

Belmont, M. A. et al. (2004). "Treatment of domestic wastewater in a pilot-scale natural treatment system in Central Mexico", *Ecological Engineering* 23, pp. 299-311.

Belmont, M. A.; Ikonou, M. y Metcalfe, C. D. (2006). "Presence of nonylphenol thoxylatesurfactants in a watershed in central Mexico and removal from domestic sewage in a treatment wetland", *Environmental Toxicology and Chemistry* 25, pp. 29-35.

Březinová, T. y Vymazal, J. (2015). "Seasonal growth pattern of *Phalaris Arundinacea* in constructed wetlands with horizontal subsurface flow", *Ecological Engineering* 80, pp. 62-68.

Brisson, J. y Chazarenc, F. (2009). "Maximizing pollutant removal in constructed wetlands: should we pay more attention to macrophyte species selection?", *The Science Total Environmental* 407, pp. 1923-1930.

Brix, H.; Arias, C. A. y Johansen, N. H. (2003). "Experiments in a two-stage constructed wetland system: nitrification capacity and effects of recycling on nitrogen removal", en Vymazal, J. (ed.): *Wetlands – Nutrients, Metals and Mass Cycling*. Leiden, Backhuys Publishers, pp. 237-258.

Coleman, J. et al. (2001). "Treatment of domestic wastewater by three plant species in constructed wetlands", *Water, Air, and Soil Pollution* 128, pp. 283-295.

Chan, S. Y.; Tsang, Y. F. y Chua, H. (2008). "Domestic wastewater treatment using tidalflow cinder bed with *Cyperus alternifolius*. Aquat. Ecosyst", *Health & Management* 11, pp. 206-211.

Espejel, J. y Fandos, C. (2008). "La calidad percibida como antecedente de la intención de compra del aceite de oliva del bajo Aragón con denominación de origen protegida", *ESIC Market* 131, sep.-dic., pp. 253-275.

— (2009). "Wine marketing strategies in Spain: A structural equation approach to consumer response to protected designations of origin (PDOs)", *International Journal of Wine Business Research*, Vol. 21, N° 3, pp. 267-288.

Gersberg, R. M. et al. (1986). "Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands", *Water Research* 20, pp. 363-368.

Jenssen, P. D. y Krogstad, T. (2003). "Design of constructed wetlands using phosphorus sorbing lightweight aggregate (LWA)", en Mander, Ü. y Jenssen, P. (eds.): *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Cold Climates*. Southampton, WIT Press, pp. 260-271.

Mann, R. A. y Bavor, H. J. (1993). "Phosphorus removal in constructed wetlands using gravel and industrial waste substrate", *Water Science and Technology* 27, pp. 107-113.

Nivala, J. et al. (2007). "Treatment of landfillleachate using an aerated, horizontal subsurface-flow constructed wetland", *The Science of Total Environmental* 380, pp. 19-27.

Peña, J. et al. (2006). "Bases Moleculares de la Fitorremediación de Hidrocarburos Totales del Petróleo", *TERRA Latinoamérica, Universidad Autónoma Chapingo* 24, Chapingo, pp. 529-539.

Romero, M. et al. (2009). "Tratamiento de Aguas Residuales por un Sistema Piloto de Humedales Artificiales: Evaluación de la Remoción de la Carga Orgánica", *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 23, México DF, pp. 157-167.

Ringle, C. M.; Wende, S. y Will, A. (2005). "Finite Mixture Partial Least Squares Analysis: Methodology and Numerical

Examples”, en Esposito Vinzi, V. *et al.* (eds.): *Handbook of Partial Least Squares*. Heidelberg, Springer, Handbooks of Computational Statistics.

Runes, H.; Jenkins, J. y Bottomley, P. (2001). “Atrazine degradation by bioaugmented sediment from constructed wetlands”, *Applied Microbiology and Biotechnology* 57, pp. 427-432.

Senzia, M. A.; Mashauri, D. A. y Mayo, A. W. (2003). “Suitability of constructed wetlands and waste stabilisation ponds in wastewater treatment: nitrogen transformation and removal”, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, Volumen 28, pp. 1117-1124.

Sun, G. et al. (1999). “Treatment of agricultural wastewater in a combined tidal flow–downflow reed bed system”, *Water Science and Technology* 40, pp. 139-146.

UNESCO (2003). *Agua para Todos, Agua para la Vida – Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo*. Versión española del UN WWDR.

Vohla, C. et al. (2011). “Filter materials for phosphorus removal from wastewater in treatment wetlands: a review”, *Ecological Engineering* 37, pp. 70-89.

Vymazal, J. (2002). “The use of sub-surface constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic: 10 years’ experience”, *Ecological Engineering* 18, pp. 632-646.

— (2005). “Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetland systems for wastewater treatment”, *Ecological Engineering* 25, pp. 478-490.

— (2013). “The use of hybrid constructed wetlands for wastewater treatment with special attention to nitrogen removal: a review of a recent development”, *Water Research* 47, pp. 4795-4811.

Wang, W. et al. (2012). “Long-term effects and performance of two-stage baffled surface flow constructed wetland treating polluted river”, *Ecological Engineering* 49, pp. 93-103.

Wetzel, S.; Banks, M. y Schwab, A. (1997). “Rhizosphere effects

on the degradation of pyrene and anthracene in soil”, en Kruger, E. L.; Anderson, T. A. y Coats, J. R. (eds.): *Phytoremediation of soil and water contaminants*. Washington DC, ACS Am. Chem. Soc. Symposium Series 664.

Ye, F. X. y Li, Y. (2009). “Enhancement of nitrogen removal in towery hybrid constructed wetland to treat domestic wastewater for small rural communities”, *Ecological Engineering* 35, pp. 1043-1050.

Zaytsev, I. et al. (2011). “Enhanced denitrification in a bioaugmented horizontal subsurface flow filter”, *Ecological Engineering* 37, pp. 1050-1057.

Zhai, J. et al. (2011). “Experimental study of a novel hybrid constructed wetland for water reuse and its application in Southern China”, *Water Science and Technology*, 64(11), pp. 2177-2184.

Zhang, L. Y. et al. (2010). “Effect of limited artificial aeration on constructed wetland treatment of domestic wastewater”, *Desalination* 250, pp. 915-920.

Zurita, F. et al. (2008). “Stress detection by laser-induced fluorescence in *Zantedeschia aethiopica* planted in subsurface-flow treatment wetlands”, *Ecological Engineering* 33, pp. 110-118.

Zurita, F.; De Anda, J. y Belmont, M. A. (2006). “Performance of laboratory-scale wetlands planted with tropical ornamental plants to treat domestic wastewater”, *Water Quality Research Journal of Canada* 41, pp. 410-417.

— (2009). “Treatment of domestic wastewater and production of commercial flowers in vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetlands”, *Ecological Engineering* 35, pp. 861-869.

Páginas consultadas

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/chih/>.