

Construcción y evaluación de la eficiencia de dos prototipos de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de la Universidad El Bosque

Construction and evaluation of efficiency of two prototypes of artificial wetland for the treatment of domestic wastewater from El Bosque University

Badillo Guevara Laura Paola, Carvajal Arias Carel Elizabeth, Plata Plata Daniel, Fernández Calderón Danna Fernanda

Resumen



Los humedales artificiales son sistemas de depuración que reproducen procesos de tratamiento de agua y reducción de contaminantes que tienen lugar en humedales naturales. La finalidad de este proyecto es evaluar la eficiencia de los humedales artificiales en el tratamiento de agua residual proveniente de la Universidad El Bosque (sede Usaquén) para reutilizarla en riego de plantas y descarga de retretes.

En el proyecto se utilizó el prototipo de humedal artificial subsuperficial de flujo vertical para tratar agua residual doméstica (ARD), donde los modelos construidos contenían tres tipos de plantas, cuatro tipos de suelos y un cultivo de microorganismos eficientes (EM), agregado en uno de ellos, que se dejaron durante un periodo de adaptación a este nuevo ambiente aproximadamente de un mes, para posteriormente poder

Abstract



Artificial wetlands are purification systems that reproduce water treatment processes and contaminants that occur in natural wetlands. The purpose of this project is to evaluate the efficiency of artificial wetlands in the treatment of wastewater from Universidad El Bosque (Usaquén), to reuse it in watering of plants and toilet's discharge.

In this project, the prototype vertical subsurface artificial wetland was used, the built models contained three types of plants, four types of soils and one efficient microorganism (EM) culture, added in one of them, which were left during a period of adaptation to this new environment about one month, to later be able to evaluate the physical, chemical and microbiological parameters of the residual water. Finally, a favorable change in the treated water samples compared to the maximum permis-

Recibido / Received: 05 de Noviembre del 2016 Aprobado / Approved: 20 de Noviembre del 2016

Tipo de artículo / Type of paper: Investigación Científica y Tecnológica Terminada.

Afiliación Institucional de los autores / Institutional Affiliation of authors: Universidad El Bosque

Autor para comunicaciones / Author communications: carvajalcarel@unbosque.edu.co

Los autores declaran que no tienen conflicto de interés.

evaluar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua residual. Finalmente se obtuvo un cambio favorable en las muestras tratadas comparándolos con los valores máximos permisibles que dicta la resolución 1207 de 2014 y el decreto 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, además se demuestra una mayor eficiencia del humedal que contenía los EM.

Palabras clave: Flujo vertical, humedal artificial, microorganismos eficientes (EM), tratamiento de agua residual doméstica.

sible values dictated by resolution 1207 of 2014 and decree 0631 of 2015 of the Ministry of Environment and Sustainable Development, and also demonstrates greater efficiency by the wetland which contained EM.

Keywords: Efficient microorganisms (EM), subsurface artificial wetland, treatment of domestic wastewater, vertical flow.

Introducción

Los humedales son un tipo de ecosistema que es capaz de eliminar contaminantes presentes en aguas, mediante procesos que incluyen sedimentación, degradación microbiana, acción de las plantas, absorción, reacciones químicas y volatilización, al mismo tiempo son capaces de reemplazar algunos tratamientos de aguas residuales (Arias, Brix, 2003) (Mant, Costa, Williams, & Tambourgi, 2006). Los humedales artificiales (HA) son sistemas que imitan los procesos de tratamiento de agua que tienen lugar en los humedales naturales, y pertenecen a las denominadas tecnologías no convencionales, o tecnologías de bajo consumo de tratamiento de agua residual (Kivaizis, 2000) [2], [6], [7].

Algunos de los diferentes tipos de humedal artificial (HA) manejan flujos de agua determinados, uno de ellos es el sistema de flujo subsuperficial vertical, cuya circulación de agua se realiza a través de un medio granular (subterráneo), con una profundidad de agua cercana a los 0,6m, y permite una carga intermitente (Salgado, Cruz & Durán, 2009). El funcionamiento de los HA se fundamenta en tres principios básicos: la actividad bioquímica de microorganismos, el aporte de oxígeno a través de la vegetación durante el día y el apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte para el enraizamiento de las plantas y material filtrante, con el fin de mejorar la calidad del agua residual tratada, mediante parámetros físicos, químicos y biológicos, degradando la materia orgánica (Andrade, M., 2010) (Kivaisi, A. K., 2001) [1], [6], [16].

Adicionalmente, se pueden encontrar ciertos tipos de plantas en los humedales que contribuyen al tratamiento de aguas residuales, estabilizan el sustrato, dan lugar a bajas velocidades del agua, permitiendo que los materiales suspendidos se depositen, mientras que el tallo y las raíces dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos, favoreciendo el proceso de filtración y sedimentación (Andrade, M., 2010) (Qin, Struckhoff, Agrawal, Shelley, & Dong, 2015). Un ejemplo de estas plantas corresponde a: *Nymphoides peltata*, *Eichhornia crassipes* y *Phragmites australis*; las cuales se caracterizan por su rápida adaptación, crecimiento en un corto periodo de tiempo y su aplicación como filtros biológicos para remover impurezas en aguas contaminadas basándose en el proceso de biosorción (Martins D., et al, 2011) [1], [8], [14].

Por otro lado, un factor fundamental para asegurar la estabilidad y adaptación de las plantas es el suelo. Es necesario manejar diferentes tipos de este, debido a que sus características específicas aportan al desarrollo óptimo del tratamiento del ARD. Se sugiere que un perfil que se adecúe a un humedal artificial para este tipo de descargas esté compuesto de: roca volcánica, la cual permite que el agua ingrese al interior de las partículas y que se adhiera a la superficie exterior (Sanhueza, et al., 2011); arena de río se usa como medio de filtro para purificar el agua, su porosidad permite la retención de impurezas y disminuye la turbidez; suelo fértil cumple el

papel de sostén para las plantas y el abono orgánico es una capa superficial de suelo en descomposición, rica en microorganismos y nutrientes [17].

Finalmente, una forma de potenciar el tratamiento del agua residual a partir de los HA, es el uso de microorganismos eficientes (EM), los cuales son un cultivo mixto benéfico obtenido de ecosistemas naturales que ha sido seleccionado por sus efectos positivos (Webmaster, 2009). Los microorganismos principales en la mezcla son: bacterias fotosintéticas (*Rhodospseudomonas palustris*), bacterias lácticas (*Lactobacillus* spp) y levaduras (*Saccharomyces* spp). Una de las funciones para resaltar del uso de los EM es su capacidad de mantener y mejorar la calidad del agua mediante la reducción de concentraciones de amonio, nitrito y nitrato en el agua y disminuir la carga elevada de materia orgánica (Melgar, Barba, Álvarez, Tovilla, & Sánchez, 2013) [9], [19].

La finalidad de este proyecto es evaluar la eficiencia de los humedales artificiales en el tratamiento de agua residual proveniente de la Universidad el Bosque en la sede de Usaquén, para reutilizarla en riego de plantas y descarga de retretes.

Problemática

Las aguas residuales domésticas, son aguas de composición variada, provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas (Rodríguez, J. & Durán de Bazúa, 2006). Según la resolución 0631 de 2015 son aguas provenientes de hogares o instalaciones que corresponden a descargas de retretes, lavamanos, duchas y cocinas [11], [15].

En la Universidad El Bosque, las ARD son originadas por las actividades de los baños, laboratorios, restaurantes y pocetas de lavado; en el caso particular de los restaurantes, se les realiza un pretratamiento mediante trampas de grasas (Universidad El Bosque, 2014). Pero, a pesar de que los parámetros físicos y químicos de estas aguas son monitoreados por una entidad de control de calidad (Conoser Ltda.) y cumplen con la normatividad establecida, los efluentes provenientes del alcantarillado de la Institución, simplemente son depositados en el Río Contador (Calle 134), sin darles algún aprovechamiento [18].

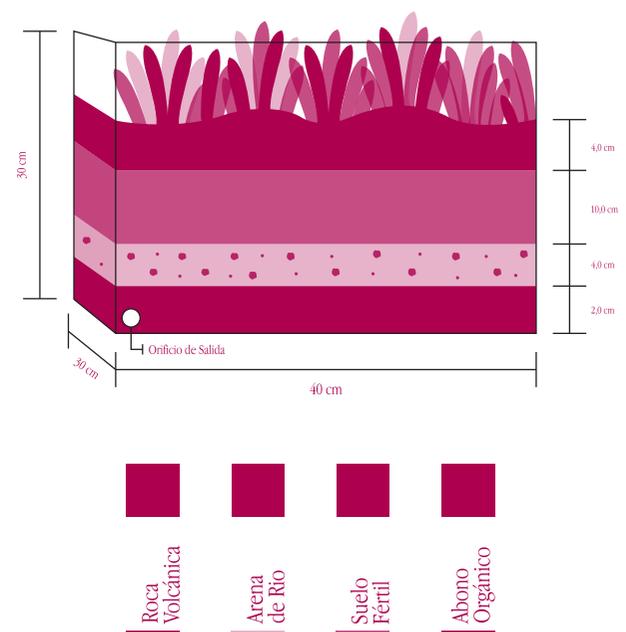
Por tal motivo, se espera mejorar la calidad del agua residual proveniente de las instalaciones de la Universidad El Bosque para su reutilización en riego de plantas y descargas sanitarias, comparando los valores de los parámetros obtenidos con los valores máximos permisibles según la normatividad colombiana que dicta la resolución 1207 de 2014; y simultáneamente promover el uso de recursos biotecnológicos que fomenten el desarrollo de iniciativas sostenibles dentro de la universidad [10].

Metodología

Construcción

La primera etapa del proyecto, consistió en el diseño y construcción de dos prototipos de humedal artificial, los cuales tenían dimensiones de 30cm*30cm*40cm. Se emplearon 4 tipos de suelo: roca volcánica mineral, arena de río, suelo fértil y suelo abonado (ver Figura 1.). Fueron escogidos por sus propiedades físicas y químicas, que retienen impurezas y sirven como filtros naturales de purificación de agua (Sanhueza, et al., 2011) [17].

Gráfica 1. Dimensiones del humedal y capas del suelo.



Fuente. Autores

En cada uno de los humedales se utilizó la misma proporción en las capas del suelo:

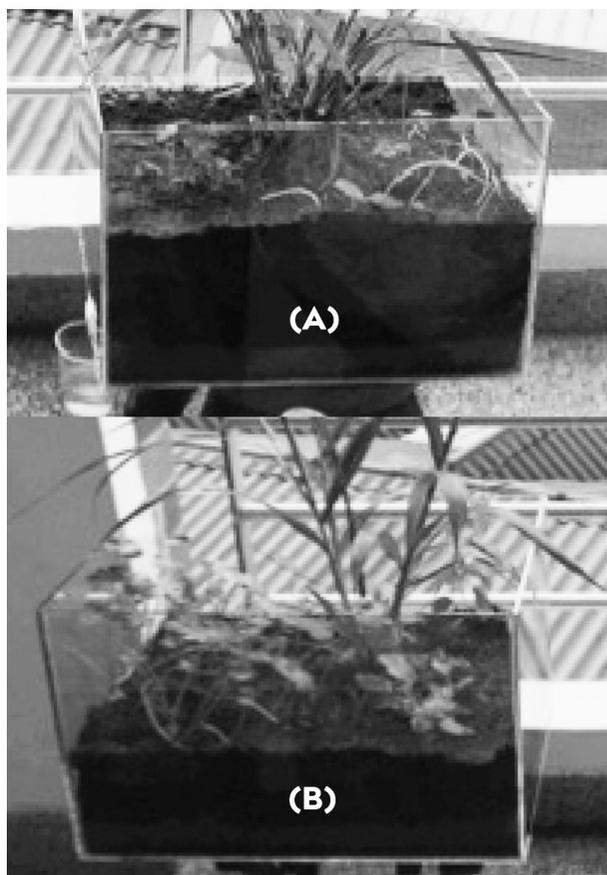
- Roca volcánica: 1 kg.
- Arena de río: 4kg.
- Suelo fértil: 10 kg.
- Abono orgánico: 2 kg.

Se emplearon los mismos tres tipos de plantas y se dispusieron en ambos humedales (ver Tabla 1).

Nombre científico	Nombre común	Cantidad
<i>Nymphaeodes peltata</i>	Ninfa de agua	3
<i>Eichhornia crassipes</i>	Buchón de agua	1
<i>Phragmites australis</i>	Césped de caña	1

Tabla 1. Plantas utilizadas en los humedales.

Figura 2. Humedales artificiales. a) sin EM; (b) con EM.



Fuente: , autores.

Recolección y tratamiento de muestras

La muestra de agua residual, fue extraída de uno de los pozos con coordenadas 4° 42' 39" N y 74° 01' 54" E de la Universidad El Bosque, sede Usaquén por la salida de la calle 134, para realizar la primera evaluación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Se recolectaron 18L de ARD, aproximadamente.

Los parámetros físicos y químicos fueron evaluados mediante los equipos:

- Turbidímetro Hach 2100N (turbiedad).
- Multiparámetro Hanna Instruments HI 83200 (temperatura, pH, conductividad).
- Kit de nitratos de MERCK (nitrógeno como nitrato).

En cuanto a los parámetros microbiológicos, estos fueron evaluados por un método cualitativo y cuantitativo utilizando «tubos múltiples» conocido como número más probable (NMP), el cual entrega un valor probabilístico del 95% de confiabilidad; donde se realizaron diluciones de -2, -3 y -4 a la muestra de agua siendo la técnica usualmente empleada para la detección de coliformes totales y fecales presentes en la muestra, mediante la utilización del caldo lauril sulfato y bilis verde brillante, respectivamente (Gesche, Vallejos & Saez, 2003).

Los parámetros se evaluaron después del período de filtración, que tuvo un tiempo de retención hidráulica de aproximadamente 30-40 minutos [4].

Filtración de la muestra de agua

De los 18 L de ARD recolectados, a 9 L de esta se le adicionaron aproximadamente 1,5 L de EM y a la vez se agregaron 1,5 L a las diferentes capas de suelo de uno de estos humedales, la muestra de agua fue vertida en este (Figura 2b), mientras que los otros 9L, se filtraron a través del humedal sin EM (Ver figura 2a).

Luego del filtrado, se realizó nuevamente la medición de los parámetros, para comparar la eficiencia entre los humedales y la calidad del agua tratada según la resolución 1207 de 2014 [10].

Figura 3. Metodología

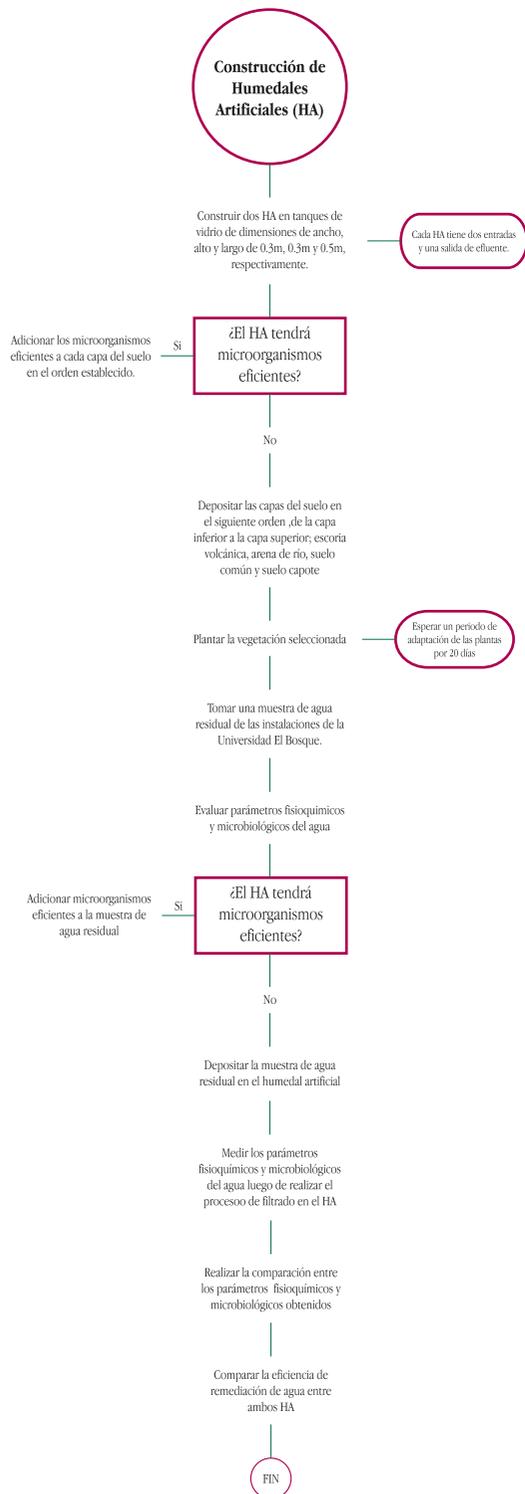


Figura 3. Metodología

Resultados y Discusión

En cuanto a los resultados físicos y químicos, como se observa en la Tabla 2., todos los parámetros variaron con respecto a la muestra inicial.

Parámetros	Resolución 1207 de 2014 Min Ambiente	Agua sin filtrar	Agua filtrada (con EM)	Agua filtrada (sin EM)
Turbiedad (NTU)	-	37,3	11,2	6,11
pH	6 - 9	7,37	6,52	6,60
T (°C)	-	18,8	19,5	19,2
Conductividad Eléctrica (μS)	1500	1105	1480	1430
N-NO ₃ (mg/L)	5,0	11,0	0,002	11,0

Tabla 2. Comparación de los resultados de parámetros físicos y químicos.

Los sólidos suspendidos en el agua incrementan la turbiedad, pues depende del tamaño y de la distribución de las partículas involucradas (Jiménez, 2001). Se logró una disminución de la turbiedad en el agua tratada obteniendo valores de 6,11 NTU y 11,2 NTU, esto se debe a que las capas del suelo son capaces de retener los sólidos disueltos y suspendidos presentes en el efluente, mejorando la transparencia del mismo. A pesar de ello no es un parámetro de relevancia según la normatividad consultada, no radica un valor permisible respecto a este parámetro [5].

La conductividad también aumentó en ambas muestras filtradas, 1430 μS (humedal sin EM) y 1480 μS (humedal con EM). Esto se debe a que el agua antes de ser filtrada no se encontraba en contacto con otra sustancia o elemento que modificara la conductividad, a diferencia de las demás muestras. Los suelos abonado y fértil contienen cargas que interactúan con las cargas del agua residual, que aportaron unos niveles importantes de bases (Díaz, Montero & Lagos, 2009) y permitiendo el intercambio iónico que aumentan el valor este parámetro. Continúa dentro del rango permisible, siendo de

1500 μ S. La temperatura varió sin embargo, no afecta ni se tiene en cuenta para la evaluación del agua tratada [3].

En cuanto al pH, la acidez de ambas muestras aumentó levemente, a razón de los exudados radiculares de las plantas de tipo fenólico y ácido que secretan compuestos con una gran diversidad de propiedades físicas y químicas a la rizósfera, como una respuesta al estrés y al mismo tiempo, posee la capacidad de regular el pH (Oliveros, Macías, Fernández, Marín, & Molinillo, 2009) cuando las plantas se encuentran en presencia de un efluente con altas concentraciones de sustratos. Sin embargo, ambas muestras se encuentran dentro del rango de la normatividad, entre 6,0 y 9,0 [12] Fortalecer discusión, que pasa con los subproductos del metabolismo microbiano sobre la materia orgánica.

Por otro lado, los resultados de cantidad de nitrógeno como nitrato no variaron en el humedal que no contenía los EM (11,0mg/L) en comparación con la muestra inicial, mientras que el humedal con EM (0,002mg/L) disminuyó debido a que el cultivo mixto de microorganismos es capaz de reducir amonio, nitritos y nitratos en el agua residual (Melgar, C. et al, 2013). Según la normatividad el valor máximo para este parámetro es de 5,0 mg/L, entonces se puede decir que la muestra tratada por el humedal sin EM no cumplió con esta, mientras que el que contenía EM sí cumplió [9].

Posterior al tratamiento del agua residual doméstica por los humedales tal como se observa en la Figura 4., las muestras de agua residual tratadas tienen un mejor aspecto que la muestra sin filtrar. El tono amarillo que toma la última muestra se debe al color del caldo de microorganismos eficientes. Se compararon los resultados con los valores máximos permisibles dictados en la resolución 1207 de 2014 del Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible [10].

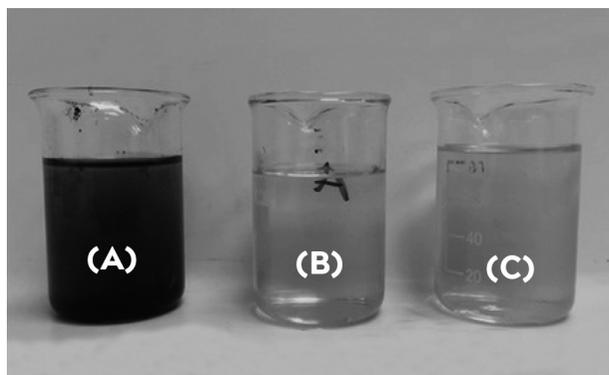


Figura 4. Muestras de agua residual (a) sin filtrar, (b) filtrada con humedal sin EM, (c) filtrada con humedal de EM.

Muestra de agua residual	Lauril Sulfato -Coliformes Totales (CT)				Bilis Verde Brillanten - Coliformes Fecales (CF)			
	Tubos positivos por dilución			NMP x100 ml	Tubos positivos por dilución			NMP x100 ml
	-2	-3	-4		-2	-3	-4	
Agua no filtrada	5	5	5	>1600	5	5	5	>1600
Agua filtrada (sin EM)	5	1	0	30	4	0	0	13
Agua filtrada (con EM)	3	0	0	8	2	1	0	7

Tabla 3. NMP para el agua residual antes y después de ser filtrada por los humedales.

En cuanto a los parámetros microbiológicos, en la muestra inicial, se encontró una alta presencia de microorganismos coliformes totales y fecales, que superan 1600 NMP/100mL. Mientras que en la muestra filtrada por el humedal sin microorganismos, los coliformes totales fueron de 30 NMP/100mL y los coliformes fecales, que deben ser menores, de 13 NMP/100mL. Finalmente, el agua filtrada por el humedal que contenía microorganismos eficientes tuvo valores de 8 NMP/100mL y 7 NMP/100mL respectivamente, tal como se muestra en la Tabla 3.

La disminución de patógenos fue significativa debido a que en los humedales de flujo subsuperficial se presentan procesos de sedimentación, debido a que en la cadena trófica los protozoarios se alimentan de patógenos y posiblemente por la producción de sustancias antimicrobiales por parte de algunos microorganismos (Otálora, 2011) [13].

En comparación con la medición inicial, los indicadores microbiológicos disminuyeron significativamente en ambos humedales después del proceso de filtración; sin embargo, el que contiene el caldo de EM, resultó más eficiente en cuanto a eliminación de coliformes gracias a las bacterias fotosintéticas, sintetizando sustancias útiles promoviendo el crecimiento y desarrollo de las plantas, las bacterias acidolácticas que controlan microorganismos nocivos y mejoran la descomposición de la materia orgánica.

nica junto con las levaduras (WebMaster, 2009). En este humedal se obtuvo la mayor eficiencia posiblemente por la adición de los EM en el cual se observó un avanzando crecimiento de raíces de las plantas favoreciendo el desarrollo de los microorganismos que se alimentan de patógenos, en comparación con el humedal sin EM (Otálora, 2011) [13], [19]. No todos los parámetros disminuyeron.

En ese orden de ideas, según la normatividad, para coliformes totales el valor máximo permisible es de 100000 NMP/100mL y para coliformes fecales es de 100 NMP/100mL, la muestra filtrada por ambos humedales se encontraron dentro de este valor permisible según el decreto.

Conclusiones

Respecto a las plantas y suelos empleados para la construcción del humedal, sus propiedades ayudaron en la remoción de contaminantes en el momento del filtrado del agua residual, evidenciando un cambio positivo en los diferentes parámetros evaluados, como se observa en las tablas 2 y 3.

Se concluye que los parámetros evaluados después de la filtración están dentro de los valores máximos permisibles según la resolución 1207 de 2014, lo cual indica que el agua tratada por los dos humedales puede ser reintegrada y reutilizada dentro de la Universidad El Bosque para riego y descarga de retretes, convirtiendo así a los humedales como una tecnología de innovación y de bajo costo para la depuración de aguas contaminadas.

En cuanto a la eficiencia de los sistemas, el humedal que contenía EM tuvo una mayor capacidad de tratamiento del agua tratada en comparación con el que no se le adicionó, afirmando así que las propiedades de esta mezcla de individuos incrementa la purificación del agua residual para ser reutilizada según la normatividad.

Como recomendación, en caso de una implementación a mayor escala, podría considerarse el uso de otros tipos de plantas con mayor capacidad de remediación.

Bibliografía

- [1] Andrade, M., Camacho, A., Delgadillo, O. & Pérez, L. “Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales”. 2010.
- [2] Arias, C. & Brix, H. “Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales”. *Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 13, 14 – 27. 2003.
- [3] Díaz, O., Montero, D. & Lagos, J. “Acción de Microorganismos Eficientes sobre la actividad de intercambio catiónico en plántulas de Acacia (*Acacia Melanoxylon*) para la recuperación de un suelo del municipio de Mondoñedo”. *Colombia Forestal*. (12), 141-160. 2009.
- [4] Gesche, E., Vallejos, A., & Saez, M. “Eficiencia de Anaerobios sulfito-reductores como indicadores de calidad sanitaria de agua”. *Método de Número Más Probable (NMP)*. *Archivos de medicina veterinaria*, 35(1), 99-107. 2003.
- [5] Jiménez, B. “La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada”. México: Limusa. 2001.
- [6] Kivaisiz A. K. “The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review”. *Ecological engineering*. 16 (4), 545 – 560. 2001.
- [7] Mant, C., Costa, S., Williams, J., & Tambourgi, E. “Phytoremediation of chromium by model constructed wetland”. *Bioresource Technology*, 97(15), 1767-1772. 2006.
- [8] [8] Martins, D. F. F., de Moura, M. D. F. V., Loiola, M. I. B., Di Souza, L., e Silva, K. M. B., & de Medeiros, J. F. “Temporal and physiological influence of the absorption of nutrients and toxic elements by *Eichhornia crassipes*”. *Journal of Environmental Monitoring*, 13(2), 274-279. 2011.
- [9] Melgar, C., Barba, E., Álvarez, C., Tovilla, Cristian., & Sánchez, A. “Efecto de microorganismos con potencial probiótico en la calidad del agua y el crecimiento de camarón *Litopenaeus vannamei* (Decapoda: Penaeidae) en cultivo intensivo”. *Revista de Biología Tropical*, 61(3). 2013.
- [10] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-MINAMBIENTE Resolución número 1207 de 2014. Bogotá, Colombia.

- [11] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-MINAMBIENTE Resolución número 0631 de 2015. Bogotá, Colombia.
- [12] Oliveros, A., Macías, F., Fernández, C., Marín, D & Molinillo, J. "Exudados de la raíz y su relevancia actual en las interacciones alelopáticas". Química Nova, 32(1), 198-213. 2009.
- [13] Otálora, A. "Evaluación del sistema sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la localización petrolera de Caño Gandúl (tesis de magister)". Universidad Nacional. Bogotá, Colombia. 2011.
- [14] Qin, K., Struckhoff, G., Agrawal, A., Shelley, M. y Dong, H. "Natural attenuation potential of trichloroethene in wetland plants roots: Role of native ammonium-oxidizing microorganisms". 2015.
- [15] Rodríguez-Momroy, J., & Durán-de-Bazúa, C. "Remoción de nitrógeno en un sistema de tratamiento de aguas residuales usando humedales artificiales de flujo vertical a escala de banco". Tecnología, Ciencia, Educación. 2006.
- [16] Salgado I., Cruz M., & Durán M. "Perspectivas del empleo de la tecnología de humedales construidos para la remediación de aguas residuales, (...)". Memorias del Taller por el Día Mundial del Medio Ambiente. La Habana, CU: Editorial Universitaria.2009.
- [17] Sanhueza, C, Palma, J, Valenzuela, P, Araneda, O, & Calderón, K. "Evaluación del comportamiento geotécnico de suelos volcánicos chilenos para su uso como material de filtro en la depuración de aguas residuales domésticas". Revista de la construcción, 10(2), 66-81. 2011.
- [18] Universidad El Bosque. "Caracterización de vertimientos". 1 – 8. 2014.
- [19] WebMaster. "Microorganismos Eficientes EM". 2015.

Los Autores



Laura Paola Badillo Guevara

Estudiante de Ingeniería Ambiental, facultad de Ingeniería de la Universidad El Bosque, VII Semestre. Ponente en la VI Jornada de Química- La Química al Servicio de la Salud, en 2016. Perteneciente al semillero de investigación de Calidad del Agua y Ecología Microbiana, de la universidad. Correo electrónico: lbadillo@unbosque.edu.co



Carel Elizabeth Carvajal Arias

Microbióloga Industrial, Microbióloga Agrícola y Veterinaria y Magister en Ciencias Biológicas, de la Pontificia Universidad Javeriana. Miembro del grupo de investigación Choc Izone de la Facultad de Ingeniería. Docente líder del semillero de Calidad del Agua y Ecología Microbiana del programa de Ingeniería Ambiental, Universidad El Bosque.



Daniel Plata Plata

Estudiante de Ingeniería Ambiental, VII Semestre de la Universidad El Bosque. Ponente en la VI Jornada de Química - La Química al Servicio de la Salud. Bogotá, D.C. en 2016. Miembro del semillero de investigación de Calidad del Agua y Ecología Microbiana, Universidad El Bosque. Correo electrónico: dplatap@unbosque.edu.co.



Danna Fernanda Fernández Calderón

Estudiante de Ingeniería Ambiental, VII Semestre de la Universidad El Bosque. Ponente en la VI Jornada de Química - La Química al Servicio de la Salud. Bogotá, D.C. en 2016. Miembro del semillero de investigación de Calidad del Agua y Ecología Microbiana, Universidad El Bosque. Correo electrónico: dffernandez@unbosque.edu.co.

