

Alfaro, Carolina; Pérez, Roy; Solano, Mayela
Saneamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales en el Museo de
Cultura Popular de la Universidad Nacional
Revista de Ciencias Ambientales, vol. 45, núm. 1, enero-junio, 2013, pp. 63-71
Universidad Nacional
Heredia, Costa Rica

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=665070682006>



Revista de CIENCIAS AMBIENTALES Tropical Journal of Environmental Sciences



Saneamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales en el Museo de Cultura Popular de la Universidad Nacional

Wastewater treatment by artificial wetlands in the Museum Popular Culture National University

Carolina Alfaro ^a, Roy Pérez ^b y Mayela Solano ^c

^a Ingeniera química, es investigadora en el Laboratorio de Gestión de Desechos de la Escuela de Química de la Universidad Nacional, Costa Rica, caro.alfaro@gmail.com. ^b Químico industrial especialista en agua y gestión sostenible, es investigador en el Laboratorio de Gestión de Desechos de la Escuela de Química de la Universidad Nacional, Costa Rica, roy.perez.salazar@una.cr. ^c Historiadora especialista en pedagogía, es directora del Museo de Cultura Popular de la Universidad Nacional, Costa Rica, mayela.solano.quiros@una.cr.

Director y Editor:

Dr. Eduardo Mora-Castellanos

Consejo Editorial:

Enrique Lahmann, UICN, Suiza

Enrique Leff, UNAM, México

Sergio Molina, Universidad Nacional, Costa Rica

Olman Segura, Universidad Nacional, Costa Rica

Rodrigo Zeledón, Universidad de Costa Rica

Gerardo Budowski, Universidad para la Paz, Costa Rica

Asistente:

Rebeca Bolaños-Cerdas



Saneamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales en el Museo de Cultura Popular de la Universidad Nacional

Carolina Alfaro, Roy Pérez y Mayela Solano

C. Alfaro, ingeniera química, es investigadora en el Laboratorio de Gestión de Desechos de la Escuela de Química de la Universidad Nacional. R. Pérez, químico industrial especialista en agua y gestión sostenible, es investigador en el mismo Laboratorio. M. Solano, historiadora especialista en pedagogía, es directora del Museo de Cultura Popular de la Universidad Nacional.

Resumen

El cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio en términos de acceso sostenible al saneamiento requiere incrementar el desarrollo de programas de investigación que promuevan opciones tecnológicas simples y de bajo costo, y adecuadas a las condiciones sociales, económicas y ambientales de cada población. En forma paralela, estos procesos deben ir acompañados por acciones de educación ambiental y sanitaria, que permitan la apropiación de estos sistemas por parte de las comunidades. Actualmente, en la Universidad Nacional se ejecutan dos proyectos que convergen en esa temática. Por un lado, el Museo de Cultura Popular, junto con la Empresa de Servicios Públicos de Heredia, desarrollan un proyecto de educación ambiental que promueve la protección

Abstract

The fulfillment of the Millennium Development Goals in terms of sustainable access to sanitation requires increasing the development of research programs that promote simple and low cost technological options, appropriate to the social, economic, and environmental conditions of each population. These processes must be accompanied by actions of environmental and sanitation education, which allow appropriation of these systems by the communities. In this sense, there are two projects in the National University converging on this subject. The Museum of Popular Culture together with the Public Service Company of Heredia develop an environmental education project that promotes the protection of water, from

Introducción

En conformidad con los Objetivos de Desarrollo del Milenio, propuestos por la Organización de las Naciones Unidas, los países participantes en ese acuerdo se comprometieron a cumplir ocho objetivos como parte de las metas del desarrollo mundial. Uno de ellos hace énfasis en garantizar la sostenibilidad ambiental y una de las metas es reducir a la mitad el porcentaje de personas que carecen de acceso sostenible a saneamiento básico, al tomar como base las cifras observadas en 1990. Sin embargo, pareciera que el cumplimiento de esta meta a nivel mundial no se logrará para 2015 como inicialmente se propuso. A pesar de que el saneamiento básico es una condición necesaria para proteger la salud pública y el medio ambiente, este tema no es prioritario en los fondos asignados como parte de los presupuestos nacionales y en ayudas destinadas para promover el desarrollo (Naciones Unidas, 2010). Además, un

del agua a partir de una perspectiva histórica del manejo de este recurso, y con un humedal artificial como principal unidad didáctica. Por otro lado, el Laboratorio de Gestión de Desechos de la Escuela de Química evalúa el funcionamiento de este humedal como parte de la ejecución de un proyecto de investigación que impulsa este tipo de sistemas alternativos de saneamiento. Este artículo presenta los resultados del monitoreo realizado al humedal artificial mencionado durante 2012, evidenciando una remoción promedio de 93 % para el caso del $\text{DBO}_{5,20}$, 95 % para el DQO, 73 % para el P- PO_4 y 95 % para los sólidos sedimentables.

Palabras clave: aguas grises, educación ambiental, humedal artificial, saneamiento.

an historical perspective of its management, which has an artificial wetland as the main teaching unit. On the other hand, the Waste Management Laboratory at the School of Chemistry evaluates the performance of this artificial wetland as part of a research project that promotes this type of alternative sanitation. This paper presents results of the monitoring of this artificial wetland, showing average removal percentages of 93% $\text{BOD}_{5,20}$, 95% COD, 73% P- PO_4 , and 95% for SS.

Keywords: artificial wetland, environmental education, grey water, sanitation.

adecuado acceso a los servicios de agua y saneamiento promueve desarrollo económico y equidad social (Hantke & Jouravlev, 2011).

El principal reto en términos de saneamiento a nivel mundial ha sido la disposición insegura de excretas en espacios abiertos, especialmente en países en vías de desarrollo, donde además es evidente la brecha que existe entre las zonas urbanas y las rurales, siendo estas las que tienen menor acceso a servicios sanitarios. El saneamiento se refiere a la recolección segura, almacenamiento, tratamiento y disposición de excretas humanas. Considerando que las realidades alrededor del mundo son diferentes, cada país debe establecer sus prioridades de desarrollo en términos de saneamiento. En el caso de Costa Rica, el reto principal consiste en dar el tratamiento adecuado a las aguas residuales. Desde el punto de vista del cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio, Costa Rica logró reducir el porcentaje de viviendas sin acceso a servicios sanitarios adecuados de un 24,2 % como base en 1989 a un 11 % en 2007, mucho antes de 2015. Sin embargo, este cumplimiento no es del todo alentador si se considera que el indicador para establecer estos valores se refiere al porcentaje de población con servicio sanitario conectado a alcantarillado sanitario o tanque séptico (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, 2010).

Según información del Instituto Nacional de Estadística y Censos (Inec), en 2012 el porcentaje de viviendas que poseían un tanque séptico como único sistema de tratamiento a nivel nacional era de 71 % (62 % en zonas urbanas y 85 % en zonas rurales). Por otra parte, 26 % de las viviendas se encontraban conectadas a alcantarillas (36 % en zonas urbanas y 8 % en zonas rurales). Aunque parezca que la cobertura de tratamiento

a nivel nacional es alta, existen grandes problemas relacionados con las dos principales opciones de tratamiento y disposición final del país. En primer lugar, la mayoría de los sistemas de alcantarillado no cuenta con un sistema de tratamiento, por lo que sirven solamente para transportar las aguas residuales a su destino final, que en la mayoría de los casos son los ríos. En segundo lugar, los lodos generados en los sistemas de tanque séptico se evacúan y su disposición final también es en los ríos (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, 2010).

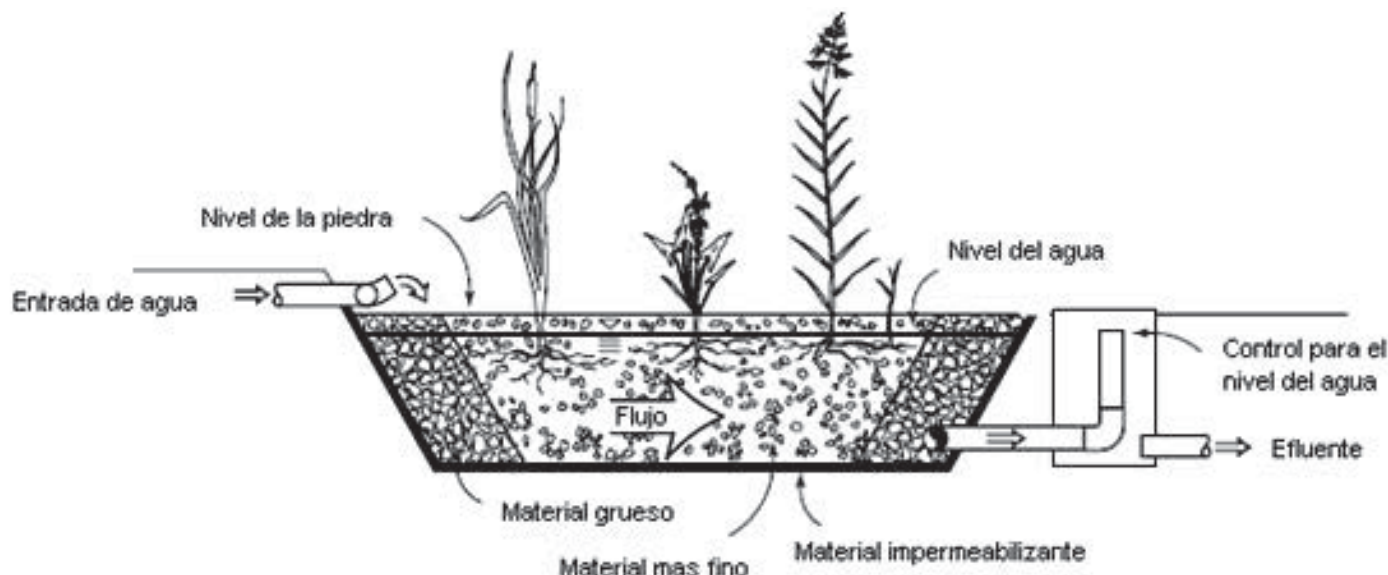
Por otra parte, el funcionamiento de los tanques sépticos se basa en procesos de sedimentación y permeación, de forma que el sistema aprovecha la capacidad de absorción que tiene el suelo en el sitio donde está construido (Rosales, 2003). En suelos con porosidades altas, y especialmente en las zonas con alta densidad de población, el agua infiltrada puede contaminar las aguas subterráneas. Desde el punto de vista de regulación y control, la normativa de tipo técnica relacionada con los tanques sépticos es insuficiente y tampoco existe una fiscalización adecuada de su ubicación y construcción (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2009).

En 2007, se realizó en Colombia la primera Conferencia Latinoamericana de Saneamiento (Latinosan), donde los países participantes, entre ellos Costa Rica, se comprometieron a apoyar los objetivos del año internacional del saneamiento 2008, dentro de los cuales se encontraba “incrementar la sostenibilidad y asimismo la efectividad de las soluciones de saneamiento disponibles, para mejorar el impacto en salud, aceptación social y cultural, apropiación tecnológica e institucional, y la protección del medio ambiente y recursos naturales” (Declaración de Cali, 2007, p. 2). Tres años después, se reafirman estos compromisos en la segunda conferencia Latinosan 2010, realizada en Brasil. En esta ocasión, se asume el compromiso de intensificar las acciones

necesarias para universalizar el saneamiento, para lo que se declara necesario, entre otras cosas, “fomentar programas de investigación en saneamiento, con énfasis en la generación de tecnología de operación simplificada y de bajo costo, apropiada a las condiciones socio-ambientales de la población, promoviendo redes de investigación cooperativa y el intercambio de información entre los grupos e instituciones de investigación de los países de América Latina”. Desde el punto de vista de la formación, se estableció promoverla como eje transversal en todos los niveles de los sistemas de educación y emprender acciones de educación ambiental y sanitaria (Declaración de Foz de Iguazú, 2010, p. 3).

La selección de opciones tecnológicas para el tratamiento de aguas residuales debe evaluarse desde el punto de vista técnico, económico y social. Los sistemas que utilizan tratamientos intensivos y muy tecnificados, a pesar de ser tecnologías muy eficientes, puede que no funcionen adecuadamente en lugares donde la capacidad de mantenimiento es limitada y donde el presupuesto para las operaciones de mantenimiento también es escaso. Ante este panorama, Costa Rica debe intensificar la promoción de tecnologías alternativas de tratamiento de las aguas residuales, especialmente en pequeñas poblaciones, por medio de alianzas que permitan reproducir las experiencias exitosas y que además logren dar el soporte técnico y científico adecuado para fortalecer la credibilidad en este tipo de sistemas a nivel nacional.

Dentro de los sistemas alternativos más reconocidos se encuentran los humedales artificiales (HA), cuya configuración típica se presenta en la figura 1. Estos consisten en sistemas de tratamiento extensivos, conformados por lagunas poco profundas, impermeabilizadas, dentro de las cuales se coloca un lecho filtrante de material poroso y una cubierta vegetal de plantas macrófitas que, mediante la incorporación de oxígeno a través de

Figura 1. Esquema típico de un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales.

sus raíces, crean un *biofilm* alrededor de estas y del material poroso. La depuración del agua residual se logra mediante procesos físicos, químicos y biológicos (Gauss, 1996; García, 2004). Según Polprasert y Veenstra (2000), la penetración de la vegetación en el lecho filtrante dentro de los humedales permite el transporte de oxígeno de una manera más profunda y hace que la velocidad del agua dentro del sistema sea más lenta, lo cual favorece la sedimentación de sólidos suspendidos y aumenta los tiempos de retención en el lecho del humedal. Entre las especies más comúnmente utilizadas como sistema de macrófitas acuáticas en HA se encuentran *Typhassp*, *phagmites comunes*, *Juncos ssp*, *Schoenoplectus* y *Carex* (Reed, Crites y Middlebrooks, 1995; Becares, 2004).

Una de las principales ventajas del uso de humedales artificiales es la no utilización de equipos mecánicos, energía ni mantenimiento constante para el buen funcionamiento del sistema. Por este motivo, los costos de construcción y mantenimiento son menores que los de las tecnologías convencionales de tratamiento. Otra ventaja de los HA es la poca generación de lodos residuales,

pues estos se mineralizan, proceso que no se da en otro tipo de sistema que sí requiere un tratamiento adicional para los lodos. La remoción de DBO (demanda bioquímica de oxígeno), de SST (sólidos en suspensión totales), de DQO (demanda química de oxígeno) y de metales de las aguas residuales domésticas es muy efectiva en condiciones normales del sistema. Por otra parte, la remoción de nitrógeno y fósforo a bajos niveles puede ser efectiva con un tiempo de retención mayor. También presentan la ventaja de que son sistemas poco sensibles a cambios en caudales y carga del afluente (Epa, 2000). Dentro de las pocas desventajas se encuentra el espacio necesario para su construcción, que puede ser una limitante en lugares donde no exista espacio disponible o el terreno sea muy costoso, pues se requiere aproximadamente el equivalente de un metro cuadrado por habitante. Otro aspecto que debe tomarse en cuenta en términos de costos es la cantidad de material de relleno (piedra, principalmente), que puede tener un costo elevado, especialmente por el transporte del material.

Las aplicaciones de estos sistemas son muy variadas. Se han utilizado humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales negras y aguas grises, como tratamiento terciario en los efluentes de plantas de tratamiento convencionales, lixiviados de rellenos sanitarios, aguas residuales provenientes de la industria textil, agrícola, minera, petrolera y del papel. También se han utilizado en el tratamiento de agua de lluvia (GIZ, 2011).

La eficiencia de remoción para los sistemas de humedales artificiales horizontales pueden estar entre el 80 % y 90 % para la demanda bioquímica de oxígeno; entre 80 % y 95 % para los sólidos suspendidos totales, y entre 15 % y 40 % para el nitrógeno total. Mientras que para el fósforo, el porcentaje de remoción depende del tipo de material y de la antigüedad del sistema (Morel y Diener, 2006; GIZ, 2011).

En la actualidad, en muchas partes del mundo y especialmente en países desarrollados, la tecnología de tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales se ha hecho muy popular. Sin embargo, en naciones en vías de desarrollo, el uso de los sistemas de humedales artificiales debe darse a conocer aun más (GIZ, 2011). Bajo esta premisa, el Laboratorio de Gestión de Desechos de la Escuela de Química y el Laboratorio de Botánica de la Escuela de Ciencias Biológicas, ambos de la Universidad Nacional, ejecutan actualmente el proyecto “Evaluación del comportamiento de los factores que determinan la efectividad en el tratamiento de aguas residuales por medio de humedales artificiales en C.R.”, el cual incluye, como parte de sus objetivos, estudiar la relación entre diferentes diseños de humedales artificiales y su efectividad para dar tratamiento a las aguas residuales. Se pretende, además, con este proyecto, generar y divulgar información sobre el funcionamiento efectivo de sistemas construidos en el país, con el fin de que este tipo de tecnologías sean vistas como

un sistema de tratamiento que requiere ciertas consideraciones de diseño para que su funcionamiento sea eficiente. Los sistemas incluidos en el estudio han sido coordinados con la Asociación Centroamericana para la Economía, la Salud y el Ambiente (Acepesa), entidad no gubernamental que trabaja el tema de agua y saneamiento sostenible por medio de la implementación de tecnologías alternativas en saneamiento sostenible y el desarrollo de procesos educativos. Esta entidad ha construido diversos sistemas de humedales artificiales a lo largo del país, promovidos con el concepto de biojardineras.

Por otra parte, el Museo de Cultura Popular de la Universidad Nacional desarrolla, conjuntamente con la Empresa de Servicios Públicos de Heredia, un proyecto de educación ambiental que destaca la necesidad de canalizar, tratar y reutilizar las aguas residuales con el propósito de proteger los recursos hídricos. Para esto se cuenta con una exhibición y una estrategia de comunicación didáctica sobre la “Historia de nuestra agua”, en la cual se resaltan los principales acontecimientos históricos de los pobladores de la provincia herediana en el aprovisionamiento del agua, que incluye conflictos por la construcción de acequias o sacas de agua sin control, escasez en algunas regiones, luchas por mejoras en los sistemas de abastecimiento y canalización y denuncias de las comunidades por la contaminación del agua. Mediante el recurso gráfico de una línea del tiempo, se presentan datos importantes como la construcción del primer acueducto, el alcantarillado sanitario, disposiciones sobre el manejo de las aguas negras, hasta llegar a 2012 con el proyecto de estudio y diseño de la nueva red de alcantarillado sanitario y planta de tratamiento de aguas residuales apropiada para las necesidades de la provincia herediana. El principal recurso didáctico dentro de esta estrategia de educación lo constituye el humedal artificial (biojardinera) mostrado como una propuesta real de tratamiento del agua

residual, a nivel doméstico. También se expone el concepto de reutilización a través de la exhibición de una acequia que es alimentada con las aguas provenientes del humedal artificial y que, a su vez, podría ser utilizada en actividades de riego. Este sistema fue sometido a monitoreo durante el año 2012. Los resultados del mismo se presentan a continuación.

Metodología

Descripción del sistema

El sistema estudiado consiste en un humedal artificial de flujo sub-superficial horizontal mostrado en la figura 2. Este se encuentra precedido por un tanque sedimentador que sirve de pretratamiento, donde se separa el material suspendido. El sistema recibe aguas grises provenientes del restaurante y dos lavatorios del Museo de Cultura Popular, de forma que la carga contaminante fluctúa según las actividades que se programen en el sitio. Luego de pasar por el pretratamiento, el agua ingresa al humedal artificial cuyas dimensiones se presentan en el cuadro 1. Finalmente, el agua depurada se descarga en una laguna con lirios (figura 3), la cual está conectada a un sistema de bombeo que la circula por un canal tipo cascada utilizado en forma ornamental (acequia). El tratamiento principal se da en el humedal artificial.

Cuadro 1. Dimensiones del sistema

Parámetro	Valor
Caudal de agua residual (m ³ /día)	1,8
Largo del HA (m)	8,0
Ancho del HA (m)	2,5
Relación largo/ancho	3,2
Profundidad del HA (m)	0,7

Fuente: Acepesa.

Figura 2. Humedal de flujo sub-superficial horizontal construido en el Museo de Cultura Popular de la Universidad Nacional.



Figura 3. Laguna que recibe el agua proveniente del humedal artificial.



Figura 4. Acequia de piedra en el entorno del Museo de Cultura Popular.



El HA se construyó sobre una base de plástico de 0,7 mm de espesor, y sobre esta se colocó la piedra. La distribución de rocas en este sistema consiste en piedra tipo gavión a la entrada y salida (tamaño 4 y 5 pulgadas) y piedra cuarta en el centro (tamaño entre 3/4 y 1 pulgada). Acepesa diseñó y construyó el sistema.

Toma de muestras y análisis

Las muestras se tomaron en los meses de abril, mayo, agosto, septiembre y octubre de 2012. Los muestreos fueron de tipo puntual, con toma de muestras a la salida del sistema de

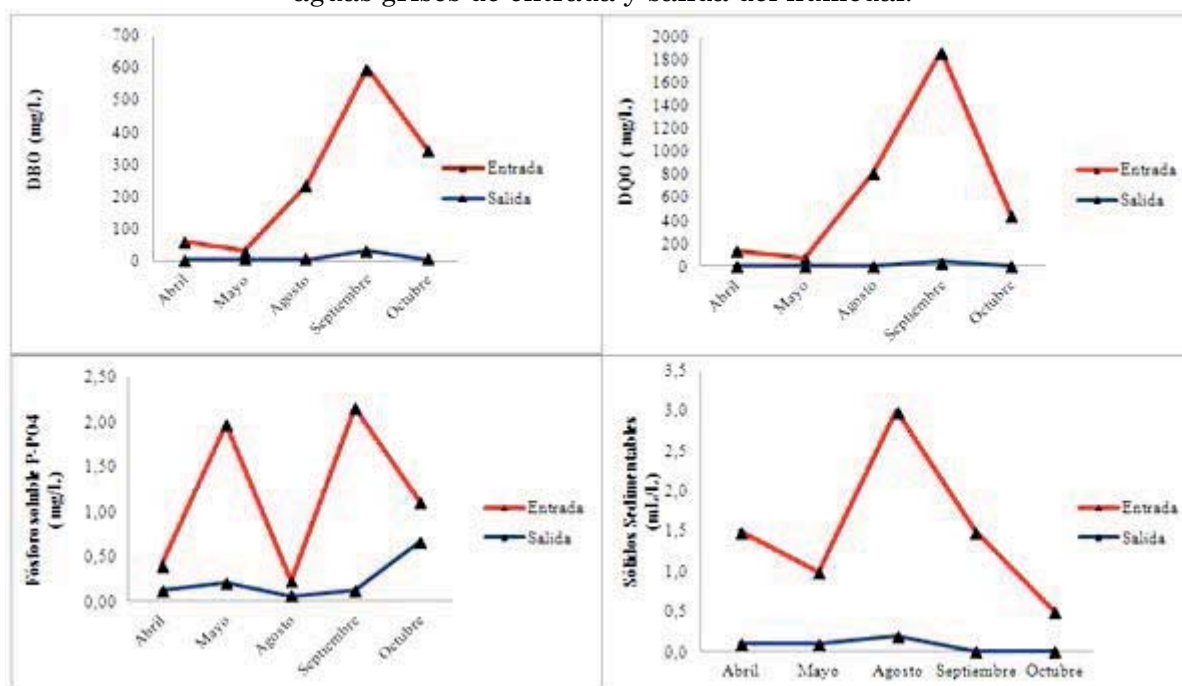
pretratamiento y a la salida del humedal artificial. Se realizó análisis de $DBO_{5,20}$, DQO, fósforo soluble y sólidos sedimentables, según las metodologías planteadas por el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (American Public Health Association, American Water Works Association y Water Environment Federation, 2005).

Resultados

En la figura 5 se presenta los resultados obtenidos tanto en la entrada como en la salida del sistema en términos de concentración. Como se observa, a pesar de las fluctuaciones en los valores de concentración en la entrada, el sistema logra una remoción de hasta 98 % en DQO y DBO. En cuanto a la concentración de fósforo soluble, se determinó una remoción máxima en el periodo de estudio de 94 %, valor esperado para un sistema de construcción reciente como es en este caso. Por otra parte, la remoción de sólidos sedimentables observada alcanzó valores de hasta 100 %. Los porcentajes percibidos son comparables con estudios publicados a nivel mundial en humedales artificiales a escala real (Vymazal, 2002; Rousseau, Vanrolleghem y DePauw, 2004; Molle, Liénard, Boutin, Merlin y Iwena, 2005; Paing y Voisin, 2005; Brix, Schierup y Arias, 2007; Vera, García, Sáez y Moragas, 2001).

Es importante destacar la resiliencia del sistema, observada en las concentraciones de salida que se mantuvieron en valores bajos a pesar de las concentraciones altas de entrada, principalmente en los meses de agosto y septiembre para DBO y DQO. Se observaron concentraciones promedio de DQO, DBO, $P-PO_4$ y SS: 17, 10, 0.24 y 0.1 mg/L respectivamente (figura 5), teniendo-se parámetros de salida que cumplen con la legislación vigente y con gran reproducibilidad, indiferentemente de la heterogeneidad de las aguas residuales de entrada.

Figura 5. Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, el fósforo soluble y los sólidos sedimentables de las aguas grises de entrada y salida del humedal.



Conclusiones

La experiencia del tratamiento de aguas grises en el Museo de Cultura Popular de la Universidad Nacional promueve la aplicación de tecnologías alternativas de saneamiento, institucional y nacionalmente. La divulgación de este tipo de sistemas, que se puede hacer a través de las actividades educativas desarrolladas por el Museo, cumpliría un papel muy importante en la temática de educación ambiental y sanitaria.

El humedal construido está demostrando alta capacidad resiliente ante la heterogeneidad de las aguas residuales tratadas, al evidenciar alta eficiencia en la remoción de carga orgánica de las aguas grises, alcanzar porcentajes de remoción promedio de 93 % para el caso de DBO_{5,20}, 95 % para DQO, 73 % para P-PO₄ y 95 % para los sólidos sedimentables. A pesar de que este tipo de sistema puede funcionar en diferentes

configuraciones y tamaños, no siempre se logran remociones como las observadas, que corresponden a un buen diseño y construcción del humedal artificial. Este aspecto debe ser enfatizado en la divulgación de esta tecnología, al considerar que los humedales artificiales son sistemas que se diseñan con criterios ingenieriles.

Referencias

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Environment Federation (WEF). (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (20 ed.). Estados Unidos.
- Becares, E. (2004). Función de la vegetación y procesos de diseño de humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal y flujo superficial. En J. García, J. Morató y J. Bayona, *Nuevos criterios para el diseño y operación de humedales construidos* (págs. 52-62). Barcelona, España: Cepet.
- Brix, H., Schierup, H. y Arias, C. (2007). Twenty years experience with constructed wetland system in Denmark—what did we learn? *Water Sci. Technol.*, 56(3), 63-68.

- Declaración de Cali. (2007). *Primera Conferencia Latinoamericana de Saneamiento, Latinosan 2007*. Cali, Colombia.
- Declaración de Foz de Iguazú. (2010) *Segunda Conferencia latinoamericana de Saneamiento. Latinosan 2010*. Brasil.
- Environmental Protection Agency (EPA). (2000). *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales humedales de flujo subsuperficial*. E.E.U.U.
- García, J. (2004). Humedales construidos para controlar la contaminación: perspectiva sobre una tecnología en expansión. En García, J., Morató, J. y Bayona, J. *Nuevos criterios para el diseño y operación de humedales construidos* (1ª Edición). Barcelona, España: CEPET. pp. 51-62.
- Gauss, M. (1996). *Aplicación de la tecnología de biofiltros como una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales domésticas en países de clima tropical. Proyecto ASTEC-Austria*. Nicaragua: Universidad Nacional de Ingeniería, Centro de Investigación.
- GIZ. (2011). *Technology review of constructed wetlands. Sub-surface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment*. Eschborn.
- Hantke, M. y Jouravlev, A. (2011). *Lineamientos de política pública para el sector de agua potable y saneamiento*. Santiago de Chile: Cepal.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2009). *Programa nacional de manejo adecuado de las aguas residuales Costa Rica 2009-2015*.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (s.f.). Tipo de servicio sanitario según zona. 2000-2012.
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. (2010). *Costa Rica: Objetivos de desarrollo del milenio, II Informe País 2010*. San José, Costa Rica.
- Molle, P., Liénard, A., Boutin, C., Merlin, G. y Iwema, A., 2005. How to treat raw sewage with constructed wetlands: an overview of the French systems. *Water Sci. Technol.* 51(9), 11-21.
- Morel, A. y Diener, S. (2006). *Greywater management in low and middle-income countries, review of different treatment systems for households or neighbourhoods*. Dubendorf, Suiza: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology.
- Naciones Unidas. (2010). *Objetivos de desarrollo del milenio. Informe 2010*. Nueva York: Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas.
- Paing, J., y Voisin, J. (2005). Vertical flow constructed wetlands for municipal wastewater and septage treatment in French rural area. *Water Sci. Technol.* 51(9), 145-155.
- Polprasert, C. y Veenstra, S. (2000). *Sustainable wastewater treatment 1: natural treatment systems*. IHE Delft. Netherlands.
- Reed, S., Crites, R. y Middlebrooks, E. (1995). *Natural system for waste management and treatment*. United States of America: McGraw-Hill.
- Rosales, E. (2003). *Tanques sépticos. Conceptos teóricos, bases y aplicaciones*. Cartago, Costa Rica.
- Rousseau, D., Vanrolleghem, P. y DePauw, N. (2004). Constructed wetlands in Flanders: a performance analysis. *Ecol. Eng.* 23 (3), 151-163.
- Vera, J., García, K., Sáez, L. y Moragas, G. (2011). Performance evaluation of eight years experience of constructed wetland systems in Catalonia as alternative treatment for small communities. *Ecol. Eng.* 37, 364-371.
- Vymazal, J. (2002). The use of sub-surface constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic: 10 years experience. *Ecol. Eng.* 8(5), 633-646.