

Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales domésticas

Andrés Suárez,^{1*} Nikolay Agudelo,² Jeimmy Rincón² y Nohora Millán²

¹ Universidad Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Departamento de Ingeniería. Cra. 4 N° 22-61 Bogotá, Colombia *Autor para correspondencia: andresf.suarez@utadeo.edu.co

² Universidad Libre, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Ambiental

Evaluation of a constructed wetland of sub-superficial flow for the treatment of domestic wastewater

Abstract

Sub-superficial flow artificial wetlands were evaluated in order to establish the applicability of this kind of systems for a domestic wastewater of the Libre University, Bosque popular campus. Two wetlands at bench scale were constructed in translucent acrylic, one of those was planted with typical plants found in Bogota wetlands, and the other one was used as control without plants. Physical and chemical parameters like BOD, nitrogen, phosphorus, suspended solids, dissolved oxygen among others were evaluated in a two months period in order to establish this behavior as function of time.

No significant difference was found between the two systems in most of the physical and chemical parameters evaluated, nevertheless removals above 60% for BOD and 90% for ammonia nitrogen. Also the contact between the air and the liquid in the wetland surface improves the gas exchange in a simple and effective way as is observed with the increase of dissolved oxygen.

Keywords: Constructed wetland, wastewater, water treatment.

Editora: Pataquiva-Mateus, A. Y.

Citation: Suárez, A., Agudelo, N., Rincón, J. y Millán, N. (2014). Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista Mutis 4(1); pag 8-14*

Received: Abril 20, 2014; **accepted:** Junio 2, 2014; **Published on line:** Junio 30/2014

Copyright: ©2014 Suárez *et al.* This is an open-access article, which permits unrestricted use, distributions and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Competing Interests: The authors have no conflict of interest.

Resumen

Humedales artificiales de flujo subsuperficial fueron evaluados con el fin de establecer su aplicabilidad al tratamiento de aguas residuales domésticas de la Universidad Libre, sede Bosque Popular. Dos humedales a escala banco fueron construidos en acrílico transparente, uno plantado con especies típicas de humedales naturales en Bogotá, y una unidad control sin plantar. El seguimiento se realizó durante un período de 2 meses, ejecutando los respectivos análisis para determinar la disminución de materia orgánica, sólidos suspendidos totales, y fósforo y nitrógeno, entre otros parámetros físicos y químicos.



Se encontró que si bien, no existe una diferencia significativa entre los parámetros físicos determinados para el humedal con y sin plantas, este tipo de sistemas son bastante efectivos para remover carga orgánica, puesto que más del 60% de ella fue removida y para nitrógeno amoniacal se llegó a remociones de más del 90%; además de que el movimiento del agua y el contacto de la superficie del humedal con el oxígeno del aire, permite el intercambio de gases de una manera sencilla y efectiva como se ve reflejado en el incremento de oxígeno disuelto.

Palabras clave: humedales artificiales, aguas residuales, tratamiento de aguas.

Introducción

Los humedales naturales presentan cualidades y funciones que benefician al medio ambiente específicamente a la sociedad y a las especies animales. Las funciones físicas que poseen estos sistemas radican en la regulación del ciclo del agua, las funciones químicas apoyan la regulación de ciclos de nutrientes y descomposición de biomasa, y las funciones bioecológicas apuntan a la productividad biológica, estabilidad e integridad de ecosistemas y retención de óxido de carbono.

El humedal artificial funciona como un sistema diseñado especialmente para el tratamiento de algún tipo de agua residual y puede ser utilizado para mejorar la calidad del agua residual, en el cual, mediante procesos físicos, químicos y biológicos, se permite la degradación de la materia orgánica. Además estos sistemas son de bajo costo, son de fácil operación y mantenimiento, y su nivel de eficiencia es mayor comparada con los sistemas de tratamiento convencionales.

La primera vez que se utilizó la palabra humedal artificial fue en la Convención sobre los Humedales Ramsar, Irán en 1971, a partir de esta fecha se han desarrollado estudios sobre este tema en Estados Unidos, Europa y Suramérica, también se han construido humedales artificiales donde los resultados han sido satisfactorios (Salud, 1999). Desde 1976 se reportan en Sudáfrica, Estados Unidos y Gran Bretaña experiencias en sistemas con áreas inundadas, como pantanos y manglares naturales y a partir de 1986, se empiezan a introducir los sistemas de humedales construidos o artificiales. En los años 90 se notó un incremento en la utilización de humedales artificiales no solamente para tratar agua residual municipal, sino también para tratamiento de agua

lluvia y aguas residuales provenientes de actividades industriales y agrícolas. En la actualidad este tipo de sistemas se aplica en varios países de Europa, América, África y en Australia, no solamente para tratar aguas residuales domésticas sino también para tratar efluentes con muy distintas características (Mburu et al., 2013; Sklarz et al., 2009; Wu et al., 2011).

La utilización de humedales construidos para la depuración de aguas residuales se remonta a comienzos del siglo XX. Las ciénagas, humedales y turberas se conocían como los mejores receptores de aguas servidas, jugando un papel purificador importante. Las primeras nociones científicas relacionadas con el uso de humedales artificiales para el tratamiento de aguas usadas, se remontan a 1946 en el Max Plank Institute System (MPIS) donde se evaluó el tratamiento mediante humedales de flujo horizontal para aplicaciones de aguas tanto municipales como industriales entre otras en el campo de los textiles, cervecerías y lechería (Arcos et al., 2002).

Diversos estudios se han realizado hasta el día de hoy para evaluar la capacidad de reducción de compuestos orgánicos e inorgánicos en humedales artificiales (Abe et al., 2014; Chan et al., 2008; Chang et al., 2012); Chan, Tsang, Cui, & Chua, 2008; Chang, Wu, Dai, Liang, & Wu, 2012). Este es el caso de un estudio de un humedal a escala laboratorio alimentado con agua del río Bogotá tomada a la altura del campus universitario "Río Grande" en Cajicá (Cundinamarca) de la Universidad Militar Nueva Granada. Se obtuvieron reducciones de DBO del 37%, DQO del 10%, coliformes totales de 49%, sólidos suspendidos totales de 27%, nitritos y nitratos de 83% y 30% respectivamente, donde se concluyó que a escala laboratorio, un humedal artificial de flujo vertical mejoraría la calidad del agua del río Bogotá en este sector (Rodríguez & Ospina, 2005). Del mismo modo, humedales en varias etapas han sido empleados como tratamiento terciario para aguas residuales (Konnerup et al., 2009; Mæhlum & Stålnacke, 1999; Mburu, et al., 2013). En Latinoamérica, aguas residuales provenientes de la combinación del agua de la población de Tapachula (350-450 habitantes), con el agua del lavado del beneficio húmedo de café fueron tratadas en un humedal artificial empleando *Saccharum spp.*, *Panicum maximum*, *Vetiveria zizanioides*, *Heliconia psittacorum* y *Lorophytum conmutatum*. El medio poroso del humedal fue constituido por capas de grava y arena de más de 80 cm de espesor. El análisis estadístico demostró eficiencias de remoción de 92% de la demanda química de oxígeno y 95-96% para coliformes fecales, sin embargo la conductividad pre-

sentó un aumento debido a la disolución de las sales del medio poroso (Orozco *et al.*, 2006).

El agua resultado del tratamiento con humedales puede ser usada en procesos agrícolas y de acuicultura. En México un humedal artificial con una superficie de 55 m² alimentada con un flujo vertical intermitente, repartido en 4 dosificaciones diarias de 1,000 L cada una, equivalentes a una carga hidráulica superficial (CHS) de 72 mm³/mm² logró una reducción global de hasta 92% de la demanda química de oxígeno (DQO), 85% de N-NH₄ y 80% de PO₄ 3- permitiendo su uso en acuicultura (Ramírez *et al.*, 2009).

Una de las más importantes aplicaciones de los humedales artificiales es la remoción de metales pesados por fitoacumulación de los mismos en las plantas del humedal (Cheng *et al.*, 2002; He *et al.*, 20013; Lee & Scholz, 2006; Limtay *et al.*, 2003; Tromp *et al.*, 2012; Yeh *et al.*, 2009). Mediante el uso de *Penisetum purpureum*, *Brachiaria decumbens* y *Phragmites australis* cultivadas en humedales con lechos de grava se determinó la remoción de cromo para soluciones de entre 10 y 20 mg Cr dm⁻³ obteniendo altas remociones de la especie metálica por fitoadsorción al interior de las especies plantadas (Mant *et al.*, 2006).

Materiales y métodos

La recolección de la muestra de agua residual doméstica se llevó a cabo con el método manual de muestreo puntual en una caja de inspección de la Universidad Libre, campus Bosque Popular. Se utilizaron botellas plásticas limpias como contenedores para las muestras de agua, las cuales se almacenaron en una nevera industrial a una temperatura de 4 °C.

Los parámetros determinados en la caracterización inicial fueron temperatura, turbidez, conductividad, sólidos suspendidos totales, pH, fósforo, nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánico, oxígeno disuelto, nitratos, nitritos, DBO₅ y DQO. La determinación de los mismos se realizó de acuerdo a los procedimientos del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Eaton, Franson, Association, Association, & Federation, 2005). Se realizó seguimiento de los parámetros oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, DBO, oxígeno disuelto y pH por considerarlos de mayor importancia de acuerdo a los niveles reflejados en la evaluación inicial. Dicha evaluación se realizó por sesenta días con muestreos cada cinco días de las características de entrada y

de salida de los humedales. Se reportaron remociones en función de los parámetros medidos con excepción de oxígeno disuelto. Para el análisis de los datos del humedal, se denomina HV al humedal plantado y HC al humedal sin plantas. La DBO y el nitrógeno amoniacal fue medido cada 4 días, mientras que los demás parámetros y los sólidos suspendidos fueron evaluados cada semana.

Para el diseño del humedal (HSS) se utilizó la metodología clásica recomendada por la *Environmental Protection Agency* (EPA) (Development & Laboratory). Se utilizaron 12.800 cm³ de grava con diámetros de 1/2", 3/8", 1/4" y 1/8". La grava fue dispuesta en volúmenes de 3.200 cm³ utilizando los cuatro diámetros ordenados de mayor a menor en forma ascendente en las dos unidades experimentales, cada capa tuvo un grosor de 4 cm. Cada unidad está hecha de acrílico de 3 mm de grosor, de 20 cm de ancho y 40 cm de largo. El tiempo de retención hidráulico se fijó en tres días.

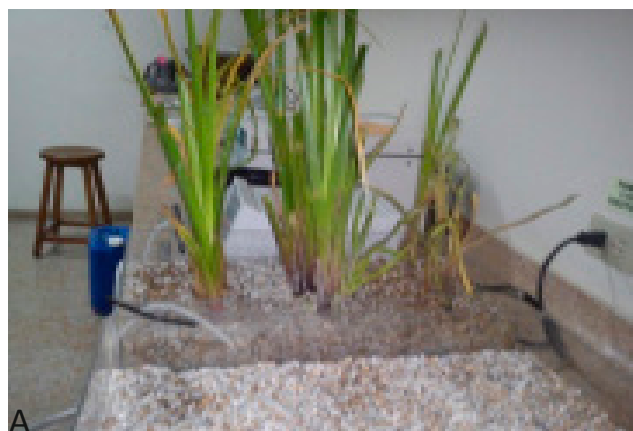


Figura 1. Humedales artificiales, sembrado (A) y sin sembrar (B)

Para la selección de plantas se visitaron algunos humedales naturales de la ciudad de Bogotá D. C. y basados en investigaciones previas que reseñan las plantas de los mismos (Ruiz & Humedales, 2012), se reconocieron las especies vegetales que estos poseen. Como resultado de estas visitas, las plantas a emplear fueron *Zantedeschia aethiopica*, *Juncais carex* sp. y *Schoenoplectus californicus*.

Resultados

Caracterización inicial del agua residual

Los resultados obtenidos de la caracterización inicial del agua el primer día de operación del humedal se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Caracterización inicial del agua residual

Parámetro	Unidad	Valor medio	Desviación estándar	Valores límites máximos permisibles (Resolución 3957 de 2009 Secretaría Distrital de Ambiente)
SST	mg/l	856	±35,4	600,0
Turbidez	NTU	14,03	±0,91	-
Temperatura	°C	23,5	±0,25	< 30 °C
Conductividad	ms/cm	2,24	±0.45	-
Fósforo	mg/l	5.8	±0,077	5,0
Nitrógeno amoniacal	mg/l	423.7	±31.09	10,0
Nitratos	mg/l	7.9	±0,21	10,0
Nitritos	mg/l	0.698	±0,05	2,0
DBO ₅	mg/l O ₂	297.7	±0,20	800,0
DQO	mg/l O ₂	268.4	±0,25	1500,0
Oxígeno disuelto	mg/l O ₂	0.60	±0,15	-
pH	Unidades de pH	7.30	±0,032	5,0 – 9,0

Algunos de los parámetros medidos están por fuera de la normatividad vigente, como son sólidos suspendidos totales, fósforo, nitrógeno amoniacal y DBO. Las aguas residuales domésticas tienden a tener grandes cantidades de sólidos DBO por su naturaleza, además las altas cantidades de nitrógeno amoniacal son debidas a la urea recibida por los servicios sanitarios.

Evaluación temporal de parámetros

En la figura 2 se observa que la concentración de oxígeno disuelto a la entrada del humedal tiene valores muy bajos, por debajo de 1.0 mg/l durante todo el tiempo en el cual se realizó el seguimiento del humedal. Dicho valor se incrementa hasta valores de entre 2.0 y 2.5, siendo bajos para efectuar procesos bajo condiciones aerobias, sin embargo permiten el proceso de nitrificación, la cual se inhibe por debajo de 1.0 mg/l de oxígeno disuelto.

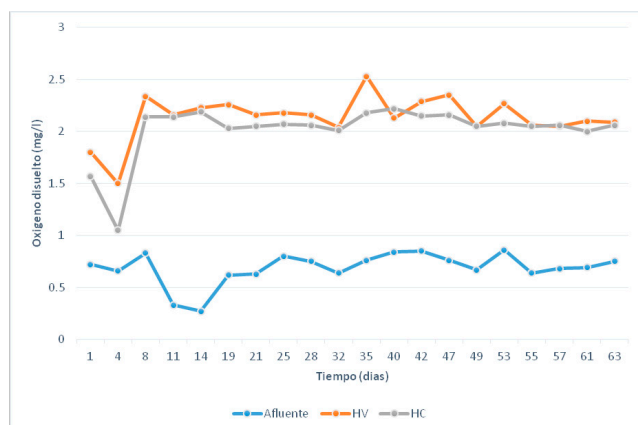


Figura 2. Comportamiento del oxígeno disuelto en función del tiempo

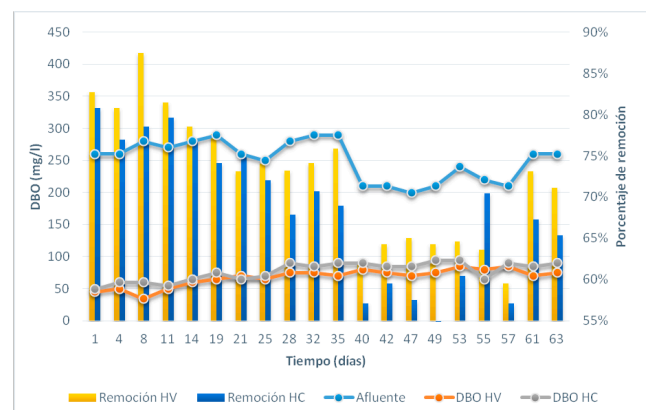


Figura 3. Comportamiento de la DBO5 en función del tiempo

Como se aprecia en la figura 3, el porcentaje de remoción de DBO tiende a disminuir durante los primeros cuarenta días, iniciando con valores por encima del 80 % y finalizando con valores de entre el 60 y el 70 % de disminución de DBO. Del mismo modo se observa que existe una pequeña diferencia entre el porcentaje de remoción del humedal plantado y el no plantado, a pesar de esto las plantas no ejercen efecto que mejore la eficiencia del proceso, puesto que el proceso de mineralización de materia orgánica está siendo realizado por la biomasa adherida al material de relleno presente en el humedal.

Se observa en la figura 4 que el humedal plantado presenta una mayor remoción de nitrógeno amoniacal, situación que se aprecia con mayor claridad después del día 21 de operación del humedal, durante los días previos este hecho no es tan marcado debido a la adaptación de las plantas al medio en el cual fueron expuestas. La disminución del nitrógeno en el humedal plantado se debe a la comunidad bacteriana adherida al relleno la cual por las condiciones en que se encuentra se espera que remueva dicho elemento por procesos de nitrificación/desnitrificación, hecho que ocurre también en el humedal no plantado. La remoción adicional se debe a las plantas presentes en el humedal sembrado, las cuales toman el nitrógeno amoniacal para sus procesos metabólicos.

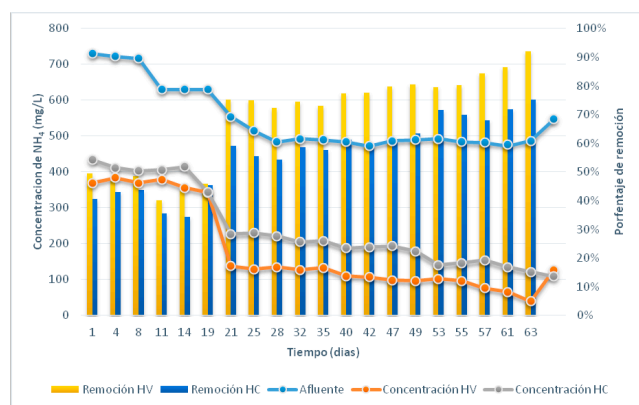


Figura 4. Comportamiento de la concentración de nitrógeno amoniacal en función del tiempo

En la figura 5 se aprecia que durante la mayor parte del tiempo que tomo el estudio, la remoción de fósforo realizada por el humedal no plantado fue mayor que la del humedal plantado, aunque la diferencia en los porcentajes de remoción no es muy alta. Si bien se esperaría que la remoción hecha por el humedal plantado fuese mayor que la del otro humedal.

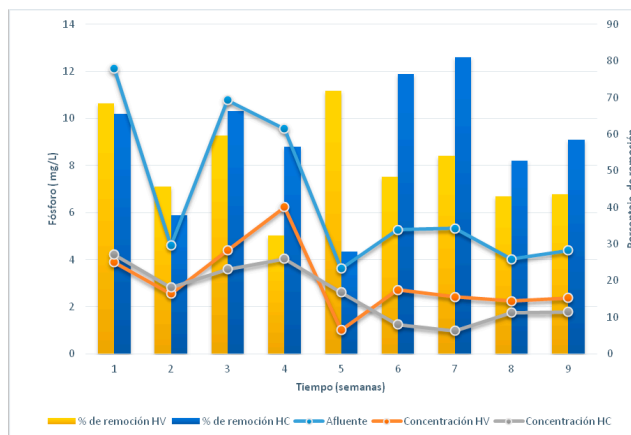


Figura 5. Comportamiento de la concentración de fósforo en función del tiempo

(debido a que este presenta una mayor cantidad de biomasa que requiere de este macronutriente para su sostenimiento, desarrollo y crecimiento), es posible que por la dinámica vital de las especies plantadas la tasa de utilización de fósforo durante el período de tiempo de los análisis no fuese considerable y debido a esto no se observan diferencias significativas.

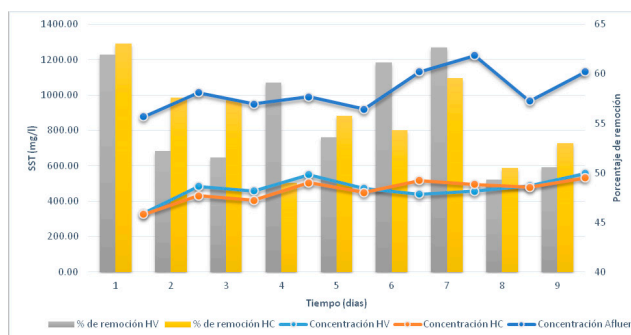


Figura 6. Comportamiento de la concentración de sólidos suspendidos totales en función del tiempo

No se aprecia una diferencia significativa entre la remoción de sólidos suspendidos realizada por los dos humedales de acuerdo a la figura 6, siendo el material de relleno y la baja velocidad de flujo la causa de la remoción o retención de los sólidos suspendidos, además de la posible descomposición debida a los microorganismos que se encuentran adheridos al lecho empleado.

Conclusiones

Los humedales artificiales evaluados, tanto el plantado como el sin plantar mejoraron notablemente la calidad del agua del afluente estudiado. Si bien la mayor parte de los parámetros no presentaron diferencias

sustanciales en sus valores, se aprecia una marcada diferencia en la capacidad de remoción de nitrógeno amoniacal del humedal plantado y el no plantado, hecho que puede ser causado por la evapotranspiración realizada por las plantas en el humedal y a la necesidad de este compuesto en las mismas para sintetizar proteínas. La remoción de fósforo entre los dos humedales no presenta diferencias apreciables, hecho causado por el ciclo de vida de las plantas y la poca profundidad alcanzada por las raíces durante el período de tiempo de los ensayos, de manera que estas no pudieron estar en contacto con una mayor cantidad del líquido contenido en el humedal.

Referencias

- Abe, K., Komada, M., Ookuma, A., Itahashi, S., & Banzai, K. (2014). Purification performance of a shallow free-water-surface constructed wetland receiving secondary effluent for about 5 years. *Ecological Engineering*, 69(0), 126-133. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.03.040>
- Arcos Ramos, R., Cantellano de Rosas, E., Alejo Nabor, M. D. L. L., García Morales, R., & Solís Casas, R. (2002). Remoción de la materia orgánica mediante la utilización de humedales artificiales en la comunidad de Sta. Maria Nativitas Texcoco Edo. de México. In *Memorias* (pp. 1-8). FEMISCA.
- Chan, S. Y., Tsang, Y. F., Cui, L. H., & Chua, H. (2008). Domestic wastewater treatment using batch-fed constructed wetland and predictive model development for NH₃-N removal. *Process Biochemistry*, 43(3), 297-305. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2007.12.009>
- Chang, J.-j., Wu, S.-q., Dai, Y.-r., Liang, W., & Wu, Z.-b. (2012). Treatment performance of integrated vertical-flow constructed wetland plots for domestic wastewater. *Ecological Engineering*, 44(0), 152-159. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.03.019>
- Cheng, S., Grosse, W., Karrenbrock, F., & Thoennesen, M. (2002). Efficiency of constructed wetlands in decontamination of water polluted by heavy metals. *Ecological Engineering*, 18(3), 317-325. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0925-8574\(01\)00091-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-8574(01)00091-X)
- Development, & Laboratory, N. R. M. R. *Manual constructed wetlands treatment of municipal wastewaters*: U. S. Environmental Protection Agency.
- Eaton, A. D., Franson, M. A. H., Association, A. P. H., Association, A. W. W., & Federation, W. E. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*: American Public Health Association.
- He, W., Zhang, Y., Tian, R., Hu, H., Chen, B., Chen, L. K., & Xu, F. (2013). Modeling the purification effects of the constructed Sphagnum wetland on phosphorus and heavy metals in Dajiuhu Wetland Reserve, China. *Ecological Modelling*, 252(0), 23-31. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.09.025>
- Konnerup, D., Koottatep, T., & Brix, H. (2009). Treatment of domestic wastewater in tropical, subsurface flow constructed wetlands planted with *Canna* and *Heliconia*. *Ecological Engineering*, 35(2), 248-257. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.04.018>
- Lee, B.-H., & Scholz, M. (2006). Application of the self-organizing map (SOM) to assess the heavy metal removal performance in experimental constructed wetlands. *Water Research*, 40(18), 3367-3374. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2006.07.027>
- Lim, P. E., Tay, M. G., Mak, K. Y., & Mohamed, N. (2003). The effect of heavy metals on nitrogen and oxygen demand removal in constructed wetlands. *Science of The Total Environment*, 301(1-3), 13-21. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00304-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00304-2)
- Mæhlum, T., & Stålnacke, P. (1999). Removal efficiency of three cold-climate constructed wetlands treating domestic wastewater: Effects of temperature, seasons, loading rates and input concentrations. *Water Science and Technology*, 40(3), 273-281. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223\(99\)00441-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00441-2)
- Mant, C., Costa, S., Williams, J., & Tambourgi, E. (2006). Phytoremediation of chromium by model constructed wetland. *Bioresource Technology*, 97(15), 1767-1772. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2005.09.010>

- Mburu, N., Tebitendwa, S. M., van Bruggen, J. J. A., Rousseau, D. P. L., & Lens, P. N. L. (2013). Performance comparison and economics analysis of waste stabilization ponds and horizontal subsurface flow constructed wetlands treating domestic wastewater: A case study of the Juja sewage treatment works. *Journal of Environmental Management*, 128(0), 220-225. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.05.031>
- Orozco, C., Cruz, A., Rodríguez, M., & Pohlan, A. (2006). Humedal subsuperficial de flujo vertical como sistema de depuración terciaria en el proceso de beneficiado de café. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 6, 7.
- Ramírez, H. F., Luna, V. M., & Arredondo, J. L. (2009). Evaluación de un humedal artificial de flujo vertical intermitente, para obtener agua de buena calidad para la acuicultura. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 8(1), 7.
- Texcoco Edo. de Mexico Retrieved 02/06, 2014, from <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/107.pdf>
- Rodríguez, T., & Ospina, I. (2005). Humedales artificiales de flujo vertical para mejorar la calidad del agua del río Bogotá. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* 15, 11.
- Ruiz, A. G., & Humedales, (2012). *Plantas de los humedales de Bogotá y del Valle de Ubaté*: Instituto Alexander von Humboldt.
- Salud, O. P. d. I. (1999). *Sistemas de tratamiento de aguas servidas por medio de humedales artificiales*. Bogotá D. C.
- Sklarz, M. Y., Gross, A., Yakirevich, A., & Soares, M. I. M. (2009). A recirculating vertical flow constructed wetland for the treatment of domestic wastewater. *Desalination*, 246(1-3), 617-624. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2008.09.002>
- Tromp, K., Lima, A. T., Barendregt, A., & Verhoeven, J. T. A. (2012). Retention of heavy metals and poly-aromatic hydrocarbons from road water in a constructed wetland and the effect of de-icing. *Journal of Hazardous Materials*, 203-204(0), 290-298. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.12.024>
- Wu, S., Austin, D., Liu, L., & Dong, R. (2011). Performance of integrated household constructed wetland for domestic wastewater treatment in rural areas. *Ecological Engineering*, 37(6), 948-954. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.02.002>
- Yeh, T. Y., Chou, C. C., & Pan, C. T. (2009). Heavy metal removal within pilot-scale constructed wetlands receiving river water contaminated by confined swine operations. *Desalination*, 249(1), 368-373. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2008.11.025>