

Remoción del carbono orgánico disuelto en humedales piloto de flujos subsuperficial y superficial

Removal of dissolved organic carbon in pilot wetlands of subsuperficial and superficial flows

Ruth M. Agudelo C¹; Mónica L. Jaramillo G²; Gustavo Peñuela M³; Néstor J. Aguirre R⁴.

¹ Ingeniera sanitaria, magíster en educación y desarrollo comunitario, candidata a doctora en ingeniería ambiental, profesora de la Facultad Nacional de Salud Pública, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Correo electrónico: rmagudelo123@hotmail.com

² Estudiante de la Facultad Nacional de Salud Pública, Medellín, Colombia. Correo electrónico: molujara@hotmail.com

³ Doctor en química ambiental, director del Grupo Diagnóstico y Control de la Contaminación (gdcocn), profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Correo electrónico: gpenuela@udea.edu.co

⁴ Doctor en recursos naturales, Grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Correo electrónico: naguirre@udea.edu.co

Recibido: 7 de julio de 2009. Aprobado: 24 de marzo de 2010

Agudelo RM, Jaramillo ML, Peñuela G, Aguirre NJ. Remoción del carbono orgánico disuelto en humedales piloto de flujos subsuperficial y superficial. Rev. Fac. Nac. Salud Pública 2010; 28(1): 21-28

Resumen

Objetivo: comparar las remociones del carbono orgánico disuelto (COD) obtenidas con humedales piloto de flujo subsuperficial (HPSS) y de flujo superficial (HPS) mediante *Phragmites australis*, usado como alternativa de tratamiento para aguas residuales domésticas de pequeñas comunidades y zonas rurales. **Metodología:** se realizó un estudio de tipo exploratorio experimental adicionando 100,12 mg/L. de carbono orgánico disuelto en agua sintética contaminada con Clorpirifos, con la que se alimentaron los humedales. Se efectuaron 20 muestreos, 16 de ellos para cuatro experimentos y los restantes, en los intervalos en que no se agregó plaguicida. Se tomaron muestras los días 1, 4, 8 y 11 en los seis humedales, tres de ellos subsuperficiales y tres superficiales. La principal varia-

ble respuesta fue carbono orgánico disuelto, medida en el analizador de carbono orgánico. **Resultados:** con los dos tipos de humedales se obtuvo alta eficiencia en la remoción del COD: 92,3% con flujo subsuperficial y 95,6% con flujo superficial. Esta alta remoción fue ocasionada por la interacción entre las plantas, la grava y los microorganismos. **Conclusión:** en ambos tipos de humedales la remoción fue alta y semejante, pero se recomienda utilizar los de flujo subsuperficial porque en los superficiales se desarrollaron algas y biopelículas gelatinosas, y son propicios para el desarrollo de vectores epidemiológicos importantes en salud pública.

-----**Palabras clave:** tratamiento de aguas residuales, humedales construidos, macrófitas, carbono orgánico disuelto

Abstract

Objective: to compare removal of dissolved organic carbon (DOC) obtained with pilot wetlands of subsuperficial flow (PHSS) and superficial flow (PHS), with *Phragmites australis* as treatment alternatives for domestic residual waters of small communities and rural areas. **Methodology:** an exploratory and experimental study was carried out adding 100,12 mg/L of dissolved organic carbon to synthetic water contaminated with Chlorpyrifos in order to feed the wetlands. A total amount of 20 samples were done, 16 of them in four experiments and the other ones in the intervals with no use of pesticides. Samples were taken on days 1, 4, 8, and 11 in the six wetlands, three of them subsuperficial, and three of them superficial. The main variable answer was dissolved organic

carbon, measured in the organic carbon analyzer. **Results:** a high efficiency in the removal of DOC was obtained with the two types of wetlands: 92,3% with subsuperficial flow and 95,6% with superficial flow. Such a high removal was due to the interaction between plants, gravel and microorganisms. **Conclusion:** although in both types of wetlands the removal was high and similar, it is recommended to use those of subsuperficial flow because in the superficial ones algae and gelatinous bio-films are developed, which becomes favorable to the development of important epidemiologic vectors in terms of public health.

-----**Key words:** treatment of residual waters, built wetlands, macrophytes, dissolved organic coal

Introducción

La escasez de agua es uno de los mayores problemas que tiene que enfrentar el hombre, pues dicho recurso se reduce en cuanto a cantidad y calidad. Por ello, resulta necesario emprender acciones a favor de solucionar los problemas de agua potable y de saneamiento básico. Este último se debe dar tanto con las aguas residuales de las zonas urbanas como con las rurales, bien sea para reutilizarlas o simplemente para que los vertimientos de éstas a las fuentes receptoras se realicen con menor carga de contaminantes (1). La protección de la salud pública y del medio ambiente son principios fundamentales que exigen el tratamiento de las aguas residuales domésticas (2), así como uno de los mayores retos a los cuales se enfrenta la humanidad para garantizar un ambiente saludable a las futuras generaciones.

Desde hace algún tiempo se han tratado aguas residuales domésticas por diferentes sistemas de depuración; uno de ellos es el de los humedales construidos, que se han usado principalmente para pequeñas comunidades urbanas y rurales (3). Estos sistemas se han clasificado básicamente en dos tipos: uno de flujo libre o superficial y otro de flujo subsuperficial, y en ambos pueden disponerse las mismas especies vegetales (4). El tratamiento de aguas residuales en humedales se origina básicamente por la interacción efectiva entre aire, plantas, agua, suelo y los microorganismos encargados de realizar la degradación de contaminantes presentes en el agua residual doméstica (5). Al utilizar esta tecnología, se contribuye a minimizar los problemas, tanto ambientales como de salud pública, derivados de la falta de recursos en la construcción de infraestructuras para el tratamiento de aguas.

Esta investigación se realizó con el propósito de contribuir en la disminución de la problemática de saneamiento básico y mejorar la calidad del agua residual, utilizando tecnologías simples y económicas para su tratamiento. Teniendo presente este propósito, se trabajó con dos tipos de humedales: de flujo superficial y de flujo subsuperficial, ambos a escala piloto, para determinar cuál era el más eficiente en la remoción de la materia orgánica disuelta y aplicar sus condiciones en la construcción de un humedal a escala real en el zona rural.

Metodología

Montaje de los humedal piloto de flujo subsuperficial y de flujo superficial

La investigación se desarrolló en los laboratorios del Grupo Diagnóstico y Control de la Contaminación (GDCCON) de la Facultad de Ingeniería, ubicados en la Sede de Investigación Universitaria (SIU) de la Universidad de

Antioquia. Se realizó un estudio de tipo exploratorio experimental utilizando humedales HPSS y humedales HPS. Se construyeron en fibra de vidrio tres réplicas de los humedales HPSS (HA, HB y HC) y tres HPS (HD, HE y HF) (figura 1); en ellos se dispuso el mismo material granular como lecho de fondo a distintas profundidades, plantados con *Phragmites australis* (carrizo o caña común), traídas del humedal subsuperficial de la planta de sacrificio de San Vicente, Antioquia, y abastecidos a flujo continuo con agua sintética contaminada con Clorpirifos. La altura del material granular varió según el tipo de humedal. En la tabla 1 se describen las características y condiciones de diseño de los humedales HPSS y HPS.

El agua sintética empleada para abastecer los humedales se preparó con base en la fórmula propuesta por Dangcong (6). Se utilizó glucosa ($C_6H_{12}O_6$) para proporcionar los sustratos de carbono orgánico, cloruro de amonio (NH_4Cl), cloruro de magnesio ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$), fosfato dihidrogenado de potasio (KH_2PO_4) y fosfato dipotásico hidrogenado (K_2HPO_4) para suministrar los principales nutrientes que requerían los microorganismos.

La cantidad de COD empleada para el abastecimiento de los humedales piloto fue constante durante el tiempo de experimentación (100,12 mg/L en promedio). Para la medición del COD, en las muestras tomadas tanto en la entrada como en la salida de los humedales HPSS y en los HPS, se utilizó el equipo analizador de carbono orgánico (IO-analytical 1010 con combustión húmeda y detector infrarrojo no dispersivo), calibrado constantemente. Para la cuantificación del COD se realizaron 10 curvas de calibración, en el rango de concentración desde 1,0 a 10,0 mg/L, y posteriormente se empleó la curva con mejor pendiente y coeficiente de determinación. El abastecimiento de los humedales se efectuó mediante un sistema combinado (gravedad y bombeo), conectado a una tubería hidráulica de PVC con válvulas para regular el caudal de entrada.

Muestreo en los humedales piloto de flujo subsuperficial y superficial

Después de la maduración de los sistemas y la apropiada aclimatación de los microorganismos por un período de 90 días, se inició la evaluación de la remoción del COD. Se realizaron 20 muestreos, 16 de ellos pertenecientes a los cuatro períodos de muestreo y los restantes a los intervalos en los que no se adicionó el plaguicida Clorpirifos, tanto en el afluente como en el efluente de cada humedal. El seguimiento se realizó por cuatro meses, modificando las condiciones de los experimentos cada 11 días.

El número de períodos de muestreo (cuatro) se determinó con base en las concentraciones del plaguicida Clorpirifos adicionada al sistema (0,0, 476,97, 588,60



Figura 1. Montaje de los humedales piloto de flujo superficial (a) y subsuperficial (b) (SISU-Universidad de Antioquia)

Tabla 1. Especificaciones de diseño para los humedales HPSS y HPS

Parámetro	U./medida	Humedales HPSS	Humedales HPS
		Especificación	Especificación
Material de construcción		Fibra de vidrio	Fibra de vidrio
Dimensiones superficiales	m	1,00 × 0,60	1,00 × 0,60
Profundidad total	m	0,6	0,6
Altura de lámina de agua	m	0,2	0,4
Profundidad de la grava	m	0,3	0,1
Diámetro de material granulado	mm	6,35 – 3,87	6,35 – 3,87
Volumen útil humedal	m ³	0,18	0,24
Caudal de entrada	cm ³ /min.	4,6	4,6
Tiempo de retención	días	7	7
Espaciamiento superficial plantas	m	0,25	0,25

y 788,48 µg/L), definidas como se describe a continuación. Resulta importante aclarar que los resultados de la remoción del plaguicida fueron objeto de estudio en otra investigación, por lo que no se analizaron en el presente trabajo.

Clorpirifos 0,00 µg/L = primer período

Clorpirifos 476,97 µg/L = segundo período

Clorpirifos 588,60 µg/L = tercer período

Clorpirifos 788,48 µg/L = cuarto período

Para cada período se programaron muestreos los días 1, 4, 8 y 11, realizados con tres réplicas para ambos tipos de humedales HPSS y HPS. Siete días transcurrieron sin adición del plaguicida entre experimentos. En este tiempo se realizaron dos muestreos: el día 1 y el día 4.

En el primer intervalo, entre el segundo y tercer períodos, se dejó reposar el humedal y pasar de una concentración de 476,97 µg/L de Clorpirifos a 588,60 µg/L, y el segundo intervalo, entre el tercer y cuarto períodos, mientras pasaba la concentración del Clorpirifos de 588,60 µg/L a 788,48 µg/L en el afluente.

Para determinar la distribución de los datos, se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov, en tanto las pruebas no paramétricas de Friedman y Wilcoxon fueron aplicadas para establecer posibles diferencias entre los tratamientos (7). Se empleó el programa estadístico SPSS, versión 16.

Montaje del humedal de flujo subsuperficial a escala real

Se construyó un humedal de flujo subsuperficial a escala real para el tratamiento secundario de las aguas residuales domésticas producidas por un establecimiento público en la zona rural del municipio de Guarne (Antioquia), cuyo tratamiento primario se realizaba por medio de un tanque séptico. Las características principales de este humedal fueron: un caudal de entrada del agua a tratar de 60 mL/s y un tiempo de retención hidráulico de cinco días, recubierto por geomembrana de PVC de 0,5 mm y geotextil 1.600, y cuyas dimensiones fueron: 2,0 m de largo, 1,0 m de ancho y 0,6 m de profundidad (figura 2). En el centro del

humedal, a 0,5 m de cada extremo y a lo largo de 1,0 m, se depositó grava fina de 9,52 mm de diámetro; en los extremos (50 cm) se relleno con grava gruesa de 25,4 mm; y en toda la extensión del humedal, cada 25 cm se plantaron *Phragmites australis*, combinadas con *Heliconias caribaea*. Se utilizaron estas macrófitas por su gran resistencia a las propiedades de las aguas residuales, así como por su capacidad para almacenar nutrientes, su adaptación a profundidades variables del agua (8) y su abundancia en humedales naturales del país.

Resultados

Carbono orgánico disuelto (COD) en los humedales HPSS y HPS

Se encontró que la distribución de los datos obtenidos en el afluente y en los efluentes de ambos tipos de humedales no fue normal (valor $-p < 0,05$ prueba de Kolmogorov-Smirnov), por tanto, se aplicaron pruebas no paramétricas para el análisis de los resultados, y por medio de ellas se encontró que los efluentes de las réplicas, tanto de los humedales HPSS como de los correspondientes a los HPS, no diferían (valor $-p > 0,05$, prueba de Friedman), pero sí hubo diferencias al comparar los valores de COD entre los dos tipos de humedales (valor $p > 0,000$ prueba de Friedman) (tabla 2).

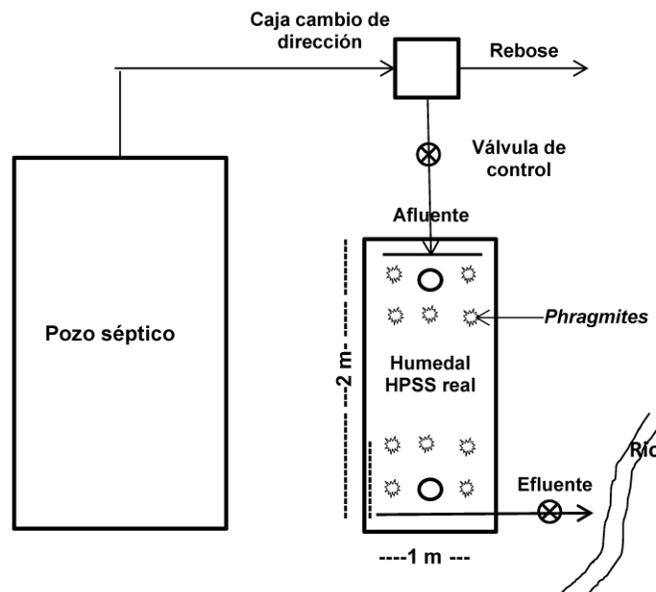


Figura 2. Esquema del humedal piloto de flujo subsuperficial a escala real, Guarne, Antioquia

Los estadísticos descriptivos mostraron que las medianas de COD en los efluentes de los humedales HPSS fueron similares entre sí. Sucedió lo mismo en los humedales HPS, donde las medianas no solo fueron cercanas, sino más bajas que en los humedales HPSS. Con los dos tipos de humedales, los datos presentaron coeficientes de variación altos, aunque la mayor heterogeneidad se presentó en los datos de los humedales HPS; los del humedal HF fueron los de mayor variación ($CV = 109,1\%$) (tabla 3).

Los porcentajes de remoción de COD, tanto en los humedales HPSS como en los HPS, estuvieron por encima de 91,9%, lo que indica que en los dos sistemas hubo alta eficiencia en el proceso de degradación de la materia orgánica, y los humedales HPS presentaron las mayores remociones. Estadísticamente se observó poca dispersión de los porcentajes de remoción del COD en ambos tipos de humedales (figura 3).

Variación del carbono orgánico disuelto en los humedales HPSS y HPS, en función de los muestreos

Las menores medianas del COD fueron obtenidas en los muestreos del último día en el efluente de cada uno

de los humedales HPSS, tal como puede observarse en la figura 4, y justamente en ese día se presentó la mayor concentración de COD en el afluente. Mientras tanto, en los humedales HPS se observó en los muestreos del día 4 una tendencia de valores más bajos en las medianas del COD. Nótese que en el humedal HF la concentración del COD disminuyó progresivamente con el transcurrir de los tres primeros muestreos (1, 4 y 8 días). Se concluye que en los efluentes de los dos tipos de humedales, según el período de muestreo, se presentaron concentraciones bajas de COD, lo que confirma que los menores valores se presentaron en los humedales HPS (tabla 4).

Con relación a los períodos de muestreo, el comportamiento de la concentración del COD en el primer período fue similar en ambos tipos de humedales durante los muestreos de los días 1, 4 y 8. Con el transcurso del tiempo, ambos sistemas continuaron con comportamientos similares, pero la concentración en los humedales HPSS fue ligeramente mayor. Nótese que en el último período de muestreo, en los humedales HPS aumentó la concentración del COD, superando incluso la de los HPSS (figura 4). El comportamiento en el tiempo refleja una disminución significativa de la concentración de COD en los efluentes de ambos tipos de humedales, lo que indica una alta remoción de tal variable.

Tabla 2. Prueba estadística de Friedman para COD en los efluentes de los humedales HPSS y HPS

		Prueba estadística de Friedman				
		N [*]	chi ²	gl [†]	Valor-p	Conclusión
COD	Humedales HPS	16	4,875	2	0,091	No difieren
COD	Humedales HPSS	16	1,500	2	0,534	No difieren
COD	Humedales HPSS vs. HPS	48	24,083	1	0,000	Difieren

* Número de datos; † Grados de libertad

Tabla 3. Estadísticos descriptivos del COD en el afluente y efluente de cada uno de los humedales HPSS y HPS

	Estadísticos COD HPSS mg/L				Estadísticos COD HPS mg/L			
	E	HA	HB	HC	HD	HE	HF	
N	16	16	16	16	16	16	16	
Media	100,12	8,10	8,26	6,92	6,12	3,99	5,22	
Mediana	99,20	7,49	7,85	6,59	5,28	3,75	3,64	
Mínimo	94,08	3,69	2,58	2,78	1,94	0,00	0,00	
Máximo	108,55	16,36	16,94	13,53	14,84	8,64	20,38	
DT	4,54	3,46	3,85	2,91	3,68	2,10	5,69	
CV %	4,53	42,69	46,67	41,97	60,16	52,66	109,07	

E: afluente; HA: humedal A; HB: humedal B; HC: humedal C; HD: humedal D; HE: humedal E y HF: humedal F

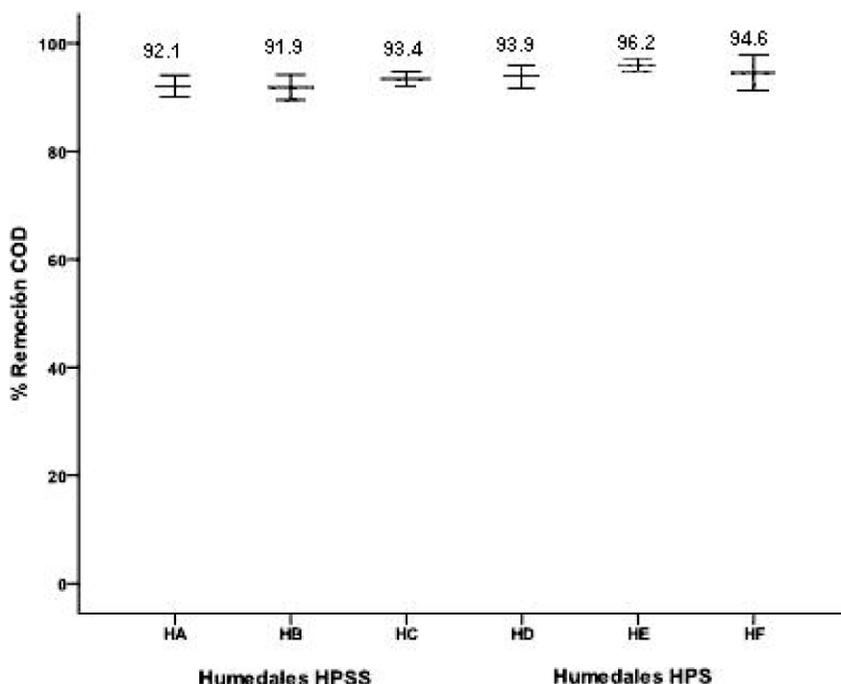


Figura 3. Eficiencias de remoción del cod en los humedales HPSS y HPS (las barras de error representan el intervalo de confianza de 95% para la media)

Tabla 4. Medianas del cod en el afluente y en los efluentes de los humedales HPSS y HPS, en función de los muestreos

Días	Humedales HPSS				Humedales HPS			
	E	HA	HB	HC	E	HD	HE	HF
Día 1	98,9	8,99	8,66	7,02	98,79	5,29	5,27	4,01
Día 4	96,62	7,51	7,90	5,87	96,62	3,88	2,69	3,46
Día 8	99,29	8,54	9,31	7,37	99,29	6,47	3,84	3,22
Día 11	101,51	7,24	5,72	6,59	101,51	7,11	2,90	4,32

E: entrada de COD al humedal; HA, HB, HC, HD, HE y HF: humedales con medianas de COD

La materia orgánica disuelta fue degradada en ambos tipos de humedales por los microorganismos que se desarrollaron en las superficies de la grava, así como por la acción de las plantas *Phragmites australis*. En los humedales HPSS, esta degradación se dio en forma aerobia en pequeñas superficies de los tallos sumergidos y en las raíces (9); en los humedales HPS este proceso se dio cerca de la superficie del agua, y en las zonas más profundas de ambos tipos de humedales prevaleció la descomposición anaerobia (10). Por otro lado, la materia orgánica disuelta en ambos sistemas pudo haber sido absorbida por las plantas y adherida a la biopelícula que se formó en el medio de soporte y en los tallos, dado

que en ambos sistemas estos componentes funcionaron como mecanismos de filtración y fijación.

En los periodos iniciales de muestreo, los humedales HPS presentaron concentraciones de COD muy bajas, pero con el transcurso del tiempo se observaron aumentos, incluso por encima de la concentración de los humedales HPSS. En cuanto a los HPS, su comportamiento pudo originarse por el desarrollo de una biopelícula gelatinosa de color verde y maloliente en la superficie de los humedales, formada por algas *Ulothrix* y Euglenoides, que muy probablemente disminuyó la actividad de los microorganismos e impidió la efectiva degradación de la materia orgánica con el paso del tiempo (figuras 4 y

5). Al respecto, llama la atención que en el humedal HE se redujo la concentración del COD en mayor proporción, porque en él se formaron algas en menor cantidad aunque estadísticamente no fue significativo (tabla 2 y figura 3).

Construcción del humedal de flujo subsuperficial HPSS a escala real

Como producto del proyecto de investigación “Remoción del carbono orgánico disuelto en humedales piloto construidos de flujo subsuperficial y superficial, 2008”, se diseñó un humedal real de flujo subsuperficial. El humedal se construyó siguiendo condiciones propor-

nales a las utilizadas en los humedales piloto de flujo subsuperficial, en cuanto a tamaño de grava, altura de la lámina de agua y de la grava y tipo de planta. Para ponerlo en operación, se tomó el efluente del pozo séptico de un establecimiento comercial y se vertieron en el humedal construido, donde se inició el tratamiento secundario de estas aguas, para posteriormente evacuar las menos contaminadas a la quebrada La Mosca. La secuencia del montaje del humedal real de flujo subsuperficial se observa en la figura 6.

Debido a que el sistema se encontraba en estado de maduración, no se realizaron pruebas cuantitativas al agua del efluente. La evaluación que se le hizo fue de carácter cualitativo, donde se vio la adaptación y el desarrollo de las ma-

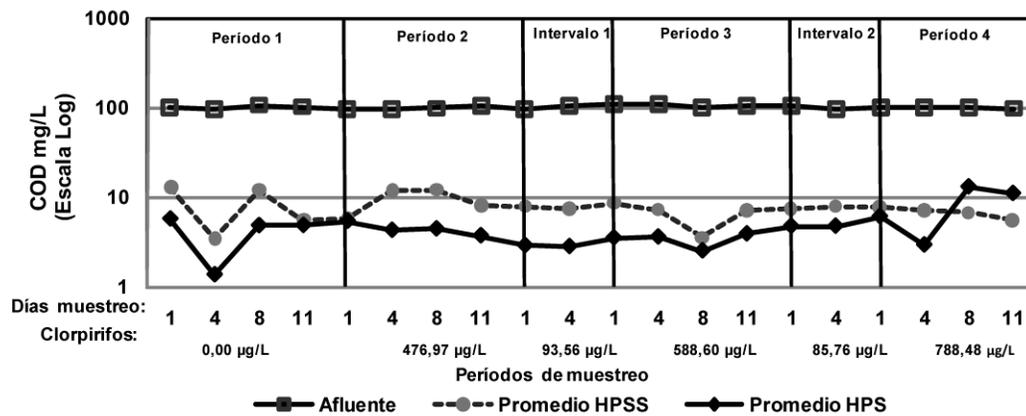


Figura 4. Variación de la concentración del COD en afluente y efluente de cada uno de los HPSS y HPS en función de los períodos de muestreo



Figura 5. Apariencia del agua en los humedales HPS en el primer período de muestreo (a) y en el último (b)



Figura 6. Construcción, maduración y tratamiento del humedal de flujo subsuperficial HPSS a escala real, en la vereda El Zango, municipio de Guarne.

crófitas *Phragmites australis* como un buen síntoma de que los procesos de depuración de las aguas están ocurriendo, ya que el agua del afluente del humedal presentó un color gris oscuro y en la salida fue casi transparente.

Conclusiones

El porcentaje de remoción promedio de carbono orgánico disuelto en los humedales piloto de flujo subsuperficial HPSS fue de 92,5%, mientras que en los HPS fue de 94,6%. Estos resultados indican que los dos tipos de humedales fueron muy eficientes para degradar la materia orgánica. Desde el punto de vista de la salud pública, son más recomendables los humedales HPSS, puesto que en los humedales HPS la lámina de agua está expuesta a la atmósfera, lo que posibilita la reproducción y desarrollo de vectores. Es de resaltar que la alta eficiencia en la remoción de la materia orgánica se conservó en ambos tipos de humedales, independientemente de los muestreos en los diferentes días.

Los resultados obtenidos con estos sistemas incentivaron la construcción de un humedal real de flujo subsuperficial para el tratamiento secundario de aguas residuales domésticas provenientes de un establecimiento comercial rural, en la vereda El Zango del municipio de Guarne (Antioquia). En la actualidad, el sistema construido se encuentra en etapa de maduración, las plantas se desarrollaron satisfactoriamente y el agua que entró con un aspecto de contaminación alto (color gris oscuro) salió del humedal muy clara, lo que hace pensar que el proceso de depuración se está efectuando adecuadamente.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Centro de Investigaciones de la Facultad Nacional de Salud Pública y al Grupo Diagnóstico y Control de la Contaminación (GDCON), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia,

por la financiación del proyecto, así como al Grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental (GAIA), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, por su asesoría.

Referencias

- 1 Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. El agua potable y el ambiente dañan en los planes de desarrollo. Los programas y proyectos municipales para el sector. En: La infancia, el agua y el saneamiento básico en los planes de desarrollo departamentales y municipales. Bogotá: UNICEF; 2006. p. 58-70.
- 2 Lara J. Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. [Tesis maestría] Barcelona: Instituto Catalán de tecnología, Universidad Politécnica de Cataluña; 1999. p. 18.
- 3 Ayaz SC. Post-treatment and reuse of tertiary treated wastewater by constructed wetlands. *Desalination* 2008; 226: 249-255.
- 4 Rousseau DP, Lesage E, Story PA, Vanrolleghem P, De Pauw N. Constructed Wetlands for water reclamation. *Desalination* 2008; 218: 181-189.
- 5 Llagas W, Guadalupe E. Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNSMS. *Rev. Instituto de investigación FIGMMG* 2006; 15 (17): 86-96.
- 6 Dangcong P, Barnet N, Delgenes JP, Moletta R. Effect of oxygen supply methods on the performance of a sequencing batch reactor for ammonium nitrification. *Water environment Research* 2000; 72(2):195-200. Citado por: Vives Fabregas M. SBR Technology for Wastewater Treatment: Suitable Operational Conditions for a Nutrient Removal [Tesis Doctoral] Girona: Universidad de Girona; 2005.
- 7 Wayne WD. Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud. 4ª Edición. México: Limusa Wiley; 2002. p. 684-691.
- 8 Bécares E. Función de la vegetación y procesos de diseño de humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal y flujo superficial. En: García J, Morató J, Bayona J. Nuevos Criterios para el Diseño y Operación de Humedales Construidos. Barcelona: Ediciones CPET UPC; 2004. p. 51-62.
- 9 Lahora A. Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: La EDAR de los Gallardos (Almería). En: Paracuellos M. Ecología, manejo y conservación de los humedales. España: Instituto de Estudios Almerenses; 2003. p. 99-112.
- 10 Rodríguez C. Humedales construidos: estado del arte I. *Rev. Ingeniería Hidráulica y ambiental* 2003; 24 (3): 35- 41.