

BIODEGRADABILIDAD DE FLUJOS DE ALIMENTACIÓN

En humedales artificiales piloto para el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario “ANTANAS”.

POWER FLOWS BIODEGRADABILITY

In pilot artificial wetlands

For the treatment of leachate fill health “ANTANAS”.

Fecha de recepción: 28 de septiembre de 2009

Fecha de aprobación: 8 de octubre de 2009

Por Hernán Darío Zamora Zamora

Ingeniero Químico, Universidad Nacional de Colombia
Profesor Auxiliar Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental. Universidad Mariana. Sublínea de Tratamientos de Aguas, Grupo de Investigación Ambiental GIA.
hzamora@umariana.edu.co

Paola Andrea Freire Guerrero

Estudiante Décimo Semestre de Ingeniería Ambiental. Universidad Mariana.
Proyecto Evaluación de Humedales Artificiales para Lixiviados del Relleno Sanitario Antanas.

Korin Samantha Jurado Benavides

Estudiante Décimo Semestre de Ingeniería Ambiental. Universidad Mariana.
Proyecto Evaluación de Humedales Artificiales para Lixiviados del Relleno Sanitario Antanas.

RESUMEN

El presente documento hace referencia al análisis de la biodegradabilidad utilizada como herramienta de interpretación de resultados en la evaluación de la remoción de cargas contaminantes, en términos de DBO_5 y DQO de lixiviados, mediante humedales artificiales piloto como tratamiento terciario del Relleno Sanitario Antanas. La investigación fue desarrollada por la Universidad Mariana y EMAS S.A. E.S.P (entidad cofinanciadora), empresa delegada para la recolección y la disposición final de los residuos sólidos en el Relleno.

Los humedales artificiales trabajaron en forma paralela bajo las mismas condiciones pero se diferenciaron en el flujo de alimentación. Las dos unidades operaron con la misma especie vegetal (Totora) e igual material de soporte. Uno de los flujos de alimentación fue el lixiviado proveniente del vaso uno clausurado y el otro,

el lixiviado proveniente de la laguna anaerobia. En esta investigación se obtuvo resultados que hacen referencia a la importancia de evaluar la biodegradabilidad como una propiedad de los flujos para determinar su tipo de tratamiento. El humedal con afluente proveniente de la laguna anaerobia obtuvo mayor remoción, debido a su biodegradabilidad media y mayor cantidad de materia orgánica. La unidad que trabajó con lixiviado viejo, con baja biodegradabilidad, lo caracterizó como lixiviado estabilizado (Ozzane, 1990), lo que se ve reflejado en sus bajas y nulas remociones.

PALABRAS CLAVES

Biodegradabilidad, Tratamiento de lixiviados, Remoción carga contaminante, Humedales artificiales.

ABSTRACT

This document refers to the analysis of the biodegradability used as a tool of results interpretation in the evaluation of loads pollutant removal, in terms of DBO₅ and DQO of leachate through wetlands artificial pilot as a tertiary treatment of the Sanitary Landfill "Antanas". The investigation was developed by Mariana University and EMAS S.A. E.S.P (cofinancier entity), as delegated company for the compilation and the final regulation of the solid residues in "Antanas" Landfill.

The artificial wetlands were employed in parallel form under the same conditions but they differed in the water flow. The two units operated with the same vegetable species (*Totora*) and the same material of support. One of the flows of power was the leachate from the first closed glass and the second one, the leachate from the anaerobic lagoon. In this research there were obtained results that refer to the importance of assessing the biodegradability as a property of flows to determine its type of treatment. The wetlands with affluent from the anaerobic lagoon obtained greater removal, due to its average biodegradability and greater amount of organic matter. The unit that worked with old leachate, with low biodegradability, characterized it like stabilized leachate (Ozzane, 1990), which is reflected in their casualties and void removals.

KEY WORDS

biodegradability, leachate treatment, pollutant loads removal, artificial wetlands.

INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos son subproductos de todas las actividades del hombre. El solo hecho de vivir, genera basura desde el mismo día en que nace hasta su muerte. En un principio el hombre producía sólo desechos biodegradables, básicamente desechos de comida; a medida que se fue "modernizando" fue cambiando su modo de vida y lógicamente sus residuos. La basura se produce continuamente: en el trabajo, en el proceso de elaboración de comida, en la industria, en las actividades deportivas, etc. En relación con el manejo de la basura se presenta tres

situaciones: la recolección, el barrido de calles y áreas públicas y la disposición final. (Collazos, 2001).

En la etapa de disposición final de residuos sólidos, aproximadamente 250 ton/día, en el Relleno Sanitario Antanas se genera los lixiviados, alrededor de 1L/s, los cuales presentan altas cargas contaminantes, representadas con los parámetros DBO₅, DQO y SST, que perjudican al ambiente y a la salud humana.

En el año 2001 se construyó el Relleno Sanitario Antanas, localizado a 13 km. del municipio de Pasto, en el sector norte, fuera del perímetro urbano de la ciudad, vía panamericana, el cual se ha proyectado para una vida útil de aproximadamente 40 años. En la actualidad se dispone los residuos sólidos del municipio de Pasto y de 20 municipios aledaños, por lo que el relleno se constituye como solución para la disposición final de los residuos sólidos de casi la tercera parte del departamento de Nariño. Por lo tanto, la alta generación de lixiviados y la búsqueda de un tratamiento adecuado para ellos, es una de las problemáticas que se afronta para mejorar la eficiencia en la disminución de su carga contaminante. Antanas cuenta con un tratamiento primario (captación y homogenización) y secundario (tratamiento biológico-proceso aerobio y anaerobio-) de sus lixiviados.

En Colombia la normatividad referida a vertimientos de aguas residuales industriales y domésticas en cuerpos de agua se establece en el decreto 1594 del 26 de Junio de 1984, el cual menciona los parámetros que debe cumplir todo vertimiento líquido a una fuente de agua y define los límites permisibles de contaminación en función de la remoción de los parámetros físico-químicos DBO₅ y SST. La DQO es de interés para las autoridades ambientales regionales. Dicha eficiencia debe alcanzar el 80% de remoción de los dos parámetros mencionados. Cuando una organización social no alcanza lo exigido por el decreto, debe pagar por su contaminación a través de un instrumento económico establecido en Colombia denominado *tasa retributiva*, establecida por la ley 99 de 1993.

1. METODOLOGÍA

La ejecución de la investigación se articuló bajo cuatro etapas: se inició con un dimensionamiento a escala piloto de los sistemas de humedales artificiales contemplando un modelo de diseño preestablecido, seguido

de la implementación de dichos sistemas, teniendo en cuenta dos configuraciones; luego se ejecutó el proceso de arranque y estabilización y, por último, la evaluación de su funcionamiento individual. Las configuraciones construidas están resumidas en la tabla 1.

Tabla No. 1. Configuraciones de los humedales

Variables	Humedal H1	Humedal H2
Flujo de alimentación	Lixiviado viejo	Efluente de la laguna anaerobia
Material de soporte	Grava	Grava
Especie vegetal	Totora	Totora

2. RESULTADOS Y ANÁLISIS

2.1. DISEÑO DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES

El modelo de diseño corresponde al sugerido por Sherwood C. Reed (EPA) en las publicaciones: *Design Manual; Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment* (1988) y *Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment; A Technology Assessment* (1993). En la tabla 2 se resume las características de diseño y operación de cada una de las configuraciones establecidas.

Tabla No. 2. Condiciones de diseño y operación de los humedales artificiales

Parámetro	Humedal H1	Humedal H2
Longitud, L	8m	8m
Ancho, W	2,8m	2,8m
Temperatura promedio, T	12°C	12°C
Profundidad del agua, y	0,6m	0,6m
Área superficial, A_s	22,4m ²	22,4m ²
Porosidad (material limpio), n	0,529	0,529
Caudal de operación, Q	20 mL/s	20 mL/s
Tiempo de retención, t	3 días	3 días
Diámetro material de soporte	1,27 cm	1,27 cm
Cantidad de plantas	21	21
Densidad de vegetación	1/m ²	1/m ²

2.2. IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS PILOTO

Con base en el diseño se llevó a cabo la construcción, adecuación y pre-arranque de las unidades piloto con sus diferentes configuraciones. Las etapas de construcción y adecuación fueron realizadas entre los meses de febrero y mayo del 2008. Posteriormente se ejecutó la etapa de pre-arranque durante el mes de junio y parte de julio de 2008.

En la etapa de construcción, la principal actividad realizada fue la excavación y movimiento de tierra junto con la impermeabilización de las unidades. En la adecuación se llevó a cabo actividades como instalación de tubería y construcción de cámaras para la alimentación y descarga de los sistemas junto con la acertada distribución según el diseño del material de soporte correspondiente a cada unidad. En la etapa de pre-arranque se realizó una inoculación del lecho de soporte de los humedales con parte del efluente de la laguna aerobia, para luego hacer el respectivo trasplante de las especies. Posterior a esto se alimentó las unidades con flujo mezclado por agua cruda y lixiviado proveniente de la laguna anaerobia, con el fin de minimizar el impacto que produce el contacto de lixiviado con las especies vegetales.

2.3. EFICIENCIAS INDIVIDUALES DE REMOCIÓN DE CARGA CONTAMINANTE DE LAS DIFERENTES CONFIGURACIONES.

La evaluación de los sistemas se obtiene a través del cálculo de las remociones de cargas contaminantes basadas en las caracterizaciones de los parámetros DBO₅ y DQO y de los respectivos caudales de operación de los humedales artificiales en el Relleno Sanitario Antanas.

Para el cálculo de las cargas contaminantes de entrada y salida de cada uno de los parámetros se utiliza la ecuación 1 y para obtener los datos de porcentaje de remoción fue utilizada la ecuación 2.

$$CC = Q.C \quad \text{Ecuación 1}$$

donde:

CC: Carga Contaminante, kg/día;

Q: Caudal de operación, L/día

C: Concentración del parámetro kg/L

Ecuación 2

donde:

% de R: Porcentaje de remoción, %;

CCen: Carga contaminante de la entrada, kg/día

CCsal: Carga contaminante de la salida, kg/día

Las jornadas de muestreo con su respectiva caracterización fisicoquímica y eficiencia de remoción en porcentaje (% R) de los parámetros seleccionados indicados en la tabla 3, fueron desarrollados desde la última semana del mes de julio, en la cual se controló

el caudal a través de aforos volumétricos y su correspondiente alimentación de las unidades sin mezcla de flujos. Posterior a la etapa de pre-arranque de las unidades, se ejecutó la correspondiente al arranque y evaluación. Las muestras que se tomó para las caracterizaciones realizadas en el laboratorio de la Universidad Mariana bajo la metodología que se describe en el libro *Standard Method for the Examination of Water and Wastewater*, APHA, 19th Edición 1997, son puntuales y fueron realizadas en las cámaras ubicadas en la entrada y salida de cada humedal.

Tabla No. 3. Caracterizaciones de entrada-salida y porcentaje de remoción de los sistemas

Fecha 2008	Jornada	Humedal H1						
		Caudal, Q, L/s	DBO ₅ , mg/L		% R	DQO, mg/L		% R
			Entra	Sale		Entra	Sale	
*24-07	1	55,6	720	420	41,7	32550	26250	19,4
*31-07	2	55,8	360	370	-3	7840	6440	17,9
*8-08	3	53,3	720	1080	-50	4048	7618	-88
*14-08	4	53,2	120	180	-50	4375	6300	-44
*21-08	5	55,3	600	720	-20	4333	3827	11,7
8-09	6	42,5	180	300	-66	3220	3360	-4
18-09	7	20,1	300	400	-33	3360	6300	-87
24-10	8	19,5	720	1080	-50	2380	2450	-3
30-10	9	19,7	750	1800	-140	1820	3920	-115
6-11	10	21,8	500	1400	-180	2380	2380	0,0
20-11	11	21,5	-	-	-	-	-	-
Fecha 2008	Jornada	Humedal H2						
		Caudal, Q, L/s	DBO ₅ , mg/L		% R	DQO, mg/L		% R
			Entra	Sale		Entra	Sale	
*24-07	1	53,2	2280	1230	46,1	42350	21350	49,6
*31-07	2	55,1	1980	1280	35,4	8260	8400	-2
*8-08	3	55,7	2400	960	60,0	9473	4048	57,3
*14-08	4	53,4	2100	2100	0,0	7000	13125	-88
*21-08	5	50,6	2220	1620	27	7233	5833	19,4
8-09	6	18,8	1260	960	23,8	7000	6160	12
18-09	7	21,9	2280	2160	5,3	10080	4340	56,9
24-10	8	21,5	4800	600	87,5	12950	3600	72,2
30-10	9	18,6	5343	5063	5,2	14175	13300	6,2
6-11	10	20,1	6300	1200	80,9	13020	2380	81,7
20-11	11	21,4	495	4500	9,1	11480	5040	56,1

De acuerdo con la información recolectada, en la tabla 3 se puede observar que las eficiencias de remoción de DQO y DBO₅ para el humedal H1 son, en su mayoría, negativas, lo cual nos indica que la cantidad de materia orgánica presente en el lixiviado viejo es baja o escasa y no existe oxidación por parte de los microorganismos, actividad metabólica mínima (Lara 1999). Según Ozzane (1990) este tipo de lixiviado es caracterizado como lixiviado estabilizado. Además, la baja remoción de DBO₅ y DQO puede indicar que existe poca cantidad y diversidad de microorganismos y con esto la escasa disponibilidad de materia orgánica y su respectiva degradación (Kurniawan et al., 2005 y Wiszniowski et al., 2006).

En el humedal H2 (alimentado por lixiviado proveniente de la laguna anaerobia) existe mayor remoción de DQO y DBO₅, ya que en dicho lixiviado hay mayor cantidad de materia orgánica disponible, lo que concuerda con Seoáñez (1999). Se podría deducir que tanto la especie vegetal como los microorganismos están aprovechando dicha materia orgánica para el desarrollo de nuevas células y transformación de energía. (Lahora, 2000).

Teniendo en cuenta que el alimento del humedal, el lixiviado proveniente de la laguna anaerobia, contiene

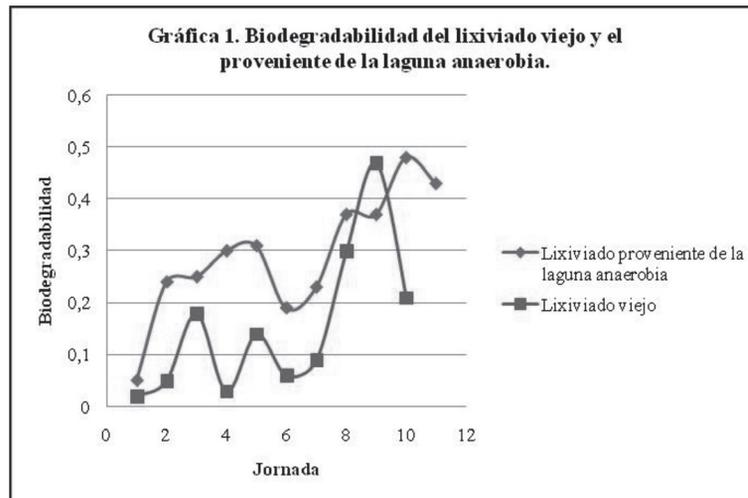
una cantidad significativa de materia orgánica e inorgánica, que permite el albergue de microorganismos, (Ñique 1990), se puede afirmar que las remociones de carga contaminante de los parámetros DBO₅ y DQO son debidas a los organismos presentes en los sustratos que contribuyen a la degradación de la materia orgánica, como afirma Lara (1990).

2.4. BIODEGRADABILIDAD DE LOS FLUJOS DE ALIMENTACIÓN.

Según Peralta (2003) "la relación entre la DBO y la DQO indica la biodegradabilidad de un flujo. Así, cuando la relación DBO/DQO es inferior a 0.2, el flujo es poco biodegradable; entre 0.2 y 0.4 es biodegradable y con valores superiores a 0.4 indica flujos altamente biodegradables". La tabla 4 indica la relación de concentraciones de DBO₅/DQO para los flujos de alimentación de los humedales (Configuración H1 y H2). Se construyó la gráfica 1 con el fin de visualizar mejor la biodegradabilidad de los flujos de alimentación de los humedales (flujo de lixiviado que proviene de la salida de la laguna anaerobia y el flujo correspondiente al lixiviado viejo).

Tabla No. 4. Biodegradabilidad del lixiviado proveniente de la laguna anaerobia y del lixiviado viejo.

Fecha 2008	Jornada	Biodegradabilidad (DBO ₅ /DQO)	
		Lixiviado viejo	Lixiviado proveniente de la laguna anaerobia
24 DE JULIO	1	0,02	0,05
31 DE JULIO	2	0,05	0,24
8 DE AGOSTO	3	0,18	0,25
14 DE AGOSTO	4	0,03	0,3
21 DE AGOSTO	5	0,14	0,31
8 DE SEPTIEMBRE	6	0,06	0,19
18 DE SEPTIEMBRE	7	0,09	0,23
24 DE OCTUBRE	8	0,30	0,37
30 DE OCTUBRE	9	0,47	0,37
6 DE NOVIEMBRE	10	0,21	0,48
20 DE NOVIEMBRE	11	-	0,43



La relación DBO/DQO del lixiviado proveniente de la laguna anaerobia arroja, en su mayoría, valores superiores a 0.2, lo que indica que es biodegradable, favoreciendo un mayor consumo de materia orgánica por parte de los humedales H2, H3 y H4. Por el contrario, el lixiviado viejo coincide con lo que mencionan Ehrig (1983) y Ozzane (1990): *un lixiviado viejo tiene una biodegradabilidad baja y es clasificado como lixiviado estabilizado, lo cual implica que es difícilmente oxidable.*

Según el Sistema de Información Nacional Ambiental de Colombia (SINA), para el lixiviado viejo se recomienda hacer un tratamiento de tipo fisicoquímico por su baja biodegradabilidad, lo que no le permite realizar una adecuada remoción cuando se utiliza tratamiento de tipo biológico (humedal artificial), a diferencia del lixiviado proveniente de la laguna anaerobia, para el que se recomienda un tratamiento de tipo biológico por su aceptable biodegradabilidad.

3. CONCLUSIONES

- Los humedales artificiales, como unidades para el tratamiento del lixiviado proveniente de la laguna anaerobia, reducen la carga contaminante del mencionado flujo de alimentación.
- La biodegradabilidad es un factor que determina las propiedades y capacidades de un lixiviado para poder ser degradado por sistemas de tratamiento biológico o fisicoquímico.

- El lixiviado viejo posee baja capacidad de biodegradabilidad, caracterizándolo como un lixiviado estabilizado, con respecto al lixiviado proveniente de la laguna anaerobia, lo cual se ve reflejado en los resultados de remoción de ambas unidades, donde se puede observar una mayor eficiencia en el rendimiento que tiene la unidad dos.

REFERENCIAS

1. Borrero, J. Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. Trabajo final - Master en Ingeniería y Gestión Ambiental-. Instituto Catalán de Tecnología. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España. 1999.
2. Collazos, H. Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios. Editorial Carrera 7ª. Bogotá, D.C., Colombia. 2001.
3. Duran, A. Bioadsorción de lixivados viejos clarificados. Instituto de Ingeniería, UNAM Coordinación de Ingeniería Ambiental. México D.F. México. 1999. <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/055.pdf>.
4. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). Design Manual, Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment. Cincinnati, U.S.A. 1988. <http://www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/design.pdf>.

5. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). Subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment; A technology assessment. Cincinnati, U.S.A. 1993. <http://www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/sub.pdf>.
6. Lahora, A. Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: La Edar de los Gallardos (Almería). Almería, España. 2000. http://dialnet.unirioja.es/servlet/fichero_articulo?codigo=2244838&orden=78643.
7. Llurba, M. "Parámetros a tener en cuenta en los sustratos". Revista Horticultura Nº 125 - Diciembre 1997. Madrid, España. http://www.mapa.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Hort/Hort_1997_125_31_35.pdf.
8. Peralta, F, et al. Diseño de lagunas de estabilización para tratamientos de aguas residuales de la industria procesadora (empacadoras) de Camarón. Trabajo final -Ingeniero Acuicultor. Guayaquil, Ecuador. 1999. <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/4557/1/7078.pdf>.
9. Seoáñez, G. Aguas residuales: tratamiento por humedales artificiales. Fundamentos científicos. Tecnologías. Diseño. Editorial Ilustrated. Barcelona, España. 1999.
10. Shannon, R. Subsurface flow constructed wetlands performance at a Pennsylvania campground and conference center. Valparaíso, Chile. 2006. http://ucv.altavoz.net/prontus_unidacad/site/artic/20061215/asocfile/20061215115154/sotomayor_cristian.pdf