

REMOCIÓN DE CARGA ORGÁNICA EN LIXIVIADOS POR MEDIO DE UN BIOFILTRO EMPACADO CON RESIDUOS ESTABILIZADOS

Lozano-Caballero Grecia¹, Bautista-Ramírez Jesús¹, Díaz-García Mayeli¹,
Gutiérrez-Hernández Rubén F.², Martínez-Salinas Rebeca I.¹,
Nájera-Aguilar Hugo A.^{1*}

^{1*} Ingeniería Ambiental. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
Ciudad Universitaria, Libramiento Norte Poniente S/N, Col. Lajas, Maciel, C.P. 29000,
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México;

Tel: 52 (961)1256033. e-mail: hugo.najera@unicach.mx.

² Departamento de Ingeniería Química. Instituto Tecnológico de Tapachula.
Tapachula, Chiapas.



Para citar este artículo:

Bautista, J., Díaz, M., Gutiérrez, R., Lozano, G., Martínez, R. y Nájera, H. (2016) Remoción de carga orgánica en lixiviados por medio de un biofiltro empacado con residuos estabilizados. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo* 5 (12) 9-22. doi: 10.31644/IMASD.12.2016.a01

RESUMEN

Los sitios de disposición final de residuos sólidos mal operados, causan afectaciones en su entorno y generan problemas de salud pública; estos sitios en general, son concebidos como pasivos ambientales. En el presente estudio se extrajeron residuos sólidos con edad superior a 8 años de la zona clausurada del relleno sanitario de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Los residuos se caracterizaron con los parámetros de humedad, sólidos totales y sólidos volátiles, encontrando una alta estabilidad biológica en los mismos. Posteriormente, con el objetivo de evaluar el potencial biológico en el tratamiento de lixiviados, estos materiales fueron utilizados como lecho de empaque dentro de un biofiltro semi-aeróbico. Durante los ocho meses de monitoreo, el biofiltro registró eficiencias de remoción en DQO entre 60 y 90%, y alrededor de 60% en color, con cargas hidráulicas del orden de los 10-11 L/m³-d. Estos resultados representan de las primeras investigaciones en México usando como material de empaque residuos estabilizados, demostrando con ello, que los biofiltros pueden ser utilizados como una alternativa atractiva para el pretratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios.

Palabras clave

Basura de edad; residuos estabilizados; tratamiento de lixiviados; biofiltro; demanda química de oxígeno.

REMOVAL OF ORGANIC LOAD IN LEACHATES USING AGED REFUSE BIOFILTER

— *Abstract*—

The final disposal sites poorly operated cause damages in the environment and generate public health problems; these sites are general conceived as environmental passives. In this study solid waste were extracted, which has more than 8 years of age. The materials were extracted from the closed landfill of the city of Tuxtla Gutierrez, Chiapas, Mexico. The wastes were characterized in terms of moisture, total and volatile solids; finding a high biological stability. The wastes were used as packing material in a semiaerobic biofilter to explore the biological potential in the treatment of leachates. During eight months of operation, the biofilter recorded removal efficiencies of COD between 60 and 90%, while removal efficiencies of color was 60% with hydraulic loads in the order of 10 to 11 L / m³-d. These results demonstrate that these biofilters using aged refuse as packaging material can be used as an attractive alternative pretreatment for landfill leachate in Mexico.

Keywords

Aged refuse; leachate treatment; biofilter; COD

La deficiencia en el manejo de los residuos sólidos municipales y la emanación de lixiviados conforma un riesgo significativo al suelo, agua y calidad del aire (Prantl *et al.*, 2006). Dentro de la gestión integral de los residuos sólidos, la etapa de disposición final es la que presenta los mayores retos a vencer. Por ello es importante conocer la composición y características de los residuos, no solo en su etapa de generación (frescos), sino también en su evolución a lo largo del tiempo después de haber sido dispuestos, con el fin de aminorar los problemas ocasionados en su disposición final, así como determinar su posible potencial para ser aprovechados.

Los rellenos sanitarios han venido evolucionando desde tiraderos a cielo abierto, hasta rellenos altamente tecnificados donde se controlan las emisiones (líquidas y gaseosas) potencialmente peligrosas para el ambiente. Existen numerosos ejemplos de impactos negativos producidos por los lixiviados (Cossu *et al.*, 2001). Este hecho ha propiciado la generación de normatividades y legislaciones nacionales y/o regionales, encaminadas a proteger los cuerpos de agua de contaminantes provenientes de rellenos sanitarios o en general de sitios de disposición final de residuos sólidos, así como la búsqueda e implementación de nuevos procesos de tratamiento para este líquido, y así reducir los impactos al ambiente.

1.1 Los residuos sólidos estabilizados

Como recientemente se ha reportado, la «basura vieja» o residuos estabilizados tiene gran capacidad de intercambio de cationes (0.068 mol/g), alta porosidad (37.25%) y riqueza en comunidades microbianas (1.40×10^6 UFC/g) que se han adaptado a lo largo de los años a las altas concentraciones de contaminantes (Zhao *et al.*, 2002). En la Tabla 1 se muestran las características de los residuos estabilizados basados en un estudio realizado por Li Zhao *et al.* (2009).

Tabla 1. Características de los residuos sólidos estabilizados.

Parámetros	Residuo estabilizado
Humedad (%)	31.84
Cenizas (%)	54.42
Materia combustible (%)	13.74
Materia biodegradable (%)	11.08
Materia orgánica (g/kg)	65.57
Nitrógeno Total (g/kg)	5.38
Nitrógeno amoniacal (mg/kg)	22.40

Fuente: Li *et al.* (2009).

En la última década, han sido desarrollados y evaluados biofiltros de «basura vieja» o residuos estabilizados para la descontaminación de lixiviados como en el caso de Zhi-Yong *et al.* (2011), quienes desarrollaron un biofiltro semi-aeróbico con residuos estabilizados.

1.2 Los lixiviados

En los rellenos sanitarios, una vez que se han enterrado los residuos sólidos, es necesario minimizar los impactos de esta práctica, ya que el agua que ha entrado en contacto con la basura recoge gran cantidad de las sustancias que originalmente estaban dentro del residuo, quedando de esa manera altamente contaminada. Esta agua se denomina lixiviado, y es uno de los líquidos más contaminados y contaminantes que se conocen. De no recogerse adecuadamente y luego tratarse, el lixiviado puede contaminar a su vez aguas subterráneas, aguas superficiales y suelos. Por esta razón, los rellenos sanitarios se impermeabilizan, se drenan apropiadamente y los lixiviados recogidos por estos drenes deben tratarse (Giraldo, 1997). La fuerte correlación existente entre la edad de un relleno sanitario y algunas características en la composición de los lixiviados, ofrece una importante herramienta que auxilia en la elección de los procesos de tratamiento (Renou *et al.*, 2008). Los lixiviados son frecuentemente clasificados por su edad en nuevos, intermedios y viejos o maduros, de acuerdo con la edad del vertedero que los originó. En general, el grado de biodegradabilidad de los lixiviados es inversamente proporcional a su edad, siendo más biodegradables los jóvenes y menos degradable los maduros (Fátima *et al.*, 2012; Ramírez – Sosa *et al.*, 2013).

La problemática recae en el hecho de que este líquido normalmente contiene altas concentraciones de contaminantes siendo los principales grupos: materia orgánica disuelta, macro componentes inorgánicos (incluyendo nutrientes), componentes orgánicos xenobióticos, los cuales sino son correctamente colectados y tratados pueden causar serios problemas en los cuerpos de agua superficiales y fuentes subterráneas (Modin *et al.*, 2011).

En el siguiente trabajo se realizó la caracterización de una muestra de residuos dispuestos hace más de ocho años en el área clausurada del Relleno Sanitario de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. Estos residuos fueron usados como material de empaque en la construcción de un biofiltro, y su potencial aplicación para el tratamiento de lixiviados fue evaluada, midiendo la remoción de carga orgánica medida como DQO y color.

2. METODOLOGÍA

2.1 Caracterización del material estabilizado

Con la ayuda de una retroexcavadora, se obtuvo una muestra de residuos en tres puntos del área clausurada del relleno sanitario de Tuxtla Gutiérrez (Figura 1), con una edad mínima estimada de ocho años. Previo a la toma de la muestra, se realizó un recorrido para seleccionar los puntos de muestreo, esto considerando las zonas donde se encuentran alojados los residuos de mayor edad.

Figura 1. Zona clausurada del relleno sanitario.



Los residuos fueron extraídos a una profundidad mínima de 1 metro, esto con la finalidad de no comprometer la calidad de la muestra.

Los residuos extraídos se secaron durante 6 semanas distribuyendo el material sobre lonas en espesores de 6 a 8 cm. Para acelerar el proceso de secado, semanalmente se movió el material y se retiraron los restos de materiales de mayor tamaño con el fin de facilitar el cribado y la limpieza del material, extrayendo tela, vidrio, cartón, piedras, fierro, plásticos, etc. y en general materiales voluminosos que pudieran entorpecer el proceso.

Para verificar la estabilización de los residuos, semanalmente se tomó una muestra, determinándose pH, Sólidos Volátiles (sv), cenizas y Humedad, de acuerdo a las técnicas establecidas en normas mexicanas (Tabla 2). Los análisis se efectuaron 1 vez por semana.

Tabla 2. Técnicas y métodos para cada parámetro.

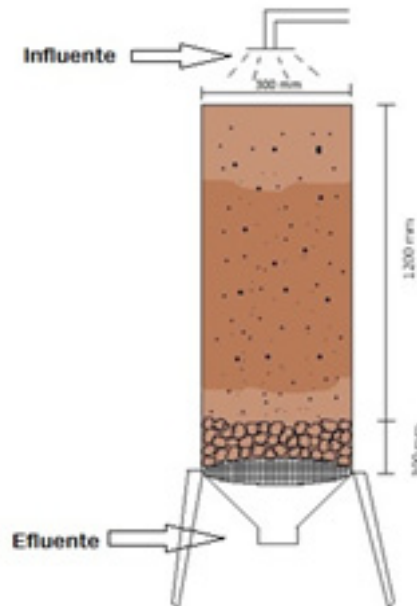
Parámetro	Técnica o Método	Frecuencia
Humedad	NMX-AA-016-1984	1 vez / semana
pH	NMX-AA-008-SCFI-2011	1 vez / semana
SVT	NMX-AA-034-SCFI-2001	1 vez / semana
SF	NMX-AA-034-SCFI-2001	1 vez / semana

pH: Potencial de hidrógeno; SVT: Sólidos volátiles totales; SF: Sólidos fijos.

Una vez secos, los residuos fueron cribados y separados de acuerdo a los siguientes tamaños de partículas: >40 mm, 16-40mm y 2-15 mm.

2.2 Construcción del biofiltro

Se construyó un biorreactor con un tubo de PVC de 30 cm de diámetro y 1.5 m de altura (Figura 2).

Figura 2. Dimensiones del Biorreactor para el tratamiento de lixiviados.

En el fondo del biorreactor se colocó una capa (30 cm aproximadamente) de material de soporte (grava), similar a lo documentado por Han et al. (2011). La tapa del tubo colocada en el extremo inferior, fue perforada para permitir la salida del efluente. En la parte superior e inferior del material de soporte se adicionó malla con abertura de 2 mm, para evitar el exceso en el arrastre de las partículas finas y estas pudieran obstruir los orificios de la tapa, dificultando la salida del efluente. En el volumen restante del tubo se agregó el lecho filtrante (material estabilizado). Teniendo finalmente, un biofiltro de 1.20 m de altura.

Para la carga del influente se utilizó un recipiente simulador de una regadera, para favorecer la distribución del lixiviado sobre el área superficial y su descenso por el lecho filtrante, reduciendo la creación de zonas muertas y/o «cortos circuitos».

2.3 Monitoreo del funcionamiento del biofiltro

Se realizó el monitoreo del influente y efluente, en los parámetros de DQO y color, con una frecuencia de una vez y dos veces por semana, respectivamente. Por otro lado, de acuerdo a lo reportado en estudios anteriores (Zhi-Yong *et al.*, 2013), se establecieron cargas hidráulicas del orden de 10-11 L/m³-d, alimentando por espacio de 1 hora dos veces al día. Esta actividad se realizó seis días a la semana. El monitoreo del biofiltro se llevó a cabo a lo largo de 8 meses (35 semanas).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización del material estabilizado y del lixiviado en el influente

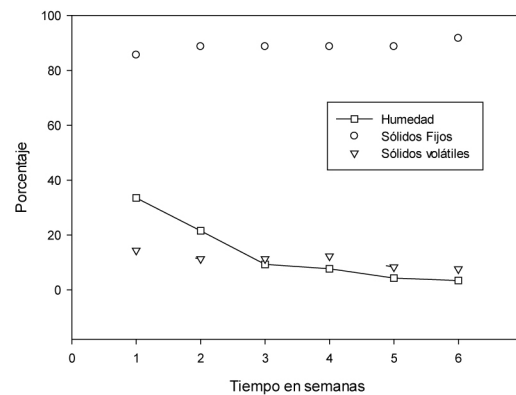
Los residuos sólidos presentaron un ligero olor al ser extraídos y tendidos, pero durante los primeros tres días del proceso de secado a temperatura ambiente, el olor desapareció en su totalidad sin que hubiera presencia de moscas en los alrededores ni de lixiviados. Estas observaciones coinciden con lo reportado por Zhao *et al.* (2007).

Por otro lado, el contenido de humedad inicial (38%) observado en la Figura 3, es similar a lo reportado por otros autores (Han *et al.*, 2013; Chen *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2009; Han *et al.*, 2011; Xiaoli y Youcai, 2006), y se considera un valor esperado dado que por estar los materiales dispuestos en el subsuelo, estos se encuentran en contacto con los líquidos (agua de lluvia y lixiviados recirculados) que percolan a través de las diferentes capas, propiciando la continua generación de lixiviados. Sin embargo, una vez extraídos

y expuestos al proceso de secado natural, en menos de tres semanas se observa una rápida disminución en su contenido de humedad, alcanzando un comportamiento casi constante después de este tiempo.

En cuanto a la cantidad de sf y sv del material, estos prácticamente no cambiaron, pues como se esperaba, estos materiales han alcanzado su mayor grado de degradación, y como consecuencia, la presencia de materia orgánica es prácticamente nula, lo que puede constatarse visualmente con la ausencia total de moscas durante todo el proceso de secado, lo que además puede explicar el comportamiento casi constante en sus respectivas curvas (Figura 3). En términos generales, el material observó pocas variaciones en sus componentes analizados.

Figura 3. Caracterización de los residuos extraídos (estabilizados).



Por las características que presentaron los residuos evaluados, puede decirse que se trata de materiales física y biológicamente estabilizados, mismos que son ricos en poblaciones microbianas (Zhao *et al.*, 2002), y adaptados a condiciones extremas y muy variadas.

Por otro lado, con el propósito de conocer los diferentes tamaños de partícula en los residuos en base seca (BS), se clasificaron de acuerdo a lo mostrado en la Tabla 3. Para el experimento, el biorreactor fue empacado con materiales estabilizados con un tamaño de partícula inferior a los 40 μm .

De la Tabla 3 se observa que arriba del 80% de ellos presentaron un tamaño de partícula por debajo de los 40 μm , este dato es importante porque permite ver que un alto porcentaje de los materiales estabilizados una vez secos, pueden ser aprovechados en la construcción de biorreactores. En estudios a nivel laboratorio, autores como Zhao *et al.* (2002), han

reportado buenos resultados en el tratamiento de lixiviados usando tamaños de partícula inferior a los 20 mm, sin embargo, en trabajos más recientes y con biorreactores escalados al menos a nivel piloto (Li *et al.*, 2009; Xie *et al.*, 2010; Xie *et al.*, 2012), los biorreactores se han empacado con residuos estabilizados de un mayor tamaño de partícula, del orden de los 40 mm, lo que ha permitido un mayor aprovechamiento de los materiales y con resultados reproducibles a los obtenidos a nivel laboratorio.

Tabla 3. Clasificación por tamaño de partícula en BS.

Tabla 3. Clasificación por tamaño de partícula en BS.

Tamaño de partícula (mm)	Cantidad	
	Kg	%
> 40	4.8	15.05
De 15 a 40	7.7	24.14
< 15	19.4	60.81
Total	31.9	100

En cuanto a las características del influente mostradas en la tabla 4, se observa que son propias de un lixiviado tipo III o maduro, el cual se caracteriza por valores de pH por arriba de la neutralidad, altos valores de alcalinidad y un bajo índice de biodegradabilidad (<0.3) (Méndez *et al.*, 2004; Ntampou *et al.*, 2006; Ubaldo *et al.*, 2014).

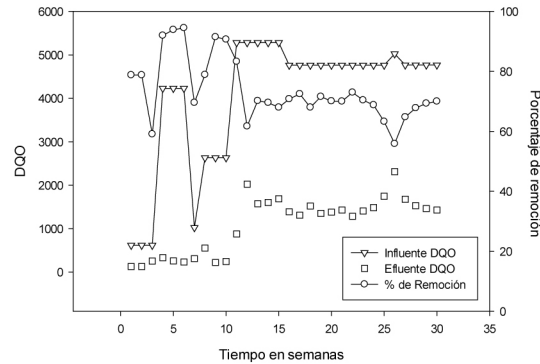
Tabla 4. Caracterización del influente.

Parámetro	Resultado
pH	8.0-8.4
DQO (mg/L)	4230 ± 630
Color (Pt-Co)	5 090 ± 820
Alcalinidad (mg/L)	1675
DBO ₅ (mg/L)	800
DBO ₅ / DQO	0.2

3.2. Monitoreo del proceso (biofiltro)

En la Figura 4, se muestra el monitoreo del Biofiltro a lo largo de 35 semanas, observando eficiencias de remoción de materia orgánica (DQO) en el lixiviado entre el 60 y 90% y alcanzando la máxima remoción (92%) después de la semana 6.

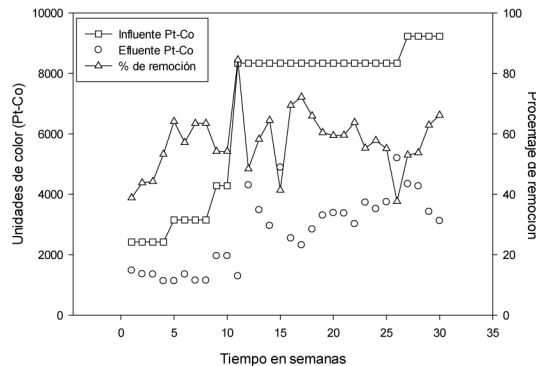
Figura 4. Resultados de la remoción de la DQO.



Del gráfico (Figura 4) también se observa que la DQO del efluente oscila entre los 200 y 1600 mg/l, valores que pueden considerarse relativamente fluctuantes teniendo en cuenta la variabilidad en el influente (800-5000 mg/L). En general, las concentraciones de ambas corrientes (influyente y efluente) reflejan estabilidad del biorreactor ante variaciones importantes en la carga orgánica suministrada.

Otro parámetro utilizado en el proceso como indicador del funcionamiento del biofiltro fue el color.

Figura 5. Resultados de la remoción de Color.



De la Figura 5 se observa que durante las primeras 12 semanas el color en el influente fue predominantemente negro, con un valor que osciló entre los 2400 y 4200 unidades de color (Pt-Co), con un ligero olor, que después de ser ingresado al reactor se tornaba a un color amarillo pálido, similar al

color del ámbar, y sin olor, con unidades de color entre las 1400 a los 1900 (Pt-Co). Después de estas semanas las unidades de color en el influente estuvieron alrededor de las 8,000 unidades de color, con una calidad en el efluente entre las 2900 a 4800 unidades de color (Pt-Co), lo que representa remociones que oscilaron entre 40 y 75%, con un valor promedio del 60%. Estas variaciones pueden deberse a un flujo no ideal (Glynn y Heinke, 1999).

En la práctica ningún reactor se comporta como se esperaría dentro de los flujos ideales y para lo cual se producen desviaciones como resultado de la canalización, también se pueden producir cortos circuitos a causa de las diferencias de composición de los residuos sólidos dentro del biorreactor, y finalmente otro factor puede ser la aparición de zonas estancadas; este tipo de alteraciones del flujo dentro del reactor, provocan que el tiempo medio de retención efectivo sea menor que el calculado para su funcionamiento ideal, y con esto ciertas partículas presentes en el influente puedan circular con mayor velocidad, concentrando de mayor manera el color del efluente, esto también provoca regímenes de «volumen muerto» disminuyendo el volumen útil del sistema de tratamiento.

CONCLUSIONES

A la fecha, con ocho meses de monitoreo, se ha logrado evaluar la remoción en DQO de lixiviados provenientes del relleno sanitario de Tuxtla Gutiérrez, alcanzando remociones entre 60 y 90%. Para el caso del color, en promedio un 60% de remoción fue alcanzado.

En términos generales, partiendo de que estos biofiltros pueden ser utilizados como unidades de pretratamiento, los resultados obtenidos son aceptables, además de tener en cuenta que los materiales que conforman el biofiltro provienen de los mismos residuos, lo que propicia una ventana de oportunidad en la revalorización de residuos sólidos urbanos dispuestos en rellenos sanitarios o cualquier otro sitio de disposición final. Finalmente, hasta donde nuestra revisión de literatura fue posible, estos resultados representan los primeros en su tipo en el territorio nacional.

Agradecimientos

*Al Ing. Omar Sánchez Fernández, Gerente de PROACTIVA Tuxtla,
por permitir el acceso y la maquinaria requerida en el muestreo
de los residuos estabilizados.*

REFERENCIAS

- Chen, Li., Wu, S., Wu, W., Sun, H., & Ding, Y. (2009). Denitrification capacity of bioreactors filled with refuse at different landfill ages. *Journal and Hazardous Materials*, 172: 159- 165.
- Cossu R, Lavagnolo M, Littaru P, (2001), Removal of municipal solid waste COD and NH₄-N by phyto-reduction: A laboratory-scale comparison of terrestrial and aquatic species at different organics loads, Elsevier Science.
- Giraldo, E., (1997). Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios. Volumen 2. Páginas 44-55.
- Han, Z., Liu, D., Li, Q., Li, G., Yin, Z., Chen, X., & Chen, J. (2011). A novel technique of semi-aerobic aged refuse biofilter for leachate treatment. *Waste Management*. 31: 1827- 1832.
- Han, Z., Liu, D., Li, & Q. (2013). A removal mechanism for organics and nitrogen in treating leachate using a semi-aerobic aged refuse biofilter. *Journal Environmental Management*, 114: 336-342.
- Li, H., Zhao, Y., Shi, L., & Gu, Y. (2009). Three-stage aged refuse biofilter for the treatment of landfill leachate. *Journal of Environmental Sciences*, 21: 70-75.
- Méndez, R., Castillo E., Sauri M., Quintal C., Jiménez B. (2004). Tratamiento físico químico de los lixiviados de un relleno sanitario, *Ingeniería Revista Académica*, 8(02), 155-163.
- Modin H., Persson K.M., Andersson A., van Praag M., (2011). Removal of metals from landfill leachate by sorption to activated carbón, bone meal and iron fines. *Journal of Hazardous Materials*. 189. 749-754.
- Ntampou, X., Zouboulis, A., Samaras, P. (2006). Appropriate combination of physico-chemical methods (coagulation/flocculation and ozonation) for the efficient treatment of landfill leachates. *Chemosphere*, 62, 722-730.
- Prant R, Tesar m, Huber-Hunner m, (2006). Changes in carbon and nitrogen pool during in-situ aceration of old landfills under varying conditions, *Waste Management*, 26, 373-380.
- Ubaldo Vázquez, Nájera Aguilar y Gutiérrez Hernández (2014). Evaluación de la remoción de carga orgánica en lixiviados maduros mediante un sistema acoplado: coagulación-floculación-oxidación anódica. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales*. Vol. 7. 170-178.
- Xiaoli, C., & Youcai, Z. (2006). Adsorption of Phenolic compound by aged-refuse. *Journal and Hazardous Materials*, B137: 410-417.
- Xie B., Lv Z., Lv B.Y. & Gu Y.X. (2010). Treatment of mature landfill leachate by biofilters and Fenton oxidation. *Waste Management*. 30. 2108-2112.

- Xie B., Xiong S., Liang S., Hu C., Zhang X. & Lu J. (2012). Performance and bacterial compositions of aged refuse reactors treating mature landfill leachate. *Biosource Technology*, 103: 71-77.
- Ying-xu Chen, Song-wei Wu, Wei-xiang Wu, Hua Sun, Ying Ding. (2009). Denitrification capacity of bioreactors filled with refuse at different landfill ages. *Journal of Hazardous Materials*, 172: 159-165.
- Zhao, Y., Li, H., Wu, J., & Gu, G., (2002). Treatment of leachate by aged refuse-based biofilter. *J. Environ. Eng. ASCE*, 128, 662–668.
- Zhao, Y., Song, L., Huang, R., Song, L., & Li, X. (2007). Recycling of aged refuse from a closed landfill. *Waste Management & Research*, 25: 130-138.
- Zhi-Yong Han, Dan Liu, Qi-Bin Li. (2013). A removal mechanism for organics and nitrogen in treating leachate using a semi-aerobic aged refuse biofilter. *Environmental Management*, 114.