

# Caracterización de los lixiviados en las dos lagunas de evaporación del relleno sanitario de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México

Lina Dafne Sánchez Corzo<sup>1</sup>  
Sandra Isabel Escobar Megchun<sup>1</sup>  
Hugo Alejandro Nájera Aguilar<sup>1</sup>  
Rubén Gutiérrez Hernández<sup>2</sup>

## RESUMEN

El Relleno Sanitario es un método de ingeniería para la disposición final de residuos sólidos, sin embargo, el agua que entra en contacto con estos, es uno de los líquidos más contaminados y contaminantes que se conocen y se denomina *lixiviado*, el cual debe recogerse adecuadamente y luego tratarse. Los lixiviados se clasifican de acuerdo a su edad en: jóvenes, intermedios y viejos o maduros. Los lixiviados maduros por sus características recalcitrantes son factibles de ser tratados a través de procesos fisicoquímicos, mientras que los lixiviados jóvenes a través de procesos biológicos. En esta investigación se caracterizaron los diferentes lixiviados que se generan en el relleno sanitario de Tuxtla Gutiérrez, con los parámetros: pH, alcalinidad, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Índice de Biodegradabilidad (IB), color, conductividad eléctrica, Sólidos Totales (ST), Sólidos Volátiles Totales (SVT), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV). Todos resultaron ser lixiviados de intermedios a maduros.

**Palabras clave:** Relleno Sanitario, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Mé-

xico, Lixiviado, pH, Alcalinidad, DQO, DBO, IB, Conductividad eléctrica, Sólidos totales.

## ABSTRACT

Landfill is an engineering method for the disposal of solid waste, however, the water coming into contact with them is one of the most contaminated and contaminants liquids are known and are called leachate, which must be collected properly and then treated. Leachate is classified according to their age in: young, intermediate and old or mature. For its characteristics, the mature leachate is easier to treat by physicochemical processes, while the young leachate with biological processes. In this study, the young and mature leachate from the landfill of Tuxtla Gutierrez were characterized, with the parameters: pH, alkalinity, Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Biodegradability Index (BI), color, electrical conductivity, Total Solids (TS), Total Volatile Solids (TVS), Total Suspended Solids (TSS) and Volatile Suspended Solids (VSS).

**Key words:** Landfill, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, Leachate, pH, Alkalinity, BOD, COD, BI, Electrical Conductivity, Total Solids.

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería,  
Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas  
Libramiento Norte Poniente S/N, Colonia Lajas Maciel  
C.P. 29039. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica  
Instituto Tecnológico de Tapachula, km 2 carretera Puerto Madero,  
C.P. 30700. Tapachula, Chiapas, México

## INTRODUCCIÓN

**D**e acuerdo con algunos autores (Primo *et al.*, 2008), más del 95% del total de RSU recolectados en el mundo son dispuestos finalmente en rellenos sanitarios, los cuales se conciben como un método de ingeniería para la disposición final de residuos sólidos en el suelo, mediante el esparcido de los residuos en pequeñas capas, compactándolos al menor volumen práctico y cubriéndolos con suelo al fin del día de trabajo, previniendo con ello los efectos adversos en el ambiente y la salud pública.

Existen también otros métodos alternativos mucho más promovidos en la actualidad tales como el reciclaje, composteo e incineración. Los dos primeros son complementarios y positivos en la operación de rellenos sanitarios, dado que favorecen la vida útil de éste; además con el reciclaje se logra una menor presión sobre los recursos naturales, y con el composteo, se reducen significativamente los problemas operacionales por la generación de subproductos. Por lo que toca a la incineración, con ella se logra una reducción importante en el volumen de los residuos, dejando únicamente desde 10 hasta 20% del volumen original en forma de cenizas, volumen que podrá disponerse en rellenos sanitarios.

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).

En el manejo de *lixiviados* en el territorio nacional, una práctica común a la que se recurre es la recircula-

ción en el mismo relleno, especialmente en época de secas, cuando la capacidad de campo es mayor, el porcentaje de humedad ambiental es bajo y la radiación es adecuada para la evaporación, sin embargo, en algunos estados como los del sureste de la república, las altas precipitaciones anuales y especialmente las lluvias intensas que eventualmente se presentan, ocasionan que la producción de *lixiviado* sea abundante y en períodos específicos crítica, además de causar que los niveles en las lagunas sea excesivo, lo que de acuerdo con Castillo *et al.* (2006) provoca una sobreproducción de *lixiviados*, y como consecuencia, el derrame de los mismos hacia los alrededores.

En lo referente a la composición y concentración de contaminantes en los *lixiviados*, éstos van a depender del tipo de residuos alojados en el sitio de disposición final, de la operación del sitio, de la edad de los residuos, de las condiciones climatológicas y geológicas del lugar (Lopes, 2005), así como de los sucesos que precedieron al momento del muestreo (Tchobanoglous y Kreith, 2002).

De esta manera, los *lixiviados* pueden clasificarse de acuerdo con su edad en jóvenes, intermedios y viejos o maduros (Rojas 2006; Renou *et al.*, 2008). En los primeros predominan los ácidos grasos volátiles, además de tener elevadas concentraciones de DBO, por lo cual son factibles de ser tratados por procesos biológicos como primera etapa (Wang *et al.*, 2003). En tanto que los *lixiviados* maduros presentan un alto porcentaje de moléculas orgánicas recalcitrantes y se caracterizan por tener una elevada concentración de DQO y baja DBO, lo que los hace adecuados de ser tratados por métodos fisicoquímicos.

Dado lo anterior, es imprescindible efectuar la caracterización de los *lixiviados*, para poder determinar el tipo de tratamiento al cual se someterán; de la misma manera conociendo sus características iniciales y las finales después de un tratamiento, es posible conocer la eficiencia de remoción de algún contaminante en específico.

Se han realizado caracterizaciones en lixiviados jóvenes y maduros, encontrando diferencias significativas, especialmente para los parámetros de DBO y DQO y por consiguiente, en el índice de biodegradabilidad (IB), el cual para lixiviados jóvenes es considerado superior a 0.3 (Deng 2007a), en tanto que para los maduros, cuando es inferior a este valor (Deng 2007b, Luna *et al.* 2007), e incluso para algunos autores cuando es menor a 0.17 (Wang *et al.*, 2003).

Con este trabajo se pretende caracterizar los tipos de lixiviado que se almacenan en las dos lagunas de evaporación con que cuenta el relleno sanitario de Tuxtla Gutiérrez, con los parámetros de pH, conduc-

tividad eléctrica, DBO, DQO, alcalinidad, color, ST, SVT, SST y SSV. Este estudio constituye la primera actividad que debe hacerse en el tratamiento de cualquier líquido contaminado.

#### METODOLOGÍA

Las muestras fueron tomadas del relleno sanitario de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, localizado a 15 km en línea recta en dirección suroeste de la mancha urbana de la ciudad y a 2.4 km en dirección noroeste del ejido Emiliano Zapata, municipio de Tuxtla Gutiérrez, que constituye el poblado más cercano (figura 1). El relleno sanitario se ubica dentro del predio denominado San



Figura 1 ■ Ubicación del relleno sanitario de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.

Francisco Tucutzano, propiedad del municipio de Tuxtla Gutiérrez con una superficie total de 180 h. La ubicación geográfica del lugar de estudio, considerando su centro, es de 16° 39' 0.819 de Latitud Norte y 92° 12' 0.85 de Longitud Oeste, con una altitud media de 906 msnm.

Específicamente, las muestras se colectaron de las dos lagunas de evaporación con que cuenta el relleno sanitario; la primera de ellas se ubica en la zona clausurada, en tanto que la segunda se localiza a escasos 200 m hacia el noreste de la celda 1 del relleno sanitario. Las muestras fueron refrigeradas a 4°C. En las determinaciones analíticas, la DBO<sub>5</sub> se llevó a cabo mediante la cuantificación de la diferencia entre la concentración del oxígeno disuelto inicial y la concentración después de cinco días de incubación a 20±1°C. La DQO fue cuantificada utilizando el micrométodo de refluo cerrado, digestando la muestra a 150 °C por 2 h. La muestra fue leída en un espectrofotómetro HACH DR-5000 a 620 nm. La alcalinidad se determinó empleando el método volumétrico, titulando

con ácido sulfúrico 0.02 N. Estos análisis fueron desarrollados siguiendo las normas mexicanas y los métodos normalizados (APHA, 1995), adaptadas a las particularidades de los lixiviados.

Los parámetros considerados y el tiempo de muestreo para la caracterización del lixiviado se muestran en el cuadro 1.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la caracterización inicial de los lixiviados tomados tanto de la laguna joven (L-1) como de la ubicada en la zona clausurada (L-2) se muestran en el cuadro 2.

Se observa que en general la concentración de materia orgánica va en aumento mes con mes para ambas lagunas, esto se debe principalmente a que en el primer muestreo aún estaba reciente el término de la temporada de lluvia, mientras que el resto de muestreos se realizaron en la época de estiaje, por lo que cabía esperar una concentración en los contaminantes por acción de la evaporación de una fracción

Parámetros	Norma o método de referencia	Tiempo de muestreo (2010)			
		Oct	Nov	Dic	Ene (2011)
pH	NMX-AA-008-SCFI-2000	√	√	√	√
Alcalinidad	NMX-AA-036-SCFI-2001	√	√	√	√
ST	NMX-AA-034-SCFI-2001	√	√	√	√
STV	NMX-AA-034-SCFI-2001	√	√	√	√
SST	NMX-AA-034-SCFI-2001	√	√	√	√
SSV	NMX-AA-034-SCFI-2001	√	√	√	√
DBO	NMX-AA-028-SCFI-2001	√	√	√	√
DQO	NMX-AA-030-SCFI-2001	√	√	√	√
IB	-----	√	√	√	√
Color	-----	√	√	√	√
Conductividad	Potenciómetro HANNA	√	√	Nd	Nd

ST: Sólidos totales; STV: Sólidos totales volátiles; SST y SSV: Sólidos suspendidos totales y volátiles; Nd: No determinado.

**Cuadro 1** ■ Parámetros, técnica y tiempo de muestreo en la caracterización del lixiviado.



Parámetros	Período de muestreo (meses)							
	Oct-2010		Nov-2010		Dic-2010		Ene-2011	
	L-1	L-2	L-1	L-2	L-1	L-2	L-1	L-2
DBO (mg/L)	---	415	96	613	280	553	93	658
DQO (mg/L)	---	2605.5	463	4881	1245	5512	837	6410
IB	---	0.16	0.2	0.12	0.2	0.1	0.1	0.1
Alcalinidad (mg/L)	---	1700	1502	1552	1952	3387	2172	3600
pH	---	7.1	7.7	7.8	8.63	8.5	9.55	8.91
C.E. (mS/cm)	---	5.65	5.41	10.53	Nd	Nd	Nd	Nd
Color real (abs)	---	0.725	---	1.225	---	1.625	---	1.825
ST (mg/L)	---	5475	3600	9400	5107	11200	5640	12590
STV (mg/L)	---	2500	1110	3200	1873	3987	1140	4100
SST (mg/L)	---	736	190	615	124	340	160	580
SSV (mg/L)	---	577	100	331	80	233	45	275

IB: Índice de Biodegradabilidad; C.E.: Conductividad eléctrica; ST: Sólidos totales; STV: Sólidos totales volátiles; SST y SSV: Sólidos suspendidos totales y volátiles; Nd: No determinado.

**Cuadro 2** ■ Caracterización de los lixiviados tomados en la laguna joven (L-1) y en la laguna de la zona clausurada (L-2).

importante del agua. Por lo que toca al Índice de Biodegradabilidad (IB), se observan valores bajos en el rango de 0.1-0.16 y 0.1-0.2 tanto para la laguna L-1 como para la L-2, respectivamente. Con los valores de IB obtenidos, de acuerdo con diversos autores (Abdul *et al.*, 2007; Deng, 2007; Huan *et al.*, 2007; Lopes y Peralta, 2005; Wang *et al.*, 2003) pueden catalogarse como un lixiviado del tipo III o mejor conocido como maduro o viejo, por presentar un IB inferior a 0.3 con bajas concentraciones de DBO y altas de DQO.

En el caso de la alcalinidad, se observa la misma tendencia en aumento, así como del pH; ya que con la evaporación se incrementa la concentración de sales, como pueden ser las provenientes de carbonatos y bicarbonatos. De acuerdo con Huan *et al.* (2007) los valores de pH para un lixiviado maduro oscilan entre 6 y 9, mientras que para Wang *et al.* (2003) están entre valores de 6.8 y 9; y para la alcalinidad de 1020 a 12300 mg/L. Así, todos los valores registrados tanto de alcalinidad como de pH para ambas lagunas quedaron comprendidos dentro de este rango.

Respecto a la presencia de sólidos, específicamente en su forma suspendida (SST), para el caso de la laguna de la zona clausurada (L-2), en este estudio se obtuvo una concentración promedio relativamente alta (568 mg/L) si se compara con valores registrados para lixiviados maduros por diversos autores, tales como Abdul *et al.* (2007), Cabeza *et al.* (2007) y Primo *et al.* (2008), quienes reportan valores para SST en el rango de 280-320 mg/L. No obstante, los resultados del presente estudio fueron equiparables a los 550 mg/L encontrados por Lei *et al.* (2007) para lixiviados del relleno sanitario de Shanghai. Para el caso de la laguna L-1, los valores en SST cercanos a los 200 mg/L, se aproximan más al rango de valores para lixiviados del tipo III reportado por Abdul *et al.* (2007), Cabeza *et al.* (2007) y Primo *et al.* (2008). Realmente, es muy difícil establecer un rango en los valores de este parámetro, dado que su concentración depende de diversos factores tales como la composición de los residuos, el nivel de compactación en los mismos, las características del material de cubierta y su compactación, entre los principales.

Autor	CE* en mS/cm
Deng, 2006	8.30
Huan <i>et al.</i> , 2007	5-29.2
Gupta y Singh, 2007	5.03-8.255
Primo <i>et al.</i> , 2008	7.23-10.3
Laines <i>et al.</i> , 2008	4.2
Lei <i>et al.</i> , 2007	33.50
Méndez <i>et al.</i> , 2009	17.1-18.5

\*CE: Conductividad Eléctrica.

**Cuadro 3** ■ Valores de Conductividad Eléctrica encontrados en lixiviados maduros.

Para el caso del color, los valores encontrados en el presente estudio estuvieron en el rango de 7000 a 12000 uc Pt-Co, que de acuerdo con lo reportado en diversos estudios (Altin 2008; Huan *et al.*, 2007; Telles *et al.*, 2006; Abdul *et al.*, 2007; Laines *et al.*, 2008 y Lei *et al.*, 2007) son valores típicos para lixiviados maduros, dado que estos pueden oscilar entre las 1000 y 13000 uc Pt-Co. Para lixiviados de este tipo, gran parte del color puede ser atribuible a compuestos refractarios de naturaleza orgánica tales como los ácidos húmicos, fúlvicos y humatos, además de otros contaminantes del tipo inorgánico.

Finalmente para el parámetro de conductividad eléctrica, las determinaciones no pudieron realizarse para los 4 meses de monitoreo, sin embargo, para los dos meses muestreados, puede apreciarse un incremento en la laguna L-2 de 5.65 a 10.53 mS/cm, comportamiento esperado como consecuencia de una mayor concentración de sales y de iones por efecto de la evaporación en la superficie de las lagunas para la temporada de estiaje. Por tanto, cabía esperar valores mayores para los siguientes muestreos. En general, los valores encontrados en este estudio, quedaron comprendidos dentro del rango desde 5 hasta 33.5 mS/cm para lixiviados tipo III reportados en la literatura (cuadro 3).

## CONCLUSIONES

En el presente estudio se caracterizaron con parámetros básicos los lixiviados generados en las dos lagunas con que cuenta el relleno sanitario de Tuxtla Gutiérrez. Como cabía esperar, el *lixiviado* de la laguna de la zona clausurada fue del tipo III o también conocido como viejo o estabilizado; para el caso de la laguna joven, el *lixiviado* también resultó ser del tipo III, contrario a lo esperado considerando la edad de los líquidos allí alojados.

En suma, de acuerdo con los resultados obtenidos, todo parece indicar que los procesos fisicoquímicos deben ser considerados como primera etapa de tratamiento en los lixiviados generados en el relleno sanitario de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. Sin embargo, cabe sugerir, la realización de un mayor número de muestreos a fin de corroborar la baja biodegradabilidad en los líquidos producidos.

## LITERATURA CITADA

- ABDUL-AZIZ, H., S. ALIAS, F. ASSARI, AND M. NORDIN A., 2007.** The use of alum, ferric chloride and ferrous sulphate as coagulants in removing suspended solids, color and COD from semi-aerobic landfill leachate at controlled pH. *Waste Management Research*. Número 25. Páginas 556-565.
- ALTIN, A., 2008.** An alternative type of photoelectro-Fenton process for the treatment of landfill leachate. *Science Direct*. Número 61. Páginas 391-397.
- APHA, A., 1995.** *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 19th ed., WPCF, New York.

- CABEZA, A., A. URTIAGA, M. RIVERO Y I. ORTIZ, 2007.** Ammonium removal from landfill leachate by anodic oxidation. *Journal of Hazardous Materials*. 144. 715-719.
- CASTILLO-BORGES, E.R., J.C. SALAZAR GONZÁLEZ, R.I. MÉNDEZ NOVELO, Y M.R. SAURI RIANCHO, 2006.** Remoción de metales pesados en el lixiviado de un relleno sanitario mediante un tratamiento fisicoquímico. XV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán.
- DENG, Y., 2007a.** Physicochemical removal of organic contaminants in municipal landfill leachate. In: *Landfill Research Focus*. Editor: Ernest C. Lehmann, 5-26.
- DENG, Y., 2007b.** Physical and oxidative removal of organics during Fenton treatment of mature municipal landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*. Volumen 4. Páginas 334-340.
- GIRALDO, E., 1997.** Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios. Volumen 2. Páginas 44-55.
- GUPTA, S. K.; G. SINGH, 2007.** Assessment of the efficiency and economic viability of various methods of treatment of sanitary landfill leachate. *Environ Moint Assess*. Número 135. Páginas 107-117.
- HUAN-JUNG, F., C. IEN-WHEI, L. MING-HSIEN & C. TZUCHEN, 2007.** Using FeGAC/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process for landfill leachate treatment. Department of Environmental Engineering, Hungkuang University. Taiwan. *Chemospher*. Volumen 67. Páginas 1647-1652.
- LAINES-CANEPA, J.R., J.A. GOÑI AREVALO, R.H. ADAMS SCHROEDER Y W. CAMACHO CHIU, 2008.** Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario. Universidad Autónoma del Estado de México. *Interciencia*. Volumen 33. Páginas 22-28.
- LEI, Y., Z. SHEN, R. HUANG & W. WANG, 2007.** Treatment of landfill leachate by combined aged-refuse bioreactor and electro oxidation. *Water Research*. 41: 2417-2426.
- LOPES, J. AND P. PERALTA-ZAMORA, 2005.** Use of advance oxidation processes to improve the biodegradability of mature landfill leachates. *Journal of Hazardous Materials*. 3: 181-186.
- LUNA, Y., E. OTAL, L. VILCHES, J. VALE, X. QUEROL, C. FERNÁNDEZ, 2007.** Use of zeolite-fly ash for landfill leachate treatment: A pilot plant study. *Waste Management*. 27: 1877-1883.
- MÉNDEZ-NOVELO, R.I., E.R. CASTILLO-BORGES, M.R. SAURI-RIANCHO, C.A. QUINTAL-FRANCO, G. GIÁCOMAN-VALLEJOS Y B. JIMÉNEZ-CISNEROS, 2009.** Comparación de cuatro tratamientos fisicoquímicos de lixiviados. *Revista internacional de contaminación ambiental* 25 (3): 133-145.
- PRIMO, O., A. RUEDA, M. J. RIVERO & I. ORTIZ, 2008.** An integrated process, fenton reaction – ultrafiltration, for the treatment of landfill leachate: pilot plant operation and analysis. *Engineering Chemistry* 47:946-952.
- RENOU, S., J. GIVAUDAN, S. POULAIN, F. DIRASSOUYAN, & P. MOULIN, 2008.** Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *J. Hazard. Mater*. 150: 468-493.
- ROJAS M. N., 2006.** Manejo de lixiviados y biogás generados en un relleno sanitario (generación, control, tratamiento y aprovechamiento: Metodologías y normas internacionales

*y nacionales para el manejo de lixiviados y biogás. Módulo II. Documento elaborado para la DGSUGDF. pág. 47-129.*

**TCHOBANOGLIOUS G. & F. KREITH, 2002.** *Handbook of solid waste management.* Segunda edición. Editorial McGraw-Hill. USA

**TELLES-BENATTI, C., C. R. GRANHEN-TAVARES Y T. GUEDES, 2006.** Optimization of Fenton's oxidation of chemical laboratory wastewaters using

the response surface methodology. *Journal of Environmental Management.* Volumen 80. Páginas 66-74.

**WANG, F., D. W. SMITH, AND M. GAMAL, 2003.** Application of advanced oxidation methods for landfill leachate treatment. *Journal Environmental Engineering Science 2: 413-427.*