

Influencia del material de cubierta en la composición de los lixiviados de un relleno sanitario

Roger Iván Méndez Novelo¹, Edgar Cachón Sandoval², María Rosa Sauri Riancho¹ y Elba René Castillo Borges¹

RESUMEN

Se presentan los resultados de la caracterización de los lixiviados generados en el relleno sanitario de la ciudad de Mérida y se comparan éstos con la composición típica de lixiviados de rellenos sanitarios. El relleno sanitario de la ciudad de Mérida utiliza un material de cubierta llamado sahcab que posee elevadas concentraciones de carbonatos de calcio, por lo que al reaccionar con los lixiviados, principalmente en la fase acidogénica, modifica la composición de los mismos, adicionándole principalmente elevadas concentraciones alcalinidad y calcio. Además, al ser un material fino, actúa como filtro, por lo que los lixiviados ahí generados, poseen bajas concentraciones de sólidos suspendidos y de carga orgánica suspendida (medida como DQO).

Palabras clave: Lixiviados, relleno sanitario, tratamiento fisicoquímico.

INTRODUCCIÓN

El relleno sanitario de la ciudad de Mérida es el único sitio de disposición final de los desechos sólidos generados en la ciudad. Las características geohidrológicas de la región (subsuelo altamente permeable y nivel freático del acuífero a menos de 8 m de la superficie) obligan a poner especial atención a la generación, manejo y disposición de los lixiviados generados.

Los lixiviados son líquidos que se generan por la liberación del exceso de agua de los residuos sólidos y por la percolación de agua pluvial a través de los estratos de residuos sólidos que se encuentran en las fases de composición (Cruz *et. al.*, 2001). El lixiviado es considerado como el principal y gran contaminante de un relleno. En la bibliografía, existen

numerosos estudios en los que se presentan evidencias de cómo estos líquidos pueden contaminar aguas superficiales y subterráneas (Cossu *et. al.*, 2001; Ding *et. al.*, 2001), por lo que la estimación de su producción a lo largo de la vida del relleno sanitario y la variación de su composición son datos valiosos para planear adecuadamente las obras de control que minimicen impactos negativos al medio ambiente.

El lixiviado de un relleno sanitario es un agua residual compleja, con considerables variaciones en la composición y el flujo volumétrico (Trebouet *et. al.*, 2001). La calidad de los lixiviados es determinada fundamentalmente por la composición de la basura depositada en el relleno, por los procesos de reacción bioquímica que tienen lugar en el mismo, por las condiciones de manejo del lixiviado y por las condiciones ambientales (Ehring, 1999; Borzacconi

¹ Profesor Investigador del Cuerpo Académico de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería UADY.

² Alumno de la Maestría en Ingeniería Ambiental, FIUADY

et. al., 1996). De acuerdo con lo anterior, la concentración y composición de contaminantes en el lixiviado pueden ser muy diferentes según las condiciones antes mencionadas, pero principalmente la edad del relleno. De hecho, las características de los lixiviados varían incluso dentro de un mismo relleno sanitario dado que pueden coexistir etapas aerobias de los frentes de trabajo de los rellenos, con las fases acidogénicas de las primeras semanas del relleno y con las metanogénicas que siguen a la fase ácida. Se hace necesario por tanto, realizar estudios de tratabilidad de cada lixiviado de cada relleno sanitario, por lo que no es posible transferir directamente el tipo de tratamiento aplicado a un lixiviado (Niininen *et. al.*, 1995; Agudelo, 1996).

Los lixiviados en el relleno arrastran a su paso material disuelto, en suspensión, fijo o volátil, lo que provoca que tengan elevadas cargas orgánicas y un color que varía desde café-pardo-grisáceo cuando están frescos hasta un color negro viscoso cuando envejecen. Se reportan concentraciones tan elevadas como 60,000 mg/l de DQO (Kennedy *et. al.*, 2001). Los lixiviados también poseen elevadas concentraciones de sales inorgánicas (cloruro de sodio y carbonatos) y de metales pesados. Varios estudios indican que el carbono orgánico en forma coloidal tiene el potencial de adsorber altas concentraciones de metales en su superficie, por lo que actúan como transporte de metales traza en los lixiviados (Dearlove, 1995).

Existe una relación directa entre el grado de descomposición de los desechos y los lixiviados que se generan. En el proceso, no pueden verse separados los líquidos provenientes de procesos de reacción bioquímica y de lixiviación. Todo cambio en la estructura y composición del relleno tiene efecto sobre las corrientes y la acumulación, de tal modo que el agua y los procesos en el relleno son magnitudes que se influyen recíprocamente.

De la explicación de los procesos bioquímicos, se desprende que la carga orgánica tiene mucha importancia para calcular la composición de los lixiviados. Los parámetros más importantes para ello, son la DQO y la DBO₅. Adicionalmente la relación DBO₅/DQO denominada índice de biodegradabilidad, refleja el grado de degradación de los lixiviados en el relleno y con ello los procesos de reacción bioquímica que están teniendo lugar en el relleno. La fase acidogénica está caracterizada por valores del índice de biodegradabilidad > 0.4, mientras que los valores del mismo índice para la fase metanogénica son < 0.1, lo que indica que las sustancias orgánicas tienen problemas para continuar

su degradación. Este resultado es relevante para elegir el método de tratamiento para los lixiviados, en especial tiene influencia en la velocidad de degradación. En caso de presencia de valores bajos de DQO y de DBO₅, pero valores altos del índice de biodegradabilidad (> 0.4) se puede inferir la entrada de aguas externas al relleno.

Se han ensayado en los lixiviados todos los sistemas de tratamiento aplicados a las aguas residuales, pero en general, los resultados obtenidos son muy inferiores a los obtenidos en otros tipos de desechos líquidos. Existen en la bibliografía numerosos reportes de experiencias de plantas de tratamiento para lixiviados de rellenos sanitarios. Las variaciones en la composición y el volumen generado de lixiviados de un relleno sanitario, complican el adecuado diseño y operación de las plantas de tratamiento.

Como parte de un proyecto de investigación sobre el tratamiento fisicoquímico de lixiviados de rellenos sanitarios, se hizo una caracterización de los lixiviados generados en la ciudad de Mérida. En este relleno sanitario, se utiliza como material de cubierta, un suelo propio de la región llamado sahcab, que es un material calcáreo no consolidado compuesto principalmente de carbonatos de calcio y de magnesio. Se planteaba la hipótesis de que la disolución de este material modificaría las características fisicoquímicas del lixiviado, principalmente la dureza y la alcalinidad. No se encontraron en la bibliografía consultada experiencias que relacionen el material de cubierta con la composición de los lixiviados.

A casi cuatro años de iniciado el relleno sanitario de la ciudad de Mérida, se han concluido casi 3 celdas del relleno y los lixiviados de todas ellas son almacenados inicialmente en el cárcamo recolector situado en la base de cada celda y posteriormente conducidos a lagunas de evaporación. En épocas de secas, los lixiviados son vertidos al mismo relleno para mantener las condiciones de humedad necesarias para la biodegradación de la materia orgánica.

METODOLOGÍA

Se realizaron 10 muestreos (uno cada semana) de los lixiviados almacenados en las lagunas de secado del relleno sanitario de la ciudad de Mérida. Se determinaron los siguientes parámetros: pH, DQO (total y soluble), DBO₅, COT, N-NH₃, NKT, N-org, Grasas y aceites, SAAM, P_{total},

Turbiedad, Dureza total, Alcalinidad, Cl, SO₄, O₂, S, SST, SSV, ST, STV, Redox, Fe, Mg, Mn, Zn, Na, K, Cd, Pb, Cr y Cu. Todas las determinaciones analíticas se realizaron de acuerdo con los Standard Methods (APHA-AWWA-WPCF, 1998).

Se compararon los resultados obtenidos de la caracterización de los lixiviados con los reportados en otros estudios. Se puso especial énfasis en los valores obtenidos en algunos parámetros (dureza, pH y

alcalinidad) para asociarlos con el material de cubierta empleado en el relleno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1, se presentan los resultados de la caracterización de los lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Mérida.

Tabla 1. Caracterización de los lixiviados

Parámetro (unidad)	Media	Rango	Parámetro (unidad)	Media	Rango
pH	8.40	8.34 – 8.50	Sulfuros (mg/l)	405	30 – 705
Turbiedad (UNT)	108	95 – 130	O ₂ (mg/l)	0.91	0.15 – 1.30
*Alcalinidad (mg/l)	6857	5340 – 11107	SST (mg/l)	73	42 – 88
*Dureza Total (mg/l)	964	720 – 1196	SSV (mg/l)	51	38 – 64
Cloruros (mg/l)	2804	2489 – 3332	ST (mg/l)	12810	10064– 16214
Sulfatos (mg/l)	0	0 – 0	STV (mg/l)	3839	2546 – 5260
DBO ₅ (mg/l)	1652	920 – 2580	Redox	67	30 – 123
DQO Total (mg/l)	5764	4460 – 7610	Fe (mg/l)	102.9	76.7 – 164.4
DQO Soluble (mg/l)	5532	4410 – 7490	Mn (mg/l)	1.28	1.08 – 1.49
COT (mg/l)	2857	2283 – 4380	Zn (mg/l)	5.02	3.60 – 5.80
Grasas y ac. (mg/l)	27	4 – 62	Na (mg/l)	20145	15540– 28180
SAAM (mg/l)	6.74	0.88 – 13.80	K (mg/l)	16139	3711 – 23100
N-NH ₃ (mg/l)	1481	1120 – 2303	Cd (mg/l)	0.0107	0.086 – 0.158
N-org (mg/l)	176	82 – 298	Pb (mg/l)	0.384	0.265 – 0.900
NKT (mg/l)	1659	1232 – 2515	Cr (mg/l)	6.98	4.74 – 14.35
P Total (mg/l)	24.74	7.04 – 45.54	Cu (mg/l)	0.320	0.290 – 0.388

* como CaCO₃

En las tablas 2 y 3, se presentan algunos valores típicos de diversos parámetros de lixiviados de rellenos sanitarios. En la primera, se comparan los valores de ciertos parámetros en las fases acidogénica y metanogénica; y en la segunda los parámetros en los que no se nota algún cambio entre ambas fases (Ehring, 1989).

Los lixiviados muestreados corresponden las lagunas de evaporación del relleno, donde se mezclan lixiviados de celdas de diferentes edades (todos menores de 4 años) por lo que existe en ellos una mezcla de las características de la fermentación ácida y la fermentación metanogénica. Además, están expuestos a la evaporación y a la recarga pluvial.

Son notorios los elevados valores de sodio y potasio de los lixiviados del relleno sanitario de la

ciudad de Mérida, valores que se relacionan con la disolución del material de cubierta usado. La presencia de metales disueltos indican que existen condiciones de anaerobiosis (etapa acidogénica principalmente), por lo que los metales se solubilizan, pero al pasar por el material de cubierta, el pH se eleva nuevamente sin alcanzar los valores a los cuales precipiten. Aunado a esto, la forma de operación del relleno sanitario, que consiste en almacenar los lixiviados en lagunas de evaporación y en épocas de poca precipitación pluvial recircularlo a las celdas del relleno, propicia que las concentraciones de metales se incrementen.

El pH de los lixiviados registrados siempre fue siempre alcalino, lo que correspondería a un lixiviado en la etapa metanogénica, sin embargo, los otros parámetros indican que la mayor parte de los

lixiviados provienen de condiciones acidogénicas y que por lo tanto el valor elevado del pH se debe a la influencia del sahcab.

La mayor parte de la materia orgánica de los lixiviados está presente en forma soluble como puede deducirse de los valores de la DQO total y soluble, es decir los lixiviados poseen muy poca materia orgánica suspendida; a esta misma conclusión se puede llegar si se analizan los sólidos totales y los sólidos suspendidos (los sólidos suspendidos totales representan sólo el 0.56% de los sólidos totales). La baja concentración de material suspendido en los lixiviados es una consecuencia del material de cubierta usado. El sahcab, al ser comprimido en las

capas de cubierta, reduce su porosidad y al contacto con los lixiviados se produce un doble efecto: por un lado las partículas suspendidas de mayor tamaño son retenidas por intercepción y por otro reacciona con el material de cubierta propiciado una disolución cuando el lixiviado es ácido. No obstante, puede existir material orgánico finamente dividido que alcanza a filtrarse en las capas de sahcab (y que tampoco es detectado en las determinaciones de DQO soluble y sólidos totales suspendidos) que tenga un tamaño coloidal y que por lo tanto pueda ser removido por el proceso de coagulación floculación a valores de pH bajos.

Tabla 2. Valores típicos de parámetros de lixiviados, que varían de acuerdo a la etapa del proceso del relleno sanitario

Parámetro (unidad)	Fermentación ácida		Fermentación metanogénica	
	Valor medio	Rango	Valor medio	Rango
pH	6.1	4.5 – 7.5	8.0	7.5 – 9.0
DQO (mg/l)	22000	6000 - 60000	3000	500 – 4500
DBO ₅ (mg/l)	13000	4000 - 40000	180	20 – 550
DBO ₅ /DQO	0.58	-----	0.06	-----
Fe (mg/l)	780	20 - 2100	15	3 – 280
Ca (mg/l)	1200	10 - 2500	60	20 – 600
Mg (mg/l)	470	50 - 1150	180	40 – 350
Mn (mg/l)	25	0.3 - 65	0.7	0 – 45
Zn (mg/l)	5	0.1 -120	0.6	0.03 – 4
Sr (mg/l)	7.2	1.1 – 14.7	0.94	0.3 – 7.25
SO ₄ (mg/l)	500	70 - 1750	80	10 - 420

Tabla 3. Valores típicos de parámetros de lixiviados, que no varían de acuerdo a la etapa del proceso del relleno sanitario

Parámetro (unidad)	Media	Rango	Parámetro	Media	Rango
Cl (mg/l)	2100	100 - 5000	P total (mg/l)	6	0.1 – 30
Na (mg/l)	1350	50 – 4000	AOX (µg Cl/l)	2000	320 – 3500
K (mg/l)	1100	10 – 2500	As (µg/l)	160	5 – 1600
Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	6700	300 – 11500	Cd (µg/l)	6	0.5 – 140
NH ₄ (mg/l)	750	30 – 3000	Co (µg/l)	55	4 – 950
N-org (mg/l)	600	10 – 4250	Ni (µg/l)	200	20 – 2050
KKT (mg/l)	1250	50 – 5000	Pb (µg/l)	90	8 – 1020
NO ₃ (mg/l)	3.0	0.1 – 50.0	Cr (µg/l)	300	30 – 1600
NO ₂ (mg/l)	0.5	0 – 25.0	Cu (µg/l)	80	4 – 1400
			Hg (µg/l)	10	0.2 - 50

Es práctica común que los sistemas de tratamiento de lixiviados incorporen procesos fisicoquímicos y biológicos (aerobios y/o anaerobios), debido a sus elevadas cargas orgánicas. El tratamiento fisicoquímico, consiste en la eliminación de las partículas suspendidas del líquido por la acción de sustancias denominadas coagulantes (sales metálicas y/o polielectrolitos). Involucra procesos de coagulación, floculación y sedimentación y el elemento fundamental para el éxito de este proceso es determinar el coagulante o la combinación de coagulantes más eficiente que se relaciona necesariamente con las características fisicoquímicas del líquido. Características como la alcalinidad, el pH, la concentración de sólidos suspendidos, carga eléctrica de las partículas suspendidas y la forma de agregación de estos sólidos son más relevantes que la concentración orgánica total, sobre todo de la fracción soluble.

En términos generales, las partículas coloidales de pequeño diámetro ($< 10 \mu\text{m}$) son las que le infieren color al líquido, mientras que partículas de mayor diámetro, coloidales o no, le producen turbiedad. Mientras que para las primeras, los valores de pH óptimos para su remoción son bajos, de 3.5 a 6, para las segundas, los valores de pH son cercanos a la neutralidad, de 6 a 7.5. En los lixiviados, al igual que en las aguas residuales, existe una gran dispersión de tamaños de partículas, por lo que los valores óptimos de pH son intermedios entre los dos tipos de partículas mencionados. En un estudio realizado con los lixiviados de 4 rellenos sanitarios de distintas edades (Jensen, 1999), se concluyó que las partículas que le infieren turbiedad a los lixiviados son predominantemente coloides de 0.1 a 40 μm y que el parámetro que mejor se asocia con esta concentración es el carbono orgánico total (COT). Para la realización de este estudio, se realizaron filtraciones sucesivas de los lixiviados después de someterlos a una sedimentación durante 4 horas, lapso en el que se produjo un significativo decremento de la turbiedad, lo que indica la presencia de sólidos suspendidos de tamaño mayor que el coloidal en los lixiviados. De lo anterior puede deducirse que las eficiencias de remoción de DQO

por el método coagulación floculación sólo podrá ser efectiva a valores de pH bajos, es decir para remover color.

Los lixiviados muestreados poseen turbiedades bajas (108 UNT en promedio) y cargas elevadas de materia orgánica disuelta o en forma coloidal que aportan color al líquido. Poseen además elevadas concentraciones de alcalinidad y valores de pH alcalinos. Con estas características no se espera obtener altas eficiencias de remoción de materia orgánica con un proceso coagulación floculación a valores de pH neutros, sino que necesariamente debe plantearse el proceso fisicoquímico para remover color, es decir a valores de pH bajos.

CONCLUSIONES

El sahcab utilizado como material de cubierta en el relleno sanitario de la ciudad de Mérida propicia que los lixiviados generados posean elevadas concentraciones de sodio y potasio, así como de pH y de metales pesados.

Existen elevadas concentraciones de metales pesados en el lixiviado y seguirán incrementándose conforme avanza la vida útil del relleno.

La mayor parte de la materia orgánica de los lixiviados está en forma soluble o coloidal porque las partículas de mayor tamaño son removidas por el sahcab.

El proceso fisicoquímico para obtener buenas eficiencias de remoción de materia orgánica deberá realizarse a valores de pH bajos.

CRÉDITOS

El presente trabajo se realizó con el financiamiento del CONACyT, dentro del proyecto "Tratamiento fisicoquímico de lixiviados de composteo".

REFERENCIAS

- Agudelo R. A. 1996, "Tratamiento de lixiviados producidos en el relleno sanitario Curve de Rodas de la ciudad de Medellín utilizando reactores UASB y filtros anaerobios FAFA", IV Seminario-Taller Latinoamericano sobre tratamiento anaerobio de aguas residuales, Bucalamanga, Colombia.

- APHA-AWWA-WPCF, 2000, "Standard Methods for Examination of water and Wastewater", XVIII Edition, USA.
- Borzzaconi L., López I., Ohanian M. y Viñas M., 1996, "Degradación anaerobia de lixiviado de relleno sanitario y post-tratamiento aerobio", IV Seminario-Taller Latinoamericano sobre tratamiento anaerobio de aguas residuales, Bucalamanga, Colombia.
- Cossu R., Haarstad K., Lavagnolo M. y Littaru P., 2001, "Removal of municipal solid waste COD and NH₄-N by phyto-reduction: A laboratory-scale comparison of terrestrial and acuatic species at different organics loads", Elsevier Science Ltd. www.elsevier.com/locate/ecoleng.
- Cruz R., Orta M., Sánchez J. y Rojas M., 2001, "Estimación de la generación de lixiviados en rellenos sanitarios mediante un balance de agua en serie", Memorias del AMCRESPAC, Querétaro, México.
- Dearlove J., 1993, "Geochemical interaction processes between landfill clay liner materials and organo-metallic leachate", Waste Disposal by Landfill, Balkema, Rotterdam.
- Ding A., Zhang Z., Fu J. y Cheng L., 2001, "Biological control leachate from municipal landfill", Elsevier Science Ltd, www.elsevier.com/locate/ecoleng
- ^aEhrig H., 1989, "Water and element balances of landfills", Earth Sciences, The Landfill, Springer-Verlag Press, USA.
- ^bEhrig H., 1999, "Cantidad y contenidos de lixiviados de rellenos de desechos domésticos", CEPIS/OPS
- Jensen D. & Christensen T., 1999, "Colloidal and dissolved metals in leachates from four danish landfills", Water Residual, Vol.33, No.9, UK.
- Kennedy L. y Everett J., 2001, "Microbial degradation of simulated landfill leachate: solid iron/sulfur interaction", Elsevier Science Ltd, www.elsevier.com/locate/ecoleng/aer
- Miinen M., Kalliokoski P. y Pärjälä E., 1993, "Quality of landfill leachates and their effect on groundwater", Waste Disposal by Landfill, Balkema, Rotterdam.
- Trebouet D., Schlumpf J., Jaquen P. y Quemeneur F., 2001, "Stabilized landfill leachate treatment by combined physicochemical-nanofiltration processes", Elsevier Science Ltd, www.elsevier.com/locate/waters