



Ingeniería Revista Académica
Universidad Autónoma de Yucatán
cecar@tunku.uady.mx
ISSN (Versión impresa): 1665-529X
MÉXICO

2004

Roger Méndez Novelo / Elba Castillo Borges / María Rosa Sauri Riancho / Carlos
Quintal Franco / Germán Giacomán Vallejos / Blanca Jiménez Mejía
TRATAMIENTO FÍSICOQUÍMICO DE LOS LIXIVIADOS DE UN RELLENO
SANITARIO

Ingeniería Revista Académica, mayo-agosto, año/vol. 8, número 002
Universidad Autónoma de Yucatán
Mérida, México
pp. 155-163

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Universidad Autónoma del Estado de México



Tratamiento fisicoquímico de los lixiviados de un relleno sanitario

Roger Méndez Novelo¹, Elba Castillo Borges², María Rosa Sauri Riancho, Carlos Quintal Franco, Germán Giacomán Vallejos, Blanca Jiménez Mejía³

RESUMEN

Se describe un procedimiento para determinar la dosis y tipo de coagulante óptimos para el tratamiento fisicoquímico de lixiviados de un relleno sanitario. Se realizaron 864 determinaciones de la prueba de jarras a los lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Mérida, en los que se probaron 4 coagulantes metálicos (cloruro férrico, sulfato férrico, policloruro de aluminio y sulfato de aluminio) con dosis de 50 a 300 mg/l y 2 polielectrolitos (aniónicos y catiónicos de alta densidad) con dosis de 2 a 12 mg/l. No se encontraron una dosis y un tipo de coagulante óptimos y la mejor remoción de contaminantes medida como demanda química de oxígeno (DQO) se obtuvo con la dosis de 300 mg/l.

Las eficiencias de remoción de DQO soluble resultaron bajas; de 0 a 47%, con valor medio de 4%. Estos valores bajos de remoción de materia orgánica son debidos a las características particulares del lixiviado tratado (baja concentración de sólidos suspendidos), por lo que ni aún por acción de barrido (con dosis de 300 mg/l), se obtuvieron buenas eficiencias de remoción de DQO.

Se determinaron los tamaños de las partículas contenidas en los lixiviados y resultaron en un rango de 0.4 a 948 μm , con valores promedio de 23 μm . Estos tamaños de partículas corresponden a coloides que infieren color al líquido.

Se determinó el potencial de hidrógeno (pH) óptimo para un tratamiento fisicoquímico a los lixiviados y resultó de 1 con el que se obtuvieron remociones del 42% de materia orgánica medida como DQO.

Palabra clave: coagulación – floculación, lixiviado, tamaño de partícula, relleno sanitario

INTRODUCCIÓN

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. Tanto en los tiraderos a cielo abierto, como en los primeros rellenos sanitarios no se controlaban las emisiones líquidas (llamadas lixiviados) y éstos escurrían a fuentes superficiales de agua, o bien, se infiltraban a las capas inferiores del terreno y en muchos casos contaminaban los acuíferos. Existen en la bibliografía numerosos reportes de ejemplos de impactos a acuíferos ocasionados por rellenos sanitarios. 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.

¹ *Profesor del Cuerpo Académico de Ingeniería Ambiental, FIUADY, mnovelo@tunku.uady.mx*

² *Profesor del Cuerpo Académico de Ingeniería Ambiental, FIUADY*

³ *Profesor Investigador del Instituto de Ingeniería, UNAM*

La generación de lixiviados depende de muchos factores: grado de compactación de los desechos, grado de humedad inicial de la basura, material de cubierta de las celdas, precipitación pluvial, humedad atmosférica, temperatura, evaporación, evapotranspiración, escurrimiento, infiltración, capacidad de campo del relleno, etc. En general, se puede afirmar que es mucho más difícil estimar la cantidad de lixiviado producido en un relleno sanitario que en un terreno natural. Una razón para ello es que la estructura y composición de los desechos es tal (del 5 al 30% de material pequeño) que impide que el relleno se humedezca en forma homogénea, de tal forma que a menudo se pueden formar canales gruesos de lixiviados (Lu *et.al.*, 1985). Además, el alto contenido de sustancias orgánicas de los desechos, al estar sometidos a procesos de reacción bioquímica, producen variaciones en la estructura del relleno.

La composición de los lixiviados depende del tipo de desecho confinado, del nivel de degradación de los residuos y del volumen producido. 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.

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 relacionan 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.

Entre los coagulantes más utilizados, se encuentran las sales metálicas (sulfato y cloruro de aluminio, sulfato y cloruro férrico o poliférrico, etc.) y sustancias orgánicas genéricamente denominadas polielectrolitos. Existen en el mercado una gran

cantidad de polielectrolitos, muchos de ellos con nombres comerciales y fórmulas desconocidas, pero se pueden clasificar como catiónicos, aniónicos y neutros, y cada uno de estos grupos de alta, media o baja densidad.

En términos generales, las partículas coloidales de pequeño diámetro ($< 10 \mu\text{m}$) son las que le infieren color al agua, 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 y Christensen, 1999), se concluyó que las partículas que le infieren turbiedad a los lixiviados son predominantemente coloides de 0.1 a $40 \mu\text{m}$ y que el parámetro que mejor se asocia con esta concentración es el carbón orgánico total (COT). En 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.

En propósito del estudio fue determinar el tipo de coagulante y las dosis óptima necesaria para la mejor remoción de materia orgánica medida como demanda química de oxígeno (DQO).

METODOLOGÍA

Caracterización de los lixiviados: Se realizaron 10 muestreos de los lixiviados y se determinaron los siguientes parámetros: pH, DQO (total y soluble), COT, Turbiedad, Alcalinidad, sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV), sólidos totales (ST), sólidos totales volátiles (STV). Todas las determinaciones analíticas se realizaron de acuerdo con los Standad Methods (APHA-AWWA-WPCF, 1998).

Determinación de dosis óptima de coagulantes para el tratamiento fisicoquímico convencional: Se realizaron ensayos de jarras con los que se probaron 4 coagulantes metálicos (cloruro férrico, sulfato férrico, policloruro de aluminio y sulfato de aluminio) y 2 polielectrolitos (aniónicos, catiónicos de alta densidad). Para cada combinación de coagulantes, se

realizaron ensayos de jarras con amplios rangos de dosis; de 50 a 300 mg/l (50, 100, 150, 200, 250 y 300 mg/l) para los coagulantes metálicos y de 2 a 12 mg/l (2, 4, 6, 8, 10 y 12 mg/l) para los polielectrolitos. Como la composición de los lixiviados fue muy variable, cada ensayo de jarras se realizó por triplicado y las dosis de los coagulantes se seleccionaron aleatoriamente. En cada ensayo de jarras se procedió de la siguiente manera: se agitó durante un minuto a un gradiente hidráulico de 320 s^{-1} el lixiviado con las dosis de coagulantes utilizados para propiciar el proceso de coagulación, posteriormente se agitó con un gradiente hidráulico de 60 s^{-1} durante 20 minutos para simular el proceso de floculación y por último se dejó sedimentar durante 20 minutos el líquido floculado y se tomó una muestra a 10 cm de la superficie. Las determinaciones analíticas de los lixiviados crudos y tratados fueron: pH, temperatura, alcalinidad, turbiedad, DQO y COT.

Determinación de los tamaños de las partículas.

Para determinar los tamaños de las partículas de los lixiviados e inferir las eficiencias de remoción esperadas, se analizaron 9 muestras de lixiviado en un equipo Coulter modelo LS100Q, el cual se basa en el método de dispersión de la luz en un rango de 0.4 a $900 \mu\text{m}$.

Los datos obtenidos se analizaron aplicando el modelo estadístico de efectos fijos de dos vías donde las fuentes de variación fueron las combinaciones de coagulantes y las dosis y la variable respuesta la eficiencia de remoción de DQO.

RESULTADOS

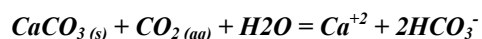
En la Tabla 1, se presentan los resultados de la caracterización de los lixiviados.

Tabla 1. Caracterización de los lixiviados

Parámetro [unidad]	Media	Rango	Parámetro [unidad]	Media	Rango
pH	8.40	8.34-8.50	Redox [mg/l]	67	30-123
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
Sulfuros [mg/l]	405	30-705	STV [mg/l]	3839	2546-5260
DBO ₅ [mg/l]	1652	920-2580	Cu [mg/l]	0.320	0.290-0.388
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 aceites [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]	27.74	7.04-45.54			

*expresados como CaCO₃.

Los lixiviados muestreados corresponden a los tanques de almacenamiento del relleno sanitario, donde se mezclan lixiviados de celdas de diferentes edades (< 4 años) por lo que existe una mezcla de las características de la fermentación ácida y la fermentación metanogénica. Además, están expuestos a la evaporación y a la recarga pluvial. Aunado a lo anterior, se utiliza un material de cubierta denominado sahcab, el cual posee un alto contenido de carbonato de calcio, que al contacto con el agua de lluvia y en presencia de altos contenidos de CO₂, se disuelve el calcio mineral carbonatado mediante la siguiente reacción:



lo que significa que se incrementa la dureza del líquido y produce un aporte de calcio a los lixiviados.

Comparando la caracterización de los lixiviados con los reportados por Ehring (1989) (Tablas 2 y 3), puede observarse que las concentraciones de materia orgánica medidas como DQO, y DBO₅ tienen valores intermedios entre los clasificados como de fermentación ácida y los de fermentación metanogénica.

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 (µgCl/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

Son notorios los elevados valores de sodio y potasio 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 las capas del material de cubierta, el pH se eleva nuevamente sin alcanzar los valores a los cuales precipitan.

La mayor parte de la DQO está en forma soluble y por lo tanto no es factible su eliminación

por el proceso fisicoquímico ensayado. A esta misma conclusión puede llegarse, si se analizan los sólidos suspendidos totales, ya que representan únicamente el 0.56% de los sólidos totales. No se pudieron comparar estos resultados con los reportados en otras caracterizaciones de lixiviados, dado que en general sólo se reportan DQO total y SST. No obstante, González (2000), reportan, al igual que nuestro estudio, que la mayor parte de la DQO se encuentra en forma soluble (Tabla 4).

Tabla 4.- Características de composición de varios lixiviados

Parámetro [unidad]	Mérida ^a	Veracruz ^b	d. F. ^c	Medellín ^d	Montevideo ^e	Cagliari ^f	Finlandia ^g
PH	8.40	7.25	n.e.	6.89	8	8.3	7.1
*Alcalinidad [mg/Lt]	6857	n.e.	n.e.	7646	9280	n.m.	n.e.
*Dureza Total [mg/Lt]	964	n.e.	n.e.	5166	3330	n.m.	n.e.
Cloruros [mg/Lt]	2804	n.e.	n.e.	2863	3280	n.m.	170
Sulfatos [mg/Lt]	0	n.e.	n.e.	492	91	n.m.	n.e.
DBO ₅ [mg/Lt]	1652	4279	n.e.	14018	10510	2500	270
DQO Total [mg/Lt]	5764	4839	37000	19100	18550	7802	600
DQO Soluble [mg/Lt]	5532	n.e.	36300	n.e.	n.e.	n.m.	n.e.
COT [mg/Lt]	2857	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.m.	379
Grasas y aceites [mg/Lt]	27	3.5	n.e.	18	n.e.	n.m.	n.e.
N-NH ₃ [mg/Lt]	1481	n.e.	3696	897	1470	3231	88
N-org [mg/Lt]	176	n.e.	n.e.	n.e.	340	314	n.e.
NKT [mg/Lt]	1659	1194	5292	1192	1640	3545	n.e.
P Total [mg/Lt]	24.74	0.59	n.e.	64.54	17	18	0.5
SST [mg/Lt]	73	125	1036	n.e.	n.e.	n.m.	n.e.
SSV [mg/Lt]	51	n.e.	572	n.e.	n.e.	n.m.	n.e.
ST [mg/Lt]	12810	n.e.	n.e.	n.e.	21700	16580	80
STV [mg/Lt]	3839	4475	n.e.	n.e.	9400	5190	n.e.
Fe [mg/Lt]	102.9	n.e.	n.e.	206.94	41	n.m.	7.7
Mn [mg/Lt]	1.28	n.e.	n.e.	143	10.24	n.m.	1.9
Zn [mg/Lt]	5.02	0.255	n.e.	2332.85	3.8	n.m.	0.2
Na [mg/Lt]	20145	n.e.	n.e.	1146.96	n.e.	n.m.	n.e.
K [mg/Lt]	16139	n.e.	n.e.	2.76	n.e.	n.m.	n.e.
Cd [mg/Lt]	0.0107	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.m.	6x10 ⁻⁴
Pb [mg/Lt]	0.384	0.088	n.e.	33.927	0.51	n.m.	0.014
Cr [mg/Lt]	6.98	n.e.	n.e.	751.04	2.6	n.m.	9x10 ⁻³
Cu [mg/Lt]	0.320	0.029	n.e.	1169.63	n.e.	n.m.	4x10 ⁻³

* expresados como CaCO₃, n.e. = no especificado, n.m. = no medido

a: *Extraído de Méndez et. al., 2001; b: Extraído de González et. al., 2001; c: Extraído de González et. al., 2000; d: Extraído de Agudelo, 1996; e: Extraído de Borzacconi et. al., 1996; f: Extraído de Cossu et. al., 2001; g: Extraído de Niininen et. al., 1995.*

Las eficiencias de remoción de DQO soluble obtenidas de los 864 ensayos de la prueba de jarras, resultaron bajas; de 0 a 47%, con valor medio de 4% (Figura 1). Estos valores bajos de remoción de materia orgánica son debidos a las características particulares del lixiviado tratado (baja concentración de sólidos suspendidos), por lo que ni aún por acción de barrido (con dosis de 300 mg/l), se obtuvieron buenas eficiencias de remoción de DQO. En la Tabla 5, se presenta el resultado del análisis de varianza del modelo aplicado.

En los resultados del ANOVA, se puede observar que la única fuente de variación significativa es la dosis del coagulante metálico, y de estas, la significativamente diferente es la de 300 mg/l, (Figura

2). Este resultado indica que a dosis superiores de coagulante pueden obtenerse mejores eficiencias de remoción, dado que la acción de barrido es mas intensa. Tatsi *et. al.* (2003) obtuvieron remociones del 25 al 38% de DQO en lixiviados frescos con dosis de 3000 mg/l de Al^{+3} en un tratamiento fisicoquímico semejante. Los mismos autores reportan que con la acción combinada de 500 mg/l de Al^{+3} y 1000 mg/l de cloruro férrico obtuvieron remociones del 70% de DQO. Durán *et. al.* (2002) reportan eficiencias de remoción de DQO en lixiviados viejos sometidos a un proceso de clarificación (coagulación – floculación – sedimentación y filtración) de 78%, trabajando con dosis de 800 mg/l de sulfato férrico y 600 mg/l de sulfato de aluminio.

Tabla 5. ANOVA aplicado a los tipos y dosis de coagulantes α

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	Alfa
Tipo de coagulante metálico	34.9256	3	11.6419	0.42	0.7415
Dosis de coagulante metálico	583.638	5	116.728	4.17	0.0009
Tipo de polielectrolito	89.6948	1	89.6948	3.21	0.0737
Dosis de polielectrolito	142.276	5	28.4552	1.02	0.4063
Residual	23695.8	847	27.9762		
Total	24546.8	861			

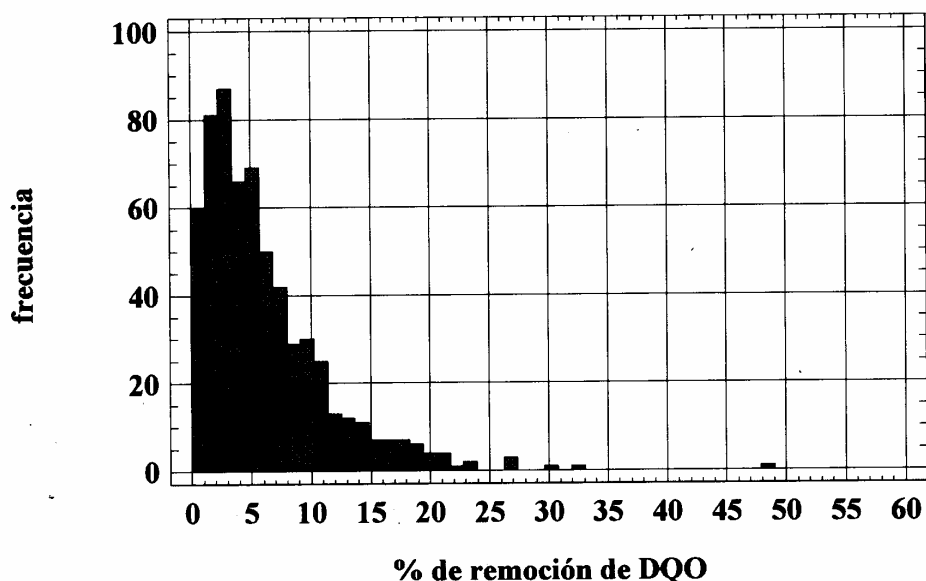


Figura 1. Eficiencias de remoción de DQO soluble obtenidas en los 864 ensayos de prueba de jarras

Debido a los bajos valores de remoción obtenidos, se procedió a determinar los tamaños de las partículas del lixiviado. Los resultados obtenidos, se muestran en la Figura 3. El rango de tamaños de partículas contenidas en los lixiviados fue de 0.375 a 948.2 μm , con valor medio de 22.97 μm , pero el

mayor número de partículas estuvo en el rango de 0.4 a 75 μm . Puede observarse que el porcentaje de partículas de tamaño < 10 μm es bajo, aproximadamente del 10%, por lo que la remoción esperada del proceso fisicoquímico a pH bajo también será bajo.

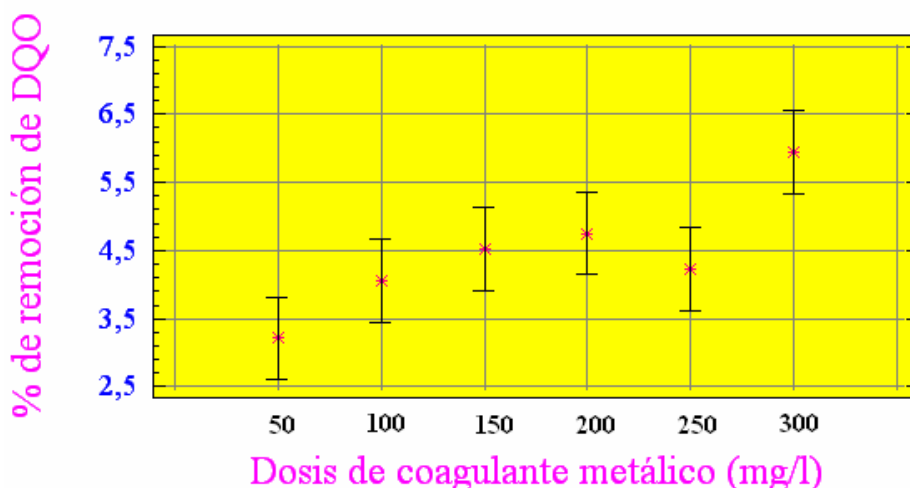


Figura 2. Diferencia significativa mínima para las dosis de coagulante metálico ($\alpha = 0.05$)

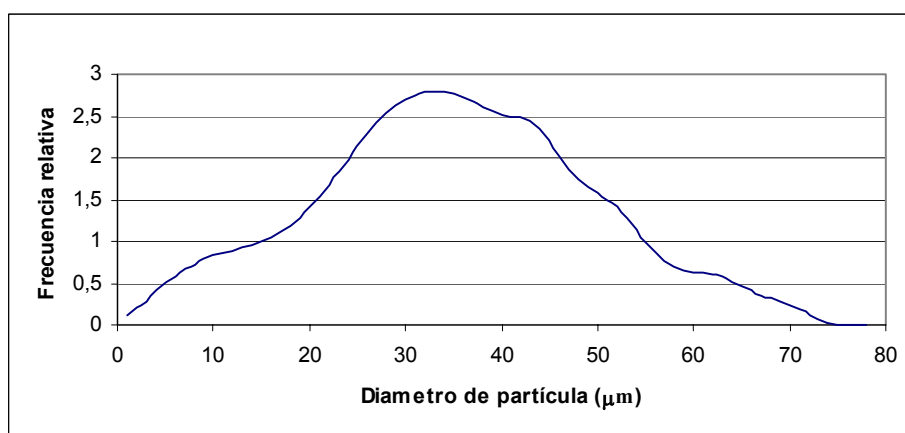


Figura 3. Dispersión de tamaños de partículas de los lixiviados crudos

Los tamaños de las partículas coloidales encontradas son semejantes a las reportadas por Jensen & Christensen (1998), es decir, las mayores concentraciones de tamaños se encuentran entre 0.001 a 40 μm , así como las reportadas por Marttinen *et al.*, (2002) quienes indican que del 71 al 84% de las partículas se encuentran en el rango de 0.1 a 41 μm . En ambos artículos, se indica que la determinación de tamaños se realizó utilizando un filtrado secuencial de los lixiviados, en contraste con la determinación por

medio del equipo Coulter, el cual nos permite obtener la distribución de tamaños con mayor precisión.

Para eliminar las partículas coloidales de tamaño pequeño, se realizaron por triplicado pruebas de jarras en los que se hizo variar el pH de 1 a 6. En éstas se utilizaron gradientes hidráulicos de 320 s^{-1} durante un minuto para la mezcla rápida; gradientes de 60 s^{-1} durante 20 minutos para la mezcla lenta; 20 minutos de tiempo de sedimentación y dosis de 300 mg/l de cloruro férrico. Los resultados se muestran en

la Tabla 6. En ésta, puede observarse que los valores de los sólidos suspendidos se incrementan en la prueba de jarras, lo que indica que parte de los coloides de pequeño tamaño, o de material disuelto (los cuales no se incluyen en la determinación de los SST), son aglutinados, pero no alcanzaron a ser

removidos en la sedimentación. Sin embargo, se obtienen remociones de DQO superiores del 40%, a valores de pH < 2. Estas remociones, se obtienen tanto para la DQO total como para la DQO soluble, lo que indica que se remueven partículas coloidales de tamaño pequeño o sólidos disueltos.

Tabla 6. Pruebas de jarras de lixiviados a diferentes valores de pH

Parámetro (unidad)	Muestra	pH					
		1	2	3	4	5	6
Turbiedad (UNT)	Inicial	342					
	Final	510	414	396	557	464	514
	Remoción	---	---	---	---	---	---
SST (mg/l)	Inicial	342					
	Final	510	414	396	557	464	514
	Remoción	---	---	---	---	---	---
ST (mg/l)	Inicial	19411					
	Final	18879	15586	21537	21760	21537	19949
	Remoción	2.74	19.71	---	---	---	---
STV (mg/l)	Inicial	7779					
	Final	8609	9857	10783	10485	10251	10218
	Remoción	---	---	---	---	---	---
DQO Total (mg/l)	Inicial	5740					
	Final	3323	3422	3557	4297	4575	4837
	Remoción	42.11	40.38	38.03	25.14	20.30	15.73

CONCLUSIONES

La mayor parte de los sólidos de los lixiviados se encuentran en forma soluble o coloidal de pequeño tamaño (< 50 µm) lo que propicia que las eficiencias de los procesos de clarificación sean bajas.

La mejor dosis coagulante fue de 300 mg/l de sulfato férrico, con la que se obtuvieron eficiencia de remoción de DQO soluble del 5.7%, la cual actuó por acción de barrido.

No existió diferencia significativa entre los tipos de coagulantes utilizados.

La dispersión de partículas del lixiviado se encuentran en el rango de 0 a 75 µm, parte de las cuales pueden ser removidas con el proceso coagulación – floculación – sedimentación a pH bajo.

A valores de pH = 1 se obtienen remociones de DQO superiores del 42% por la aglutinación de coloides de pequeño tamaño o la precipitación de sólidos disueltos.

Los elevados valores de sodio y potasio de los lixiviados se debieron a la disolución del sahcab.

RECONOCIMIENTOS

Al CONACYT por haber aportado el financiamiento para la ejecución del proyecto: “Tratamiento fisicoquímico de lixiviados de un relleno sanitario”, con número de clave: CONACYT 31139-U, del cual se derivó el presente artículo.

REFERENCIAS

- Agudelo R. A. (1996). Tratamiento de lixiviados producidos en el relleno sanitario “Curva 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 y WPCF (1998), “Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water” 20th Edition, Washington.
- Borzacconi L., López I. y Anido C. (1996). Metodología para la estimación de la producción y concentración de lixiviado de un relleno sanitario. XXV Congreso Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Tomo III. D. F. México.
- Cossu R., Haarstad K., Lavagnolo C. y Littarru 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 organic loads. Elsevier Science Ltd. www.elsevier.com/locate/ecoleng.
- Duran P., Ramírez Z. y Durán M. (2002), “Bioadsorción de lixiviados viejos clarificados”, Memorias del XIII Congreso Nacional de la FEMISCA, pp. 455-460.
- Ehrig H. (1989). Water and elements balances of landfills. Earth Sciences, The Landfill, Springer-Verlag Press. USA.
- González G., Hernández M. y Tejeda M. (2001). Diseño de reactores biológicos para evaluar la influencia de lixiviados en la transformación de la materia orgánica contenida en residuos sólidos. Memorias del AMCRESPAC. Querétaro, Qro. México.
- González S. y Valdivia C. (2000). Tratamiento de los lixiviados de prados de la montaña en un sistema de lodos activados. En XII Congreso Nacional 2000 (Modelos y técnicas analíticas), Tomo II. México.
- Jensen D. & Christensen T. (1999), "Colloidal and dissolved metals in leachates from four danish lnsfills", Water Residual, Vol.33, No.9, UK.
- Lu j., Eichenberger B. & Stearns R. (1985). "Leachate from municipal landfills production and management", Pollution Technology Review, No.119, Noyes Publications, USA.
- Marttinen S., Kettunen R. & Rintala J. (2002) “Occurrence and removal of organic pollutants in sewages and landfill leachates”, The Science of the Total Environment, No. 301, pp. 1-12.
- Méndez R., Castillo E., Comas M., Pat R. y Cachón E. (2001). Tratamiento fisicoquímico de lixiviados de un relleno sanitario. Memorias del AMCRESPAC. Querétaro, Qro. México.
- Niininen M., Kalliokoski P. y Pärjälä E. (1995). Quality of landfill leachates and their effect on groundwater. Waste Disposal by Landfill (GREEN '93). Rotterdam.
- Tatsi A., Zouboulis A., Matis K. & Samaras P. (2003), “Coagulación – flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates”, Chemosphere, www.elsevier.com/locate/chemosphere, (Article in press).