

Caracterización e implementación de un método fisicoquímico para el tratamiento del lixiviado proveniente del relleno sanitario el carrasco



Characterization and implementation of a physicochemical method for leachate treatment from the landfill carrasco.

Oscar D. Guarín Villamizar¹ Sandra Milena Gómez Plata²

RESUMEN

El relleno sanitario el Carrasco está ubicado al nororiente de Colombia en el municipio de Bucaramanga; el lixiviado que se genera por la degradación de las basuras provenientes de este municipio y su zona metropolitana lleva una gran contaminación a la quebrada “La Iglesia” ubicada a pocos metros de este relleno al igual que a los recursos hídricos subterráneos que circundan el relleno. Es imprescindible la creación de un tratamiento inmediato del lixiviado usando reactivos y tecnología accesible para nuestra región ya que este problema representa un impacto ambiental muy grave. Este trabajo presenta una alternativa viable por su bajo costo y alta eficiencia planteando un tratamiento físico-químico para el lixiviado proveniente del sitio de disposición final de residuos sólidos. Los resultados a escala de laboratorio muestran que es posible mitigar el impacto ambiental negativo de este líquido percolado para los recursos hídricos cercanos.

Palabras claves: Lixiviado, Relleno Sanitario, Percolado, Coagulación, Oxidación, Neutralización.

ABSTRACT

The Carrasco Landfill is located at the northeastern region of Colombia in the municipality of Bucaramanga, the leachate is generated by the degradation of the wastes from this city and its metropolitan areas leads to a heavily polluted stream “The Church” located a few meters this stuffing as well as underground water resources that surround the filling. It is imperative the creation of an immediate treatment of leachate using reactive and accessible technology to our region and that this problem represents a serious environmental impact. This paper presents a viable alternative because of its low cost and high efficiency to be a physico-chemical treatment for the leachate from the site of final disposal of solid waste results in the laboratory show that it is possible to mitigate the negative environmental impact of water percolated close to water.

Keywords: Leachate, landfill percolate, coagulation, oxidation, neutralization.

INTRODUCCION

En las últimas décadas se ha producido un constante incremento en la generación de residuos sólidos urbanos que ha provocado en muchos casos una ruptura del equilibrio entre la biosfera del planeta y las actividades humanas. A partir de la década de los 50 las basuras se han convertido en uno de los problemas ambientales más notables. En la segunda mitad del siglo XX, se han experimentado una serie de procesos sociales como: el declive de las comunidades rurales, las grandes concentraciones urbanas, los usos consumistas, la incorporación de elementos difícilmente reutilizables y degradables, la generación de desechos a partir de las actividades industriales, sanitarias, comerciales, etc., para los que no se había previsto un mecanismo de reciclado, eliminación o transformación diferente al vertido¹. La consecuencia más directa de esta sobreproducción de residuos ha sido la proliferación de vertederos, en su inmensa mayoría ilegal y medioambientalmente inaceptable; estos vertederos han provocado que las zonas de dominio público como ríos, arroyos, montes, playas, etc., se hayan degradado y sufrido procesos de contaminación, incendios forestales, contaminación atmosférica, etc.

El lixiviado obtenido como producto de la percolación del agua lluvia y de la humedad de los residuos a través de las capas de estos desechos y de las capas de cobertura constituyen una amenaza a la estabilidad ambiental por su contenido tóxico. Por tal razón, se hace necesario generar y aplicar tecnologías de tratamiento al lixiviado del relleno sanitario “El Carrasco” con el fin de disminuir el nivel de contaminación en los suelos que son atravesado por éste y en las corrientes de agua en las cuales se descarga, ya que en la actualidad estos líquidos percolados son vertidos en la quebrada La Iglesia sin un tratamiento previo definitivo que remueva la gran carga contaminante que poseen.

Materiales y Métodos

Algunos de los procedimientos empleados están basados en el standard methods para análisis de agua residual y agua potable, y los demás en el manual de la agencia para la protección ambiental de los Estados Unidos para desechos sólidos 846.

Los reactivos empleados en el proceso de coagulación floculación son grado comercial, el material de vidrio usado fue marca Pyrex®.

Desarrollo experimental

El proyecto se encuentra dividido en tres etapas. En la primera se efectuó el estudio de las propiedades físicas y químicas del lixiviado tales como: sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO), pH, color aparente, turbidez y metales. Dentro de esta caracterización fisicoquímica se destaca el análisis realizado para los compuestos orgánicos volátiles, semivolátiles y no volátiles y compuestos inorgánicos, procedentes de las partes sólida (lodo) y líquida del lixiviado.

La segunda etapa corresponde a los ensayos preliminares realizados al lixiviado como floculación, neutralización y sedimentación, entre otros, para así llegar al tratamiento fisicoquímico con el mayor porcentaje de remoción de contaminantes. La tercera etapa comprende el desarrollo del tratamiento fisicoquímico para la remoción total o parcial de los altos índices de contaminantes previamente caracterizados; los cuales serán controlados mediante el análisis de turbidez, pH, color y DQO principalmente. Las pruebas experimentales se llevaron a cabo en los laboratorios del Centro de estudios e Investigaciones Ambientales- CEIAM- de la Universidad Industrial de Santander-UIS-, utilizando un volumen de lixiviado correspondiente a 1 litro para las pruebas.

Caracterización del lixiviado.

Se analizó el lixiviado mediante técnicas semi cuantitativas para análisis de desechos sólidos de un relleno sanitario, en nuestro caso se tomó el manual 846 para residuos sólidos (SW-846) de la agencia de protección ambiental de los estados Unidos (EPA-EU) como referente para los procedimientos aplicados (U.S. EPA MANUAL, 2000). Extracción de componentes volátiles de la matriz sólida.

El sólido previamente pesado es sometido a un calentamiento a 105°C por tres horas para eliminar cualquier cantidad de agua que posea. El procedimiento a seguir está basado en el método 3540 "Extracción Soxhlet" del Manual Solid Waste (SW-846) para tratamiento fisicoquímico de sólidos peligroso y desechos según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) EPA. El extracto obtenido se analizó por cromatografía de gas acoplada a espectrometría masas. Ver tabla 2.(ver columna siguiente)

Extracción de Componentes volátiles y semivolátiles de la matriz líquida.

El procedimiento seguido está basado en el método 3520 "Extracción líquido-líquido continua" del Manual SW-846 para tratamiento fisicoquímico de sólidos peligrosos y desechos según la EPA.

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de los lixiviados del Carrasco en el año 2001. *Decreto Colombiano 1594 de 1984 art. 72. Fuente: autores.

Parámetro	Intervalo	Promedio	Norma*
Temperatura (°C)	22,0 - 28,3	25,62	40
pH (Adimensional)	7,01 - 8,00	7,61	5 - 9
SST (mg/L)	366,66 - 844,37	584,06	-
DQO (mg/L O ₂)	9320 - 15187,5	12031,75	-
Turbidez (NTU)	255 - 756	412,87	-
Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	12280 - 34016,6	19455,74	-
Color Aparente (Unid. Pt Co)	6380 - 11175	8768,14	-

Extracción de componentes volátiles de la matriz sólida.

El sólido previamente pesado es sometido a un calentamiento a 105°C por tres horas para eliminar cualquier cantidad de agua que posea. El procedimiento a seguir está basado en el método 3540 "Extracción Soxhlet" del Manual Solid Waste (SW-846) para tratamiento fisicoquímico de sólidos peligroso y desechos según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) EPA. El extracto obtenido se analizó por cromatografía de gas acoplada a espectrometría masas. Ver tabla 2.

Extracción de Componentes volátiles y semivolátiles de la matriz líquida.

El procedimiento seguido está basado en el método 3520 "Extracción líquido-líquido continua" del Manual SW-846 para tratamiento fisicoquímico de sólidos peligrosos y desechos según la EPA.

Tabla 2. Principales componentes en los extractos de lixiviado obtenidos por extracción líquido-líquido y soxhlet, del sitio de disposición de residuos sólidos municipales El Carrasco. Fuente: autores.

Tabla 2. Principales componentes en los extractos de lixiviado obtenidos por extracción líquido-líquido y soxhlet, del sitio de disposición de residuos sólidos municipales

El Carrasco. Fuente: autores.

Compuesto	Tipo de compuesto	Peligros	Fuente
Fenol 3-metil fenol 3-propil fenol	Aromático	Tóxico por ingestión, inhalación y absorción cutánea.	Resinas fenólicas, pinturas, germicidas, productos farmacéuticos.
α-pineno	Hidrocarburo	Inflamable, irrita la piel y las membranas mucosas.	Disolvente de recubrimientos protectores, aditivo para aceites lubricantes, aromatizantes, odorizantes.
p-cimeno	Aromático (constituyente de aceite esencial)	Inflamable, moderadamente tóxico.	Catalizador en la fabricación de caucho sintético.
Canfeno-α-terpinoleno	Aromático (constituyente de aceite esencial)	Despide vapores inflamables cuando se calienta.	Disolvente para resinas.
Timol	Aromático	Moderadamente tóxico por ingestión e inhalación.	Preservativo, se usa en la perfumería como antioxidante y aromatizante.
Dietil ftalato Diocil ftalato	Di éster	Moderadamente tóxico e irritante para la piel.	Plastificante, endurecedor de resinas.

Determinación de metales

Los procedimientos a seguir están sujetos al manual SW-846 de la EPA para muestras de lixiviado proveniente de un relleno sanitario. Para la cuantificación de los metales se usó un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer modelo 372 de la escuela de Química en la Universidad Industrial de Santander y 5 patrones para cada metal, dentro del rango óptimo establecido previamente.

Algunos de los resultados obtenidos luego de la digestión ácido de líquido + sólido y sólida se muestran en la tabla 3, además, se muestran los porcentajes de remoción obtenidos luego del tratamiento propuesto.

Resultados y discusión

En esta sección se dan a conocer algunos resultados en valores promedio para toda la experimentación durante un período de 6 meses. En la tabla 1 se presentan los resultados de la caracterización del lixiviado con los parámetros más representativos en los 10 muestreos instantáneos realizados en el vertedero del Carrasco; los valores obtenidos se comparan con el decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Salud que reglamenta las disposiciones sanitarias sobre aguas. Los 4 primeros muestreos se realizaron en época de invierno, los 4 muestreos siguientes se realizaron en época de verano y los 2 últimos muestreos se llevaron a cabo en época de lluvias. Como podemos observar los valores de pH se encuentran en un rango entre 7,01 y 8,0 con poca variación. La temperatura aumento en la época de verano (máximo de 28,3°C) y disminuyó en época de lluvias o invierno (mínima 22°C).

El lixiviado posee un color pardo oscuro en todas las épocas de muestreo, atribuido a la alta concentración de sólidos y a la formación de sulfuros metálicos por reacción de los sulfuros liberados en condiciones anaerobias por los metales presentes². El color aparente medido en unidades de platino cobalto, presentó un máximo de 11175 UPC y un mínimo de 6380 UPC, esto debido a la gran variabilidad del lixiviado en las diferentes épocas del año. La cantidad de SST depende también de la naturaleza del terreno y de la frecuencia de las lluvias. El rango de SST osciló entre 366,66 y 844,37 mg/L. El lixiviado presenta alta turbidez debido a la materia orgánica e inorgánica finamente dividida que se encuentra en suspensión. La DQO indica la presencia de materia orgánica oxidable. Se puede apreciar un valor mínimo de 9320 mg/L O₂ correspondiente al muestreo 2, y un máximo de 15187,5 mg/L O₂ correspondiente al muestreo 7.

Pre tratamientos realizados a escala de laboratorio

La tabla 4 (ver siguiente columna) muestra los resultados de la caracterización del lixiviado luego de los diversos tratamientos unitarios por lotes estudiados.

tabla 3. Caracterización del lixiviado antes y después del tratamiento físico-químico propuesto con sus respectivos porcentajes de remoción. N.D. : No Detectable. Fuente: Autores.

PARÁMETRO	LIXIVIADO INICIAL	LIXIVIADO TRATADO	%REMOCIÓN	NORMA DE VERTIMIENTO
pH*	8,31	7,00	---	5 – 9 unidades
Temperatura*	22,1°C	23,5°C	---	40 °C
Alcalinidad Total*	31050 mg/L CaCO ₃	11700 mg/L CaCO ₃	62,31	---
Dureza Total*	2420 mg/L CaCO ₃	84,6 mg/L CaCO ₃	96,50	---
Color*	9533 UPC	125 UPC	98,60	---
Turbidez*	416 NTU	34 NTU	91,82	---
Fenoles	1,95 mg/L	0,70 mg/L	64,10	0,2 mg/L
Nitrógeno Total	1354,55 mg/L	1194,97 mg/L	12,41	---
Grasas y aceites	11,71 mg/L	6,31 mg/L	46,11	---
DBO ₅	7782,4 mg/L de O ₂	4134,4 mg/L de O ₂	46,87	---
DQO	14000 mg/L O ₂	4183 mg/L O ₂	70,12	---
Fosfatos	66,55 mg/L P	8,37 mg/L P	87,42	---
Ortofosfatos	0,03 mg/L	N.D.	100	---
ST (Sólidos totales)	16230 mg/L	8072 mg/L	50,26	---
SD (Sólidos disueltos)	15825 mg/L	7845 mg/L	50,42	---
SST (Sólidos suspendidos totales)	405 mg/L	227 mg/L	43,95	---
Hierro (Fe)	312,5 mg/L	307,5 mg/L	1,60	---
Cobre (Cu)	0,16 mg/L	0,16 mg/L	0	3,0 mg/L
Zinc (Zn)	4,0 mg/L	1,05 mg/L	73,75	2,0 -10,0 mg/L**
Níquel (Ni)	1,64 mg/L	1,32 mg/L	19,51	2,0 mg/L
Cromo (Cr)	0,79 mg/L	0,29 mg/L	62,84	0,5 mg/L
Plomo (Pb)	N.D.	N.D.	---	0,5 mg/L

*Estos parámetros se realizaron en el laboratorio CEIAM – Universidad Industrial de Santander (UIS) por el autor. **Según la Comunidad Económica Europea (CEE)

Tabla 4. Análisis de resultados para los pretratamientos empleados en le lixiviado de El Carrasco. Fuente: autores.

PRUEBA	RESULTADOS
Sedimentación simple	La sedimentación por gravedad fue muy lenta, se observó precipitado luego de varios días en cada prueba, además, fue imposible distinguir la interfase sólido-líquido, por esto la turbidez se mantuvo casi constante en la experiencia. Esta prueba fue descartada para el tratamiento propuesto.
Auto- oxidación	Al exponerse el lixiviado al ambiente durante varias horas se observó que variaba significativamente su pH a medida que transcurrían las horas; esto puede deberse al cambio de temperatura, pues el promedio de temperatura del Carrasco es superior a la observada en el laboratorio; todo esto hace presumir la inestabilidad del desecho y presupone que sus características fisicoquímicas se ven alteradas. El color varió de negro a parduzco y después de 48 horas se tornó violeta.
Aireación	En esta prueba desde las 12 horas hasta las 72 horas se notó la formación de un precipitado muy pequeño aproximadamente 100 ml (para 1 litro de lixiviado), además el color cambió observándose un cambio de negro intenso a pardo. También se observó la formación de espuma abundante durante todo el proceso.
Acidificación	La adición de ácido al lixiviado es una reacción muy fuerte y violenta, debido a la descomposición de la materia orgánica, los vapores y la espuma producida son muy tóxicos.
Oxidación	La adición de peróxido de hidrógeno al lixiviado conlleva a la formación de espuma abundante y genera una reducción aproximadamente 35% en turbidez, 10% en color y 4% en DQO.

Tratamiento fisicoquímico propuesto

La figura 1 resume el tratamiento fisicoquímico sugerido para el lixiviado del Carrasco.

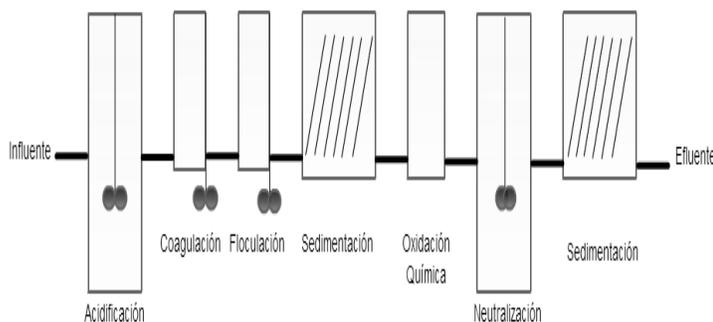


Figura1. Tratamiento fisicoquímico sugerido. Fuente: autores.

Etapa de coagulación - floculación

La tabla 5 muestra las ventajas, reducción en porcentaje de parámetros analizados y desventajas de los coagulantes estudiados

Tabla 5. Ventajas, reducción en porcentaje de parámetros analizados y desventajas de los coagulantes estudiados.

Etapa de oxidación

La tabla 6 muestra el promedio de diversos ensayos realizados al lixiviado usando como agente oxidante peróxido de hidrógeno.

Tabla 6. Promedio de diversos ensayos realizados al lixiviado usando como agente oxidante peróxido de hidrógeno. Fuente: autores

Tabla 5. Ventajas, reducción en porcentaje de parámetros analizados y desventajas de los coagulantes estudiados. Fuente: autores.

Coagulante	Reducción de contaminantes	Ventajas	Desventajas
FeCl ₃ a pH 5,5	DQO 40 – 65%	Reduce parte del color del lixiviado, forma flóculos pequeños pesados que precipitan rápido. Proporciona rendimientos depuradores altos sin utilizar ningún tipo de coadyuvante. Costos de operación bajos.	Producción de lodos no estabilizados y corrosivos.
	Color 55 – 65%		
	Turbidez 40 – 55%		
	SST 70 – 96%		
	Alcalinidad 70 - 96%		
Al ₂ (SO ₄) ₃ a pH 5,0	DQO 10 – 20%	Formación de flóculos de mayor tamaño, pero los de FeCl ₃ son más pesados. Costos de operación bajos.	Producción de lodos no estabilizados.
	Color 35 – 45%		
	Turbidez 5 – 20%		
FeSO ₄ a pH 7,68	DQO 25 – 30%	Las remociones son buenas, pero el tiempo requerido es muy elevado.	Debe usarse en combinación con cal, por lo tanto, los costos de operación ascienden.
	Color 25 – 30%		
	Turbidez 45 – 50%		
Ca(OH) ₂	DQO 2,5 – 3,0%	Las remociones son buenas, pero el tiempo requerido es mayor que el escogido (1 hora máximo).	Se usa más como coadyuvante de coagulación

Tabla 6. Promedio de diversos ensayos realizados al lixiviado usando como agente oxidante peróxido de hidrógeno. Fuente: autores.

Dosis de H ₂ O ₂ (mL)	Remoción (%)		
	DQO	Turbidez	Color
1	15 – 20	40 – 45	60 -65
2	25 – 45	45 – 55	65 – 70
3	75 – 85	55 – 65	70 – 75
4	90 - 95	60 - 70	75 - 80

Etapa de neutralización

Se realizaron varios ensayos, el mejor resultado se alcanzó adicionando el peróxido de hidrógeno y la cal al mismo tiempo. En esta prueba se gastó la misma cantidad de cal (2000 – 2300 mg/L). Esto para obtener un solo lodo con mejores características.

CONCLUSIONES

El tratamiento físico-químico propuesto constituye una tecnología alternativa económicamente viable en el tratamiento del lixiviado para el relleno sanitario El Carrasco. Al comparar las Normas Colombianas de vertimiento (decreto 1594 de 1984, artículo 72) con las concentraciones obtenidas de los diversos contaminantes analizados en el lixiviado luego del tratamiento físico-químico, se puede apreciar que la carga contaminante se reduce hasta lo estipulado por la norma, es decir, se cumple con la norma de vertimiento establecida.

El coagulante que mostró los mejores resultados para el tratamiento del lixiviado generado en el Carrasco fue el cloruro férrico debido a su eficiencia en la remoción de color, turbidez y DQO en comparación con los otros coagulantes estudiados (sulfato de aluminio, sulfato ferroso y cal). El rango de trabajo para el cloruro férrico es de 1500 – 2000 mg/L controlando el pH a 5,5 durante la coagulación – floculación. En esta etapa se origina un lodo de buena consistencia. En la etapa de oxidación / neutralización las dosis escogidas están en el rango de 3 – 4 mL de peróxido de hidrógeno y 2000 – 2300 mg/L de cal. En esta etapa también se genera un lodo de buena consistencia.

Con el tratamiento propuesto se obtienen remociones altas en parámetros como turbidez (91,8%), color (98,6%), dureza total (96,5%), alcalinidad total (62,3%), fosfatos (87,42%), ortofosfatos (100%), DQO (70,1%), DBO5 (46,8%), fenoles (64,1%), grasas y aceites (46,11%). Pero el proceso no es tan eficiente para la remoción del nitrógeno total (12,41%) y cloruros (22,96%).

AFILIACIONES

1. Grupo ambiental de investigación aplicada – GAIA. Universidad de Santander- UDES- , Bucaramanga, Colombia. oguarin@udes.edu.co.

2. Química- Especialista en Ambiental Universidad Palmas de Gran Canaria- España

BIBLIOGRAFIA

1.Canoura J. M. El Relleno Sanitario. Revista Noticias CEAMSE. (2000). No. 12. Octubre – Noviembre.

2.Cogan A., Rodríguez I. Diagnóstico, Análisis y Plantamiento de alternativa ambientales para minimizar la contaminación originada por los residuos tóxicos y peligrosos en el vertedero municipal El Carrasco. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2000.

3.Cusidó J. A., Cremades L. V., González M. Gaseous emissions from ceramics manufactured with urban sewage sludge during firing processes. Waste Management. Mayo, 2002

4.Ministerio de Desarrollo Económico. Colombia. Resolución No. 1096 del 17 de Noviembre de 2000.

5.Ministerio de Salud. Colombia. Leyes, decretos, etc. (1986). Resolución Número 02309 del 24 de febrero de 1986

6.Ministerio de Desarrollo Económico. Colombia. Resolución No. 1096 del 17 de Noviembre de 2000.

7.Ministerio de Salud. Colombia. Leyes, decretos, etc. (1986). Resolución Número 02309 del 24 de febrero de 1986.

8.Moreno Y. Evaluación de un sistema biológico a escala piloto laboratorio para la remoción de materia orgánica del lixiviado del relleno sanitario de Bucaramanga Memorias. V Seminario Internacional del medio ambiente y desarrollo sostenible. UIS. Colombia.2002.

9.Orta de Velásquez, M.T., Ramírez R.M., Ramírez I. Sustitución y disminución de reactivos químicos en la planta de tratamiento de lixiviado Bordo Poniente. Proyecto 7365. Instituto de Ingeniería, UNAM. Elaborado por la dirección general de servicios urbanos., Dirección técnica de servicios sólidos del DDF. 1997.

10.Ramírez I. Improvement of the coagulation-flocculation process in sanitary landfill leachate treatment plant. IAWQ 4 Specialized Conference on Small Wastewater Treatment plants. 18-12 April. Standford-upon-Avon, UK. Abstracts. 1999.

11.Moreno A. Treatment of landfill leachates by comparing advanced oxidation and coagulation-flocculation processes coupled with activated carbon adsorption. Water science and technology. (2000). Vol 41. No.1 pp. 231-235.

12.STANDARD METHODS. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (17 th edn.), APHA, AWWA and WPCF, USA. 1995.