

---

# ESTUDIO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN EL RELLENO SANITARIO DE LAGO AGRIO

Marcela Dávila, Luis Alberto Aguirre  
marceladavila60@gmail.com; laguirre100@yahoo.es

Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería Química. Casilla 17-01-3972  
Recibido: 23 febrero 2015                      Aceptado: 1 junio 2015

---

## RESUMEN

Determinación del mejor sistema de tratamiento de los lixiviados del relleno sanitario del cantón Lago Agrio. Se realizó la caracterización fisicoquímica de los lixiviados generados en dos celdas (domos uno y dos) donde actualmente se vierten totalmente los residuos sólidos generados en este cantón. Para su tratamiento, se plantearon dos métodos: 1) aireación–coagulación–floculación y cloración; 2) ozonización–coagulación–floculación y cloración. Se evaluaron los resultados de cada tratamiento en función de las siguientes variables: pH, DQO, tiempo de reacción y cantidad de químicos utilizados.

Los resultados indican que la mejor opción es el método uno, aireación- coagulación- floculación y cloración con hipoclorito de sodio; ya que, permite la reducción de hasta 99,23% de DQO; mientras que el pH, nitrógeno amoniacal, DBO<sub>5</sub> y sólidos totales, entre otros, se encuentran dentro de los rangos establecidos por el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), para la descarga a un cuerpo de agua dulce.

**PALABRAS CLAVES:** Rellenos sanitarios; Lixiviados; Tratamiento de lixiviados; Cantón Lago Agrio.

## ABSTRACT

Determination of the best leachate treatment system for the Lago Agrio Landfill. The study begins with the physicochemical characterization of leachates produced in two cells (domes, one and two), where all solid residues generated in this town are currently discharged. Two methods were proposed for their treatment: (1) aeration – coagulation – flocculation and chlorination; (2) ozonization – coagulation – flocculation and chlorination. The results of each treatment are evaluated in terms of the following variables: pH, DQO, reaction time and the quantity of chemicals used.

The results indicate that the first method -- aeration- coagulation and flocculation sodium hypochlorite – is the best option since it reduces the DQO demand by a factor of up to 99.23%, while pH, ammonia nitrogen, DBO<sub>5</sub> and total solids, among other factors, are found to be within the ranges established by the Unified Text of Secondary Environmental Legislation (TULAS) for discharge into a body of fresh water.

**KEYWORDS:** Landfills; Leachates; Leachate treatment; Lago- Agrio town.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

Enterrar los residuos sólidos urbanos ha sido, y es aún, la práctica más utilizada por las sociedades del mundo para su manejo y a pesar de la creciente conciencia mundial sobre la necesidad de Reducir, Reusar y Reciclar (tres R), la implementación real de estas políticas ha encontrado numerosos obstáculos que han impedido su materialización. En Latinoamérica, en donde el costo del capital es alto y en donde existen numerosas necesidades insatisfechas que compiten por los recursos, con frecuencia terminan los rellenos sanitarios siendo las opciones más utilizadas a pesar de la clara conciencia de que las prioridades las fijan las tres R.

Una vez que se han enterrado los residuos sólidos es necesario minimizar los impactos de esta práctica. Para empezar, 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 contaminantes que se conozcan. De no recogerse adecuadamente y luego tratarse, el lixiviado puede contaminar a su vez aguas subterráneas, aguas superficiales y suelos. Por esta razón, y para evitar que esto ocurra, los rellenos sanitarios se impermeabilizan, se drenan apropiadamente y los lixiviados recogidos por estos drenes, son sometidos a tratamiento.

En el cantón Lago Agrio, existe un botadero de basura a cielo abierto creado hace dos años, donde se realiza la disposición total de aproximadamente 324 Ton/semana de residuos, provenientes del área residencial, comercial, de servicios y hospitales. Mensualmente se generan alrededor de 90 m<sup>3</sup> de lixiviados, que debe ser

tratados antes de descargarlos al medio ambiente, ya que si no se controlan adecuadamente pueden afectar la megadiversidad de la flora y fauna que existe en esta región, así como a comunidades cercanas, como la de Puerto Rico que utilizan las aguas de los ríos y esteros colindantes para sus actividades diarias. Como se trata de un proceso contaminante que se produce de manera lenta, sus efectos no suelen percibirse sino hasta varios años después.

Por lo expuesto, el objetivo del trabajo fue estudiar un sistema de tratamiento para el lixiviado generado en el Relleno Sanitario de este cantón.

Se plantearon dos alternativas de tratamientos fisicoquímicos: 1) aireación-coagulación-floculación y cloración, y 2) ozonización-coagulación-floculación y cloración. Los objetivos específicos fueron determinar cuáles son los principales contaminantes en los lixiviados y encontrar el mejor método que disminuya eficientemente estos contaminantes y que se adapte a las condiciones actuales del relleno sanitario.

La mejor alternativa correspondió al tratamiento 1) aireación-coagulación-floculación y cloración con la que se obtuvo una reducción del 99,23% del DQO.

## 2. TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO DE LIXIVIADOS

Las ventajas de este tipo de tratamientos es que requieren corto tiempo para su puesta en marcha, simplicidad de equipamiento y material, fácil automatización y poca sensibilidad a los cambios de temperatura. El tratamiento se puede aplicar dependiendo del tipo de lixiviado que se tenga y de la edad del vertedero [1].

**Tabla 1.** Caracterización fisicoquímica de los diferentes tipos de lixiviados

PARÁMETRO	TIPO DE LIXIVIADO		
	JOVEN	INTERMEDIO	ESTABLE
Edad del vertedero (años)	<1	1-5	>5
pH	<6,5	6,5 – 7,5	>7,5
DBO <sub>5</sub> /DQO	0,6 -1	0,3- 0,6	0-0,3
DQO (g/L)	>15	5-15	<5
N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	<400	nd*	>400
Metales pesados (mg/L)	>2	<2	<2

nd\*: no hay disponibilidad de datos

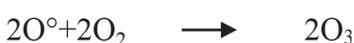
## 2.1. Tratamiento primario

Consiste en la oxidación de la materia orgánica presente en el lixiviado, usando aire u ozono.

**2.1.1. Aireación.** Es uno de los procedimientos fisicoquímicos más utilizados en el tratamiento de lixiviados, debido a la alta concentración de nitrógeno amoniacal que presentan los mismos.

Consiste en burbujear aire a través de los lixiviados, de tal forma que se reduce la concentración de NH<sub>3</sub>, que pasa desde la fase líquida (lixiviado) a la fase gas (aire). Para poder realizar este tratamiento es necesario elevar el pH hasta 11, lo que se consigue normalmente con adición de cal.

**2.1.2. Ozonización.** La molécula de ozono es sumamente reactiva, y tiene un potencial de oxidación mayor que el cloro y sus derivados (ácido hipocloroso e ión hipoclorito), lo cual le confiere una gran actividad química. El sistema de producción de ozono más elemental, consiste de una lámpara ultravioleta de alta intensidad que provoca la disociación de algunas de las moléculas de oxígeno que contiene el aire y los átomos de oxígeno producidos se combinan con las moléculas de oxígeno no disociado produciendo moléculas de ozono, como lo indican las reacciones:



## 2.2. Tratamiento secundario

Es un proceso fisicoquímico que implica la remoción de una amplia variedad de compuestos contaminantes, regularizando las variaciones de caudal y concentración de compuestos en los efluentes. Las principales operaciones del tratamiento primario de un efluente son la neutralización y la clarificación que comprende: la floculación y sedimentación.

**2.2.1. Coagulación.** Las partículas coloidales y las cargas negativas presente en el agua, repartidas en su superficie proporcionan estabilidad a las suspensiones coloidales. La coagulación es el fenómeno de desestabilización de partículas coloidales, por la adición de una sustancia llamada coagulante, el cual neutraliza las cargas eléctricas de estas partículas, dando lugar a la formación de coágulos de mayor densidad, capaces de sedimentar.

**2.2.2. Floculación.** Es la agrupación de partículas descargadas al ponerse en contacto unas con otras, dando lugar a la formación de flóculos capaces de ser retenidos en la fase posterior del tratamiento del agua, es decir, que es la etapa en donde los coágulos formados en la coagulación se juntan formando aglomerados (flóculos); de tal manera que se puedan sedimentar. El flóculo formado por la aglomeración de varios coloides, no sedimentan fácilmente, ya que no tiene el peso y volumen suficiente para hacerlo. Por lo tanto se aplican sustancias floculantes, es decir, sustancias que aumenta la densidad de los flóculos haciendo más fácil el proceso de sedimentación.

### 2.3 Tratamiento terciario

Este es un paso de afinación de variables, con el fin de cumplir con los respectivos parámetros para la descarga.

#### 2.3.1 Desinfección con hipoclorito de sodio.

Por su alto poder oxidante, el cloro empleado en la desinfección causa daños irreversibles al entrar en contacto con las células microbianas, modificando y destruyendo la pared celular y el ADN de los microorganismos impidiendo su reproducción. Esta es la reacción que se produce con hipoclorito de sodio y el agua:



## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el presente estudio se toma una muestra representativa de lixiviado nativo generado en el relleno sanitario de Lago Agrio; de la cual una cantidad se envía a un laboratorio certificado para su caracterización fisicoquímica y el resto se lo divide en dos partes:

- a) Una es sometida a un proceso de oxidación por 8 días usando aire. El primero, segundo, cuarto, sexto y octavo día se tomó una muestra del lixiviado aireado, se agrega cal para

subir el pH hasta 11 y luego se determina la mejor dosis de floculante (Poliacrilamida) y coagulante (PAC) mediante prueba de jarras. Un vez que se ha clarificado el lixiviado, se agrega hipoclorito de sodio para desinfección y ácido cítrico para ajuste de pH.

- b) A la otra se le somete a oxidación mediante ozonificación por cuatro días, el primero, segundo y cuarto día se toma una muestra de lixiviado ozonificado y se sigue el mismo proceso de elevación de pH, clarificación, desinfección y ajuste de pH, antes indicado.

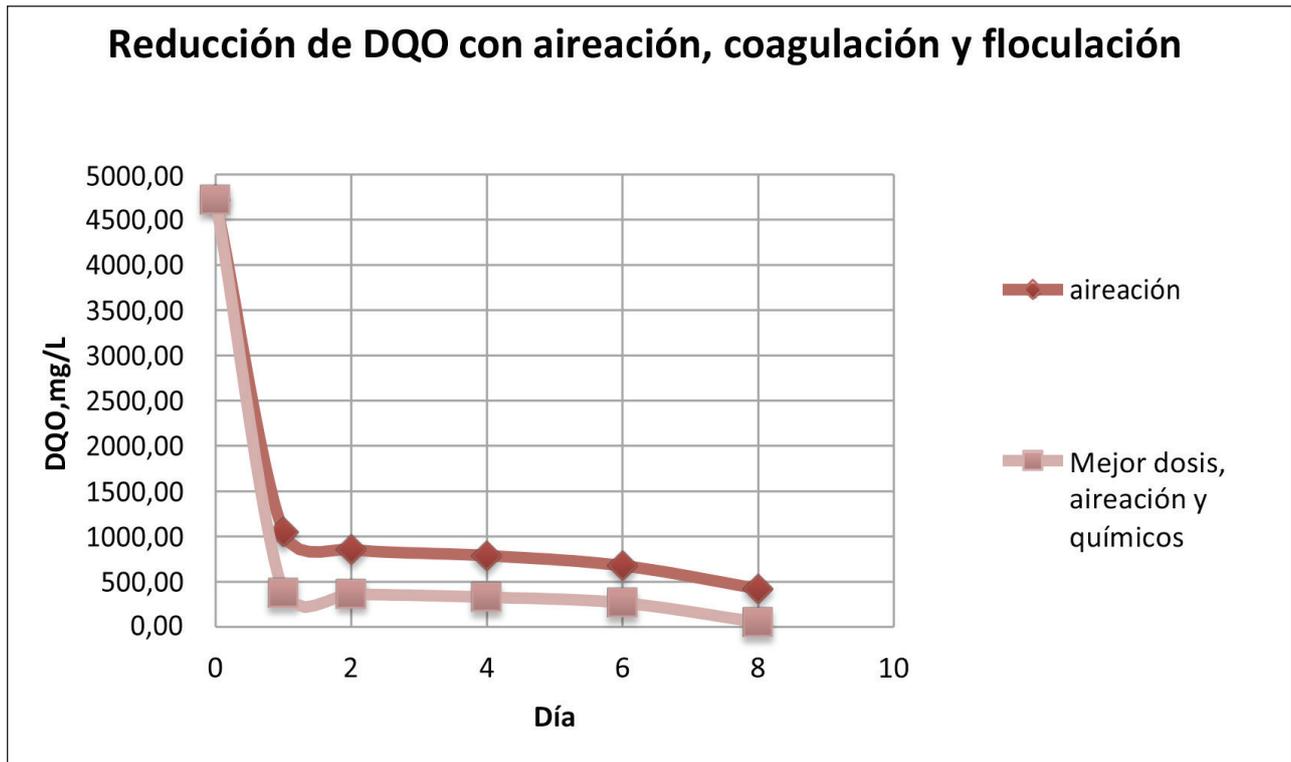
En cada uno de los procesos se debe controlar el pH y DQO para las tres mejores dosificaciones de cada día. Una vez que se haya determinado la mejor dosificación de cada proceso se repiten en tres litros de lixiviado nativo respectivamente, para enviar a analizar los parámetros definidos en la tabla 12 “Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce”, del anexo 1, libro VI de la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso agua.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Resultados del tratamiento de aireación, coagulación-floculación.

**Tabla 2.** Reducción del DQO mediante la aplicación del tratamiento con aireación-coagulación-floculación.

PAC, ppm	1500				1000				600	
Día	1		2		4		6		8	
Poliacrilamida, ppm	DQO, mg/L	% reducción DQO								
0	1050	77,76	857	81,85	789	83,29	678	85,64	424	91,02
600	537	88,62	467	90,11	457	89,94	329	93,03	158	96,65
1000	437	90,74	430	90,89	398	91,57	289	93,88	67	98,58
1500	378	91,99	365	92,27	330	93,01	267	94,34	54	98,86



**Figura 1.** Reducción de DQO, con aireación-coagulación-floculación.

#### 4.2. Resultados del tratamiento con ozonización-coagulación-floculación.

**Tabla 3.** Reducción del DQO mediante la aplicación del tratamiento con ozonización-coagulación-floculación.

PAC,ppm	1500		1000		600	
	Día 1		Día 2		Día 4	
Poliacrilamida, ppm	DQO,mg/L	% reducción DQO	DQO,mg/L	% reducción DQO	DQO,mg/L	% reducción DQO
0	936	80,17	457	90,32	323	93,16
600	675	85,70	356	92,46	245	94,81
1000	564	88,05	298	93,69	189	96,00
1500	423	91,04	265	94,39	85	98,20

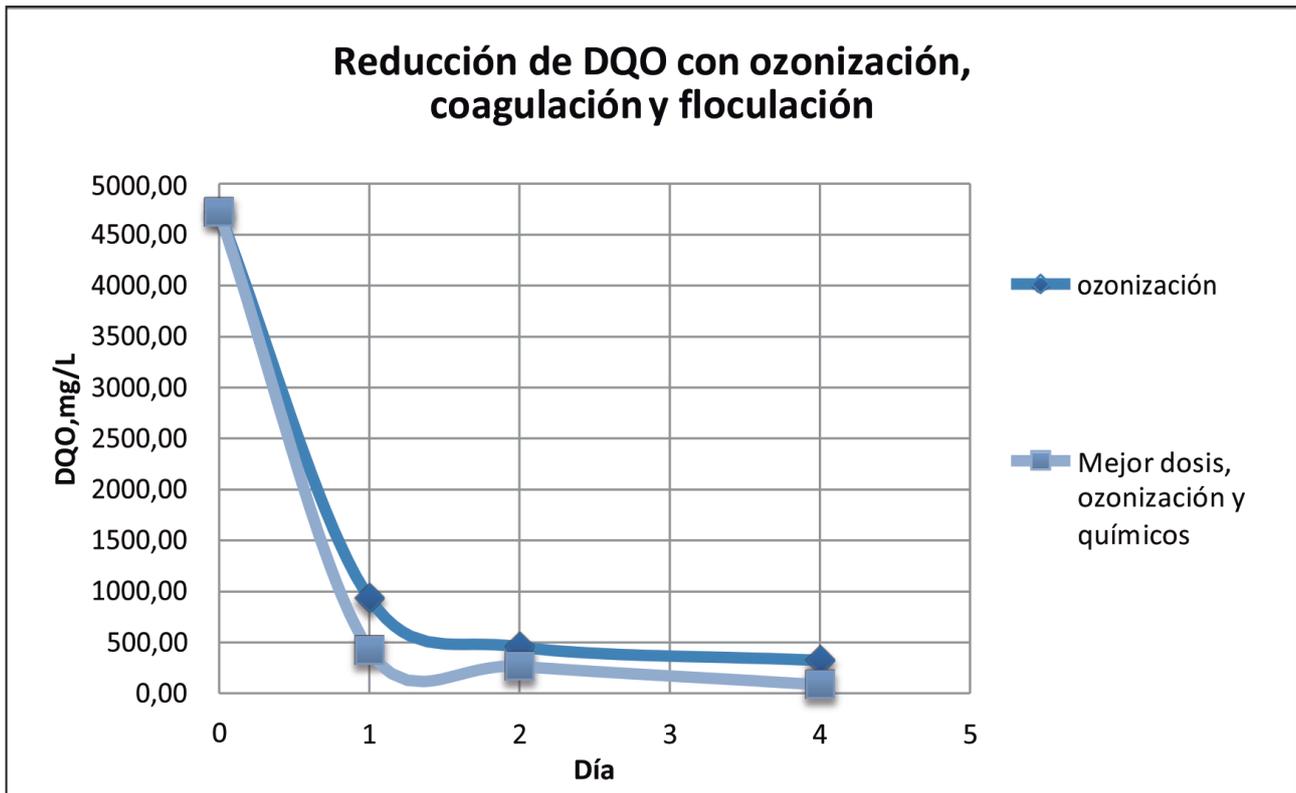


Figura 2. Reducción de DQO, con ozonización-coagulación-floculación.

## 5. DISCUSIÓN

- La caracterización fisicoquímica de los lixiviados corresponde al del relleno sanitario del cantón Lago Agrio, donde se realiza la disposición final de los residuos sólidos del cantón antes indicado.
- Los lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón Lago Agrio, presentan características que no son constantes durante un año calendario, debido a la variación de las condiciones climáticas. Por esta razón se tomaron muestras durante el mes de septiembre, en el cual existe una precipitación promedio de todo el año.
- Para decidir el tipo de tratamiento fue necesario determinar la relación  $DBO_5/DQO$  de la muestra inicial, que dio un valor igual a 0,16 lo que según la bibliografía consultada es recomendable hacer un tratamiento fisicoquímico.

- Debido a la gran cantidad de materia orgánica presente en el lixiviado y a la necesidad de desinfección de estas aguas, se aplica como último paso hipoclorito de sodio, en una dosis de 5.000 ppm, cantidad establecida de acuerdo a pruebas que se realizaron usando ortotolidina para determinar el cloro libre, valor que fue igual a cero en todas las muestras. De esta manera se evitó la formación de trihalometanos por el exceso de cloro.

## 6. CONCLUSIONES

- Para los dos métodos utilizados, el pH,  $DBO_5$ , sólidos totales, nitrógeno amoniacal, y demás parámetros se encuentran dentro del rango establecido en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, TULAS, para la descarga a un cuerpo de agua dulce.
- Del lixiviado tratado mediante la aplicación del método ozonización-coagulación-flocula-

ción, se obtiene un porcentaje de reducción del 98,50% alcanzando un DQO de 71,01 mg/l.

- En los dos métodos de tratamiento planteados, las mejores dosis de PAC y de Poliacrilamida son 600 y 1500 ppm, respectivamente. La cantidad de PAC que se necesita se reduce con el paso de los días, al contrario de lo que sucede con la Poliacrilamida en donde la cantidad de químico necesaria aumenta con el paso de los días.
- La mejor alternativa de acuerdo con los métodos de experimentación utilizados en el presente trabajo para el tratamiento de los lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón Lago Agrio, es con aireación-coagulación-floculación y como último paso cloración con hipoclorito de sodio. Esto permite reducir hasta 99,23% la materia orgánica presente, alcanzando un DQO de 36,26 mg/L.

## AGRADECIMIENTO

Un especial reconocimiento al Ing. Nelson Cevallos, Gerente General de la empresa Soluciones Ambientales Especializadas, SAMBIES, por su ayuda al desarrollo del presente estudio.

## CITAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MARTÍNEZ, Oscar. Mejoras en el tratamiento de lixiviados de vertederos de RSU mediante procesos de oxidación avanzada. Tesis Doctoral. Universidad de Cantabria. Departamento de Ingeniería Química Cantabria 2008 p. 136

## BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR, Soraya. Gestión Integrada de Residuos Sólidos Urbanos en el sector de Calde-

rón. Trabajo de Grado. Ingeniera Ambiental. Universidad Central del Ecuador. Escuela de Ingeniería Ambiental. Quito. 2005.

- FUERTES, Héctor. Diseño de la Planta de Tratamiento de Lixiviado, para el Relleno Sanitario de la Ciudad de Ibarra. Trabajo de Grado. Ingeniero Ambiental. Universidad Central del Ecuador. Escuela de Ingeniería Ambiental. Quito. 2008.
- GAVILANES, Cristina. Tratamiento del Agua Residual de la Empresa Extractora de Aceite de Palmiste, AEXAV. Trabajo de Grado. Ingeniera Química. Universidad Central del Ecuador. Escuela de Ingeniería Química. Quito. 2010.
- IHS, NATURA INC. Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental Proyecto Relleno Sanitario del Cantón Lago Agrio. Quito. 2010.
- Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias. Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes. Industria de Artes Gráficas. Quito-Ecuador. 1993.
- Presidencia de la República del Ecuador. *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua*. Anexo I, Libro VI: De la Calidad Ambiental, del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Decreto N° 3.516. Quito. Marzo 2003.
- TCHOBANOGLIOUS, George. Gestión Integral de Residuos Sólidos, Volumen I y II. McGRAW-HILL. México. 1998.

