



Tratamiento biológico complementario para lixiviados como alternativa para mitigar la contaminación ambiental. Caso: botadero “Curgua”

Complementary biological treatment for leachates as an alternative to mitigate environmental pollution. Case: botadero “Curgua”

Tratamento biológico complementar para o lixiviado como alternativa para mitigar a poluição ambiental. Caso: Aterro sanitário "Curgua

José Gerardo León-Chimbolema ^I
gerardo.leon@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-9202-8542>

Byron Fabián Andrade-Borja ^{II}
byfab05@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7857-7342>

Correspondencia: gerardo.leon@esPOCH.edu.ec

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículo de investigación

***Recibido:** 20 de abril de 2021 ***Aceptado:** 18 de mayo de 2021 * **Publicado:** 17 de junio de 2021

- I. Doctor en Química, Master en Protección Ambiental, Docente Investigador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Riobamba, Ecuador.
- II. Ingeniero en Biotecnología Ambiental, Técnico Ambiental, Curimining S.A, Riobamba, Ecuador.

Resumen

Con el propósito de atenuar los considerables problemas de contaminación que se han generado debido a descargas sobre el río Guaranda, provenientes del botadero “Curgua”, este estudio tuvo como objetivo principal diseñar un sistema de tratamiento biológico complementario para lixiviados.

El proceso general para el diseño de este sistema consta de tres etapas: i) caracterización, ii) simulación y iii) diseño. La primera etapa consistió en la identificación y caracterización de los lixiviados durante tres meses: noviembre, diciembre (2016) y enero (2017); los datos fueron obtenidos del sistema de drenaje del botadero de Curgua y posteriormente, trasladados para ser analizados en el laboratorio de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda (E.P-EMAPA-G). En la segunda etapa se realizaron simulaciones de los diversos procesos a escala de laboratorio para obtener datos precisos y especializados sobre las muestras analizadas y el sistema a implementarse. Finalmente, en la tercera etapa, llamada también etapa de diseño, se dimensionó el reactor biológico SBR, así como también todas las operaciones unitarias complementarias como: filtros, sedimentadores, desarenadores, tanque de desinfección.

Palabras clave: Biotecnología; contaminación ambiental; lixiviado; tratamiento biológico.

Abstract

In order to mitigate the considerable pollution problems that have been generated due to discharges on the Guaranda River from the “Curgua” dump, this study's main objective was to design a complementary biological treatment system for leachates.

The general process for the design of this system consists of three stages: i) characterization, ii) simulation and iii) design. The first stage consisted of the identification and characterization of the leachates during three months: November, December (2016) and January (2017); the data was obtained from the drainage system of the Curgua dump and later transferred to be analyzed in the laboratory of the Municipal Public Company of Potable Water and Sewerage of Guaranda (E.P-EMAPA-G). In the second stage, simulations of the various processes were carried out on a laboratory scale to obtain precise and specialized data on the samples analyzed and the system to be implemented. Finally, in the third stage, also called the design stage, the SBR biological reactor was dimensioned, as well as all the complementary unit operations such as: filters, settlers, grit traps, disinfection tank.

Keywords: Biotechnology; environmental pollution; leachate; biological treatment.

Resumo

A fim de mitigar os consideráveis problemas de poluição que têm sido gerados devido às descargas no rio Guaranda a partir da lixeira "Curgua", o principal objectivo deste estudo era conceber um sistema de tratamento biológico complementar para o lixiviado.

O processo geral para a concepção deste sistema consiste em três fases: i) caracterização, ii) simulação e iii) concepção. A primeira etapa consistiu na identificação e caracterização de lixiviados durante três meses: Novembro, Dezembro (2016) e Janeiro (2017); os dados foram obtidos do sistema de drenagem do aterro de Curgua e posteriormente, transferidos para análise no laboratório da Empresa Pública Municipal de Água Potável e Esgotos do Guaranda (E.P-EMAPA-G). Na segunda fase, foram realizadas simulações dos vários processos à escala laboratorial para obter dados precisos e especializados sobre as amostras analisadas e o sistema a ser implementado. Finalmente, na terceira fase, também chamada fase de concepção, o reactor biológico SBR foi dimensionado, bem como todas as operações unitárias complementares, tais como: filtros, tanques de decantação, desarenadores, tanque de desinfecção.

Palavras-chave: Biotecnologia; poluição ambiental; lixiviados; tratamento biológico.

Introducción

Es importante conocer que los lixiviados son todos aquellos líquidos que han entrado en contacto con residuos sólidos, ya sea debido a la humedad, precipitaciones o escorrentías, además se puede decir que son muy complejos y altamente contaminados. Así también, la generación de caudal puede depender de la edad del botadero, la diversidad de la composición de los residuos, o simplemente el diseño del mismo (Álvarez & Suárez, 2006). Actualmente, ya existen varios antecedentes de tratamientos de lixiviados, tanto aerobios como anaerobios. En este contexto, se pueden señalar entre los tratamientos aerobios más extendidos los lodos activados, lagunas aireadas, el reactor de biodiscos o RBC -Contactador Biológico Rotante (Martínez, 2005) (Luna, 2008). Por otro lado, si abordamos los tratamientos anaerobios de lixiviado, se debe indicar que el sistema que mayor difusión ha tenido es el reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), el cual ha reportado excelentes resultados (Álvarez & Suárez, 2006).

Es absolutamente obvio que el aumento en la generación de residuos sólidos urbanos está directamente relacionado con el constante crecimiento poblacional, ocasionado, por tanto, que botaderos y rellenos sanitarios generen cada vez más lixiviados. Por este motivo, es preciso que sean tratados adecuadamente antes de su descarga final a las fuentes hídricas. Se han planteado muchas alternativas, teniendo entre las principales los humedales artificiales, lagunas aerobias, recirculación del lixiviado, entre otras. En gran parte del mundo, las incesantes reformas a los límites permisibles de descarga y deterioro de los sitios determinados para la disposición final ha llevado a que los tratamientos vayan convirtiéndose en insuficientes para la adecuada depuración y reducción del impacto en el ambiente. En este orden de acontecimiento, en los últimos años se han estado estudiando y desarrollando tratamientos mucho más efectivos, cuya innovación se basa en tecnologías de membranas, osmosis inversas, microfiltración, y nanofiltración (García, Ferrer & Moline, 2008).

El botadero de Curgua, en la actualidad cuenta con un tratamiento convencional para los lixiviados el cual consta únicamente de un tanque recolector y tres celdas readecuadas para que funcionen como filtros. Debido a esto, el método dispuesto en este momento no es el adecuado si lo que se busca es disminuir las cargas contaminantes que existen en el río Guaranda, donde los lixiviados son finalmente descargados.

Metodología

Como ya se mencionó previamente, la investigación consta de tres etapas. La primera será la identificación y caracterización de los lixiviados recolectados del sistema de drenaje del botadero de Curgua y trasladados al laboratorio de la E.P-EMAPA-G. La segunda etapa es fundamental ya que en esta se llevan a cabo, a escala de laboratorio, todas las simulaciones de los procesos. En la etapa final se procede al dimensionamiento del reactor biológico SBR y de todas operaciones unitarias complementarias que permitirían reducir, acorde a los ensayos de laboratorio, los parámetros fuera de norma aproximadamente en un 95%.

Fundamentación Teórica

Residuos sólidos urbanos y botaderos

Los residuos sólidos urbanos son los que se originan en actividades domésticas, comerciales y todas aquellas que no estén clasificadas como peligrosas. Debido a sus características, no son

separados por componente, mezclándose en un solo conglomerado que trae consigo considerables problemas de contaminación (SENPLADES, 2015).

Los botaderos son lugares específicos para la disposición final de residuos, caracterizados por su desorden y nula planificación. Debido a su naturaleza, presenta un riesgo físico-biológico elevado por los residuos sin compactación adecuada y sin tratamiento; la sobreacumulación excesiva de material también genera olores desagradables, gases y lixiviados que afectan a los moradores del sector (Najera Aguilar, 2009).

Lixiviados

El lixiviado es el líquido generado de los procesos de degradación de los residuos y de la percolación producida en rellenos sanitarios y botaderos, acarrea consigo una serie de compuestos tóxicos convirtiéndolo en un importante pasivo ambiental. Están compuestos mayoritariamente por materia orgánica, nitrógeno, fósforo, patógenos y varios metales pesados que suelen alcanzar valores máximos en los primeros años de formación de un botadero (Álvarez & Suárez, 2006).

Es importante caracterizar completamente un determinado lixiviado ya que solo así, se podrá determinar el tratamiento más adecuado para la depuración del mismo. Estos tratamientos pueden ser:

- **Tratamientos físicos:** su objetivo es eliminar los elementos contaminantes sin alteración alguna a la composición del líquido, utilizando sistemas a gravedad, diferencia de densidades, entre otras. Algunos de los más conocidos son las rejillas, sedimentadores, desarenadores, y filtros.
- **Tratamientos químicos:** su objetivo es alterar las condiciones químicas del líquido, hasta lograr desestabilizar las sustancias nocivas, produciendo de esta manera una desinfección (DAS-Argentina, 2017). Algunos de los más conocidos son la coagulación- floculación y la desinfección.
- **Tratamientos biológicos:** su objetivo es aprovechar la capacidad natural de ciertos microorganismos de asimilar materia orgánica/nutrientes, para conseguir la eliminación de componentes contaminantes presentes en el líquido (Evitech, 2017). Algunos de los más conocidos son los Reactores USAB y Reactores SBR.

Caracterización del Botadero Curgua

Está ubicado en las coordenadas 17M, 721907.60 m E, 9818982.11 m S, en la provincia Bolívar, cantón Guaranda, junto a la ribera del río Guaranda. El área aproximada dispuesta actualmente para este botadero es de dos hectáreas, dividida en dos sectores denominados “área antigua” y “área nueva”. Cuenta con ocho chimeneas para expulsar el gas metano producto de la descomposición de los desechos sólidos y además cuenta con un sistema de drenaje para los lixiviados desde los sectores, conectadas por medio de una tubería PVC de 50m y 30m hacia la primera caja de recolección, la cual se encuentra enlazada por medio de una tubería de 3 pulgadas a la segunda caja de recolección ubicada a 12m; ésta a su vez se enlaza a un tanque de recolección ubicado a 45m. Posteriormente, los lixiviados recolectados pasan por tres celdas (filtros) de 10.000 L de capacidad, en las que, con ayuda de carbón actividad, se da la eliminación de ciertos elementos, finalizado este proceso, se procede a hacer la descarga.

El botadero lleva funcionando desde hace 20 años con varias carencias, a día de hoy, aún no existía ninguna plataforma impermeabilizada que cuente con un sistema de recolección de líquidos que permita la captación de lixiviados hacia un tratamiento adecuado. El agua proveniente de las precipitaciones, las escorrentías y la descomposición de la materia orgánica se infiltra hacia niveles freáticos, ubicándose bajo el botadero y posteriormente, desembocando en el río Guaranda. La Dirección Provincial de Salud de Bolívar ya ha realizado llamados de atención a la Municipalidad de Guaranda en múltiples ocasiones, respecto su precario sistema de tratamiento y anomalías referentes a la disposición final de los lixiviados generados en el botadero.

El caudal en este botadero no es constante y su flujo es pequeño, así que para poder medirlo se utilizó un método conocido como aforo volumétrico, el cual consistía en el tiempo de llenado de lixiviado en un recipiente de un volumen determinado. Las mediciones fueron realizadas en tanque recolector del sistema de drenaje que posee el botadero, durante los meses de noviembre, diciembre (2016) y enero (2017).

De igual manera, el muestreo de los lixiviados se llevó a cabo a la salida del tanque recolector del sistema de drenaje, donde se tomaron muestras simples en recipientes plásticos de cinco litros. Estas muestras se trasladaron posteriormente al laboratorio de control de calidad de la E.P-EMAPA-G para ser analizados. Para la caracterización de los lixiviados, se aplicó los métodos HACH detallados en la siguiente tabla:

Tabla 1: Descripción de los parámetros físico-químicos y microbiológicos

Parámetro	Método	Equipo
Color	Cobalto platino	Colorímetro
Turbiedad	Señal de dispersión de luz (90°) nefelométrica primaria y una señal de dispersión de luz transmitida	Turbidímetro 2100P HACH
pH	Método 8156 Medidor de electrodo de pH	pH meter Sension 1 HACH
Sólidos Totales Disueltos	Método 8160 Medición Directa	Conductivity Sension 5 HACH
Conductividad	Método 8160 Medición Directa	Conductivity Sension 5 HACH
Aluminio	Método 8020-Aluminón	Espectrofotómetro DR-2800 HACH
Dureza	Titulación complejométrica	Titulación por conteo de gotas
Fluoruro	Método 8029	Espectrofotómetro DR-2800 HACH
Manganeso	Método 8149-PAN	
Bario	Método 8014- Turbidimetric	
Cobalto	Método 8078-1-(2 piridilazo)-2-naftol(PAN)	
Cromo total	Método 8024	
Hierro	Método 8008- FerroVer	
Molibdeno	Método 8036-Ácido mercaptoacético	
Bromo	Método 8167- DPD	
Cloruros	Método 8113- Tiocianato Mercúrico	
Cobre	Método 8506-Bicinchoninato	
Cromo Total	Método 8024- Oxidación alcalina por hipobromito	
Fosfatos	Método 8048-Ácido ascórbico PhosVer 3	
Nitrógeno amoniacal	Método 8155- Salicilato	
Fluoruros	Método 8029- SPANDS	
Sulfatos	Método 8051-SulaVer 4	
Níquel	Método 8150-1-(2 piridilazo)-2-naftol(PAN)		Fotómetro PF-12
Plata	Método 0491- Silver 4	
Zinc	Método	
Plomo	Método 0091-Blei 5	
Cianuro	Método 0311- Cyanid 08	
Demanda Biológica de Oxígeno-DBO5	Método 985822-Wilker	
Demanda Química de Oxígeno-DQO	Método 985027-Dicromato de potasio	
Oxígeno disuelto	Método 082- Sauerstoff 12	
Coliformes totales	Filtración de Membrana 0.45	Filtración al vacío
Coliformes fecales		

Fuente: Estándar Métodos y Departamento de control de calidad de la E.P-EMAPA-G,2017/ Andrade, 2017.

Pruebas de tratabilidad – Etapa de simulación

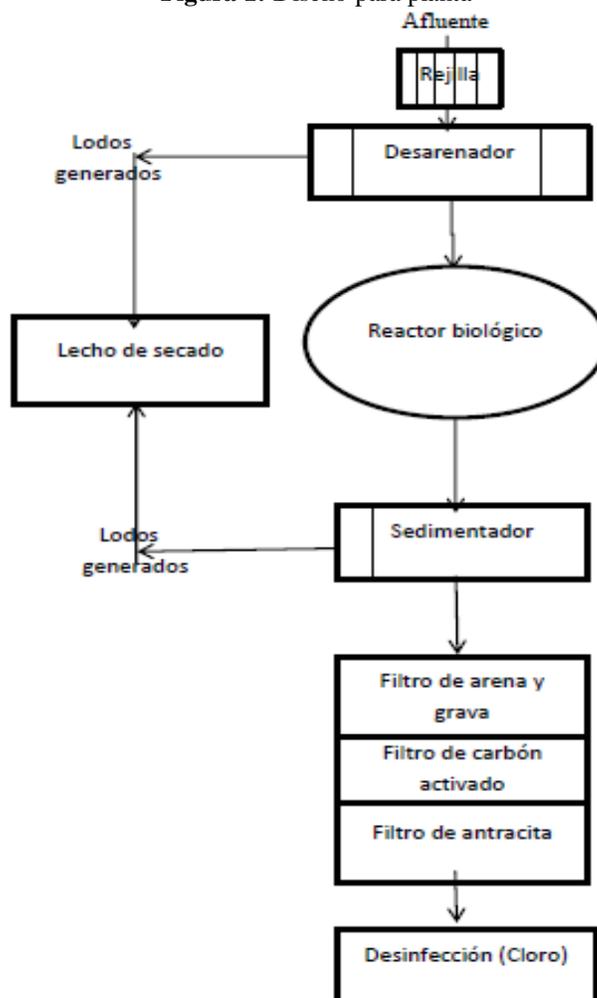
Previo a la etapa de diseño, las pruebas de tratabilidad fueron de suma importancia. Estas se realizaron en el laboratorio de la E.P-EMAPA-G, a través de la implementación de una planta piloto, considerando también las unidades complementarias a implementar al diseño actual. Se utilizaron cinco contenedores de 16 L conectados por una tubería de PVC de 1 pulgada y una serie de accesorios que permitían el paso de los lixiviados por cada uno de los procesos. Cada recipiente fue concebido para simular una operación unitaria considerada previamente: filtros, desarenador, sedimentador, tanque de desinfección y reactor biológico. En el caso de este último fue necesario hacer uso de un compresor en el proceso de aireación, verificando de cierta manera, la eficiencia del sistema propuesto.

Resultados

Para el rediseño de la planta de tratamiento actual posterior a las pruebas realizadas se implementó los siguientes procesos:

- **Rejillas:** sólidos de gran tamaño quedan retenidos, evitando afectaciones a los procesos posteriores.
- **Desarenador:** sólidos de menor tamaño y arenas que logran pasar el sistema de rejillas decantan por gravedad.
- **Reactor biológico:** eliminación de materia orgánica presente en los lixiviados por acción de los microorganismos y del oxígeno proveniente del sistema de aireación, reduciendo la DBO y DQO.
- **Sedimentador:** dispositivo para la remoción de lodos generados del tratamiento biológico mediante procesos de sedimentación.
- **Tanque de desinfección:** dispositivo para la eliminación de patógenos presentes en el lixiviado, utilizando como desinfectante el hipoclorito de calcio (HTH).
- **Lecho de secado:** consiste en la deshidratación de los lodos derivados del desarenador, del sedimentador y del reactor biológico.

Figura 1: Diseño para planta



Fuente: Andrade, 2017

Dimensionamiento del Sistema

De manera general se puede señalar que los cálculos de ingeniería, fueron llevados a cabo con las ecuaciones obtenidas de la revisión bibliográfica, considerándose los criterios técnicos comprobados que mejor se adaptasen a las condiciones reales del proyecto.

Para el cálculo de la población futura (Pf) se usó el método geométrico de crecimiento poblacional, partiendo de una población inicial (Pa) de 103164 habitantes y la tasa media anual de crecimiento de 1,95% (INEC, 2010). Con un horizonte de 20 años, requerimiento de EP-EMAPA-G, se tiene una población futura de 151.800 habitantes.

Así también, para el cálculo y dimensionamiento del reactor biológico, las consideraciones técnicas usadas son las del Manual de Diseño de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales de la Dirección Técnica de la E.P-EMAPA-G (Brito, 2012), el cual, a su vez está basado en el libro

“Proyecto de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales”, donde fueron sugeridos ciertos parámetros como el diámetro, la profundidad y los coeficientes de corrección y eficiencia. Adicionalmente, también se definió necesaria la determinación de: carga volumétrica, volumen del reactor, tiempo de retención, entre otros.

Aforaciones de Caudales

Las aforaciones realizadas de los lixiviados generados en el botadero de Curgua durante los tres meses de prueba dando como resultado lo siguiente:

Tabla 2: Promedio de las aforaciones mensuales del caudal de lixiviados

Mes	Promedios Q(L/s)
Noviembre 2016	0.72
Diciembre 2016	0.75
Enero 2017	0.73
Caudal promedio	0.73
Caudal promedio mayorado	0.95

Fuente: Andrade, 2017

El caudal promedio es de 0,73L/s, sin embargo, para consideraciones de diseño se considera un incremento del 30% (requerimiento de la E.P-EMAPA-G) el mismo que va a ser usado para los diseños futuros.

Resultados de la caracterización físico-química y microbiológica inicial de lixiviados

La caracterización físico-química y microbiológica, muestra que las descargas están sobrepasando los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A tal como se evidencia en la siguiente tabla:

Tabla 3: Caracterización físico-química y microbiológica inicial de lixiviados

PARÁMETROS	UNIDAD	LIM. PERM.	PROM. NOVIEMBRE	PROM. DICIEMBRE	PROM. GENERAL
COLOR	UTC	Ina. En dis	941	893	917
TURBIEDAD	NTU	.....	612,13	657,61	634,87
pH	.....	6. - 9	8,65	8,218	8,434
CONDUCTIVIDAD	mS/cm	.....	5,714	5,958	5,836
SÓLIDOS TOTALES DISUELDOS	mg/L	1600	611,55	534,44	573,00
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	130	160,20	161,60	160,90
TEMPERATURA	° C	± 3	19,60	19,37	19,49

NITRÓGENO TOTAL	mg/L	50	64,19	62.,13	63,16
FOSFATOS (P-PO₄³⁻)	mg/L	10	5,50	6,31	5,91
NITROGENO AMONIAICAL (NH₃-N)	mg/L	30	25,31	22,70	24,00
SULFATOS (SO₄²⁻)	mg/L	1000	21,60	21,60	21,60
FLUORUROS (F)	mg/L	5	13,77	14,54	14,15
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	10	6,54	6,77	6,66
MANGANESO (Mn²⁺)	mg/L	2	0,41	0,46	0,44
CROMO (Cr⁺⁶)	mg/L	0,5	0,45	0,44	0,45
COBRE (Cu)	mg/L	1	0,31	0,31	0,31
DUREZA TOTAL (CaCO₃)	mg/L	.....	712	732	722
ALUMINIO (Al³⁺)	mg/L	5	0,031	0,042	0,036
CLORUROS (Cl⁻)	mg/L	1000	867,39	783,38	825,39
NIQUEL (Ni)	mg/L	2	0,92	0,77	0,84
COBALTO (Co)	mg/L	0,5	0,43	0,44	0,44
PLOMO (Pb²⁺)	mg/L	0,2	0,009	0,008	0,008
ZINC (Zn²⁺)	mg/L	5	0,68	0,74	0,71
PLATA (Ag⁺)	mg/L	0,1	0,008	0,008	0,008
CIANURO (CN⁻)	mg/L	0,1	0,45	0,50	0,48
BARIO (Ba²⁺)	mg/L	2	1,74	1,67	1,71
BORO (Ba)	mg/L	2	0,72	0,71	0,72
BROMO (Br)	mg/L	.....	0,007	0,008	0,008
MOLIBDENO (Mo⁶⁺)	mg/L	.....	0,008	0,007	0,008
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	.....	0,81	0,75	0,78
OXÍGENO DISUELTO (O₂)	mg/L	.....	1,73	1,58	1,65
DBO₅	mg/L	100	880,78	901,49	891,14
DQO	mg/L	200	1509,40	1465,60	1487,50
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	.....	6784	6322	6553
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	200	3820	2820	3320

Fuente: Andrade, 2017/ Departamento de control de calidad de la E.P-EMAPA-G, 2017

La caracterización de los lixiviados, proceso de suma importancia, evidencio la remoción de diferentes parámetros en cada una de las operaciones implementadas, una vez aplicados los procesos piloto se obtuvieron como resultado los siguientes valores:

Tabla 4: Resultado de los lixiviados después del tratamiento propuesto

PARÁMETROS	UNIDAD	LIM. PERM.	PROMEDIO DE LOS MESES DE ESTUDIO	LIX. TRATADOS
COLOR	UTC	Ina. En dis	917	5
TURBIEDAD	NTU	.....	634,87	3,06
pH	.....	6. - 9	8,434	7,68
CONDUCTIVIDAD	mS/cm	.....	5,386	0,25
SÓLIDOS TOTALES DISUELDOS	mg/L	1600	573,00	42,67

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	130	160,90	17,00
TEMPERATURA	° C	± 3	19,49	14,97
NITRÓGENO TOTAL (N)	mg/L	50	63,16	34,58
FOSFATOS (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	10	5,91	0,94
NITROGENO AMONIAICAL (NH ₃ -N)	mg/L	30	24,00	1,67
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/L	1000	21,60	2,0
FLUORUROS (F)	mg/L	5	14,15	0,38
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	10	6,66	0,56
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/L	2	0,44	0,083
CROMO (Cr ⁺⁶)	mg/L	0,5	0,45	0,21
COBRE (Cu)	mg/L	1	0,31	0,02
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/L	.....	722	124
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/L	5	0,036	0,018
CLORUROS (Cl ⁻)	mg/L	1000	825,39	198,34
NIQUEL (Ni)	mg/L	2	0,84	0,14
COBALTO (Co)	mg/L	0,5	0,44	0,20
PLOMO (Pb ²⁺)	mg/L	0,2	0,008	0,006
ZINC (Zn ²⁺)	mg/L	5	0,71	0,42
PLATA (Ag ⁺)	mg/L	0,1	0,008	0,007
CIANURO (CN ⁻)	mg/L	0,1	0,48	0,02
BARIO (Ba ²⁺)	mg/L	2	1,71	0,95
BORO (Ba)	mg/L	2	0,72	0,24
BROMO (Br)	mg/L	.....	0,008	0,007
MOLIBDENO (Mo ⁶⁺)	mg/L	.....	0,008	0,008
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	.....	0,78	0,39
OXÍGENO DISUELTO (O ₂)	mg/L	.....	1,65	5,25
DBO ₅	mg/L	100	891,14	18,03
DQO	mg/L	200	1487,50	25,97
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	.....	6553	<1
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	200	3320	<1

Fuente: Andrade, 2017/ Departamento de control de calidad de la E.P-EMAPA-G, 2017

Remoción de contaminantes en el tratamiento de lixiviados

La remoción de varios parámetros, en general varía entre el 94% y el 97%, por lo que el lixiviado tratado cumple efectivamente con los valores permisibles máximos.

Reducción del color: fue del 99,45% gracias a la constitución del medio filtrante considerado a nivel piloto, reteniendo las partículas de menor granulometría en los espacios intersticiales, reduciendo el color de 917 a 5 UTC (Envitech, 2014).

Reducción de la turbiedad: fue del 99,51%, gracias al buen funcionamiento del desarenador, del reactor biológico y del sedimentador. Las partículas de menor granulometría son retenidas

en los espacios intersticiales del lecho filtrante, reduciendo la turbiedad de 634,87 a 3,06 NTU (Envitech, 2014).

Remoción de los sólidos suspendidos totales: fue del 89,43% gracias al buen funcionamiento del desarenador, del reactor biológico y del sedimentador, reduciendo los sólidos suspendidos totales de 160,9 a 17 mg/L (Envitech, 2014) (OPS/CEPIS/05.158, 2005).

Remoción del nitrógeno total: fue del 45,25%, debido a que los microorganismos que están presentes en el reactor biológico generan todo un proceso de nitrificación el cual oxida al nitrógeno orgánico en nitrato reduciendo este parámetro de 63,16 a 34,58 mg/L (Queralt, 2004).

Remoción de fluoruros: fue del 97,31% gracias al buen funcionamiento del reactor. Las partículas de menor granulometría quedan retenidas en medios filtrantes, disminuyendo de 14,15 a 0,38 mg/L (Sancha Antuña, 2013).

Remoción del Cianuro: fue del 95,83%, gracias al buen funcionamiento del reactor biológico, produciendo una reducción en este parámetro de 0,48 a 0,02 mg/L (Envitech, 2014).

Reducción de la DBO5: del 97,98%, gracias al buen funcionamiento del reactor biológico, produciendo una reducción en este parámetro de 891,14 a 18,03 mg/L (Queralt, 2004).

Remoción de la DQO: fue del 98,25% gracias al buen funcionamiento del reactor biológico, produciendo una reducción en este parámetro de de 1487,50 a 25,97 mg/L (Queralt, 2004).

Remoción de coliformes fecales: fue del 99,97%, gracias a que en el tanque de desinfección se realiza la dosificación de hipoclorito de calcio, con lo cual se produjo la reducción de los patógenos de 3320 a <1 NMP/100mL (OPS/CEPIS/05.158, 2005).

Resultados de la determinación de los parámetros de diseño

Realizados los cálculos de diseño obtuvimos los siguientes resultados:

Tabla 5: Diseño del Reactor Biológico

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Volumen del reactor	V	m ³	4,24
Tiempo de retención	T _r	Horas	8
Carga volumétrica	C _v	KgDBO/m ³	0,08
Edad del fango	E _f	Días	5,41
Oxígeno real	OR	KgO ₂ /día	4,59x10 ⁻⁶
Potencia a instalar	P _{cv}	Kw	62,82
Altura del reactor	h	m	2
Altura de difusores	h _d	m	0,5
Diámetro del reactor	Dr	m	3

Fuente: Andrade, 2017

Tabla 6: Diseño del Canal

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Volumen del reactor	A	m ²	0,35
Tiempo de retención	R	m	0,19
Carga volumétrica	B	m	0,5
Edad del fango	H	m	0,7

Fuente: Andrade, 2017

Tabla 7: Diseño de Rejillas

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Velocidad de aproximación	V _{ap}	m/s	0,57
Área entre las rejillas	A _r	m ²	1,28x10 ⁻³
Longitud sumergida	L	m	3,62x10 ⁻³
Área de la sección transversal de flujo	A _f	m ²	3,2x10 ⁻³
Número de barras	N _b	----	20
Pérdida de carga a través de las rejillas	hc:	m	0,036

Fuente: Andrade, 2017

Tabla 8: Diseño del Desarenador

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Velocidad de aproximación	V _s	cm/s	0,19
Número de Rerynolds	Re	....	0,08
Tiempo de retención	t	min	26
Capacidad del desarenador	C	m ³	4,12
Superficie del Desarenador	A _s	m ²	2,06
Longitud	L	m	2,50
Base	B	m	1,20
Altura	H	m	3

Fuente: Andrade, 2017

Tabla 9: Diseño del Sedimentador

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Área superficial	A _s	m ²	8,21
Longitud	L	m	5,72
Velocidad horizontal	V _h	m/s	0,042
Tiempo de retención	T ₀	Horas	3,80
Altura total	H _t	m	1,65
Altura del agua sobre el vertedero	H ₂	m	4,87x10 ⁻³
Área de los orificios	A _o	m ²	9,5x10 ⁻⁴
Área del orificio	a _o	m ²	3,14x10 ⁻⁴
Número de orificios	n	Unidades	30
Posición de altura de la pantalla difusora	H	m	0,9
Espacio entre filas	a ₁	m	0,18
Espacio entre columnas	a ₂	m	0,15
Volumen del sedimentador	V	m ³	12,67

Fuente: Andrade, 2017

Tabla 10: Diseño del tanque de Desinfección

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Volumen del tanque.	V	m ³	12,24
Altura del tanque	H _t	m	1,6
Longitud	L	m	5
Ancho	B	m	1,5

Fuente: Andrade, 2017

Tabla 11: Diseño del Lecho de Secado

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Per-cápita de los sólidos.	P _s	gss/hab.día	0,087
Per-capital de sólidos en suspensión	C	Kg/día	13,21
masa de sólidos	Msd		4,29
Volumen diario de lodos digeridos	V _{LD}	L	34,38
Área del lecho	A _L	m ²	0,75
Ancho del lecho	B _L	m	3
Longitud del lecho	L _L	m	6
Volumen del tanque	V _T	m ³	6,5
Intervalo de tiempo para desalojar los lodos	T _d	Horas	14

Fuente: Andrade, 2017

Conclusiones

En el marco de mitigación la contaminación ambiental generada por el botadero de Curgua, se diseñó de un sistema biológico complementario para el tratamiento de lixiviados generados, para ello fue necesaria la determinación del caudal y la caracterización físico-química y microbiológica de los mismos. Durante este último proceso se determinó que parámetros como el color, turbiedad, sólidos suspendidos totales, nitrógeno total, fluoruros, cianuro, DBO5, DQO, coliformes totales y coliformes fecales, presentaron los siguientes valores que sobrepasan los límites máximos permisibles, establecidos en el Acuerdo Ministerial 097A, generando un grave problema de contaminación hídrica, particularmente en el río Guaranda.

Pudo determinarse que el proceso biológico apropiado para el tratamiento de lixiviados, en este caso particular, es un reactor SBR, debido a que funciona con flujos discontinuos y en presencia de elevadas concentraciones de contaminantes (características encontradas en el botadero de Curgua). Es importante mencionar que, como un valor agregado se tiene que la implementación de un sistema de este tipo es relativamente económica y no requiere grandes inversiones de parte de la comunidad o del GAD Municipal de Guaranda. Los calculados de ingeniería efectuados, apoyados en los datos obtenidos de las pruebas de tratabilidad definieron que el reactor SBR tendría una capacidad de 17,67 m³, siendo necesaria la implementación de unidades

complementarias para su funcionamiento pleno y óptimo. Entre estas unidades tendríamos un desarenador (4,12 m³), un sedimentador (12,87 m³) y un tanque de desinfección (12,24 m³).

Los resultados también definieron un caudal de diseño de 0,95L/s y un índice de biodegradabilidad de 0,6; con estos parámetros se construyó un reactor piloto, reduciendo notablemente parámetros como el color, la turbiedad, los sólidos suspendidos totales, el nitrógeno total, los fluoruros, cianuro, DBO₅, DQO, coliformes totales y coliformes fecales en porcentajes que fueron del 94 al 97%. Más específicamente se puede señalar la remoción de la turbiedad, color, DBO₅ y DQO en un 70%, 4%, 97,98% y 98,25% respectivamente.

En definitiva, se ha demostrado que, con todo este conjunto de estas consideraciones, el efluente tratado a más de garantizar un tratamiento correcto y responsable con el medioambiente y las personas, cumpliría satisfactoriamente la normativa ambiental vigente y pudiere ser descargado directamente a cualquier cuerpo hídrico sin generar impacto ambiental alguno.

Se recomienda que la presente propuesta sea considerada e incluida dentro del sistema de gestión integral de los Residuos Sólidos en el botadero de Curgua, y posteriormente, con las adecuaciones pertinentes, adaptarse a otros botaderos del cantón y del país.

Referencias

1. Álvarez Contreras, A., & Suárez Gelvez, J. H. (2011). Tratamiento biológico del lixiviado generado en el relleno sanitario “El Guayabal” de la ciudad San José de Cúcuta. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, 20(20), 95-105.
2. Brito, M. (2012). *Manual de Diseño de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales E.P-EMAPA-G*. Guaranda.
3. Luna, C. MD (2008). *Sistemas de tratamiento para lixiviados generados en rellenos sanitarios*. (Monografía).
4. DAS-Argentina. (2017). *Tratamiento de Efluentes*. Argentina. Obtenido de <http://www.das-argentina.com.ar/tratamiento-fisico-quimico-aguas-residuales.html>.
5. Envitech, C. *Filtración mediante membranas para el tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de <https://blog.condorchem.com/membranastratamiento-aguas-residuales>.
6. INEC. (2010). *Fascículos Censales [en línea]*. Ecuador, 2010. Obtenido de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Fasciculos_Censales/Fasc_Cantonales/Bolivar/Fasciculo_Guaranda.pdf

7. Martínez Delgadillo, S. A. (2005). Tratamiento de aguas residuales con Matlab (No. 04; TD745, M3.).
8. Najera-Aguilar, H. A. (2009). Lixiviados.
9. OPS, O. (2005). Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores.
10. Queralt, R. (2004). Tecnología del agua.
11. Sancha, M. (2013). Caracterización Físico-Química Y Microbiológica De Un Proceso De Tratamiento De Vertedero. Universidad De Oviedo, 1–97. http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/23352/6/TFM_MelaniaSanchaAntuña.pdf
12. SENPLADES (2015). Programa Nacional De Gestión Integral De Desechos Sólidos. The Effects of Brief Mindfulness Intervention on Acute Pain Experience: An Examination of Individual Difference, 1(593 2), 1–7. <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/254996/Informe+Gestion+detallado+MAE-PGNIDS+2010-2013.pdf/0b66f1c8-98bc-430a-bdab-75f8e7afeed0>

© 2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)