



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA CIENCIAS QUÍMICAS

**“REDISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS
DEL COMPLEJO AMBIENTAL PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE
RESIDUOS SÓLIDOS DEL CANTÓN SANTO DOMINGO”.**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: GÉNESIS FIORELLA TORRES AVEIGA

TUTOR: DR. JOSÉ GERARDO LEÓN CHIMBOLEMA

Riobamba – Ecuador

2018

© 2018, Génesis Fiorella Torres Aveiga

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA CIENCIAS QUÍMICAS

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El Proyecto técnico **“Rediseño de la planta de tratamiento de lixiviados del complejo ambiental para la disposición final de residuos sólidos del cantón Santo Domingo”**. de responsabilidad de la Srta. Génesis Fiorella Torres Aveiga, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Dr. José Gerardo León Chimbolema

DIRECTOR DEL TRABAJO

DE TITULACIÓN

Ing. Miguel Santillán Quiroga

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DE TITULACIÓN

“Yo, **GÉNESIS FIORELLA TORRES AVEIGA** soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente documento y el patrimonio intelectual del Anteproyecto de Trabajo de Titulación pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**”.

Génesis Fiorella Torres Aveiga

DEDICATORIA

Con todo mi amor a mi Dios todo poderoso, por permitirme culminar esta gran etapa de mi vida, a mi hija Kathleen por ser el motor diario para superar adversidades, a mis padres Cumanda y Javier por ser los pilares fundamentales para cumplir mis metas, a mis hermanos Bryan y Sebastián por su amor y a Alfredo por su apoyo incondicional.

Génesis F. Torres Aveiga

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a la vida por permitirme cumplir con una de mis metas GRACIAS DIOS, por darme la oportunidad de crecer, cumplir uno de mis sueños y anhelos. Gracias a mis padres y hermanos por sus sacrificios, amor y luchas sin ellos no fuera nada de lo que soy los amo con mi vida, gracias a todos los miembros de mi familia por su apoyo y cariño.

Gracias a mis amados Alfredo y Kathleen por motivarme cada día a ser mejor con su incondicional amor.

A mi tutor y miembro por guiarme en este largo camino, a todos mis docentes, gracias por brindarme de sus conocimientos, su amistad, su apoyo, por formarme académica y moralmente.

A mis queridos amigos y a mis compañeros de clase por siempre estar ahí cuando más los he necesitado, por ser ese factor importante de alegría y vivencias.

Génesis F. Torres Aveiga

TABLA DE CONTENIDO

	Paginas
RESUMEN.....	x
SUMMARY.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	
1 MARCO TEÓRICO	
1.1 Antecedentes.....	5
1.2 Residuos sólidos.....	6
<i>1.2.1 Manejo de residuos.....</i>	<i>7</i>
1.3 Relleno sanitario.....	7
1.4 Lixiviados.....	8
<i>1.4.1 Orígenes de los lixiviados.....</i>	<i>8</i>
<i>1.4.2 Generación de los lixiviados.....</i>	<i>8</i>
<i>1.4.3 Cantidad de producción de lixiviados.....</i>	<i>9</i>
<i>1.4.4 Composición y caracterización de los lixiviados.....</i>	<i>12</i>
<i>1.4.4.1 Parámetros físicos.....</i>	<i>12</i>
<i>1.4.4.2 Parámetros químicos.....</i>	<i>13</i>
<i>1.4.4.3 Lixiviados jóvenes.....</i>	<i>15</i>
<i>1.4.4.4 Lixiviados maduros.....</i>	<i>15</i>

1.4.5	<i>Sistemas o tecnología de tratamiento de lixiviados</i>	17
1.4.5.1	<i>Pretratamiento</i>	18
1.4.5.2	<i>Tratamiento primario</i>	19
1.4.5.3	<i>Tratamiento Secundario</i>	19
1.4.5.4	<i>Tratamiento Terciario</i>	20
1.4.5.5	<i>Sistemas naturales</i>	20
1.4.5.6	<i>Sistemas o tecnología de tratamiento de lixiviados implementados</i>	26
1.4.5.7	<i>Humedales artificiales</i>	41
1.4.5.8	<i>Fitorremediación</i>	52
1.4.6	<i>Legislación</i>	53
1.4.6.1	<i>Normativa nacional</i>	53
1.4.6.2	<i>Normatividad internacional</i>	56

CAPÍTULO II

2.1	Generalidades del área de estudio	57
2.1.1	<i>Ubicación geográfica</i>	57
2.1.2	<i>Aspectos físicos</i>	59
2.1.2.1	<i>Componente climático</i>	59
2.1.2.1	<i>Funcionamiento del Complejo Ambiental</i>	60
2.1.3	<i>Metodología</i>	62
2.1.3.1	<i>Recolección de la información</i>	62

2.1.3.2	<i>Diagnostico técnico</i>	62
2.1.3.3	<i>Tratabilidad de la planta</i>	64
2.1.3.4	<i>Identificación y Evaluación del Impacto Ambiental</i>	66
2.1.3.5	<i>Propuesta</i>	67
2.1.3.6	<i>Dimensionamiento</i>	68
2.1.3.7	<i>Diseño de los planos</i>	69

CAPÍTULO III

3.1	Diagnostico técnico	70
3.1.2	<i>Verificación in situ del diseño de la planta</i>	70
3.1.3	<i>Verificación in situ del funcionamiento de la planta</i>	73
3.1.4	<i>Generación de lixiviados</i>	74
3.1.5	<i>Tratabilidad de la planta</i>	76
3.1.5.1	<i>Tratamiento primario</i>	76
3.1.5.2	<i>Planta físico - química</i>	86
3.1.5.3	<i>Planta VSEP</i>	87
3.1.5.4	<i>Caracterización del lixiviado</i>	90
3.1.6	<i>Análisis de resultados</i>	92
3.1.7	<i>Realización de una Prueba de tratabilidad para la activación del tratamiento F-Q.</i>	99
3.1.8	<i>Identificación y Evaluación del Impacto Ambiental</i>	105
3.1.9	<i>Propuesta</i>	114

<i>3.1.9.1 Optimización de la planta de tratamiento de lixiviado.</i>	115
<i>3.1.9.2 Diseño de las nuevas etapas.</i>	117
<i>3.1.9.3 Cálculos del rediseño de la planta</i>	118
CONCLUSIONES	127
RECOMENDACIONES.....	130
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

RESUMEN

El objetivo fue el rediseño de la planta de tratamiento de lixiviados del Complejo Ambiental para la Disposición Final de Residuos Sólidos del Cantón Santo Domingo, siendo los lixiviados líquidos muy complejos y altamente contaminados aumenta la preocupación por el bienestar de la población, el cuidado ambiental, el desarrollo del cantón y el tratamiento impartido, motivo por el cual se planteó el rediseño basándose en la revisión analítica de literatura y recopilación de datos técnicos por medio de la verificación in situ del diseño y funcionamiento de la planta, se estimó la generación de caudal por medio del método volumétrico en base a la diferenciación de alturas, se utilizó la caracterización de lixiviados para determinar la eficiencia de la planta de tratamiento basándose en el porcentaje de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Turbiedad, se realizó una prueba de tratabilidad basada en la prueba de jarras con una dosificación de floculante 4 ml, policloruro de aluminio 8 ml, cloruro férrico 8 ml, agitación de 1 minuto a 100 rpm y 3 minutos a 50 rpm métodos por los cuales se obtuvo como resultado que la planta se encuentra mal operada y que se produce 26 m³/día de lixiviado que no es tratado por ninguna etapa por lo cual se diseñó un humedal artificial vertical subsuperficial con un área superficial de 45.662 m², un tiempo de retención de 0.354 días, ancho de 0.56 m, largo de 81.54 m y una cantidad de medio filtrante de arena gruesa 15.981 m³, arena gravosa 5.479 m³, arena grava media 4.566 m³. Concluyendo que se necesita del rediseño y optimización de todas las fases de tratamiento implementadas en la planta para lo cual se recomienda dar énfasis a los procesos de operación y realizar el mantenimiento de las instalaciones.

Palabras clave: <BIOTECNOLOGÍA>, <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA SANITARIA>, <REDISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO>, <TRATAMIENTO DE LIXIADOS>, <IMPACTO AMBIENTAL>, <CONTAMINACIÓN AMBIENTAL>, <SANTO DOMINGO (CANTÓN)>.

ABSTRACT

The objective was the redesign of the environmental complex for the final disposal of solid waste's leachate treatment plant of Santo Domingo canton, being the leached liquids very complex and highly contaminated it increases the concern about the population's welfare , the environmental care, the canton's development and the treatment given, were the reason why the redesign was proposed based on the literature analytical review and collection of technical data through the in situ design and plant operation verification, the flow generation was estimated by the volumetric method based on heights differentiation, the characterization of leachates was used to determine the treatment plant efficiency based on the biochemical oxygen demand removal percentage (BOD_5), oxygen chemical demand (COD) and turbidity, a treatability test was carried out based on the jar test with a flocculants dosification 4 mL, aluminum polychloride 8 mL, agitation of 1 minute at 100 rpm and 3 minute at 50 rpm, through the use of these methods we found as a result that the plant is badly operate and it produces 26 m³ leachate a day that is not treated in any stage whereby a vertical artificial subsurface wetland was designed with a surface area of 45,662 m², a retention time of 0,354 days, width of 0,56 m, length of 81.54 m and an amount of medium sand filtering 15,981 m³, sand gravel 5,479 m³, medium gravel sand 4,566 m³. Concluding that it is necessary to redesign and optimize all the treatment phases implemented in the plant, it is recommended to give emphasis to give emphasis to the operational processes and give the facility's maintenance.

Keyword: <BIOTECHNOLOGY>, <ENGINEERING AND SANITARY TECHNOLOGY>, <TREATMENT PLANT REDESIGN>, <LIXED TREATMENT >, <ENVIRONMENTAL IMPACTO >, < ENVIRONMENTALPOLLUTION >, <SANTO DOMINGO (CANTON)>.

INTRODUCCIÓN

El Cantón SANTO DOMINGO, Provincia de SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS se encuentra ubicado en la Zona 4 de planificación, cuenta con 8 parroquias y representa el 91.4% del territorio de la provincia (aproximadamente 3.4 mil km²). (SENPLADES, 2014). Posee una población aproximada de 450.000 habitantes, según la estimación de acuerdo con su tasa de crecimiento anual. Es una de las ciudades más prósperas y de mayor crecimiento poblacional del país. Lo que ocasiona una relación directamente proporcional entre la tasa de crecimiento poblacional y el aumento en el índice per cápita de producción de residuos sólidos municipales, estimando así una producción promedio de 300 toneladas de basura diariamente. (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2015)

Preocupado por el bienestar de la población, el cuidado ambiental y el desarrollo del cantón el GAD Municipal Santo Domingo, construyó el complejo ambiental para la disposición final de residuos sólidos, localizado en Km 32 de la vía Santo Domingo – Quevedo, margen derecho. Basado en un manejo integral de los residuos que genera el cantón, considerando la recepción, confinamiento y procesamiento de los mismos, a través de los siguientes componentes: Planta de Separación, Reciclaje y Almacenamiento, Estación de compostaje, Área de Residuos Hospitalarios, Relleno Sanitario, Modulo 1 y Modulo 2, Áreas Administrativas, vestidores y Tratamiento de Lixiviados. (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

La producción de lixiviado es la problemática más notable al momento del diseño, construcción, operación y mantenimiento de un relleno sanitario. Debido a que los lixiviados son líquidos muy complejos y altamente contaminados, en cuya composición se puede encontrar materia orgánica disuelta, metales pesados, sales inorgánicas y otros compuestos orgánicos xenobióticos, pueden ser tóxicos, cancerígenos y capaces de provocar un riesgo potencial en el ambiente y los seres vivos. (Toufexi, 2013)

El primer factor que se consideró es el clima cálido de la zona que corresponde al piso climático subtropical favoreciendo la generación de olores y compuestos volátiles responsables del mal olor en las piscinas, otro factor a considerado es la alta humedad de los desechos sólidos debido a la permanente

precipitación pluvial que alcanza los 2725 mm anuales con máximos medios que llegan a los 6061 mm anuales, lo que incrementa continuamente el volumen de lixiviados en las piscinas diluyendo permanentemente los contaminantes. El relleno se encuentra cerca de zonas de alta sensibilidad por la presencia de ríos, esteros, aguas subterráneas y poblaciones cercanas lo que indica la importancia de la topografía. (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2017)

De acuerdo con el Estudio presentado por ConsultPiedra, la generación per-cápita total de lixiviado en Santo Domingo para el Relleno Sanitario se da por módulos, realizando cierre técnico y habilitación del siguiente. Actualmente se encuentra en la etapa de módulo 3, donde a partir de esta etapa los módulos serán igualitarios en su capacidad de almacenamiento hasta llegar al período de vida útil 2011 - 2025.

El tratamiento de lixiviados actual se lo realiza mediante un tratamiento primario (1 laguna anaerobia, 1 laguna de aireación, 1 laguna de sedimentación y procesos físico-químicos floculación, coagulación y filtración), para luego pasar a los filtros de membrana vibratoria VSEP, construido por la empresa norteamericana New Logic Research, tecnología que utiliza la vibración de los filtros de Nano filtración (NF) u osmosis inversa (RO) para separar mecánicamente todo tipo de impurezas del agua. (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014).

Mediante una inspección técnica realizada al complejo se evidenció que se utiliza directamente la tecnología de filtros de membrana vibratoria VSEP, como único tratamiento para el lixiviado producido en el complejo ambiental, quedando las tecnologías de tratamiento primario y procesos físico-químicos sin funcionamiento.

Motivo por el cual se adquiere grandes volúmenes de reactivos o aditivos para el funcionamiento de estos. El sistema funciona en períodos de 23 horas diarias, destinando 1 hora al lavado y limpieza de los filtros y otros componentes. Actualmente se necesita realizar de 4 o 5 veces por mes el mantenimiento dependiendo de la densidad y toxicidad del lixiviado, la disponibilidad de repuestos (mercado nacional) es mínima solo una empresa en el Ecuador lo comercializa, la tecnología y el mantenimiento del filtro

es compleja únicamente puede ser manejada por personal técnico especializado y los costos de implementación son muy elevados. (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Lo que indica que la utilización directa de filtros de membrana vibratoria VSEP no sea viable para el complejo ambiental, y se requiere de un rediseño y optimización de todas las fases de tratamiento implementadas en la planta.

JUSTIFICACIÓN

El Cantón Santo Domingo por encontrarse en una zona tropical y estar limitado por una rama de la Cordillera de los Andes existe una gran gama de biodiversidad y pisos ecológicos que crean una diversidad infinita de ecosistemas (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2015)

Por lo dispuesto en la problemática donde se evidencia que la planta VSEP es el único tratamiento utilizado estando actualmente sin funcionamiento el tratamiento primario y la planta físico-química. Aumenta la preocupación de la eficiencia de la actual planta de tratamiento de lixiviados, por lo que se pretende optimizar las diferentes tecnologías ya ejecutadas por medio de una caracterización de los lixiviados, evaluación de falencias y rendimientos de las etapas de tratamiento implementadas, verificando su funcionamiento con la finalidad de mejorar el actual manejo.

Planteándose el rediseño y optimización de la planta de tratamiento de lixiviados del Complejo Ambiental para la Disposición Final de Residuos Sólidos del Cantón Santo Domingo, en base al cumplimiento de la normativa ecuatoriana Acuerdos 097-A. Refórmese el Texto Unificado de Legislación Secundaria. TABLA 9. “Límites de descarga en un cuerpo de agua dulce”

En base al perfil profesional y la competencia del Ing. en Biotecnología Ambiental, se propone el siguiente trabajo de titulación contando con el aval del GAD Municipal Santo Domingo en pro de la mejora continua, la optimización de procesos y el rediseño de las tecnologías establecidas en la planta de tratamientos de lixiviados del Cantón.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

- Rediseñar la planta de tratamiento de lixiviados del Complejo Ambiental para la Disposición Final de Residuos Sólidos del Cantón Santo Domingo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Caracterizar los lixiviados generados en el Complejo Ambiental del Cantón Santo Domingo.
- Evaluar la eficiencia de la Planta de Tratamiento de Lixiviados del Complejo Ambiental del Cantón Santo Domingo.
- Optimizar los procesos implementados en la Planta de Tratamiento de Lixiviados del Complejo Ambiental del Cantón Santo Domingo.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

La Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS) reporta:

La región de América Latina habita en los centros urbanos alrededor de 350 millones de habitantes, quienes generan unas 275.000 toneladas de basura diariamente, de las cuales solo se recolecta un promedio de 70% y únicamente el 35% se dispone en rellenos sanitarios. Además, se estima que laboran unos 100.000 segregadores informales. Dentro de este contexto regional, Ecuador, localizado al noroeste de América del Sur, cuenta con una población de casi 8 millones de habitantes (55% ubicados en asentamientos rurales), responsables de unas 7.400 toneladas de basura que generan diariamente.
(OPS, octubre del 2001)

El Cantón SANTO DOMINGO, tiene una producción promedio de 300 toneladas de basura diariamente.
(Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Mediante oficio MAE-SCA-2011-3135 del 27 de diciembre de 2011, se emite la viabilidad técnica al proyecto “Complejo Ambiental para la disposición final de los residuos sólidos del cantón Santo Domingo” por parte del Ministerio del Ambiente. (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Con resolución 2012-dir-030 del 16 de julio de 2012, el Banco del Estado resuelve conceder una línea de crédito al GAD Municipal de Santo Domingo, con cargo al programa PROMADEC II fase 2, para el

proyecto “Construcción del Módulo II del Complejo Ambiental para la disposición final de los residuos sólidos del cantón Santo Domingo”. (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Mediante oficio MAE-SCA-2012-1938 del 19 de octubre de 2012, se emite la viabilidad técnica a las adecuaciones a realizar al Módulo I del Complejo Ambiental. Proyecto emergente en ejecución para el depósito de los residuos sólidos que genera el cantón hasta que las obras y equipamiento relacionados a la construcción del módulo II entren en funcionamiento. (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

En el mes de febrero del año 2013, el Consorcio E&E genera un informe técnico con observaciones a características constructivas y del equipamiento que deberían ser mejoradas para contar con un proyecto funcional y eficiente en los diferentes procesos que este involucra, como son la separación de reciclables, producción de compost, relleno sanitario y planta de tratamiento de lixiviados. (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Mediante informe GADMSD-PTL-001-2013 del 6 de junio de 2013, se conforma una mesa técnica de trabajo que realiza un análisis a las tecnologías propuestas para implementar el sistema de tratamiento de lixiviados del Complejo Ambiental. De las conclusiones y recomendaciones generadas en dicho documento se determina que la planta de tratamiento con tecnología VSEP es la más adecuada para tratar esos efluentes. (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

1.2 Residuos sólidos

El resultado del consumo o utilización de cualquier tipo de material, objeto, sustancia o elemento sólido procedente de actividades industriales, domésticas, comerciales, de servicios o institucionales que son rechazadas abandonadas o entregadas por el generador es residuo sólido. (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, 2005)

1.2.1 Manejo de residuos

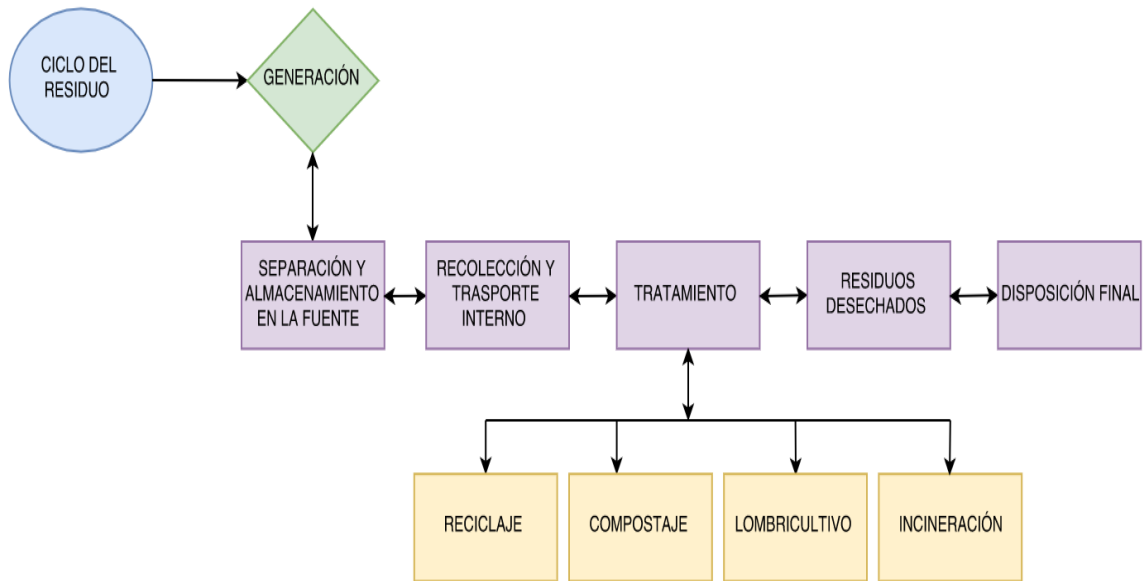


Figura 1-1: Etapas para el manejo integral de residuos sólidos

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

1.3 Relleno sanitario

Es un sitio seleccionado técnicamente para el diseño y operación de los residuos sólidos con la finalidad de darle una adecuada disposición final sin causar daños, peligros o riesgos a la salud pública, mediante la minimización de impactos con la utilización de principios de ingeniería para la recepción de los residuos sólidos en una mínima área por medio de la compactación y cobertura, controlando la producción de gas y lixiviado. (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Decreto 1713 de 2002)

El éxito en la gestión de un relleno sanitario se basa en el cumplimiento de las etapas como la planificación, diseño, manejo y clausura. (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Decreto 1713 de 2002)

1.4 Lixiviados

Es el líquido que resulta de la percolación de cualquier tipo de material, asociado generalmente a la filtración que se producen en los rellenos sanitarios de materia en suspensión o disuelta producto de la reacción de descomposición de los desechos sólidos y otros compuestos. (TCHOBANOGLIOUS, 1997, pp. 469-470)

De las degradaciones biológicas producidas en los rellenos sanitarios (TCHOBANOGLIOUS, 1997, pp. 469-470) nos indica que se produce diferentes tipos de subproductos gaseosos y líquidos, obteniendo biogás y lixiviado

1.4.1 Orígenes de los lixiviados

La compactación de los residuos sólidos produce la liberación de líquidos orgánicos y agua, que se filtran por medio de los desechos arrastrando nutrientes y minerales. A su vez se produce la percolación del agua lluvia que arrastra y diluye sólidos en suspensión, compuestos orgánico y sólidos solubles produciendo un incremento en el flujo de este líquido. A esta mezcla, que es potencialmente contaminante se la denomina lixiviado. (TCHOBANOGLIOUS, 1997, pp. 469-470)

1.4.2 Generación de los lixiviados

El lixiviado generalmente presenta una consistencia de olor fuerte, color negro y una capa de espuma, se compone de la infiltración de las aguas lluvias y humedad (95%) y de la descomposición de residuos el (5%), aproximadamente. (TCHOBANOGLIOUS, 1997, pp. 469-470)

Son líquidos altamente contaminantes constituidos por una elevada carga orgánica cuya composición varía según la geografía, el tipo de residuo depositado, la edad de relleno. (TCHOBANOGLIOUS, 1997, pp. 469-470)

1.4.3 Cantidad de producción de lixiviados

La generación de lixiviado dependerá de los siguientes factores:

Tabla 1-1: Producción de lixiviado

Factores que inciden en la producción de lixiviado
1. Precipitación (P)
2. Agua superficial (AS)
3. Penetración de agua subterránea (PA)
4. Irrigación (Ir)
5. Descomposición del residuo (D)
6. Residuos líquidos y fangosos (RLF)
7. Evaporación (E) y evapotranspiración (ET)
8. Escorrentía superficial (ES)
9. Infiltración (I)
10. Retención de la humedad ($_RHs$ y $_RHr$)
11. Percolación (PEs y PEr)

Fuente: (EHRIG, CEPIS. 2000. p. 4.)

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

Se puede representar la cantidad de lixiviado que genera un relleno sanitario mediante un balance hídrico general teniendo:

Para un relleno en funcionamiento:

Ecuación 1-1

$$L = (P + AS + Ir + D + RLF + PA) - (E + ES + 6RHs + 6RHR)$$

Para un relleno clausurado:

Ecuación 2-1

$$L = (P + AS + PA) - (E + ET)$$

La producción total de lixiviado está influenciada por la cantidad de agua de lluvia que se infiltra, por la humedad de los residuos, la humedad del material de recubrimiento, la humedad de los lodos si se produce una evacuación de estos, el agua utilizada en la formación de gas, el vapor de agua saturada tanto en el lixiviado como en el vertedero. (EHRIG, CEPIS. 2000. p. 4.)

Se puede utilizar el método suizo para limitar las dificultades de la recolección de datos:

Ecuación 3-1

$$Q = \frac{1}{t} \times P \times A \times K$$

Donde:

Q = Caudal medio de lixiviado o líquido percolado (L/seg)

P = Precipitación media anual (mm/año)

A = Área superficial del relleno (m²)

t = Número de segundos en un año (31.536.000 seg/año)

K = Coeficiente que depende del grado de compactación de la basura

En base al grado de compactación del relleno sanitario se puede definir la producción de lixiviado, los valores de compactación son los siguientes:

La realización de la compactación con compactadores es el 25% de la precipitación/año mientras que la compactación con orugas es el 40% de la precipitación/año. (EHRIG, CEPIS. 2000. p. 4.)

Tabla 2-1: Producción de lixiviados en dependencia de la técnica de operación

Precipitación n (mm/año)	Lixiviados		Observaciones
	(m /Ha/día)	(% de N)	
Compactación con oruga			
571	4.9	31.3	---
571	0.4	4.4	Recubierto con material aglutinante
501 – 729	5.3 – 8.3	25 -48	Parcialmente
662	10.6	58.2	---
632	5.9	32.3	Recubierto y re cultivado
565 – 655	6.1 – 7.5	39.2 – 42	---
636	3.5 – 3.7	19.9 – 21.4	---
Relleno con Producción de Compost			
716 – 936	0.8 – 5.2	3.9 – 21.3	---
---	4.4 – 4.8	28.9 – 31.8	---
Compactación con Compactadores			
652	2.7	15.1	---
651 – 998	3.2 – 8.1	12.2 – 29.8	Recubierto y re cultivado
651 – 998	3.0 – 5.9	16.9 – 21.6	---
632	2.8 – 3.2	16.3 – 18.3	---
509	2.3	16.8	---
556 – 1057	2.6 – 5.1	15.6 – 19.6	---
770	0.7 – 1.1	3.3 – 7.2	Relleno muy joven
---	3.8	22	Ciclo de lixiviados (Recubierto con material aglutinante)
---	6.7	38	Ciclo de lixiviados

Fuente: (EHRIG, CEPIS. 2000. p. 4.)

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

1.4.4 Composición y caracterización de los lixiviados

De acuerdo a lo mencionado en (BÓRDALO, HIDALGO, GÓMEZ, MURCIA, & MARÍN., 2007) la composición y concentración de los lixiviados se encuentra estrechamente ligada con la composición de los desechos del relleno sanitario, por lo que varía según el tipo de desecho, las precipitaciones, la edad del relleno, el clima del lugar, el grado de compactación por lo que no se puede definir una composición estandarizada para los lixiviados.

Tabla 3-1: Parámetros que caracterizan un lixiviado

Parámetros	
Físicos	La concentración de sólidos suspendidos, pH y conductividad
Químicos	Las concentraciones de materia orgánica degradable química o biológicamente, nitratos, fosfatos, cloruros, metales. Las concentraciones altas de metales pesados, así como de nitrógeno amoniacal y de algunos compuestos orgánicos, pueden ser tóxicas o inhibir el crecimiento de microorganismos
Biológicos	Según el tipo y cantidad de microorganismos presentes.

Fuente: (BÓRDALO, HIDALGO, GÓMEZ, MURCIA, & MARÍN., 2007)

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

En la caracterización de los lixiviados los parámetros de diseño más importantes son:

1.4.4.1 Parámetros físicos

- pH

Es la medida de la concentración de iones hidrogeno en una disolución, para conocer la naturaleza ácido o alcalina de una solución acuosa. (EHRIG, CEPIS. 2000. p. 4.)

- Conductividad eléctrica

La conductividad “es la medida de la capacidad o de la aptitud de un material para dejar pasas o dejar circular libremente la corriente eléctrica. Esta depende de la estructura atómica y molecular del material.” (EHRIG, CEPIS. 2000. p. 4.)

- Sólidos totales

Es la materia obtenida después de someter el agua a una temperatura entre un rango de 103°C y 105°C hasta lograr la evaporación. (EHRIG, CEPIS. 2000. p. 4.)

- Turbidez

La determinación de la turbidez es un parámetro con relevante importancia en aguas residuales, se determina la presencia de materia en suspensión como limo, arcilla sílice, materia orgánica etc. (EHRIG, CEPIS. 2000. p. 4.)

1.4.4.2 Parámetros químicos

- Demanda Química de Oxígeno

El oxígeno requerido por los microorganismos para oxidar la materia orgánica existente en un agua residual. Determina el grado de contaminación de una muestra y es expresada en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO₂/l). (EHRIG, CEPIS. 2000. p. 4.)

- Demanda Bioquímica de Oxígeno

El oxígeno requerido por los microorganismos para degradar la materia orgánica que se encuentra en un agua residual. Determina si la materia es biodegradable, y representa el total de la materia biodegradable y no biodegradable. (EHRIG, CEPIS. 2000. p. 4.)

Los lixiviados pueden clasificarse de acuerdo a la edad del relleno sanitario en: Lixiviados jóvenes y lixiviados maduros

Tabla 4-1: Datos Típicos sobre la Composición de los Lixiviados Procedentes de Vertederos Nuevos y Maduros

Constituyente	Vertedero nuevo (menos de 2 años) Valor (mg/l ^b)		Vertedero maduro (mayor de 10 años) Valor (mg/l ^b)
	Rango ^c	Típico ^d	
DBO ₅	2000 – 30000	10000	100 – 200
COT (carbono orgánico total)	1500 – 20000	6000	80 – 160
DQO	3000 – 60000	18000	100 – 500
Sólidos totales en suspension	200 – 2000	500	100 – 400
Nitrógeno orgánico	10 – 800	200	80 – 120
Nitrógeno amoniacal	10 – 800	200	20 – 40
Nitrato	5 – 40	25	5 – 10
Fósforo total	5 – 100	30	5 – 10
Orto fosfato	4-80	20	4 – 8
Alcalinidad como CaCO ₃	1000 – 10000	3000	200 – 1000
pH	4.5 – 7.5	6	6.6 – 7.5
Dureza total como CaCO ₃	300 – 10000	3500	200 – 500
Calcio	200 – 3000	1000	100 – 400
Magnesio	50 – 1500	250	50 – 200
Potasio	200 – 1000	300	50 – 400
Sodio	200 – 2500	500	100 – 200
Cloro	200 - 3000	500	100 – 400
Sulfatos	50 – 1000	300	20 – 50
^b Excepto el pH, que no tiene unidades. ^c Rango representativo de valores. ^d Los valores típicos para los vertederos nuevos varían según el estado metabólico del vertedero.			

Fuente: (TCHOBANOGLIOUS, 1997, pp. 469-470)

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

1.4.4.3 Lixiviados jóvenes

Cuando el lixiviado proviene de rellenos o vertederos con menos de dos años de operación son denominados lixiviados jóvenes, caracterizados generalmente por una alta carga orgánica susceptible a oxidación por lo que son altamente biodegradables, son ácidos, tienen altos contenidos de sólidos suspendidos totales, carbono orgánico y nitrógeno amoniacal. (Giraldo, 2001)

Para el tratamiento de lixiviados jóvenes se recomiendan los siguientes de acuerdo con el autor (Giraldo, 2001):

Tabla 5-1: Tratamientos recomendados para lixiviados jóvenes

Tratamiento	Especificaciones
Lodos activados:	Este método ayuda a disminuir el contenido de nitrógeno y a satisfacer la demanda biológica de oxígeno
Lagunas aireadas de estabilización:	Aunque requieren de más espacio, pueden resultar tan efectivas como los lodos activados para satisfacer la demanda bioquímica de oxígeno y para disminuir el contenido de nitrógeno presente en los lixiviados
Lagunas anaerobias	Este tipo de tratamiento biológico, ayuda a disminuir el contenido de sólidos suspendidos y la materia orgánica presente en los lixiviados
Neutralización	Este método ayuda a ajustar el pH entre 6.5 y 8.5, antes de proceder a utilizar los tratamientos biológicos, para que la actividad biológica sea óptima

Fuente: (Giraldo, 2001)

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

1.4.4.4 Lixiviados maduros

Cuando el lixiviado proviene de rellenos o vertederos con más de diez años de operación son denominados lixiviados maduros, caracterizados generalmente por tener una menor carga de materia orgánica en comparación a los lixiviados jóvenes motivo por el cual su biodegradables también es menor,

poseen una tendencia a ser neutros, bajos contenidos de metales pesados. (Giraldo, 2001). Para el tratamiento de lixiviados maduros se recomiendan los siguientes de acuerdo con el autor (Giraldo, 2001):

Tabla 6-1: Tratamientos recomendados para lixiviados maduros

Tratamiento	Especificaciones
Coagulación-floculación	Este proceso, busca la eliminación de sólidos suspendidos y del material coloidal, a través del uso de coagulantes como sales de aluminio y sales de hierro, que desestabilizan los sólidos, y luego el uso de floculantes que agrupan y aglomeran los sólidos desestabilizados, haciendo que se sedimenten por gravedad. Este método puede resultar efectivo para la eliminación de la demanda química de oxígeno
Oxidación química	Este método ayuda a eliminar la materia orgánica e inorgánica oxidable que está presente en los lixiviados, de forma rápida y efectiva
Adsorción de carbón activo	Mediante este proceso se logra la eliminación de las partículas solubles presentes en los lixiviados
Filtración con membranas	Estos métodos más avanzados, logran separar los sólidos presentes en los lixiviados. La ósmosis inversa en especial, resulta tener una eliminación de la demanda química de oxígeno, el nitrógeno amoniacal, los compuestos orgánicos halogenados y los cloruros, entre el 90 y el 99%

Fuente: (Giraldo, 2001)

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

1.4.5 *Sistemas o tecnología de tratamiento de lixiviados*

Según las características de los rellenos sanitarios se escoge la tecnología de tratamiento más pertinente en base a la viabilidad y economía. Son mecanismos utilizados para prevenir la contaminación de los recursos naturales que se encuentran directamente afectados por la producción de lixiviados. Se utiliza el mismo tipo de tecnologías con las que se tratan las aguas residuales y los residuos solo que se varia en la concentración y variabilidad de contaminante de acuerdo con (Análisis del Costo y Eficiencia de los Tratamientos de los lixiviados en los Rellenos Sanitarios de las Ciudades Capitales de Colombia, 2001.)

Tabla 7-1: Etapas y factores del tratamiento de lixiviados

Factores	Etapas
<ul style="list-style-type: none">• Selección de las tecnologías aplicables.• Estudios de tratabilidad con evaluación de resultados y costos.• Estudios a escala de planta piloto.• Proyecto de instalación.	<ul style="list-style-type: none">• Características de los lixiviados.• Características de la descarga.• Objetivo del tratamiento.• Naturaleza de la explotación del depósito y el impacto de los lixiviados.• Costos de las diferentes alternativas.• Condición del depósito (nuevo y existente).• Consideración del mantenimiento de post-clausura.

Fuente: (Análisis del Costo y Eficiencia de los Tratamientos de los lixiviados en los Rellenos Sanitarios de las Ciudades Capitales de Colombia, 2001.)

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

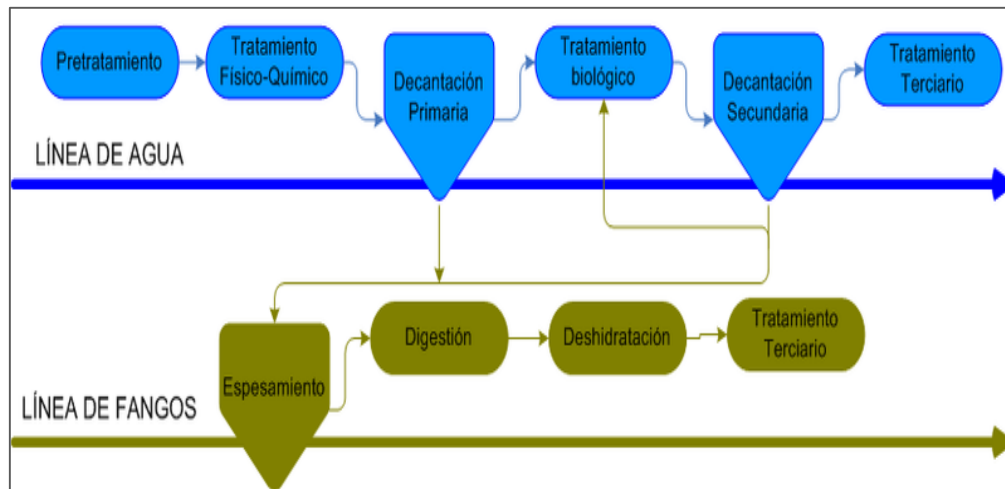


Figura 2-1: Esquema de una EDAR (Metcalf & Eddy, 2003).

Realizado por: Crites. R, 2000.

1.4.5.1 Pretratamiento

Es el proceso que se da antes del tratamiento primario teniendo como función retener todo tipo de material de gran tamaño y visible como residuos sólidos o basura presentes en los colectores. (Giraldo, 2001)

Tiene como función también eliminar partículas sedimentables o de arena que perjudiquen a los sistemas en el tratamiento posteriores, retienen grasas, espuma flotante. Los procesos más utilizados son: Desbaste, desarenado, desengrasado, en algunas ocasiones se puede incluir el tamizado, pre-aireación y pre-decantación etc. (Giraldo, 2001)

1.4.5.2 Tratamiento primario

Este tratamiento tiene como objetivo fundamental la reducción del material en suspensión, permitiendo hasta un 60 a 65% de remoción de los sólidos sedimentables y un 30 a 35% de sólidos suspendidos eficiencias que varían según el tratamiento implementado. (Giraldo, 2001)

Los procesos más utilizados según (Giraldo, 2001) son:

- Sedimentación de sólidos
- Flotación y decantación primaria

Otros procesos como:

- La floculación y coagulación como tratamiento físico – químico

1.4.5.3 Tratamiento Secundario

De acuerdo con (Giraldo, 2001) este tratamiento es conocido también como tratamientos biológicos, producen una rápida aceleración de la descomposición de los contaminantes orgánicos por medio de reacciones bioquímicas producidas por microorganismos con una eficiencia de remoción de hasta el 90% los procesos más utilizados son:

- Lodos activados
- Filtros percolados
- Lagunas de aireación y estabilización,
- Utilización de oxígeno como tratamiento biológico y tratamiento anaerobio.

1.4.5.4 Tratamiento Terciario

Son procesos físico-químicos que ayudan a descontaminar el agua del fosforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, en referencia a costos es más elevado que los anteriores tratamientos se los utiliza más en la depuración de aguas contaminantes provenientes de industrias

1.4.5.5 Sistemas naturales

Los sistemas naturales, las lagunas y los humedales artificiales poseen una gran variabilidad en su uso puede ser utilizado como pre tratamiento o hasta como tratamiento terciario según sean los requerimientos, gracias a su simplicidad de operación una gran eficiencia en el tratamiento de lixiviados, puede manejar apropiadamente la formación de espuma y precipitados, crecimiento microbiano, los cambios en la carga hidráulica debido a que se tienen tiempos de retención hidráulica y volúmenes muy elevados que permiten adaptar las variaciones de caudal y acumulación de precipitados conjuntamente con una baja producción de gases y espuma, de acuerdo con lo descrito por (ANGÉLICA SOFÍA SILVA, HERNÁN DARÍO ZAMORA., 2005,)

A continuación, en la tabla 8-1 se muestra la comparación entre los tipos de tratamientos:

Tabla 8-1: Procesos y Operaciones Biológicas, Químicas y Físicas Utilizados para el Tratamiento de Lixiviados.

Procesos de tratamiento	Aplicación	Observaciones
PROCESOS BIOLÓGICOS		
Lodos Activados	Separación de organismos	Pueden ser necesario aditivos de despurramientos, es necesario clarificador separado.
Reactores de Lotes Secuenciales	Separación de organismos	Similar a lodos activados, pero es necesario clarificador separado, solamente aplicable con tasas de flujo relativamente lentas.
Tanques Aireados de Estabilización.	Separación de organismos	Requiere de una gran área.
Filtros Percoladores, Contactores Biológicos Rotativos.	Separación de organismos	Frecuentemente utilizando con efluentes industriales similares a los lixiviados, pero no ensayado con lixiviados de vertederos.
Lagunas Anaerobias	Separación de organismos	Requiere de menos energía y hay poca producción de lodos que en los sistemas aerobios; requiere calefacción y mayor potencia por la inestabilidad del proceso; más lento que los sistemas aerobios.
Nitrificación / Desnitrificación	Separación de Nitrógeno.	La Nitrificación / Desnitrificación puede llevarse a cabo simultáneamente con la separación de orgánicos.
PROCESOS QUÍMICOS		

Neutralización	Control del pH	De aplicación limitada para la mayoría de los lixiviados.
Precipitación	Separación de metales y algunos aniones.	Produce lodos, que probablemente requieren evacuación como residuos peligrosos.
Oxidación	Separación de organismos; detoxificación de algunas especies inorgánicas.	Funciona mejor con flujos de residuos diluidos; el uso de cloro puede provocar la formación de hidrocarburos clorados.
Oxidación por Aire Húmedo.	Separación de organismos	Costoso; funciona bien en organismos refractados.
PROCESOS FÍSICOS		
Sedimentación / Flotación.	Separación de materia en suspensión.	Solo tiene una aplicación limitada; puede utilizarse conjuntamente con otros procesos de tratamiento.
Filtración	Separación de materia en suspensión.	Solamente útil como proceso de afino.
Arrastre por Aire.	Separación de amoniaco u organismos volátiles.	Puede requerir equipamiento de control de la contaminación atmosférica.
Absorción	Separación de organismos volátiles.	Tecnología probada; costo variable según lixiviados.
Intercambio Iónico	Separación de inorgánicos disueltos.	Útil solamente como un paso de acabado.
Osmosis Inversa	Disolución diluidas de inorgánicos	Costoso; necesario en pre-tratamiento extensivo.
Evaporación	Cuando no se permite la descarga de lixiviados.	Los lodos resultantes pueden ser peligroso; puede ser costoso excepto en zonas áridas.

Fuente: (TCHOBANOGLIOUS, 1997, pp. 469-470)

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

Se presenta un análisis de las alternativas más importantes de tecnologías para el tratamiento de lixiviados generados en rellenos sanitario.

Tabla 9-1: Síntesis de alternativas de tratamiento de lixiviados

Alternativa	Ventajas	Desventajas
Lagunas de Evaporación	<ul style="list-style-type: none"> • Aconsejable en lugares calidos y semi-calidos. • Disminuye el volumen de carga. • Costos operativos bajos si se compara con las lagunas de evaporación. • Independencia de la eficiencia del proceso frente a la calidad del lixiviado. • Altas eficiencias alcanzadas por el proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta producción de lodos • Reinyección de lodos remanentes después del proceso. • Mayor disponibilidad de área. • Alto nivel de incrustación debido al la calidad del lixiviado. • Operación en forma discontinua.
Recirculación o Reciclado de lixiviados	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de en la concentración de los lixiviados. • Se presenta atenuación natural. • Aumento de la humedad, mayor rapidez de degradación. • Estabiliza biológicamente el sistema. • No requiere de altos costos de inversión y operación, ni condiciones precisas de operación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Presenta dificultades de implementación y requiere de tratamientos adicionales. • Los lixiviados son heterogéneos, por lo que requiere de varios canales. • Aplicación a la superficie del relleno, existe riesgo de exposición ambiental.
Lagunas de estabilización o de oxidación	<ul style="list-style-type: none"> • Bajos costos de construcción y operación. • Buena degradación orgánica • Fácil operación y manejo • Requiere de equipos de control sencillos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ocupa mucha área para su operación. • Altos costos de construcción por el terreno. • Crecimiento de algas. • Generación de olores ofensivos. • Alta dependencia del proceso

	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta la eficiencia dependiendo la clase de laguna. 	<p>con las condiciones ambientales.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dependiendo el tipo de laguna (Aeróbico, anaeróbico o facultativo) aumenta los costos.
Digestión Anaerobia	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiente en tratamiento de lixiviados jóvenes. • Bajos costos de operación. • Mínimo requerimiento de nutrientes. • Baja producción de lodos en 	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas relacionados con la aclimatación inicial del lodo. • Presenta un decaimiento en las eficiencias de remoción en condiciones de temperaturas bajas.
Digestión Aerobia	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiente en lixiviados en concentración media-baja. • Eficiencias de remoción 95 % para metales pesados y DBO₅ 	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad de oxígeno. • Requiere utilización de otras unidades. • Altos costos de operación. • Alta sensibilidad a grandes variaciones en la calidad y cantidad del lixiviado. • Requiere de operación por parte de mano de obra calificada. • Alta producción de lodos. • Adición de Nutrientes
Precipitación Química	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de remoción de 95% para Hierro, Magnesio y Zinc. • Fácil operación. • Adaptabilidad a grandes variaciones en el flujo y composición química. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicabilidad de coagulantes. • Altos costos iniciales y de operación. • Alta producción de lodos.

Aplicación de sulfato de Aluminio	<ul style="list-style-type: none"> • Determina eficiencia del proceso de separación de los sólidos por sedimentación. • Buena remoción en cuanto a los sólidos se refiere. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta producción de lodos. • Altos costos de operación y mantenimiento.
Osmosis Inversa	<ul style="list-style-type: none"> • Remueve partículas muy pequeñas presentes en el lixiviado. • Eficiencias de remoción mayores al 98% para amoníaco y DQO. • Altas remociones de los contaminantes presentes en los lixiviados. • Altas calidades en el efluente final. 	<ul style="list-style-type: none"> • Disposición de un desecho altamente concentrado, voluminoso y retenido en el proceso. • Requerimiento de energía. • Altos costos de construcción, operación y mantenimiento. • Sistema de pulimiento.
Intercambio Iónico	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiente en remoción de sales y nutrientes disueltos. • Fácilmente adaptable a grandes variaciones en el flujo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere un alto capital de inversión. • Altos costos de operación. • Requiere de mano de obra calificada. • Necesita de un pretratamiento extensivo.
Carbón Activado	<ul style="list-style-type: none"> • Mayores eficiencias en remoción de material orgánico no biodegradable. • Alta calidad en el efluente. • Se adapta a grandes variaciones de flujo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Presenta altos costos de operación y capital. • Requiere de mano de obra calificada.

Fuente: Estudio de Alternativas Tecnológicas para el Tratamiento de los Lixiviados Generados en el Relleno Sanitario de

Villavicencio. UNIANDES. Bogotá: Marzo de 2004, Pp. 106 – 118.

1.4.5.6 Sistemas o tecnología de tratamiento de lixiviados implementados

- **Tratamiento primario**

Sedimentador

Este tipo de tratamiento se utiliza para sedimentar los sólidos en suspensión y material flotante con la finalidad de reducir contaminantes la eficiencia de remoción si estos son manejados óptimamente tienen un rango de remoción de 50 % - 70 % de sólidos suspendidos y del 25% - 40% de DBO₅ (ROJAS. R, 1999)

Conceptos para el diseño de un sedimentador

- Área superficial

Ecuación 4-1

$$A_s = \frac{Q_m}{H_a}$$

Donde:

A_s: área superficial (m²)

Q_m: caudal medio (m³/s)

H_a: carga superficial (m³/m²d)

- Área de un trapezoidal

$$As = \frac{(B + b)h}{2}$$

Donde:

As: área

B: base 1

b: base 2

h: altura

- Ancho del sedimentador

$$W = \sqrt{\frac{As}{s}}$$

Donde:

As: área superficial (m²)

s: relación largo ancho = 5

L: largo del tanque del sedimentador (m)

W: ancho del tanque del sedimentador (m)

- Largo del sedimentador

$$L = 5W$$

Donde:

L: largo del tanque del sedimentador (m)

W: ancho del tanque del sedimentador (m)

- Volumen del sedimentador

Ecuación 8-1

$$V = A_s h$$

Donde:

V: volumen (m³)

A_s: área superficial (m²)

h: tirante (m)

- Tiempo de retención hidráulica

Esta relaciona el volumen de gasto

Ecuación 9-1

$$Tr(h) = \frac{Volumen(m^3) \left(24 \frac{h}{d}\right)}{Gasto\left(\frac{m^3}{d}\right)}$$

- Eficiencia de la remoción de sólidos

Ecuación 10-1

$$\eta(\%) = \frac{\text{Sólidos entrada} \left(\frac{mg}{L}\right) - \text{Sólidos salida} \left(\frac{mg}{L}\right)}{\text{Sólidos entrada} \left(\frac{mg}{L}\right)} \times 100$$

Ecuación 11-1

$$\text{Remoción de DBO} = \frac{t}{a + bt}$$

Donde:

R: remoción de DBO

t: tiempo de retención hidráulico

a: 0.018

b: 0.020

Tabla 10-1: Información típica para el diseño de tanques de sedimentación (Metcalf & Eddy, 1996)

Características	Intervalo	Típico
Sedimentación primaria seguida de tratamiento secundario:		
Tiempo de retención, h	1.5-2.5	2
Carga de superficie, m ³ /m ² *día		
A caudal medio	30-50	40
A caudal punta	80-120	100
Carga sobre vertedero, m ³ /m*día	125-500	250
Sedimentación primaria con adición del lodo activado en exceso:		
Tiempo de retención, h	1.5-2.5	2
Carga de superficie, m ³ /m ² *día		
A caudal medio	24-32	28
A caudal punta	48-70	60
Carga sobre vertedero, m ³ /m*día	125-500	250

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1996)

Laguna anaerobia

Este proceso tiene como finalidad estabilizar la materia orgánica a través de la digestión anaerobia, produciendo la formación de ácidos grasos y CH₄. Su profundidad esta entre el rango de 2 y 5 m considerando 4m la profundidad óptima. Tiene una eficiencia de hasta 85 % en eliminación de DBO₅, en lapsos de tiempos cortos de 2 días igual la eliminación de DBO₅ es elevada, 45-70 %. Los rangos para el talud están entre 1.5 – 3 m y los rangos del borde libre mayor a 0.5 m , de acuerdo a lo descrito por (ROJAS. R, 1999).

Se considera los criterios de la norma S090 “Planta de Tratamiento de Aguas Residuales” para el dimensionamiento de la laguna anaerobia.

- Caudal de diseño (Q_p , m³ /día)

Ecuación 12-1

$$Q_p = \frac{Población \times Dotación}{1000} \times \%Contribución$$

Donde:

Dotación: litro/hab/día

- Área de la laguna (Área, en Ha)

Ecuación 13-1

$$Área = \frac{Carga}{CS_{diseño}}$$

- Área de un trapezoidal

Ecuación 5-1

$$A_s = \frac{(B + b)h}{2}$$

Donde:

A_s: área

B: base 1

b: base 2

h: altura

- Área de cada laguna

Ecuación 14-1

$$Ac/laguna = \frac{Area}{n}$$

Donde:

n: número de lagunas

- Relación larga/ancho de la Laguna

Ecuación 15-1

$$\frac{L}{W} = 2 \text{ a } 3$$

- Tiempo de retención hidráulica

Ecuación 9-1

$$Tr(h) = \frac{Volumen(m^3) \left(24 \frac{h}{d} \right)}{Gasto \left(\frac{m^3}{d} \right)}$$

Laguna de aireación

Es método de tratamiento utilizado en la depuración de aguas contaminada donde el agua contaminada entra en contacto con el aire suministrado por un equipo de aeración mecánica que suministra O₂ y

mezcla. Este tipo de laguna se diseña como una laguna aerobia con suficiente introducción de potencia a fin de mantener todos los sólidos en suspensión, tiene una profundidad de entre 2 -6 m. (ROJAS. R, 1999)

Conceptos para el diseño

- Área de la laguna (Área, en Ha)

Ecuación 13-1

$$Área = \frac{Carga}{CS_{diseño}}$$

Donde:

Para el diseño de lagunas aerobias se recomienda utilizar como carga de diseño valores de 67 a 135 Kg/ha día

- Área de un trapezoidal

Ecuación 5-1

$$As = \frac{(B + b)h}{2}$$

Donde:

As: área

B: base 1

b: base 2

h: altura

- Cálculo del volumen

Ecuación 8-1

$$V = A \times h$$

- Cálculo de largo y ancho

Ecuación 16-1

$$L=5An$$

Donde:

relación larga/ ancho= 5

- Cálculo del tiempo de retención

Ecuación 9-1

$$Tr(h) = \frac{Volumen(m^3) \left(24 \frac{h}{d}\right)}{Gasto\left(\frac{m^3}{d}\right)}$$

- Requerimientos de Oxígeno para la oxidación Biológica

Ecuación 17-1

$$OR = 6,3 * 10^{-5} * S_o * Q$$

Donde:

OR:Oxígeno requerido (Kg/h)

Q:Caudal (m³ /h)

So:DBO del afluente (mg/L)

Tabla 11-1: Criterios de diseño de lagunas aireadas

Parámetro	Laguna de mezcla parcial	Laguna de mezcla completa
TRH (días)	10-30 (típico 20)	2 – 4 (típico 3)
Profundidad (m)	1.8 – 6 (típico 3)	2-5
Carga orgánica (g DBO/m ³ /d)	20 - 30	-
Demanda de energía (W/m ³)	1-2	Mínimo 20

Fuente: ROMERO, Jairo. (2000). "Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño".

- *Tratamiento físico – químico*

Coagulación

Proceso mediante el cual un agua cruda y turbia en fracciones de segundos mediante la mezcla y contacto con el coagulante, anula las cargas eléctricas de las partículas y transforma impurezas que se encuentran en suspensión finas o coloidales en un grupo aglomerado denominado floculo. (PAHO, 2012)

Tabla 12-1: Factores que intervienen en la coagulación

Factores que ayudan a la optimización del proceso de coagulación
- pH.
- Turbiedad.
- Sales disueltas.
- Temperatura del agua.
- Tipo de coagulante utilizado.
- Condiciones de Mezcla.
- Sistemas de aplicación de los coagulantes.
- Tipos de mezcla y el color.

Fuente: (PAHO, 2012)

- Policloruro de Aluminio

Es un coagulante inorgánico, líquido que permite cambiar el agua cruda coloreada y coloidal en suspensión utilizado como sustituyente de cloruro férrico o el sulfato de aluminio entre otras. (PAHO, 2012)

Se obtiene a partir de la reacción del hidrato de aluminio con el ácido clorhídrico en condiciones de T°, tiempo y presión ideales consiguiendo la obtención de un producto polimerizado con especies polinucleares de alta carga catiónica que producen la aceleración de las reacciones de hidrolisis mediante la interacción con la materia en suspensión en el agua residual. (PAHO, 2012)

- Cloruro Férrico

Es un coagulante que proporciona ventajas como el alto rango de pH, que va de 4.5 a 12. Tiene una amplia eficiencia en la eliminación de sólidos suspendidos, DOB_5 , rastro de metales y una remoción superior al 95% de fosfato, combate la formación de olores y la corrosión producida por el ácido sulfhídrico actuando sobre los sulfuros, ayuda a mejorar la sedimentación y estructura del floc. (PAHO, 2012)

Para determinar la dosificación del coagulante se calcula la concentración por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación 18-1

$$C1 * V1 = C2 * V2$$

Donde:

C1: Concentración de la solución madre, (g/mL)

V1: Volumen utilizado de la solución madre para la tratabilidad, (mL)

C2: Concentración final de la prueba de jarras, (ppm)

V2: Volumen del agua a ser tratada, (mL)

El consumo coagulante al día, se determina mediante la siguiente ecuación

Ecuación 19-1

$$W = Q * D$$

Dónde:

W: consumo de coagulante (kg/día)

D: Dosis óptima de coagulante, (Pruebas de jarras) (g/L)

Q: Caudal de la planta de tratamiento, (L/s)

- **Planta VSEP**

La tecnología de vanguardia utilizada para el tratamiento de efluentes se denomina VSEP, tecnología 100% automáticas y construidas por la empresa norteamericana New Logic Research. Se utiliza la vibración de los filtros de Nano filtración (NF) u osmosis inversa (RO), para separar mecánicamente todo tipo de impurezas del agua. Obteniendo como resultado un agua filtrada totalmente limpia, cristalina y depurada (denominada en inglés como PERMEATE) también se obtiene en mucha menor proporción, un licor concentrado (en inglés se denomina CONCENTRATE). (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Su patente consiste en hacer vibrar a los filtros a una frecuencia de 51.2 Hz por segundo y con una amplitud de $\frac{3}{4}$ de pulgada, es decir que se tiene una rotación casi igual la polaridad de la corriente eléctrica. Con este descubrimiento, la torta de concentrados nunca se deposita sobre las membranas filtrantes y se garantiza el caudal de filtración a lo largo del tiempo. (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Esta tecnología sobrepasa con más de un 80% a la tecnología de ósmosis inversa o nana filtración convencional, con lo cual se asegura una operación y una vida útil de los filtros de 3 a 4 años. El sistema VSEP no requiere neutralizar el agua de ingreso, ni añadir ningún tipo de reactivo químico. El licor concentrado (tiene la misma característica del agua a ser tratada), que posee un 98% de agua, permite la retroalimentación de las bacterias y enzimas anaerobias que mejoran el rendimiento de degradación hacia ácidos grasos y promueve la fase metanogénica ya que funcionan simulando un reactor biológico. El sistema VSEP no requiere neutralizar el agua de ingreso, ni añadir ningún tipo de reactivo químico. (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Una ventaja sustancial de la tecnología VSEP, es que el subproducto que se genera del proceso, no ha sido alterado en su composición original, debido a que no se agregan reactivos químicos en el proceso, por lo que luego de un proceso de deshidratación de los lodos producidos se podría reincorporar los mismos en el relleno sanitario.

Tabla 13-1: Beneficios económicos y operativos de la planta VSEP

Planta VSEP: Beneficios económicos y operativos
Un proceso de un solo paso reemplaza esquemas complejos de otros equipos.
Produce agua cristalina y sedimentos fangosos en un solo paso.
Extrae TDS/TSS/BOD/COD y cuerpos de color.
El procesamiento de un solo paso no requiere de químicos.
Sustituye equipo caro y gastos relacionados.
Cumple o excede todas las regulaciones del EPA (Agencia de Protección Ambiental).

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

El filtro o membrana filtrante está diseñado para soportar grandes cargas de contaminación, y si por algún motivo una membrana se llegare a romper, existe una segunda membrana que entra a trabajar garantizando que el permeado va a tener siempre las mismas características que el cliente requiere

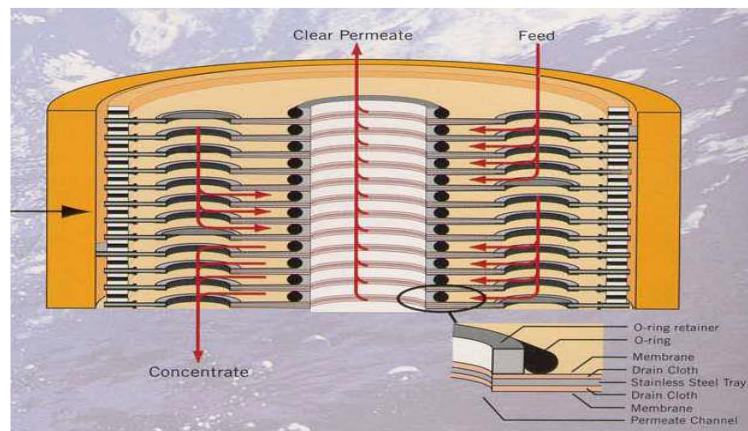


Figura 3-1: Esquema de construcción del filtro vibrante

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

La alimentación del efluente a tratar entra por los lados laterales de la membrana, pasando por el área total de cada disco de la membrana y saliendo el líquido limpio por la mitad, mientras que el licor concentrado sigue su curso por los lados laterales del filtro. (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Se trata de un sistema conformado por una masa sísmica y un eje de torsión que vibra gracias a la fuerza proporcionada por un motor de 20 Hp que está localizado encima de la masa sísmica. (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

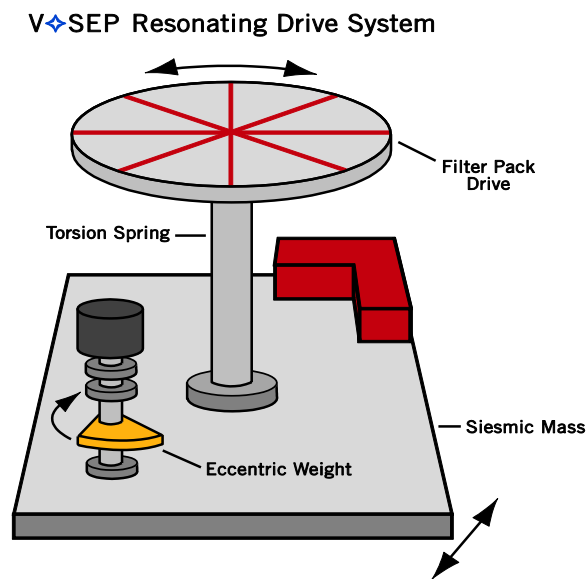


Figura 4-1: Mecanismo de vibración de los filtros VSEP

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

- Eficiencia del proceso de remoción de contaminantes de la Planta VSEP

El sistema de filtración y depuración instalado está conformado por de 2 módulos VSEP como sistema principal de depuración y 2 filtros en espiral de ósmosis inversa. (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Se tiene una eficiencia de remoción de contaminantes del 98% al 99% de la concentración inicial del lixiviado. El agua residual producto de este proceso se recircula en el sistema VSEP a través de tanques de almacenamiento de polipropileno de alta densidad que serán conducidos a los filtros de ósmosis inversa. El concentrado obtenido del tratamiento es conducido al relleno sanitario y es recirculado. (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

1.4.5.7 Humedales artificiales

Los humedales artificiales son sistemas de Fito depuración de aguas residuales. Este tratamiento consiste en el crecimiento de cultivos de plantas acuáticas que se encuentran enraizadas sobre un lecho de grava que se encuentra impermeabilizado. La actividad de las plantas acuáticas produce una serie de interacciones químicas, físicas y biológicas complejas por medio de las cuales el agua residual es depurada lenta y progresivamente se produce mediante tres procesos principales que son la recogida, el tratamiento y la evacuación al lugar de restitución según lo descrito en (Manual de Fitodepuración, Filtros en macrofitas en flotación. Madrid – España. , 2004,)

Trabajos realizados recientemente demuestran que el empleo de humedales artificiales presupone la disminución de costos de tratamiento, al poderse adecuar en las instalaciones como vertederos o rellenos sanitarios, presentar facilidad en la operación y evitar el consumo de energía en comparación a métodos, tales como osmosis inversa o ionización. (Manual de Fitodepuración, Filtros en macrofitas en flotación. Madrid – España. , 2004,)

Recalcando que siempre se ha hecho uso de diferentes técnicas y tecnologías convencionales mediante procesos anaerobios, aerobios y sistemas de membrana, reactores, evaporación, osmosis inversa, etc. que suelen ser costosos tanto en su etapa constructiva como operativa (Yalcuk y Ugurlu, 2009). Razón por la cual se propone el uso de los sistemas naturales, que, por el contrario, son alternativas menos costosas en su operación, de mayor simplicidad, que suelen adaptarse a diferentes niveles de tratamiento (Giraldo, 2001)

La aplicación de esta tecnología nos permite conservar el medio ambiente sin afectar al calentamiento global, proporciona una mejora paisajística, sus operaciones son relativamente simples, no requieren del consumo de energía. Presenta alto tiempo de retención hidráulica y grandes volúmenes de proceso, una de las características que los hace una tecnología viable para el tratamiento de lixiviados, pues están en la capacidad de amortiguar las fluctuaciones de caudal y evitan la acumulación de precipitado. (Giraldo, 2001)

- Eficiencias de humedales construidos (estudios actuales)

De acuerdo con el artículo *MONTOYA J, CEBALLOS L, CASAS J, MORATÓ & J. ESTUDIO “Comparativo de la remoción de materia orgánica en humedales construidos de flujo horizontal sub superficial usando tres especies de macrófitas” Revista EIA. Vol. 7, Núm. 14 (2010). Montoya.*

El presente estudio propone a los humedales como una tecnología prometedora para obtener una reducción de contaminantes en aguas residuales, consiste en el análisis de (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO5) y mediciones in situ de pH, oxígeno y temperatura cada 15 días, en seis humedales durante 3 meses, con tres tipos de especies *Canna limbata*, *Heliconia psittacorum* y *Phragmites sp*, obteniendo un porcentaje de remoción:

Tabla 14-1: Eficiencias de remoción del humedal

Especie	% Eficiencia de remoción DBO5	% Eficiencia de remoción DQO
<i>Canna limbata</i>	100 - 99,36	97,31 - 95,94
<i>Heliconia psittacorum</i>	99,09 - 97,49	94,49 - 93,50
<i>Phragmites sp</i>	100 - 99,45	97,39 - 97,13

Fuente: MONTOYA J, CEBALLOS L, CASAS J, MORATÓ & J. (2010).

Se obtiene como resultado de este estudio que la utilización de los humedales para reducir contaminantes es viable.

De acuerdo con el artículo “Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales tropicales en Tabasco, México”. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias: CIBA*, ISSN- e 2007-9990, Vol. 5, N°. 10, 2016, (México).

La utilización de humedales artificiales ha incrementado el presente estudio analiza doce humedales artificiales tropicales de flujo sub superficial obteniendo como resultado las siguientes eficiencias de remoción de contaminantes:

Tabla 15-1: Eficiencias de remoción de contaminantes en los humedales

Especie	% Eficiencia de remoción (DBO5, DQO, SST, NT, PT, Turbiedad y Color)
Pontederia cordata (HAFS-Tule)	81.10 - 95.44
Phragmites australis (HAFS-Carrizo)	53 - 89
grava como prueba testigo (HAFS-Grava)	34-72

Fuente: Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales tropicales en Tabasco, México. 2016.

Se puede apreciar que la utilización de humedales artificiales es viable para el tratamiento de contaminantes.

Clasificación de los humedales artificiales

- **Humedales artificiales de flujo superficial**

En estos el agua circula a través de los tallos, este tipo de humedal es una variante del sistema de laguna convencional la diferencia es que tiene una menor profundidad. Este tipo de tecnología es altamente recomendado para mejoras paisajísticas según (Manual de Fitodepuración, Filtros en macrofitas en flotación. Madrid – España. , 2004,)

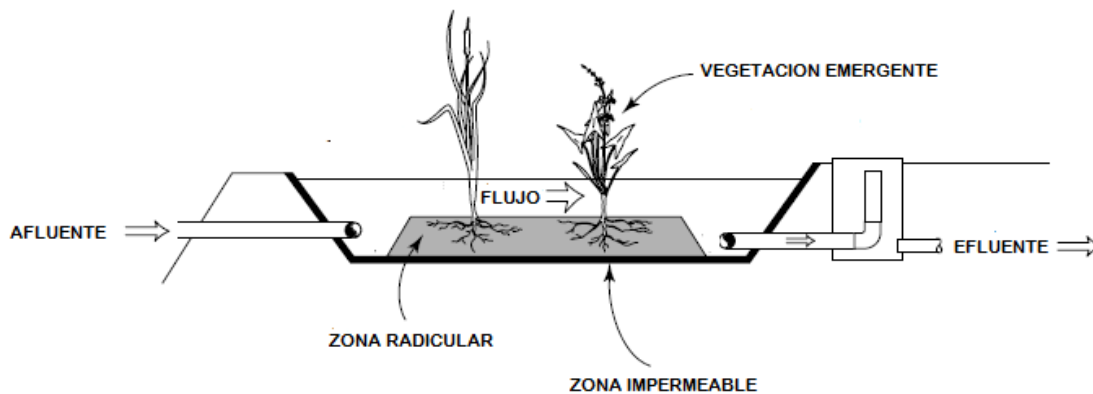


Figura 5-1: Sistemas de flujo libre o superficial.

Realizado por: (Kadlec y Zmarthie. Wetland treatment of leachate from a closed landfill., 2010)

- **Humedales de flujo sub-superficial**

Este tipo de humedal se identifica por la recirculación del agua por través de un medio granular con 0,6m de profundidad de agua que se encuentra en contacto con los rizomas y raíces de la planta, según (Manual de Fitodepuración, Filtros en macrofitas en flotación. Madrid – España. , 2004,)

De acuerdo a las formas de aplicación del agua los humedales de flujo sub-superficial pueden ser de dos tipos:

Humedales de flujo sub-superficial horizontal

Consiste en plantar macrofitas acuáticas en una cama recubierta de membrana impermeable sobre la cual se colocará tierra o arena y grava. De acuerdo a lo descrito en (Brix en Kolb, 1998).

El ingreso del agua se da permanentemente la profundidad del lecho se encuentra en rangos de 0.45-1 m y la pendiente entre 0.5% - 1%. El agua que ingresa debe mantener un nivel inferior al de la superficie entre 5-10 cm. (Manual de Fitodepuración, Filtros en macrofitas en flotación. Madrid – España. , 2004.)

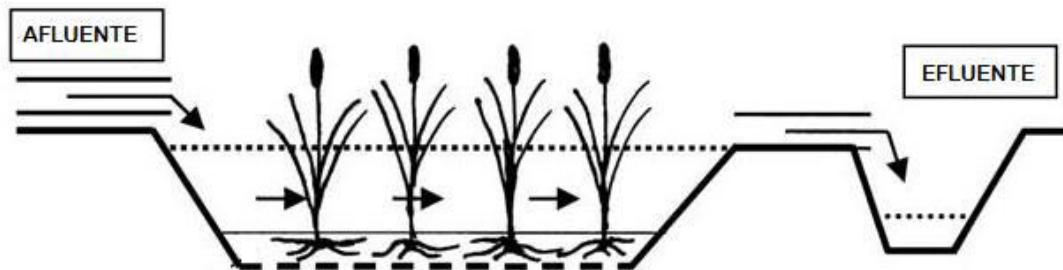


Figura 6-1: Sistemas de flujo subsuperficial horizontal

Realizado por: (Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. , 2007.)

Humedales de flujo sub-superficial vertical

Este tipo de humedal se dota intermitentemente de agua para producir una estimulación en el suministro de oxígeno incitando y preservando al máximo las condiciones aerobias, el agua se infiltra de forma

vertical por medio de tierra o arenas y gravas recogiendo en una red de drenaje situada en el fondo del humedal, según el (Manual de Fitodepuración, Filtros en macrofitas en flotación. Madrid – España. , 2004,)

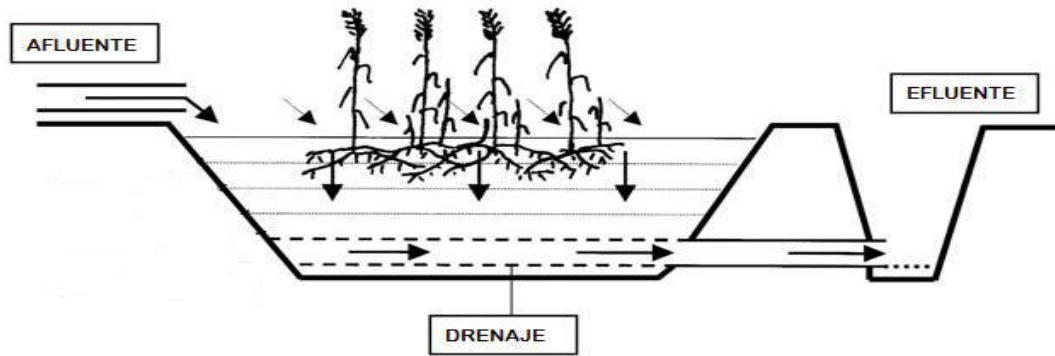


Figura 7-1: Sistemas de flujo subsuperficial vertical

Realizado por: (Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. , 2007.)

Conceptos para el diseño

Se considera a los humedales artificiales como reactores biológicos pudiendo determinar su rendimiento mediante una cinética de primer orden de flujo a pistón en la remoción de contaminantes.

- Ecuación básica de los reactores de flujo a pistón

Ecuación 20-1

$$\frac{C_e}{C_o} = e^{-Kt}$$

Donde:

C_e: concentración del contaminante en el efluente (mg/L).

C_o: Concentración del contaminante en el afluente (mg/L).

K_T: Constante de reacción de primer orden dependencia de la temperatura, (d⁻¹).

T: Tiempo de retención hidráulica (d).

- Cálculo de la constante de reacción de primer orden (K_T)

Se calcula mediante

Ecuación 21-1

$$K_T = 1.104 * 1.06^{T-20}$$

Donde

T: temperatura del agua (°C).

- Cálculo del área superficial.

Para poder calcular el área superficial se toma al DBO₅ como el contaminante que se quiere remover eliminar, minimizar de acuerdo con (Delgadillo & Camacho, 2010).

El cálculo del área se lo realizará en función a la DBO₅.

Ecuación 22-1

$$AS = \frac{Q * \ln\left(\frac{C_0}{C}\right)}{K_T * h * p}$$

Dónde:

Q: caudal de diseño del humedal en (m³/día)

C: concentración del efluente (mg/L)

Co: concentración del afluente (mg/L)

K_T: constante de primer orden en dependiente de la temperatura (d-1).

h: profundidad del humedal.

p: porosidad del medio granular (% expresado en fracción).

- Cálculo del tiempo de retención

Se utilizará la siguiente formula:

Ecuación 23-1

$$THR = \frac{A * h * p}{Q}$$

Donde

A_s: Área superficial

h: Profundidad del humedal

p: Porosidad del medio (% expresado en fracción).

Q: Cauda

- Cálculo del largo y ancho

Se utilizará la siguiente formula:

Ecuación 24-1

$$W = \frac{1}{h} * \left(\frac{(Q)(As)}{(s)(Ks)} \right)^{0.5}$$

Donde:

W: Ancho del humedal en (m).

Q: Cauda en (m³/s)

A_s: Área superficial en (m²)

h: Profundidad del humedal en (m).

s: Pendiente del lecho.

K_s: Conductividad hidráulica (m/d).

El valor de conductividad hidráulica se determina utilizando la siguiente formula:

Ecuación 25-1

K_s = porosidad de arena gruesa + porosidad de arena gravosa + porosidad de grava media/3

El cálculo del largo se lo realiza por medio de la siguiente formula:

Ecuación 26-1

$$L = \frac{As}{W}$$

Donde

W: Ancho del humedal en (m).

A_s: Área superficial en (m²)

Área superficial real

Ecuación 27-1

$$AS = (L * W)$$

Donde

W: Ancho del humedal en (m)

L: Largo del humedal

- Cálculo de la cantidad de medio filtrante

Se calculará utilizando la siguiente formula:

Ecuación 28-1

$$Vol. = L * W * H$$

Donde:

Vol.: volumen en (m³).

L: largo en (m).

W: ancho en (m).

H: altura del sustrato en (m).

Se determina las constantes de diseño de las siguientes tablas:

TABLA 16-1: Características del sustrato para diseño de humedales verticales

Capas	Tratamiento primario	Tratamiento secundario
Capa Superficial	h>30cm arena , diámetro efectivo de 2-10mm	h>30cm arena, diámetro efectivo de 25 a 40mm
Intermedia	h de 10 a 15 cm Arena gravosa diámetro efectivo de 5a10 mm	h de 10 a 15 cm Arena gravosa diámetro efectivo de 3a10 mm
Drenaje	h de 10 cm Arena grava media diámetro efectivo de 20 a 40 mm	h de 10 cm Arena grava media diámetro efectivo de 20 a 40 mm

FUENTE: Delgadillo & Camacho, 2010.

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

TABLA 17-1: Características y parámetros de los humedales sub-superficiales de flujo vertical

Factor	Unidad	Intervalo	Valor Usual
Medio Filtrante			
Arena fina lavada(secundaria)	Mm	0,25-0,75	0,35
Grava fina (primaria)	Mm	2.00-8.00	2-5mm
Profundidad	Cm	45-90	60
Coefficiente Uniformidad	%	3-6	<4
Porcentaje Finos	%	<4	<4
Drenaje			
Clase (tubería perforada)			
Tamaño	Pulg.	3-4	4
Pendiente	%	0,1-1	0,5
Grava de Drenaje	Mm	20-40	40
Distribución Agua			
Diámetro de tubería	Pulg.	1-2	1,5
Distancia entre tuberías	m	0,5-1,2	0,6
Orificio de Distribución	mm	3-8	6
Distancia entre Orificios	m	0,5-1,2	0,6

FUENTE: Delgadillo & Camacho, 2010.

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

TABLA 18-1: Características principales de los sustratos utilizados en los humedales.

Tipo de Material	Tamaño efectivo D10 (mm)	Conductividad Hidráulica, Ks (m ³ /m ² /d)	Porosidad, n %
Arena gruesa	2	100-1000	28-32
Arena gravosa	8	500-5000	30-35
Grava fina	16	1000-10000	35-38
Grava media	32	10000-50000	36-40
Roca gruesa	128	50000-250000	38-45

FUENTE: Delgadillo & Camacho, 2010.

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

1.4.5.8 Fitorremediación

“La fitorremediación se define como el uso de plantas para eliminar, destruir o transformar contaminantes del suelo, agua y aire” (Evaluation of phytoextracting cadmium and lead by sunflower, ricinus, alfalfa and mustard in hydroponic culture., 2007.)

- Plantas utilizadas en humedales.

Las plantas utilizadas en los humedales artificiales deben poseer un bajo potencial de invasión radicular, deben ser autóctonas del lugar o deben estar adaptadas al clima donde se va a ejecutar el humedal, deben tener tolerancia al tipo de carga contaminante y nutrientes al que va a ser expuesta. Estas cumplen un rol vital ya que transfieren oxígeno al medio logrando la degradación de la materia orgánica, proveen de un medio para el crecimiento del Bofill y producen la nitrificación. De acuerdo con lo descrito en (The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater: New Danish guidelines. , 2005.)

“Las especies vegetales más utilizadas en los humedales construidos son *Thypa sp*, *phragmites australis*, *phalaris arundinacea*, *Heliconiaceae*” según lo estipulado en (Kadlec y Zmarthie. Wetland treatment of leachate from a closed landfill., 2010).

- *Heliconia (sp)*.

El género Heliconia, está dentro de la familia Heliconiaceae del orden Zingiberales, este género agrupa más de 225 a 250 especies en el mundo. Su porte es erecto, de 0.45 m a 10 m de altura, hojas de varias formas y tamaños. Cada hoja está formada por dos mitades separadas por una vena principal que se prolonga. Las flores pueden aparecer todo el año como sucede o por temporada como sucede en la mayoría de las especies, su floración depende de la temperatura. La temperatura adecuada para su crecimiento es de 28°C con un rango entre 25 y 32°C. Crecen naturalmente en zonas con más de 2 000

mm de precipitación anual. El riego puede ayudar a solventar el déficit hídrico en zonas con precipitaciones medias o bajas al requerimiento (FHIA, 1995.)



Figura 8-1: Heliconia Psittacorum.

Realizado por: (Veinticinco Heliconias nuevas de Colombia. Phytología, 1982).

1.4.6 Legislación

1.4.6.1 Normativa nacional.

En base a la normativa nacional no se evidencia una ley explícita que hable acerca de los lixiviados y sus tratamientos, pero se especifica en el Acuerdo Ministerial N° 0. 61: REFORMA DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA, lo siguiente:

Relleno sanitario. - *Es una técnica de ingeniería para el adecuado confinamiento de los desechos y/o residuos sólidos; consiste en disponerlos en celdas debidamente acondicionadas para ello y en un área del menor tamaño posible, sin causar perjuicio al ambiente, especialmente por contaminación a cuerpos de agua, suelos, atmósfera y sin causar molestia o peligro a la salud y seguridad pública. Comprende el esparcimiento, acomodo y compactación de los desechos y/o residuos, reduciendo su volumen al mínimo aplicable, para luego cubrirlos con una capa de tierra u otro material inerte, por lo menos diariamente y efectuando el control de los gases, lixiviados y la proliferación de vectores.* (Acuerdo

Para descarga el lixiviado a un cuerpo de agua dulce este debe cumplir con los límites permisibles estipulados en el Acuerdo 097-A. Refórmese el Texto Unificado de Legislación Secundaria. TABLA 9. “Límites de descarga en un cuerpo de agua dulce”

Tabla 19-1: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

TABLA 9. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE			
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Zinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color real ¹	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5

Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Sulfatos	- 2 SO ₄	mg/l	1000
Sulfuros	S ^{- 2}	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida

Fuente: (TULSMA PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR, 2015)

1.4.6.2 Normatividad internacional.

Tabla 20-1: Normatividad Vertido Lixiviado – U.S. EPA

Contaminante	Descarga máxima Para un día (mg/l)	Descarga promedio mensual (mg/l)
DBO	220	56
SST	88	27
Amonio	10	4.9
Arsénico	1.1	0.5
Cromo	1.1	0.4
Zinc	0.5	0.3
pH	6.0 – 9.0	6.0 – 9.0
Alfa Terpinol	0.04	0.01
Anilina	0.02	0.01
Ácido Benzoico	0.1	0.07
Naftaleno	0.05	0.02
p-Cresol	0.02	0.01
Fenol	0.04	0.02
Piridina	0.07	0.02

Fuente: Adaptado de U.S. EPA. [En línea] - Consultado en: <[http:// www.epa.gov/](http://www.epa.gov/)>

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1 Generalidades del área de estudio

El Proyecto “COMPLEJO AMBIENTAL PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS CANTÓN SANTO DOMINGO”, está constituida:

- Planta de Separación, Reciclaje y Almacenamiento
- Estación de compostaje
- Tratamiento de Lixiviados
- Área de Residuos Hospitalarios
- Relleno Sanitario, Modulo 1 y Modulo 2
- Áreas Administrativas y vestidores

(Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

2.1.1 Ubicación geográfica

Provincia: Santo Domingo de los Tsáchilas

Cantón: Santo Domingo

Parroquia: Luz de América.

Dirección: Km 32 de la vía Santo Domingo – Quevedo, margen derecho

Coordenadas geográficas:

Referenciado en coordenadas DATUM WGS 84 – USO 17 M

Tabla 1.2 Coordenadas geográficas

COORDENADAS
685588 m E 9947980 m S
685378 m E 9948074 m S
685121 m E 9948090 m S
684930 m E 9948002 m S
684837 m E 9948192 m S

FUENTE: (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018



Figura 1-2: Mapa Temático de la Planta de Tratamientos de Lixiviados

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

2.1.2 Aspectos físicos

2.1.2.1 Componente climático

No se cuenta con información hidrológica directa por lo que se hizo referencia a valores regionales de medidas de régimen hidrológico y características similares. Considerando a la Estación Meteorológica de Puerto Ila, como fuente de información. (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2017)

Tabla 2.2: Ubicación de estación meteorológica INAMHI

Código	Nombre estación	Tipo	Latitud			Longitud			Altura	Institución
			GG	MM	SS	GG	MM	SS		
MO26	PUERTO ILA	CP							269	INAMHI
			0	29	17	79	21	31		

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2017)

- **Precipitación en la zona**

Se encuentra influenciada directamente por las masas de aire del Océano Pacífico. Llega a los 2725 mm anuales con máximos medios que llegan a los 6061 mm anuales. Límites máximos en el mes de marzo y el mínimo entre julio y noviembre. (Gobierno Autónomo Descentralizado M. D., 2014)

- ***Heliofanía***

El valor anual medio de 17.1% por causa de la radiación solar directa. Con valores mínimos en junio con el 13.4% y máximos en abril con el 26.0%. (Gobierno Autónomo Descentralizado M. D., 2014)

- ***Humedad atmosférica***

La diferenciación anual de la humedad planteada fue de 2%, con un mínimo en marzo de 88,5% y un máximo en junio de 91%. La humedad relativa media anual de 90%; por lo que se considera una zona con alta humedad relativa. (Gobierno Autónomo Descentralizado M. D., 2014)

- **Aspecto biótico**

El área del proyecto se denominó como vegetal Bosque siempre verde pre montano. La vegetación original es de zonas montañosas apartada en donde existe la presencia de especies arbustivas, herbáceas y arbóreas características de zonas subtropicales, como *Iriartea deltoidea* y *Wettinia maynensis* (arecaceae), *Pouruma* sp. (cecropiaceae), *Ocotea* sp. (lauraceae), *Bambu* sp. (poaceae), *Dacryodes cupularis* (burseraceae), entre otras presentes en ecosistemas de transición entre zonas costeras y andinas. (Gobierno Autónomo Descentralizado M. D., 2014)

2.1.2.1 Funcionamiento del Complejo Ambiental

Se realiza el ingreso de los residuos sólidos procedentes del cantón Santo Domingo, por medio de los recolectores que son pesados en su entrada y salida. Los residuos sólidos son clasificados en la Planta de Separación, Reciclaje y Almacenamiento, cuando no está activa esta la clasificación de la realiza manualmente, se produce una recolección selectiva de material orgánico en áreas estimuladas como son los mercados y barrios específicos seleccionados para la clasificación desde la fuente, todos estos residuos son dirigidos a la Estación de compostaje donde se procede a tratar dichos residuos y transformarlos a compost. Los residuos especiales y/o peligrosos procedentes áreas específicas son

llevadas al Área de Residuos Hospitalarios donde se le da la adecuada disposición final. Los residuos sólidos que no están destinados a ninguna de las áreas mencionadas son llevados al relleno sanitario para la disposición final adecuada. El complejo consta de una planta de tratamiento de lixiviado donde se trata todo el lixiviado generado por el relleno sanitario este funciona mediante módulos, realizando el cierre técnico y habilitación del siguiente modulo. Se encuentra en la etapa de módulo 3, donde a partir de esta etapa los módulos serán igualitarios en su capacidad de almacenamiento hasta llegar al período de vida útil 2011 - 2025. La planta de tratamiento esta implementada por: Tratamiento primario (1 laguna anaerobia, 1 laguna de aireación, 1 laguna de sedimentación), Planta de tratamiento físico-química (floculación, coagulación y filtración), Planta VSEP.

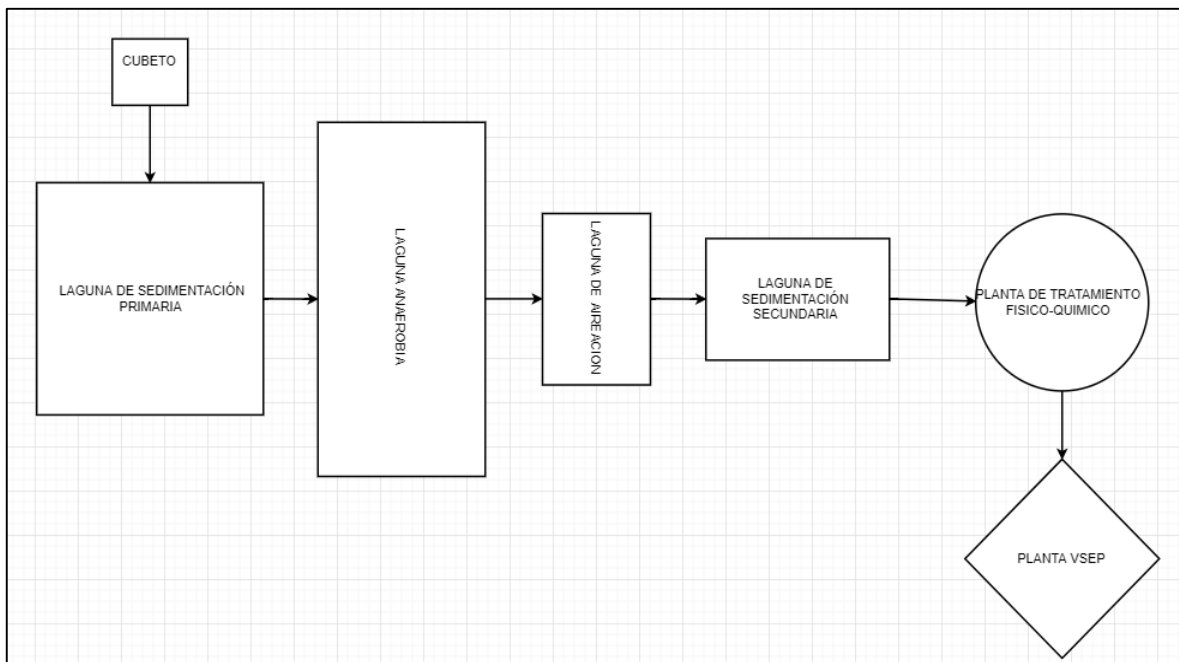


Figura 1-2: Planta de tratamiento de lixiviados del complejo ambiental

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

2.1.3 Metodología

En el presente estudio se realizará el rediseño de la Planta de Tratamiento de Lixiviados del Complejo Ambiental para la Disposición Final de Residuos Sólidos del Cantón Santo Domingo, por lo que es un trabajo técnico. El tipo de investigación que se ejecutará será basado en la Revisión Analítica de la Literatura y recopilación de datos técnicos de diseño in situ.

2.1.3.1 Recolección de la información

- **Método cualitativo:** Se utilizará este método de investigación para el análisis minucioso del proyecto determinando el funcionamiento integro de la Plata de Tratamiento de Lixiviados.
- **Método cuantitativo:** Mediante la aplicación de este método se analizará todos los resultados obtenidos de la Plata de Tratamiento de Lixiviados.
- **Método Delphi:** Se utilizará este método para la estructuración y análisis de información obtenida.
- **Entrevistas:** Se empleará este método para la obtención de información de las condiciones reales de la Plata de Tratamiento de Lixiviados.

2.1.3.2 Diagnostico técnico

- **Verificación in situ del diseño de la planta**

Una vez obtenida la base de datos del diseño de la Planta de Tratamiento de Lixiviados del

Complejo Ambiental para la Disposición Final de Residuos Sólidos del Cantón Santo Domingo, mediante las visitas de campo se verificará las dimensiones, geometría y capacidad de cada uno de los sistemas que integran la planta de acuerdo a los parámetros de diseño de la misma, con la ayuda de materiales como flexómetro, cinta métrica, vara y el personal encargado de la operación de la misma.

- **Verificación in situ del funcionamiento de la planta**

Mediante las visitas de campo guiadas por el personal administrativo operacional de la planta se realizará la observación del estado actual de la Planta de Tratamiento de Lixiviados del Complejo Ambiental para la Disposición Final de Residuos Sólidos del Cantón Santo Domingo.

- **Generación de lixiviados**

Se estimará la generación de lixiviado por medio de la determinación del caudal de generación siguiendo la metodología propuesta a continuación:

La Metodología para la Estimación del Caudal de Lixiviado producido en el Complejo Ambiental se basará en el método volumétrico en base a la diferenciación de alturas, para registra cuanto es el aumento de lixiviado por el tiempo.

1. Se registra la altura inicial a la que se encuentra el lixiviado (lixiviado a la altura del cubeto).
2. Se registra proporcionalmente el incremento de la altura del lixiviado en el transcurso del tiempo. (lixiviado a la altura del cubeto).

3. Se recolectarán los datos el fin de semana que no realizan la recirculación de lixiviado.
4. Determinar el área del cubeto (largo –ancho) y profundidad (altura de construcción).

2.1.3.3 Tratabilidad de la planta

Caracterización del lixiviado

- Selección de la muestra

Se realizará un muestreo simple tomando las coordenadas del lugar, se tomará un litro de muestra en recipientes plásticos, estos serán llenados completamente. Las muestras que se pondrán a refrigerar tendrán un llenado parcial de acuerdo con la norma INEN 2169:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.

El muestreo se ejecutará en cada etapa a la entrada y salida de cada tratamiento:

1. Tratamiento primario (1 laguna anaerobia, 1 laguna de aireación, 1 laguna de sedimentación).
2. Procesos físico-químicos.
3. Se tomarán 1 muestra una vez por semana, durante 3 semanas dando un total de 3 análisis.

- Rotulado

Se etiquetará cada una de las muestras: nombre de la muestra, lugar donde se tomó la muestra, hora de toma de muestra, fecha y volumen de la muestra.

- Materiales de muestreo:

Se realizará un muestreo manual, por lo que se requerirá de los siguientes materiales:

1. Guantes
2. Mascarilla
3. Termómetro
4. Envases de plástico estéril (1L)
5. Cooler
6. Botas de caucho
7. Toallas de papel
8. Cinta
9. Marcadores
10. GPS

- Parámetros de análisis

Se realizará la toma de las muestras de lixiviados en cada una de las etapas de tratamientos a la salida y entrada siguiendo con la metodología descrita y se analizarán las mismas en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias, los parámetros a analizar son (DBO5 y DQO) y los parámetros (pH, Conductividad, temperatura) se tomarán in situ.

Los análisis de lixiviado crudo y del lixiviado descargado al cuerpo de agua serán proporcionados por Gobierno Autónomo Descentralizado de Santo Domingo parámetros analizados (cloruros, color real, conductividad, nitrógeno amoniacal, pH, SST, aceites y grasas, DBO5, DQO, fosfatos totales, nitrógeno total, sólidos totales, coliformes fecales, cadmio.)

Los datos obtenidos se compararon con el Acuerdo 097-A. Refórmese el Texto Unificado de Legislación Secundaria. TABLA 9. “Límites de descarga en un cuerpo de agua dulce” para la verificación de su cumplimiento y evaluación de la eficiencia de los tratamientos implementados en la planta de lixiviados.

Los métodos de análisis que se utilizó están adaptados al manual “Métodos Normalizados para el Análisis de Agua Potable y Residuales”.

Tabla 3-2: Métodos y Procedimientos Utilizados para el Análisis de AR

Parámetros	Procedimiento específico
Ph	Standard Methods Ed 21-2005, 4500H+ -B
DBO ₅	SMS Ed - 21 2005 5210 D
DQO	Standard Methods Ed-21, 2005, 5220 D
Conductividad	Standard Methods Ed-21-2005, 02041

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

2.1.3.4 Identificación y Evaluación del Impacto Ambiental

Se realizó la identificación y evaluación de los impactos ambiental que se generan en la planta de tratamiento de lixiviados del Complejo Ambiental para la Disposición Final de Residuos Sólidos del

Cantón Santo Domingo, por la relevante importancia como método de verificación para identificar, prevenir y valorar los impactos ambientales de las acciones que se están ejecutando en el sitio.

2.1.3.5 Propuesta

En base a los datos recopilados (evaluación estructural, caracterización y evaluación de eficiencia), se emitió la propuesta del rediseño de la planta de tratamiento de lixiviados del Complejo Ambiental para la Disposición Final de Residuos Sólidos del Cantón Santo Domingo.

- Prueba de tratabilidad

Se realizó una prueba de jarras en la etapa del tratamiento físico-químico para determinar la dosis óptima de coagulante y floculante que se debe utilizar en este proceso siguiendo el siguiente procedimiento:

1. Se trabajará con dos coagulantes (policloruro de aluminio y cloruro férrico) y un floculante aniónico proporcionados por el Gobierno Autónomo Descentralizado de Santo Domingo.
2. Caracterizar la muestra (pH, turbiedad)
3. Colocar 400 ml de lixiviado en un vaso de precipitación de 1000 ml, a un pH dado y adicionar una dosis dada del coagulante y floculante.
4. Se agita durante 1 minuto a 100 rpm y por 3 minutos a 50 rpm y se observa la formación del floculo.
5. Caracterizar la muestra (pH, turbiedad)
6. Determinar el pH óptimo, se coloca 400 ml de lixiviado en 3 vaso de precipitación de 1000 ml, a diferentes tipos pH y adicionar la dosis anterior del coagulante y floculante.

7. Se agita durante 1 minuto a 100 rpm y por 3 minutos a 50 rpm y se observa la formación del floculo.
 8. Caracterizar la muestra (pH, turbiedad)
 9. Determinar la dosis optima, se coloca 400 ml de lixiviado en 3 vaso de precipitación de 1000 ml, con el pH optimo obtenido y adicionar 3 dosis diferentes del coagulante y floculante.
 10. Se agita durante 1 minuto a 100 rpm y por 3 minutos a 50 rpm y se observa la formación del floculo.
 11. Caracterizar la muestra (pH, turbiedad)
- Metodología para el cálculo del humedal artificial

Se diseñó un humedal artificial sub superficial de flujo vertical, en función de la DBO_5 .

2.1.3.6 Dimensionamiento

Se tomó como referencia a las siguientes normas y guías:

- CPE INEN 005-9-1. 1992: Código Ecuatoriano de la construcción C.E.C. Normas para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1 000 Habitantes.
- Subsecretaría de Saneamiento Ambiental y Obras Sanitarias y el Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias, EX - IEOS.

- Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000, Sección II Títulos E, Tratamiento de Aguas Residuales, República de Colombia.
- Organización Panamericana de la Salud, Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental (OPS), Lima – Perú. 2005.

2.1.3.7 Diseño de los planos

Se elaboró los planos en el Software AUTOCAD

CAPÍTULO III

3 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Diagnostico técnico

Se obtuvo el diagnostico técnico de la planta cumpliendo con los métodos de recolección de la información, se realizó la evaluación estructural y de eficiencia.

3.1.2 Verificación in situ del diseño de la planta

Se verificó el diseño de la planta mediante visitas técnicas en las cuales se obtuvieron los resultados de las dimensiones, geometría y capacidad de las piscinas del tratamiento primario. Ver tabla 1-3 y 2-3.

Tabla 1-3: Geometría de la planta de tratamiento primario de lixiviados (planos).

GEOMETRÍA DEL TRATAMIENTO PRIMARIO	
LAGUNA DE SEDIMENTACIÓN PRIMARIA	En esta se sedimentan los sólidos en suspensión más pesados, tiene una geometría de Trapecio isósceles con ángulos de 45° , cuya variación de alturas es de un metro del extremo de base menor al extremo de base mayor, con dos sitios de evacuación de lodos de 5m de ancho, los cuales son retirados mediante una bomba de lodo debiendo evacuar cada 15 días el lodo generado.
LAGUNA ANAEROBIA	En esta se inicia el proceso de degradación por medio de bacterias anaerobias, tiene una geometría de Trapecio isósceles con ángulos de 45° , con una variación de altura de un metro del extremo de base menor al extremo de base mayor.
LAGUNA DE AIREACIÓN	En esta se inicia el proceso de oxidación de la materia orgánica, por medio de la alimentación de aire usando difusores de burbuja fina provenientes de los blowers. Tiene geometría de Trapecio con ángulos de 45° , con una variación de altura de medio metro del extremo de base menor al

	extremo de base mayor. Dispone de 4 blowers de 10Hp cada uno, mediante 4 módulos que disponen de 52 difusores de burbuja fina.
LAGUNA DE SEDIMENTACIÓN SECUNDARIA	<p>En esta se inicia la decantación de los lodos sedimentables. Tiene geometría de Trapecio isósceles con ángulos de 45⁰, con una variación de altura de un metro del extremo de base menor al extremo de base mayor, con un sitio de evacuación de lodos de 2m de ancho, los cuales son retirados mediante una bomba de lodo.</p> <p>De esta se toma el lixiviado que alimentara a la planta físico - química mediante una bomba de 10Hp</p>

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

Se verifico in situ el diseño y dimensiones de la planta de tratamiento primario construida obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 2-3: Dimensiones in situ de la planta de tratamiento primario de lixiviados

Datos de los valores in situ de las dimensiones del Tratamiento Primario					
Tratamiento	Largo (m)	Ancho (m)	Altura del extremo base menor (m)	Altura del extremo base mayor (m)	Volumen (m ³)
LAGUNA DE SEDIMENTACIÓN PRIMARIA	50	23.20	3.50	4.50	5000
LAGUNA ANAEROBIA	80	19.70	4	5	5000
LAGUNA DE AIREACIÓN	37	16	4	4.50	1472
LAGUNA DE SEDIMENTACIÓN SECUNDARIA	30	17.40	3	4	875

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

Mediante la verificación in situ que se realizó se obtuvo como resultado una mínima variación en las medidas de largo y el ancho obteniendo así en la laguna de sedimentación primaria 1.8m menos en la medición de ancho (dato de plano 25 m, dato in situ 23.20 m), en la laguna anaerobia 0.30 m menos en la medición de ancho (dato de plano 20 m, dato in situ 19.70 m), en la laguna de aireación 1 m de aumento tanto en el largo como en el ancho (dato de plano largo 36 m – ancho 15 m, dato in situ largo 37 m – ancho 16 m) y en la laguna de sedimentación secundaria 2.4 m de aumento en el ancho (dato de plano 15 m, dato in situ 17.40 m). Ver anexo F: Planos de las dimensiones y capacidades del Tratamiento Primario.

La verificación de los parámetros de diseño (planos) utilizados en la Planta físico-química nos da como resultado los siguientes datos:

El sistema consta de una bomba dosificadora, de una bomba para la captación y de dos para el transporte de lixiviado por todos los componentes del sistema que se encuentran especificados en las tablas 3-3 y 4-3.

Tabla 3-3: Dimensiones de la Planta físico-química.

Datos de los valores in situ de las dimensiones Planta Físico-Química		
Componentes	Largo (m)	Ancho (m)
TANQUE PULMÓN	4.54	2.80
TORRE DE AIREACIÓN	3	1.20
TANQUE DE REACCIÓN	1.60	1.30
TANQUE FLOCULADOR Y SEDIMENTADOR	5.45	2.80
COLECTOR DE LODOS DEL TANQUE FLOCULADOR Y SEDIMENTADOR	1.20	2.80
TANQUE DE RESERVA	2.80	2.80
FILTRO DE ARENA	1.86	1.10
FILTRO DE CARBÓN	1.86	1.10

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

Tabla 4-3: Dimensiones de la torre de aireación de planta físico-química.

Torre de aireación	Largo superior (m)	Largo de base (m)	Ancho superior (m)	Ancho base (m)	Separación entre bandejas (m)	Perforaciones (mm)	Altura (m)
Plato 1 y 3	1.20	0.80	0.85	0.45	0.30	6	0.30
Plato 2 y 5	1.20	0.80	0.85	0.45	0.30	Sin perforaciones (tubo 3 mm)	0.30
Plato 4	1.20	0.80	0.85	0.45	0.30	6	0.30

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

En la verificación in situ se comprobó que las dimensiones de los planos son iguales a las dimensiones de la planta construida ver tablas 3-3 y 4-3, esto se debe a que es una planta pre fabricada. Ver anexo F: Planos de las dimensiones y capacidades de la Planta Físico – Química.

Las dimensiones de la planta VSEP, por conceptos de privacidad no se pudieron tomar, mediante la verificación se obtuvo como información que es una planta pre fabricada cuyas mediciones, instalación y construcción se encarga New Logic Research. Ver anexo F: Planos Planta VSEP.

3.1.3 Verificación in situ del funcionamiento de la planta

La evaluación de la eficiencia se llevó a cabo mediante las verificaciones in situ del funcionamiento la planta, donde se evidenció que la planta estaba inhabilitada, las áreas de las lagunas se encontraban totalmente llenas de lixiviados a centímetros del borde y estaban llenas de lodos sedimentados.

La laguna de aireación no está actualmente funcionando, los aireadores se encuentran apagados debido a que por la fuerza ejercida al bombear cada vez que son prendidos salta el breaker eléctrico y se apagan automáticamente, la laguna está llena de lodo y no se le ha dado mantenimiento por lo que los técnicos encargados tienen sin trabajar a los aireadores y no se sabe si estos actualmente funcionen o estén averiados.

La plata de tratamiento físico-químico no se encuentra actualmente en funcionamiento, no posee una bomba reguladora de caudal, no se tiene estandarizado la cantidad optima de coagulante y floculante a utilizar.

La planta VSEP es la que da en tratamiento al lixiviado producido en el relleno sanitario para su posterior descarga cumpliendo con límites permisible. Este medio de tratamiento es el único que actualmente funciona correctamente, con el inconveniente de que se trata lixiviado crudo. Las membranas de filtración son dañadas antes de los cuatro años de vida útil y la cantidad de reactivos utilizados para la limpieza triplican el uso normal, el mantenimiento es realizado 4 o 5 veces por mes por lo que los costos de operación son altos.

3.1.4 Generación de lixiviados

Determinación del caudal real producido

Se determinó el caudal mediante un método volumétrico en base a la diferenciación de alturas en un rango de tiempo.

Tabla 5-3: Estimación del Caudal de Lixiviado producido en el Complejo Ambiental

Fecha	Rango de tiempo (5h)	Altura del lixiviado (m)	Altura de aumento (m)
Sábado 9 de junio del 2018	6:00 am	2.52	-
	11:00 am	2.53	0.01
	16:00 pm	2.54	0.01
	21:00 pm	2.549	0.009
Dimensiones del cubeto	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)
	65.42	38.33	5.4

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

Cálculos de caudal

$$caudal = \frac{volumen}{tiempo}$$

$$c = \frac{l * a * h}{t}$$

$$c1 = \frac{(65.42 * 38.33 * 0.01)m3}{(5)h}$$

$$c1 = 5.015 \frac{m3}{h}$$

$$c2 = \frac{(65.42 * 38.33 * 0.01)m3}{(5)h}$$

$$c2 = 5.015 \frac{m3}{h}$$

$$c3 = \frac{(65.42 * 38.33 * 0.012)m3}{(5)h}$$

$$c_3 = 4.514 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\text{caudal promedio} = \frac{c_1 + c_2}{n (c_1 \dots c)} = \frac{(5.015 + 5.015 + 4.514)}{3} = 4.848 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$116 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

El caudal generado en el complejo ambiental es de 116 m³/día, la planta de tratamiento de lixiviados se encuentra diseñada para tratar 120 m³/día lo que nos da como resultado que el diseño es apto para tratar el volumen de lixiviado generado.

3.1.5 Tratabilidad de la planta

La captación del lixiviado

Los lixiviados captados del relleno sanitario son conducidos mediante tuberías subterráneas de 20cm hacia el tratamiento primario.

3.1.5.1 Tratamiento primario

- **Laguna de Sedimentación Primaria**

Caudal:

El lixiviado es transportado a la etapa de sedimentación primaria por medio de una bomba superficial para líquidos efluentes de 10 HP cuyo caudal es 50 m³/hora. El caudal de diseño es de 120 m³, el límite máximo de bombeo es de 2.5 horas al día.

En la verificación in situ del funcionamiento se evidenció que se bombea durante 5 horas al día el lixiviado dando 250 m³ diarios de lixiviado hacia la laguna de sedimentación, incumpliendo con el caudal de diseño.

Caracterización:

Tabla 6-3: Análisis de lixiviado procedente de la laguna de sedimentación primaria.

Tipo de tratamiento	Parámetros	Unidad	Muestreo	Entrada	Salida	Promedio de salida	Promedio de entrada
Laguna de sedimentación primaria	DBO ₅	mg/L	Semana 1	2610.0	2590.0	2577	2603
			Semana 2	2599.0	2570.0		
			Semana 3	2600.0	2571.0		
	DQO	mg/L	Semana 1	4600.0	5440.0	4914	4625,667
			Semana 2	4678.0	4602.0		
			Semana 3	4599.0	4700.0		
	Conductividad	uS/cm	Semana 1	8.40	7.81	7,947	8,150
			Semana 2	8.00	8.00		
			Semana 3	8.05	8.03		
	pH	-	Semana 1	7.40	8.30	8,123	7,217
			Semana 2	7.10	8.00		
			Semana 3	7.15	8.07		

Fuente: Servicios analíticos químicos y microbiológicos (Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias) y

(Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

Determinación de la Eficiencia de Remoción de DBO5, DQO:

$$\text{Eficiencia de Remoción de DBO5} = \frac{\text{DBO5 de entrada} - \text{DBO5 de salida}}{\text{DBO5 de entrada}} \times 100 =$$

$$\frac{\text{DBO5 de entrada} - \text{DBO5 de salida}}{\text{DBO5 de entrada}} \times 100 =$$

$$\frac{2603 - 2577}{2603} \times 100 = 0.999 \%$$

$$\text{Eficiencia de Remoción de DQO} = \frac{\text{DQO de entrada} - \text{DQO de salida}}{\text{DQO de entrada}} \times 100 =$$

$$\frac{\text{DQO de entrada} - \text{DQO de salida}}{\text{DQO de entrada}} \times 100 =$$

$$\frac{4625.667 - 4914}{4625.667} \times 100 = -6.233\%$$

- **Laguna anaerobia**

Caudal:

El lixiviado es transportado a la etapa de laguna anaerobia por medio de una bomba superficial para líquidos efluentes de 10 HP. Cuyo caudal es 50 m³/hora. El caudal de diseño es de 120 m³ al día.

En la verificación in situ del funcionamiento se evidenció que se bombea durante 5 horas al día el lixiviado dando 250 m³ diarios de lixiviado hacia la laguna anaerobia, incumpliendo con el caudal de diseño.

Caracterización:

Tabla 7-3: Análisis de lixiviado procedente de la Laguna anaerobia.

Tipo de tratamiento	Parámetros	Unidad	Muestreo	Entrada	Salida	Promedio de salida	Promedio de entrada
Laguna Anaerobia	DBO ₅	mg/L	Semana 1	2590.0	2210.0	2577	2213
			Semana 2	2570.0	2223.0		
			Semana 3	2571.0	2206.0		
	DQO	mg/L	Semana 1	5440.0	3500.0	4914	3400,667
			Semana 2	4602.0	3260.0		
			Semana 3	4700.0	3442.0		
	Conductividad	uS/cm	Semana 1	7.81	3.45	7,947	3,530
			Semana 2	8.00	4.00		
			Semana 3	8.03	3.14		
	pH	-	Semana 1	8.30	8.85	8,123	8,757
			Semana 2	8.00	8.62		
			Semana 3	8.07	8.80		

Fuente: Servicios analíticos químicos y microbiológicos (Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias) y

(Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

Determinación de la Eficiencia de Remoción de DBO₅, DQO:

$$\text{Eficiencia de Remoción de DBO}_5 = \frac{\text{DBO}_5 \text{ de entrada} - \text{DBO}_5 \text{ de salida}}{\text{DBO}_5 \text{ de entrada}} \times 100 =$$

$$\frac{\text{DBO5 de entrada} - \text{DBO5 de salida}}{\text{DBO5 de entrada}} \times 100 =$$

$$\frac{2577 - 2213}{2577} \times 100 = 14.125\%$$

$$\text{Eficiencia de Remoción de DQO} = \frac{\text{DQO de entrada} - \text{DQO de salida}}{\text{DQO de entrada}} \times 100 =$$

$$\frac{\text{DQO de entrada} - \text{DQO de salida}}{\text{DQO de entrada}} \times 100 =$$

$$\frac{4914 - 3400.667}{4914} \times 100 = 30.796\%$$

- **Laguna de Aireación**

Caudal:

El lixiviado es transportado a la etapa de la laguna de aireación por medio de una bomba superficial para líquidos efluentes de 10 HP. Cuyo caudal es 50 m³/hora. El caudal de diseño es de 120 m³ al día.

En la verificación in situ del funcionamiento se evidenció que se bombea durante 5 horas al día el lixiviado dando 250 m³ diarios de lixiviado hacia la laguna de aireación, incumpliendo con el caudal de diseño.

Caracterización:

Tabla 8-3: Análisis de lixiviado procedente de la Laguna Aerobia.

Tipo de tratamiento	Parámetros	Unidad	Muestreo	Entrada	Salida	Promedio de salida	Promedio de entrada
Laguna Aerobia	DBO ₅	mg/L	Semana 1	2210.0	1621.0	1625,667	2213
			Semana 2	2223.0	1630.0		
			Semana 3	2206.0	1626.0		
	DQO	mg/L	Semana 1	3500.0	3000.0	2986,333	3400,667
			Semana 2	3260.0	2960.0		
			Semana 3	3442.0	2999.0		
	Conductividad	uS/cm	Semana 1	3.45	3.81	3,770	3,530
			Semana 2	4.00	3.50		
			Semana 3	3.14	4.00		
	pH	-	Semana 1	8.85	8.88	8,753	8,757
			Semana 2	8.62	8.68		
			Semana 3	8.80	8.70		

Fuente: Servicios analíticos químicos y microbiológicos (Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias) y

(Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

Determinación de la Eficiencia de Remoción de DBO₅, DQO:

$$\text{Eficiencia de Remoción de DBO}_5 = \frac{\text{DBO}_5 \text{ de entrada} - \text{DBO}_5 \text{ de salida}}{\text{DBO}_5 \text{ de entrada}} \times 100 =$$

$$\frac{\text{DBO}_5 \text{ de entrada} - \text{DBO}_5 \text{ de salida}}{\text{DBO}_5 \text{ de entrada}} \times 100 =$$

$$\frac{2213 - 1625.667}{2213} \times 100 = 26.540\%$$

$$\text{Eficiencia de Remoción de DQO} = \frac{\text{DQO de entrada} - \text{DQO de salida}}{\text{DQO de entrada}} \times 100 =$$

$$\frac{\text{DQO de entrada} - \text{DQO de salida}}{\text{DQO de entrada}} \times 100 =$$

$$\frac{3400.667 - 2986.333}{3400.667} \times 100 = 12.184\%$$

- **Laguna de Sedimentación Secundaria**

Caudal:

El lixiviado es transportado a la etapa de la laguna de sedimentación secundaria por medio de una bomba superficial para líquidos efluentes de 10 HP. Cuyo caudal es 50 m³/hora. El caudal de diseño es de 120 m³ al día.

En la verificación in situ del funcionamiento se evidenció que se bombea durante 5 horas al día el lixiviado dando 250 m³ diarios de lixiviado hacia la laguna de sedimentación secundaria, incumpliendo con el caudal de diseño.

Caracterización:

Tabla 9-3: Análisis de lixiviado procedente de sedimentación secundaria.

Tipo de tratamiento	Parámetros	Unidad	Muestreo	Entrada	Salida	Promedio de salida	Promedio de entrada
Laguna de Sedimentación Secundaria	DBO ₅	mg/L	Semana 1	1621.0	1504.0	1625,667	1471
			Semana 2	1630.0	1400.0		
			Semana 3	1626.0	1509.0		
	DQO	mg/L	Semana 1	3000.0	2910.0	2986,333	2843
			Semana 2	2960.0	2820.0		
			Semana 3	2999.0	2799.0		
	Conductividad	uS/cm	Semana 1	3.81	5.39	3,770	5,223
			Semana 2	3.50	5.00		
			Semana 3	4.00	5.28		
	pH	-	Semana 1	8.88	8.65	8,753	8,603
			Semana 2	8.68	8.56		
			Semana 3	8.70	8.60		

Fuente: Servicios analíticos químicos y microbiológicos (Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias) y (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

Determinación de la Eficiencia de Remoción de DBO₅, DQO:

$$\text{Eficiencia de Remoción de DBO}_5 = \frac{\text{DBO}_5 \text{ de entrada} - \text{DBO}_5 \text{ de salida}}{\text{DBO}_5 \text{ de entrada}} \times 100 =$$

$$\frac{\text{DBO}_5 \text{ de entrada} - \text{DBO}_5 \text{ de salida}}{\text{DBO}_5 \text{ de entrada}} \times 100 =$$

$$\frac{1625.667 - 1471}{1625.667} \times 100 = 9.514\%$$

$$\text{Eficiencia de Remoción de DQO} = \frac{\text{DQO de entrada} - \text{DQO de salida}}{\text{DQO de entrada}} \times 100 =$$

$$\frac{\text{DQO de entrada} - \text{DQO de salida}}{\text{DQO de entrada}} \times 100 =$$

$$\frac{2986.333 - 2843}{2986.333} \times 100 = 4.800\%$$

Análisis de los porcentajes de eficiencia de remoción:

Tratamiento primario

- Eficiencia de remoción de DBO5

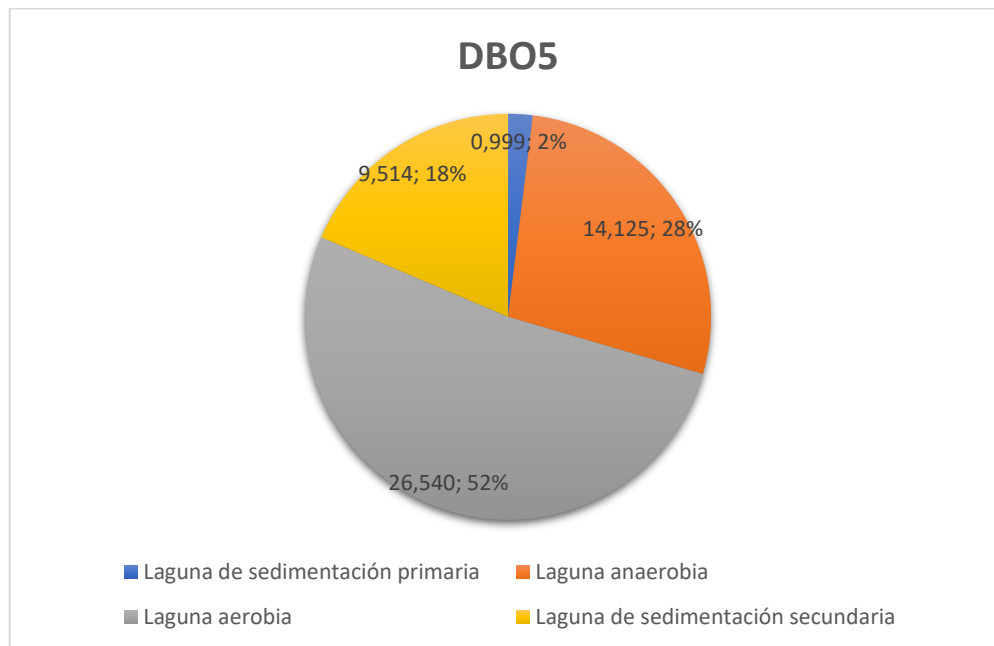


Gráfico 1-3: Porcentajes de la eficiencia de remoción de DBO5

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

En esta grafica se evidencia las eficiencias de remoción de DBO5 en el tratamiento primario, teniendo como resultado que en la laguna de aireación se produce la mayor remoción de DBO5 con un 26.54 % que represento el 52 % en la gráfica, de acuerdo con la literatura y los términos ofrecidos en el diseño las lagunas aireadas tienen un porcentaje de remoción de DBO5 de 80 – 95 %, en la laguna de sedimentación el porcentaje es de 30-40 %, en la laguna anaerobia el porcentaje es del 30-60 %. Lo que demuestra que las eficiencias de las lagunas implementada no son óptimas.

- Eficiencia de remoción de DQO

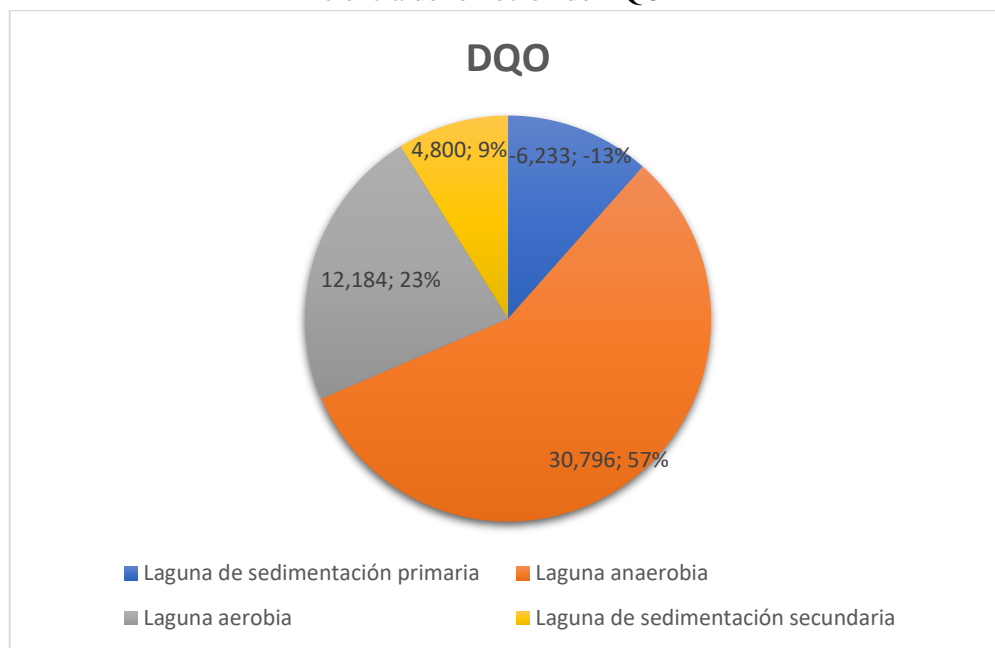


Gráfico 2-3: Porcentajes de la eficiencia de remoción de DQO

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

En esta grafica se evidencia las eficiencias de remoción de DQO en el tratamiento primario, teniendo como resultado que en la laguna anaerobia se produce la mayor remoción de DQO con un 30.79 % que represento el 57 % en la gráfica. Se evidencia un valor negativo de -6.23 en la laguna de sedimentación primaria lo que representa que no ahí remoción, de acuerdo con la literatura y los términos ofrecidos en el diseño las lagunas aireadas tienen un porcentaje de remoción de DQO de 60 – 70 %, en la laguna de

sedimentación el porcentaje es de 30-40 %, en la laguna anaerobia el porcentaje es del 30 - 50 %. Lo que demuestra que las eficiencias de las lagunas implementada no son óptimas.

3.1.5.2 Planta físico - química

Caudal:

El lixiviado es transportado a la etapa del tratamiento físico – químico por medio de una bomba superficial para líquidos efluentes de 10 HP. Cuyo caudal es 50 m³/hora. El caudal de diseño de la planta es de 12 m³/hora hacia el tanque equalizador. Lo que nos indica que el caudal enviado es mayor al caudal que soporta la planta. En la verificación in situ se evidencia que la planta se encuentra paralizada.

La planta trabaja durante 7.5 horas al día tratando 90 m³/día

Caracterización:

La planta actualmente no está en funcionamiento motivo por el cual no se pudo realizar la caracterización.

Determinación de la Eficiencia de Remoción de DBO5, DQO:

La planta actualmente no se encuentra en funcionamiento, por lo que no se pudo determinar la eficiencia de la misma. En base a referencias dadas por (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014) la planta tiene un porcentaje de eficiencia del 50 -70 %.

3.1.5.3 Planta VSEP

Caudal:

Esta planta trata 3.5 a 2.5 m³/hora de lixiviado durante 24 horas, dependiendo de la concentración del lixiviado aumenta su tratabilidad obteniendo un rango de 84 – 90 m³/día de lixiviado. En la verificación in situ se evidencia que la planta trata lixiviado crudo.

Caracterización:

Tabla 10-3: Análisis de lixiviado procedente de la planta VSEP.

Tipo de tratamiento	Muestreo	Parámetros	Unidad	Entrada	Salida
PLANTA VSEP	07-01-2018	DBO ₅	mg/L	2580.0	52
		DQO	mg/L	4678.0	109
		pH	-	7.10	8

Fuente: Servicios analíticos químicos y microbiológicos (Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias) y (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

Determinación de la Eficiencia de Remoción de DBO₅, DQO:

$$\text{Eficiencia de Remoción de DBO}_5 = \frac{\text{DBO}_5 \text{ de entrada} - \text{DBO}_5 \text{ de salida}}{\text{DBO}_5 \text{ de entrada}} \times 100 =$$

$$\frac{\text{DBO}_5 \text{ de entrada} - \text{DBO}_5 \text{ de salida}}{\text{DBO}_5 \text{ de entrada}} \times 100 =$$

$$\frac{2580 - 52}{2580} \times 100 = 97.984 \%$$

$$\text{Eficiencia de Remoción de DQO} = \frac{\text{DQO de entrada} - \text{DQO de salida}}{\text{DQO de entrada}} \times 100 =$$

$$\frac{\text{DQO de entrada} - \text{DQO de salida}}{\text{DQO de entrada}} \times 100 =$$

$$\frac{4678 - 109}{4678} \times 100 = 97.669 \%$$

Análisis de los porcentajes de eficiencia de remoción:

- Eficiencia de remoción de DBO5

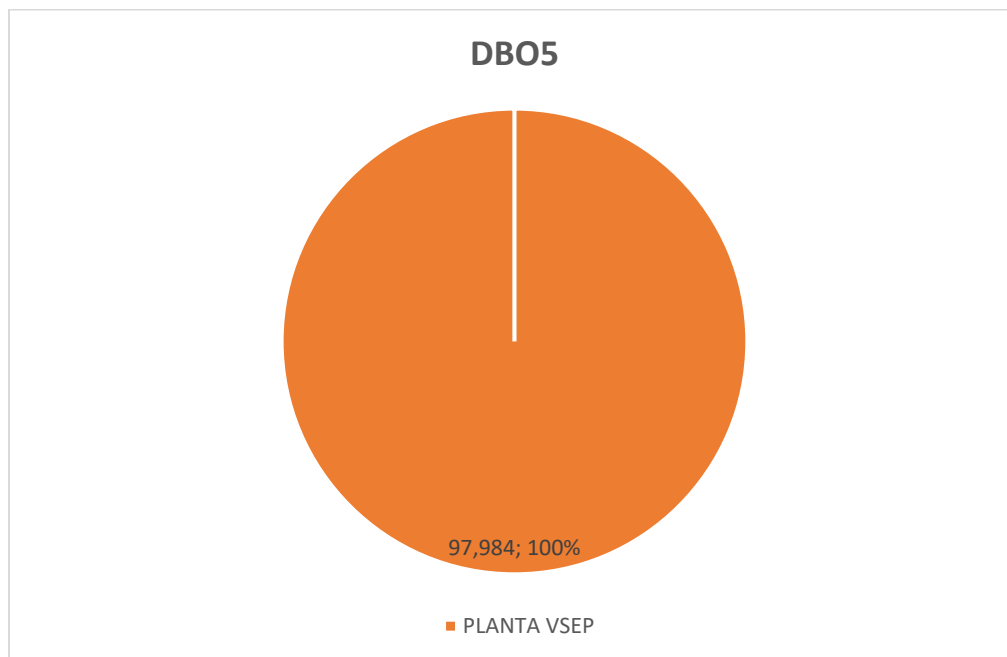


Gráfico 3-3: Porcentaje de la eficiencia de remoción de DBO5

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

En esta grafica se evidencia la eficiencia de remoción de DBO5 en la planta VSEP, dando como resultado una remoción del 97,98% de acuerdo con los términos ofrecidos en el diseño esta planta tiene un porcentaje de remoción de 90 – 99 %. Lo que nos da como resultado que el funcionamiento de la misma es óptimo.

- Eficiencia de remoción de DQO

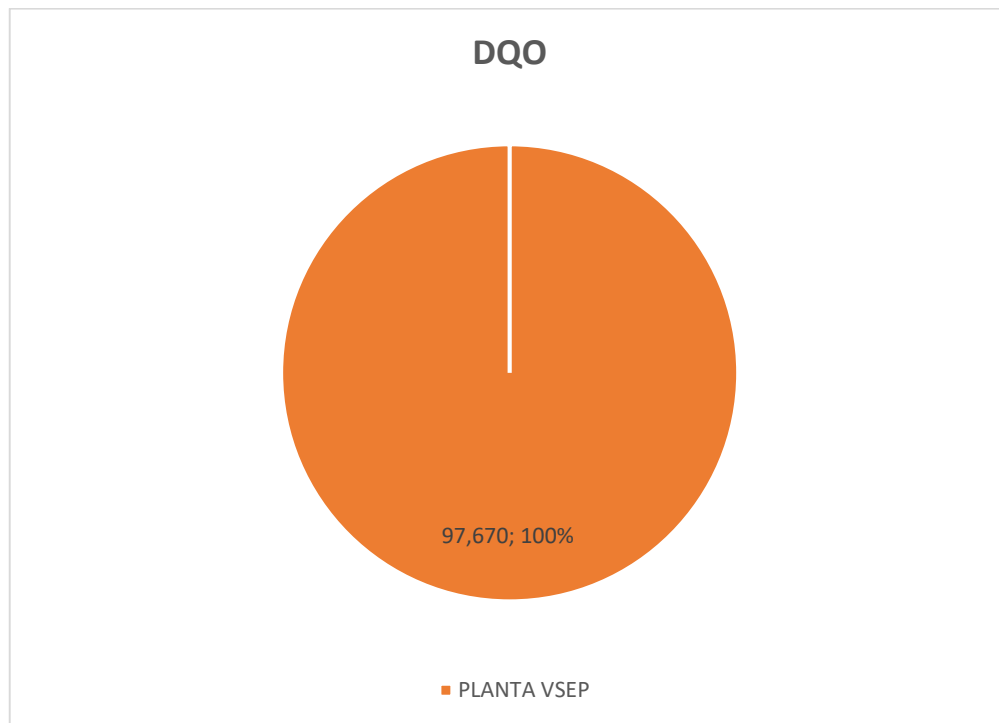


Gráfico 4-3: Porcentaje de la eficiencia de remoción de DQO

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

En esta grafica se evidencia la eficiencia de remoción de DQO en la planta VSEP, dando como resultado una remoción del 97,67% de acuerdo con los términos ofrecidos en el diseño esta planta tiene un porcentaje de remoción de 90 – 99 %. Lo que nos da como resultado que el funcionamiento de la misma es óptimo.

3.1.5.4 Caracterización del lixiviado

Se realizó la caracterización del lixiviado del afluente de acuerdo con la metodología propuesta obteniendo los siguientes datos:

Tabla 11-3: Análisis de lixiviado del afluente

Muestreo	Parámetros	Unidad	Afluente	Límite Máximo Permisible
07-01-2018	Cloruros	mg/L	1110	1000
	Color Real	Unidades de color	44.9	Inapreciable en dilución 1/20:
	Nitrógeno amoniacal	mg/L	745	30.0
	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	696	130
	Aceites y grasas	mg/L	1.0	30
	Fósforo Total	mg/L	25	10
	Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	250	50
	Sólidos totales	mg/L	4344	1600
	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	150	2000
	Cadmio	mg/L	<0.0010	0.02
	DBO ₅	mg/L	2700	100
	DQO	mg/L	4780	200
	pH	-	7.97	6-9

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

Los datos obtenidos de la caracterización del lixiviado descargado al cuerpo de agua, fueron comparados con el Acuerdos 097-A. Refórmese el Texto Unificado de Legislación Secundaria. TABLA 9. "Límites

de descarga en un cuerpo de agua dulce” para la verificación de su cumplimiento. Obteniendo como resultado el cumplimiento de la normativa vigente. Ver tabla 12-3

Tabla 12-3: Análisis del lixiviado descargado vs el Acuerdos 097-A tabla 9: “Límites de descarga en un cuerpo de agua dulce”.

Muestreo	Parámetros	Unidad	Efluente	Límite Máximo Permisible	Cumplimiento de la normativa de descarga
07-01-2018	Cloruros	mg/L	6.7	1000	CUMPLE
	Color Real	Unidades de color	Inapreciable en dilución 1/20:	Inapreciable en dilución 1/20:	CUMPLE
	Nitrógeno amoniacal	mg/L	28	30.0	CUMPLE
	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	9	130	CUMPLE
	Aceites y grasas	mg/L	<0.3	30	CUMPLE
	Fósforo Total	mg/L	0.28	10	CUMPLE
	Nitrógeno Total Kjedahl	mg/L	46	50	CUMPLE
	Sólidos totales	mg/L	157	1600	CUMPLE
	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	90	2000	CUMPLE
	Cadmio	mg/L	<0.0001	0.02	CUMPLE
	DBO ₅	mg/L	52	100	CUMPLE
	DQO	mg/L	109	200	CUMPLE
	Conductividad	uS/cm	385	-	-
pH	-	9	6-9	CUMPLE	

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

3.1.6 Análisis de resultados

El funcionamiento del Relleno Sanitario se da por módulos, realizando cierre técnico y habilitación del siguiente. Actualmente se encuentra en la etapa de módulo 3, donde a partir de esta etapa los módulos serán igualitarios en su diseño y su capacidad de almacenamiento hasta llegar al período de vida útil 2011 - 2025.

El caudal generado actualmente es de 116 m³/día, la planta de tratamiento de lixiviados se encuentra diseñada para tratar 120 m³/día lo que nos da como resultado que el diseño es apto para tratar el volumen de lixiviado generado.

Por medio de la verificación in situ del diseño se pudo determinar que existe una mínima variación en las medidas de largo y el ancho de las lagunas construidas para el tratamiento primario, obteniendo así en la laguna de sedimentación primaria 1.8m menos en la medición de ancho (dato de plano 25 m, dato in situ 23.20 m), en la laguna anaerobia 0.30 m menos en la medición de ancho (dato de plano 20 m, dato in situ 19.70 m), en la laguna de aireación 1 m de aumento tanto en el largo como en el ancho (dato de plano largo 36 m – ancho 15 m, dato in situ largo 37 m – ancho 16 m) y en la laguna de sedimentación secundaria 2.4 m de aumento en el ancho (dato de plano 15 m, dato in situ 17.40 m). Ver anexo 1: Planos de las dimensiones y capacidades del Tratamiento Primario.

Laguna de sedimentación primaria

Se evidenció que se bombea lixiviado hacia la misma durante 5 horas al día dando 250 m³ diarios de lixiviado, incumpliendo con el caudal de diseño que es de 120 m³/día. Lo que nos indica que se está enviando mayor caudal al soportado por la planta, produciendo una disminución del tiempo de retención hidráulica alterando el proceso de sedimentación y su funcionamiento consiguiendo una disminución de su eficiencia.

Mediante la comparación de los cálculos de dimensionamiento de la actual planta de tratamiento primario de lixiviados y los datos otorgados por el GAD Municipal se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 13-3: Comparación de los cálculos de dimensionamiento de la laguna de sedimentación primaria y los datos otorgados por el GAD Municipal

Laguna de Sedimentación Primaria	
Datos de dimensionamiento obtenidos	Datos de dimensionamiento proporcionados
Tr= 6.1 h Remocion de DBO ₅ = 43.5 %	Tr= 33 días actualmente es de 40 a 60 días dependiendo de la cantidad de lixiviado. Remocion de DBO ₅ = 50 %

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

La tabla 13-3, indica que los datos de tiempo de retención y eficiencia dados no son iguales a los obtenidos, el tiempo de retención hidráulica proporcionado a la laguna es de 33 días actualmente de 40 a 60 días siendo estos valores muy elevados en referencia al dato calculado para la laguna de sedimentación lo que provoca alteraciones en su funcionamiento, eficiencia y motivo por el cual se observó gran cantidad de lodo en la laguna.

Mediante la determinación de la Eficiencia de Remoción de DBO₅, DQO, realizada por medio de la caracterización del lixiviado procedente de la laguna de sedimentación se obtuvo un valor de eficiencia de 0.99% de DBO₅ y - 6.23% de DQO siendo el rango de eficiencia de 30-40 %, el ofrecido de 50 % por lo que se evidencia la ineficiencia del tratamiento implementado.

Se observó mediante la verificación in situ que la laguna estaba llena de lixiviado a 10cm del borde, llenas de lodo sedimentado. De acuerdo al informe técnico proporcionado por (Gobierno Autónomo

Descentralizado, 2014), la limpieza de los lodos debe realizarse cada 15 días y no se ha realizada la evacuación de lodos por más de 2 años. Actualmente no hay un encargado del tratamiento primario.

Los Resultados indican que la laguna de sedimentación implementada se encuentra acta para tratar los 120 m³/día de caudal generado, pero tiene ineficiencias en su manejo y operación.

Laguna anaerobia

Se evidenció que se bombea lixiviado hacia la misma durante 5 horas al día dando 250 m³ diarios de lixiviado, incumpliendo con el caudal de diseño que es de 120 m³/día. Lo que nos indica que se está enviando mayor caudal al soportado por la laguna, produciendo un mal funcionamiento y consiguiendo una disminución de su eficiencia.

Mediante la comparación de los cálculos de dimensionamiento de la actual planta de tratamiento primario de lixiviados y los datos otorgados por el GAD Municipal se obtuvo que el tiempo de retención hidráulica calculado es de 12.4 h, y el proporcionado es de 42 a 60 días dependiendo de la cantidad de lixiviado en la laguna, lo que nos indica que el tiempo de retención que actualmente se da a la laguna es muy elevado lo que produce alteraciones en el funcionamiento, eficiencia, motivo por el cual observó acumulación de lodos.

Mediante la determinación de la Eficiencia de Remoción de DBO₅, DQO, realizada por medio de la caracterización del lixiviado procedente de la laguna anaerobia se obtuvo un valor de eficiencia de 14.12% de remoción de DBO₅ y el 30.79 % de remoción de DQO siendo el rango de eficiencia de 30-60 % DBO₅ y 30-50 % DQO, lo que nos indica la laguna anaerobia es ineficiente

Se observó mediante la verificación in situ que la laguna estaba llena de lixiviado a 8 cm del borde, llena de lodo sedimentado. De acuerdo al informe técnico proporcionado por (Gobierno Autónomo

Descentralizado, 2014), la limpieza de los lodos debe realizarse cada 15 días y no se ha realizada la evacuación de lodos por más de 2 años. Actualmente no hay un encargado del tratamiento primario.

Los Resultados indican que la laguna anaerobia implementada se encuentra acta para tratar los 120 m³/día de caudal generado, pero tiene ineficiencias en su manejo y operación.

Laguna aireación

Se evidenció que se bombea lixiviado hacia la misma durante 5 horas al día dando 250 m³ diarios de lixiviado, incumpliendo con el caudal de diseño que es de 120 m³/día. Lo que nos indica que se está enviando mayor caudal al soportado por la laguna, produciendo un mal funcionamiento, un aumento en la cantidad de lixiviado por lo que la degradación por parte de las bacterias aerobias se ve afectada al igual que el funcionamiento de los aireadores.

Mediante la comparación de los cálculos de dimensionamiento de la actual planta de tratamiento primario de lixiviados y los datos otorgados por el GAD Municipal se obtuvo que el tiempo de retención hidráulica calculado es de 4.7 h, y el proporcionado es de 42 a 60 días dependiendo de la cantidad de lixiviado en la laguna, lo que nos indica que el tiempo de retención que actualmente se da a la laguna es demasiado por lo se observó la acumulación de lodos y la ineficiencia de la misma, el requerimientos de oxígeno para la oxidación biológica obtenido por medio de los cálculos son de 16.7 mg/h.

Mediante la determinación de la Eficiencia de Remoción de DBO₅, DQO, realizada por medio de la caracterización del lixiviado procedente de la laguna de aireación se obtuvo un valor de eficiencia de 26.54 % DBO₅ y 12.18% de remoción de DQO siendo el rango de eficiencia de 80 – 95 % DBO₅ y 60 – 70 % DQO.

Se obtuvo como resultado de la verificación in situ del funcionamiento que la laguna de aireación no está actualmente funcionando, los aireadores se encuentran apagados debido a que por la fuerza ejercida al bombear cada vez que son prendidos salta el breaker eléctrico y se apagan automáticamente, la laguna está llena de lodo, el lixiviado se encuentra a 10 cm del borde, no se le ha dado mantenimiento, actualmente no hay un encargado del tratamiento primario por lo que se tiene sin trabajar a los aireadores por lo que no se sabe si estos funcionan o si están averiados.

Para la aireación se disponen de 4 blowers de 10Hp cada uno, mediante 4 módulos que disponen de 52 difusores de burbuja fina

Sistema de electro soplante (Blowers) de 10 hp, 400V, 60 Hz, incluye: filtro, manómetro.

Modelo: VFC800A-7W, 10HP

1ra. SERIE: C8A665D36737Y0050

2da. SERIE: C8A665D36737Y0054

3ra. SERIE: C8A665D36737Y0055

4ta. SERIE: C8A665D36737Y0071

Los 4 blowers están diseñados para trabajar de forma continua o periódica de 2 en 2 según las características y volumen de lixiviado. La altura del lixiviado debe estar en rangos de 1 a 1.5 m por encima de los aireadores y se debe observar el burbujeo en la superficie; cuando trabajen los 4 blowers de forma continua se debe operar por dos horas y descansar media hora y así consecutivamente.

Los Resultados indican que la laguna aerobia implementada se encuentra acta para tratar los 120 m³/día de caudal generado, pero tiene ineficiencias en su manejo y operación.

Laguna de sedimentación secundaria

Se evidenció que se bombea lixiviado hacia la misma durante 5 horas al día dando 250 m³ diarios de lixiviado, incumpliendo con el caudal de diseño que es de 120 m³/día. Lo que nos indica que se está enviando mayor caudal al soportado por la planta, produciendo una disminución del tiempo de retención hidráulica alterando el proceso de sedimentación y su funcionamiento consiguiendo una disminución de su eficiencia.

Mediante la comparación de los cálculos de dimensionamiento de la actual planta de tratamiento primario de lixiviados y los datos otorgados por el GAD Municipal se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 14-3: Comparación de los cálculos de dimensionamiento de la laguna de sedimentación secundaria y los datos otorgados por el GAD Municipal

Laguna de Sedimentación Secundaria	
Datos de dimensionamiento obtenidos	Datos de dimensionamiento proporcionados
Tr= 2.7 h Remocion de DBO ₅ = 37.5 %	Tr= 33 días actualmente es de 40 a 60 días dependiendo de la cantidad de lixiviado. Remocion de DBO ₅ = 50 %

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

Lo que nos indica que los datos de tiempo de retención y eficiencia dados no son iguales a los obtenidos, indicando que el tiempo de retención hidráulica proporcionado a la laguna es de 33 días, actualmente un rango de 40 a 60 días siendo este valor muy alto en comparación al valor obtenido motivo por el cual se observó la acumulación de lodos, lo que provoca alteración en su eficiencia.

Mediante la determinación de la Eficiencia de Remoción de DBO5, DQO, realizada por medio de la caracterización del lixiviado procedente de la laguna de sedimentación se obtuvo un valor de eficiencia de 9.51 % DBO5 de y 4.80 % DQO siendo el rango de eficiencia de 30-40 %, el ofrecido de 50 %.

Se observó mediante la verificación in situ que la laguna estaba llena de lixiviado a 9 cm del borde y con abundante presencia de lodos sedimentados. De acuerdo al informe técnico proporcionado por (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014), la limpieza de los lodos debe realizarse cada 15 días y no se ha realizada la evacuación de lodos por más de 2 años, y que actualmente no hay un encargado del tratamiento primario.

Los Resultados indican que la laguna de sedimentación secundaria implementada se encuentra acta para tratar los 120 m³/día de caudal generado, pero tiene ineficiencias en su manejo y operación.

Planta físico - química

Por medio de la verificación in situ del diseño se obtuvo como resultado que las dimensiones de los planos de diseño son iguales a las dimensiones de la planta construida ver tablas 3-3 y 4-3 lo que indica que no se evidencian variaciones en el dimensionamiento.

La planta está diseñada para tratar 12 m³/hora hacia el tanque ecualizador, trabaja durante 7.5 horas al día tratando 90 m³/día cantidad de lixiviado requerido por la planta VSEP para su funcionamiento. El lixiviado es transportado hacia la planta tratamiento físico – químico por medio de una bomba superficial para líquidos efluentes de 10 HP. Cuyo caudal es 50 m³/hora mandando un caudal de 375 m³/día caudal que sobre pasa el caudal de diseño por lo que se obtiene como resultado un menor tiempo de retención hidráulica para la floculación - coagulación - filtración que se produce en este sistema de tratamiento, generando un mal funcionamiento y disminución de la eficiencia del tratamiento debido a que no se obtiene una bomba dosificadora de caudal que transporte hacia el tratamiento los 12 m³/hora que requiere.

Mediante la verificación in situ del funcionamiento se obtuvo como resultado que la planta actualmente se encuentra inhabilitada, no se tienen datos de las dosificaciones ni tipos de floculantes y coagulantes a utilizar. Debido a que esta no se encuentra en funcionamiento no se pudo evaluar su eficiencia, de acuerdo con el informe técnico proporcionado por el (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014) la planta tiene una eficiencia de 50 -70 %.

Planta VSEP

Por medio de las verificaciones in situ del diseño y funcionamiento se obtuvo como resultado que la planta posee bombas reguladoras de caudal que le permiten tratar el volumen correcto para su buen funcionamiento esta no necesita ningún tipo de cambio o mejora ya que funciona óptimamente con una eficiencia de 98%, Es operada por personal capacitado garantizando su correcto funcionamiento. Trabaja 24 horas y trata un rango mínimo de 3.5 a 2.5 m³/hora de lixiviado dependiendo de la concentración de lixiviado aumenta su rango de tratabilidad, al día trata un promedio de 84 a 90 m³ de lixiviado donde el 50% es lixiviado tratado que se descarga al cuerpo de agua y el otro 50% es permeado el cual es enviado al cubeto y se pone a recircular.

3.1.7 Realización de una Prueba de tratabilidad para la activación del tratamiento físico-químico.

Se realizó una prueba de jarras para la etapa del tratamiento físico-químico

Dosis

10 g de policloruro de aluminio	→	10000	→	1000	→	500	→	250
10 g cloruro férrico	→	10000	→	1000	→	500	→	250

Floculante concentración de 0.1g/ml

Dosis vertida al lixiviado

Floculante	4 ml
policloruro de aluminio	8 ml
cloruro férrico	8 ml

Tabla 15-3: Resultados de la Prueba de jarras

Caracterización	pH		Turbiedad
Muestra de lixiviado entrada al tratamiento físico-químico	8.65		78.4
Primera Prueba			
Producto	Dosificación (ppm)	pH	Turbiedad
Policloruro de aluminio	10000	6.78	40.1
Cloruro férrico	10000	7.04	40.29
Floculante aniónico	Dosis (ml)		
	4		
Segunda prueba (pH óptimo)			
Producto	Dosificación (pH)	Turbiedad	
Policloruro de aluminio	9	50.79	
	8	39.1	
	7	40.78	
Cloruro férrico	9	60.50	
	8	49.01	
	7	50.39	
Floculante aniónico	Dosis (ml)		
	4		
Tercera prueba (dosis óptima)			
Producto	Dosificación (ppm)	Dosificación (pH)	Turbiedad
Policloruro de aluminio	1000	8	40.3
	500	8	36.9
	250	8	37.8
Cloruro férrico	1000	8	53.8
	500	8	62.9
	250	8	58.0
Floculante aniónico	Dosis (ml)		
	4		

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

En la tabla 15-3 podemos observar los resultados de la prueba de tratabilidad propuesta según la metodología indicada en el capítulo II.

Resultados:

Se toma a la turbiedad como medio de verificación de la eficiencia debido a que por exigencia técnica de la planta VSEP requiere que el lixiviado ingrese con un rango no mayor de 40 NTU.

Se obtuvo como resultado que el policloruro de aluminio es el producto que tuvo una mayor eficiencia en el tratamiento del lixiviado disminuyendo la turbiedad de 78.4 a 36.9 cumpliendo así con el rango de turbiedad exigida por la planta VSEP.

El pH óptimo que se obtuvo en esta prueba es 8 y la dosis óptima es 500 ppm de policloruro de aluminio, las revoluciones utilizadas fueron 1 minuto a 100 rpm y por 3 minutos a 50 rpm.

Graficas de los resultados de la prueba de tratabilidad:

En las siguientes graficas se puede observar la determinación del pH óptimo de los dos productos utilizados.

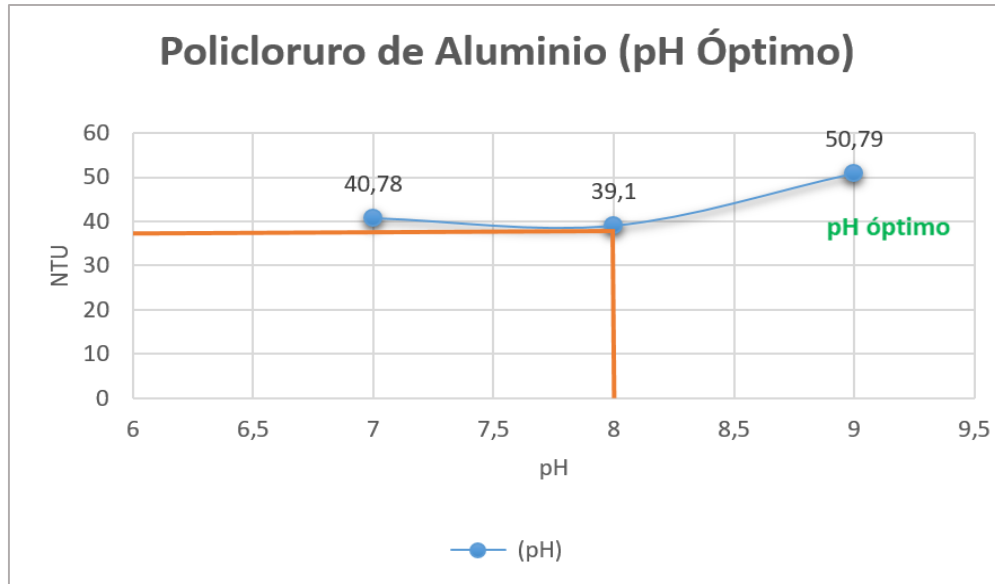


Gráfico 5-3: Determinación del pH óptimo del Policloruro de Aluminio

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

En la gráfica 5-3 se observa el resultado del pH óptimo del policloruro de aluminio, obteniendo a un rango de pH 8 la mayor eficiencia con un valor de 39.1 NTU

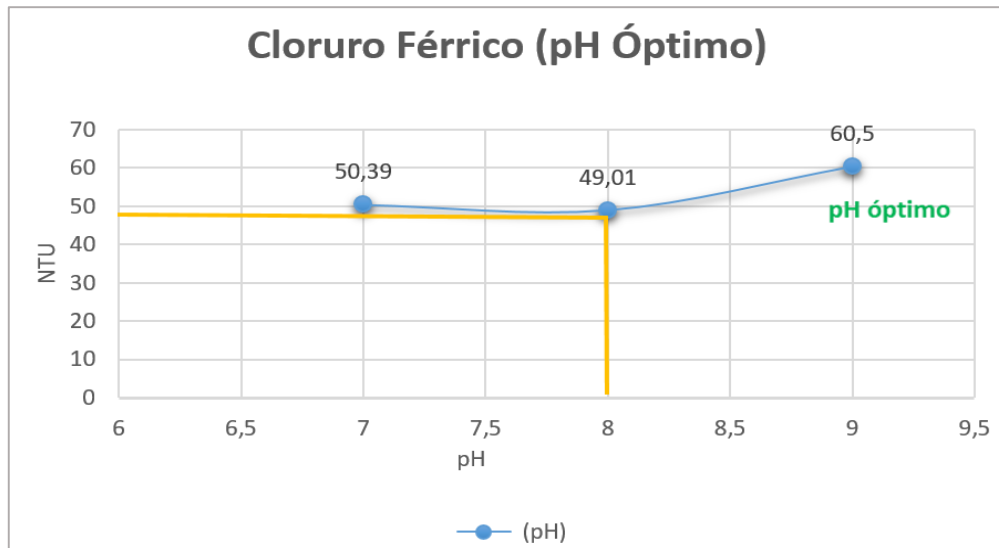


Gráfico 6-3: Determinación del pH óptimo del Cloruro Férrico

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

En la gráfica 6-3 se observa el resultado del pH óptimo del cloruro férrico, obteniendo a un rango de pH 8 la mayor eficiencia con un valor de 49.01 NTU

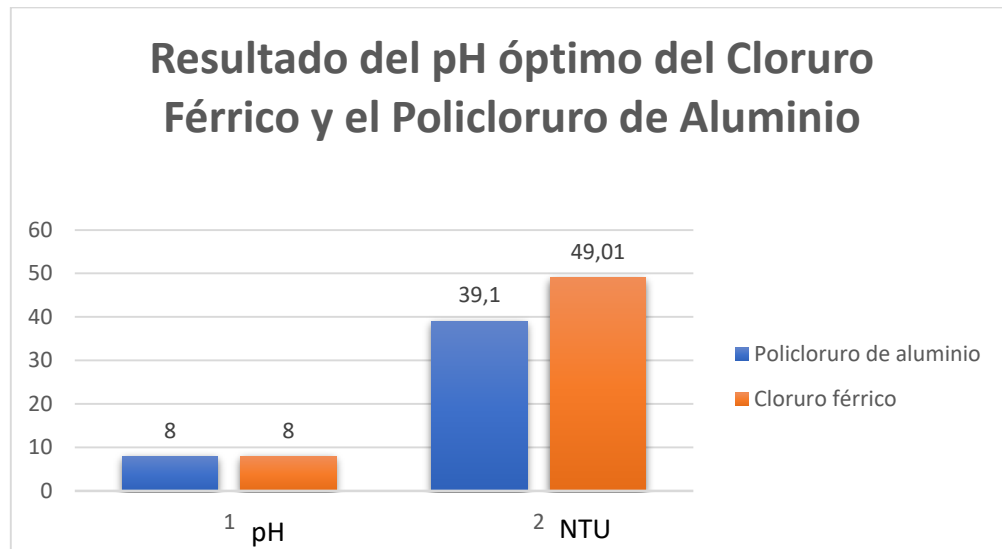


Gráfico 7-3: Resultado del pH óptimo del Cloruro Férrico y el Policloruro de Aluminio

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

En la gráfica 7-3 se observa la comparación de las eficiencias del pH óptimo entre cloruro férrico y el policloruro de aluminio, obteniendo como resultado que el policloruro de aluminio logra una mayor disminución de la turbiedad.

En las siguientes graficas se puede observas la determinación de la Dosis Óptima de los dos productos utilizados.

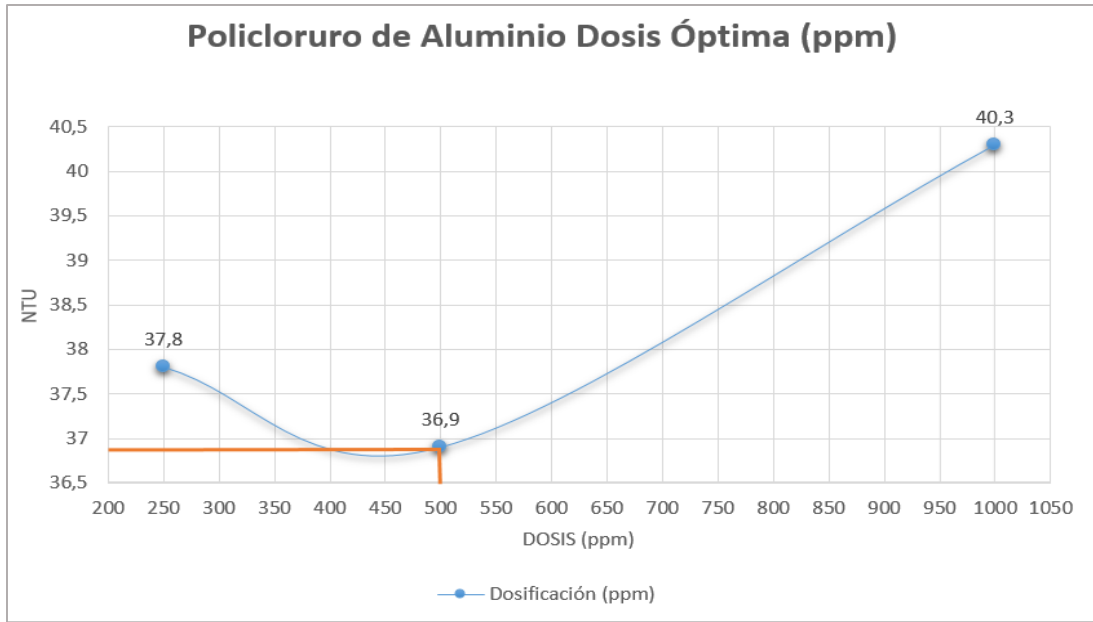


Gráfico 8-3: Determinación de la dosis óptima del Policloruro de Aluminio

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

En la gráfica 8-3 se observa el resultado de la dosis óptima del policloruro de aluminio, obteniendo a una dosis de 500 ppm la mayor eficiencia con un valor de 36.9 NTU

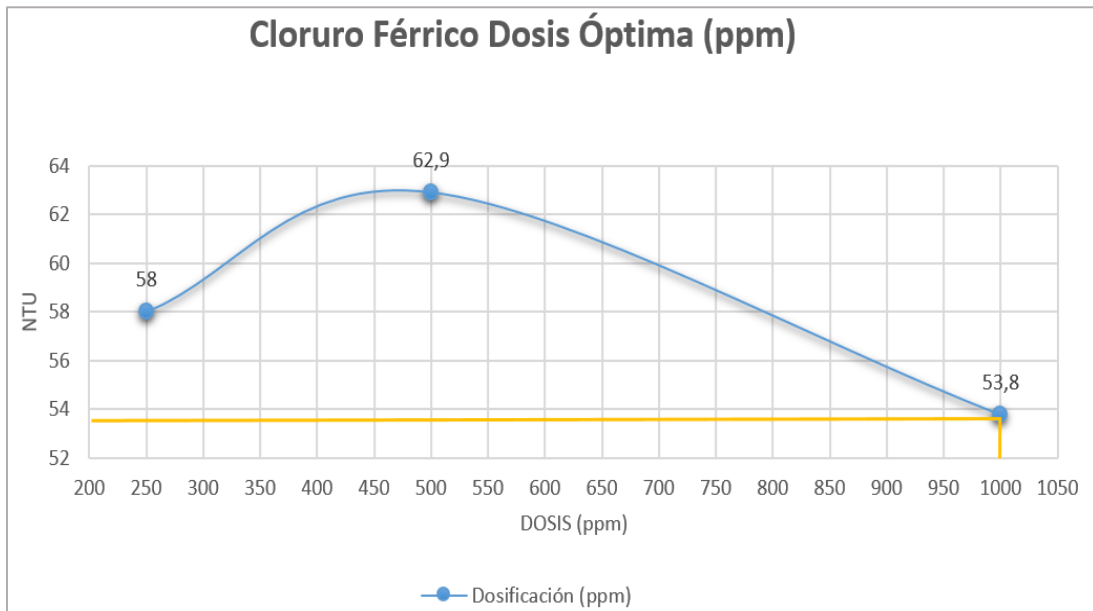


Gráfico 9-3: Determinación de la dosis óptima del Cloruro Férrico

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

En la gráfica 9-3 se observa el resultado de la dosis óptima del cloruro férrico, obteniendo a una dosis de 1000 ppm la mayor eficiencia con un valor de 53.8 NTU

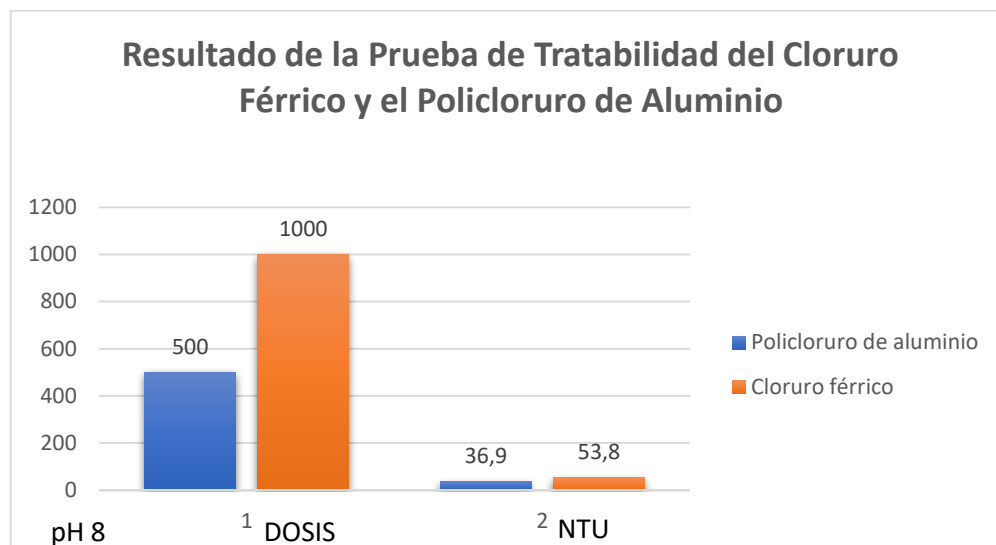


Gráfico 10-3: Resultado de la Prueba de Tratabilidad del Cloruro Férrico y el Policloruro de Aluminio

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

En la gráfica 10-3 se observa la comparación de los resultados de la prueba de tratabilidad entre el cloruro férrico y el policloruro de aluminio, obteniendo como resultado que el mejor producto para el tratamiento del lixiviado producido en la planta es el policloruro de aluminio logrando una disminución de la turbiedad a 36,9 NTU con una menor dosis del producto lo que cumple con el requerimiento de la planta VSEP de tener un lixiviado con máximo 40 NTU para poder funcionar correctamente.

3.1.8 Identificación y Evaluación del Impacto Ambiental

Se realizó una matriz de Leopold para la identificación de impactos que se generan en la planta de tratamiento de lixiviados cuyos resultados se presentan a continuación.

Matriz N°1, Identificación de impactos ambientales Construcción y Operación Planta de Tratamiento de Lixiviados

Código	Componente	Subcomponente	Factor Ambiental	FASE DE CONSTRUCCIÓN								FASE DE OPERACIÓN				FASE DE CIERRE							
				Desbroce	Construcción de vías acceso	Movimiento de tierras	Desalojo de tierra	Colocación de geomenbrana	Almacenamiento temporal tierra	Transporte de materiales de construcción	Instalación de bombas	Mantenimiento de maquinaria y equipos	NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN FILAS	Generación de lixiviados	Recepción de lixiviados	Tratamiento de lixiviados	Descarga a cuerpo receptor	NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN FILAS	Cierre del relleno sanitario	Demolición de infraestructuras	Nivelación de suelo	Adecuación a su posterior uso	NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN FILAS
AB1	Abiótico	Aire	Calidad del aire	-	-	-	-	-	-	-	-	7,00	-	-	-	-	3,00	-	-	-	-	3,00	
AB			Nivel sonoro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,00	-	-	-	-	2,00	-	-	-	-	3,00
AB3		Agua	Olores											-	-	-		3,00					
AB4			Balance hídrico														-	1,00					
AB5			Aguas superficiaes									-	1,00				-	1,00					
AB6			Aguas subterráneas											-			-	2,00					
AB7			Suelo	Calidad del suelo	-	-	-		-	-			6,00	-				1,00					
AB8		Erosión		-	-	-						2,00										2,00	
AB9		Geomorfología		-	-	-						3,00									+	1,00	
BO1	Biótico	Flora	Vegetacion	-	-	-		-			4,00									+	2,00		
BO2		Fauna	Ecosistemas acuáticos												-	1,00							
BO3			Mastofauna	-	-	-	-					4,00	-			-	2,00	+			+	2,00	
BO4			Avifauna	-	-	-	-					4,00	-				1,00	+			+	2,00	
ANT1	Antrópico	Infraestructura	Paisaje	-	-	-	-	-			6,00	-				1,00	+	+		+	3,00		
ANT 2			Red Vial	-	+	-	-					4,00						+				1,00	
ANT3		Humano	Salud pública	-	-	-	-	-	-	-	8,00	-	-	-		3,00	+	-	-	+	4,00		
ANT4			Calidad de vida	-	-	-	-	-	-	-	6,00	-	-	-		3,00	+	+		+	3,00		
ANT5			Salud ocupacional	-	-	-	-	-	-	-	-	8,00	-	-	-		3,00	+	-	-	+	4,00	
ANT6			Generación de empleos	+	+	+	+	+	+	+	+	9,00	+	+	+	+	4,00	+	+	+	+	4,00	
NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN COLUMNAS				14,00	13,00	13,00	10,00	9,00	5,00	5,00	3,00	6,00	79,00	12,00	7,00	5,00	7,00	31,00	10,00	7,00	5,00	9,00	34,00

Matriz N°2, Extensión de impactos ambientales Construcción y Operación Planta de Tratamiento de Lixiviados

Código	Componente	Subcomponente	Factor Ambiental	FASE DE CONSTRUCCIÓN								FASE DE OPERACIÓN				FASE DE CIERRE								
				Desbroce	Construcción de vías acceso	Movimiento de tierras	Desalajo de tierra	Colocación de geomembrana	Almacenamiento temporal tierra	Transporte de materiales de construcción	Instalación de bombas	Mantenimiento de maquinaria y equipos	NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN FILAS	Generación de lixiviados	Recepción de lixiviados	Tratamiento de lixiviados	Descarga a cuerpo receptor	NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN FILAS	Cierre del relleno sanitario	Demolición de infraestructuras	Nivelación de suelo	Adecuación a su posterior uso	NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN FILAS	
AB1	Abiótico	Aire	Calidad del aire	1,00	2,50	5,00	2,50	1,00	2,50	1,00			1,00	1,00		1,00		5,00	5,00	1,00				
AB			Nivel sonoro	5,00	2,50	2,50	2,50	1,00	1,00	2,50				1,00	1,00				1,00	5,00	2,50			
AB3			Olores											2,50	2,50	2,50								
AB4		Agua	Balance hídrico														5,00							
AB5			Aguas superficiaes									1,00					5,00							
AB6			Aguas subterráneas											1,00			1,00							
AB7		Suelo	Calidad del suelo	2,50	2,50	5,00		1,00	1,00			2,50		1,00										
AB8			Erosión	1,00		2,50																		
AB9			Geomorfología	2,50	2,50	5,00																	5,00	
BO1	Biótico	Flora	Vegetacion	5,00	2,50	5,00		2,50														5,00		
BO2		Fauna	Ecosistemas acuáticos													5,00								
BO3			Mastofauna	5,00	2,50	2,50	1,00							1,00			1,00		5,00			5,00		
BO4			Avifauna	5,00	1,00	1,00	1,00							2,50					5,00				5,00	
ANT1	Antrópico	Infraestructura	Paisaje	2,50	2,50	5,00	2,50	1,00	1,00				2,50					5,00	5,00		5,00			
ANT2			Red Vial	2,50	2,50	2,50	1,00											2,50						
ANT3		Humano	Salud pública	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00	2,50	2,50		2,50	2,50	2,50		5,00	2,50	2,50	5,00			
ANT4			Calidad de vida	2,50	2,50	1,00	1,00	1,00				2,50		2,50	2,50	2,50		5,00	5,00		5,00			
ANT5			Salud ocupacional	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50		2,50	2,50	2,50		2,50	2,50	2,50		2,50	5,00	2,50	5,00			
ANT6			Generación de empleos	2,50	5,00	2,50	2,50	5,00	2,50	2,50	5,00	5,00		5,00	5,00	5,00	1,00		2,50	2,50	2,50	2,50		
NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN COLUMNAS																								

Matriz N°3, Duración de impactos ambientales Construcción y Operación Planta de Tratamiento de Lixiviados

Código	Componente	Subcomponente	Factor Ambiental	FASE DE CONSTRUCCIÓN								FASE DE OPERACIÓN				FASE DE CIERRE								
				Desbroce	Construcción de vías acceso	Movimiento de tierras	Desalojo de tierra	Colocación de geomembrana	Almacenamiento temporal tierra	Transporte de materiales de construcción	Instalación de bombas	Mantenimiento de maquinaria y equipos	NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN FILAS	Generación de lixiviados	Recepción de lixiviados	Tratamiento de lixiviados	Descarga a cuerpo receptor	NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN FILAS	Cierre del relleno sanitario	Demolición de infraestructuras	Nivelación de suelo	Adecuación a su posterior uso	NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN FILAS	
AB1	Abiótico	Aire	Calidad del aire	1,00	2,50	2,50	1,00	1,00	2,50	1,00				2,50	2,50		1,00		5,00	5,00	1,00			
AB			Nivel sonoro	2,50	2,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00					1,00	1,00				1,00	2,50	1,00		
AB3			Olores													7,50	7,50	7,50						
AB4		Agua	Balance hídrico															5,00						
AB5			Aguas superficiaes									2,50						7,50						
AB6			Aguas subterráneas												1,00			1,00						
AB7		Suelo	Calidad del suelo	2,50	7,50	2,50		7,50	2,50			2,50			1,00									
AB8			Erosión	1,00		2,50																		
AB9			Geomorfología	5,00	5,00	5,00																		5,00
BO1	Biótico	Flora	Vegetacion	5,00	5,00	5,00		7,50														5,00		
BO2		Fauna	Ecosistemas acuáticos														5,00							
BO3			Mastofauna	5,00	2,50	5,00	1,00								2,50			1,00		5,00			5,00	
BO4			Avifauna	5,00	1,00	1,00	1,00									2,50				5,00				5,00
ANT1	Antrópico	Infraestructura	Paisaje	5,00	5,00	5,00	2,50	1,00	1,00					7,50					10,00	2,50			10,00	
ANT 2			Red Vial	5,00	5,00	2,50	1,00												10,00					
ANT3		Humano	Salud pública	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00	2,50	2,50			5,00	5,00	5,00			10,00	2,50	2,50	10,00	
ANT4			Calidad de vida	2,50	5,00	1,00	1,00	1,00					2,50		5,00	5,00	5,00			10,00	2,50		10,00	
ANT5			Salud ocupacional	2,50	5,00	2,50	2,50	2,50			2,50	2,50	2,50			5,00	5,00	5,00			2,50	2,50	2,50	1,00
ANT6			Generación de empleos	2,50	2,50	2,50	2,50	5,00	2,50	2,50	2,50	5,00				5,00	5,00	5,00	1,00			2,50	2,50	2,50
NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN COLUMNAS																								

Matriz N°4, Reversibilidad de impactos ambientales Construcción y Operación Planta de Tratamiento de Lixiviados

Código	Componente	Subcomponente	Factor Ambiental	FASE DE CONSTRUCCIÓN										FASE DE OPERACIÓN				FASE DE CIERRE					
				Desbroce	Construcción de vías acceso	Movimiento de tierras	Desalojo de tierra	Colocación de geomembrana	Almacenamiento temporal tierra	Transporte de materiales de construcción	Instalación de bombas	Mantenimiento de maquinaria y equipos	NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN FILAS	Generación de lixiviados	Recepción de lixiviados	Tratamiento de lixiviados	Descarga a cuerpo receptor	NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN FILAS	Cierre del relleno sanitario	Demolición de infraestructuras	Nivelación de suelo	Adecuación a su posterior uso	NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN FILAS
AB1	Abiótico	Aire	Calidad del aire	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00				1,00	1,00		1,00		1,00	1,00	1,00		
AB			Nivel sonoro	1,00	2,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00				1,00	1,00			1,00	1,00	1,00			
AB3			Olores												5,00	5,00	5,00						
AB4	Abiótico	Agua	Balance hídrico														2,50						
AB5			Aguas superficiaes									1,00					5,00						
AB6			Aguas subterráneas											1,00			1,00						
AB7	Abiótico	Suelo	Calidad del suelo	2,50	5,00	2,50		7,50	1,00			2,50		1,00									
AB8			Erosión	1,00		1,00																	
AB9			Geomorfología	5,00	5,00	2,50																10,00	
BO1	Biótico	Flora	Vegetación	2,50	7,50	2,50		7,50														10,00	
BO2		Fauna	Ecosistemas acuáticos														5,00						
BO3			Mastofauna	2,50	2,50	2,50	1,00							1,00			1,00			5,00		5,00	
BO4			Avifauna	5,00	1,00	1,00	1,00								2,50					5,00		5,00	
ANT1	Antrópico	Infraestructura	Paisaje	5,00	5,00	5,00	2,50	7,50	1,00					7,50					10,00	1,00		10,00	
ANT 2			Red Vial	2,50	7,50	1,00	1,00												2,50				
ANT3		Humano	Salud pública	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00	2,50	2,50		1,00	1,00	1,00			10,00	1,00	1,00	10,00	
ANT4			Calidad de vida	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00				2,50		2,50	2,50	2,50			5,00	5,00		5,00	
ANT5			Salud ocupacional	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00	1,00	1,00			1,00	1,00	1,00	1,00	
ANT6			Generación de empleos	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		5,00	5,00	5,00	1,00		1,00	1,00	1,00	1,00	
NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN COLUMNAS																							

Matriz N°5, Intensidad de impactos ambientales Construcción y Operación Planta de Tratamiento de Lixiviados

Código	Componente	Subcomponente	Factor Ambiental	FASE DE CONSTRUCCIÓN								FASE DE OPERACIÓN				FASE DE CIERRE							
				Desbroce	Construcción de vías acceso	Movimiento de tierras	Desalojo de tierra	Colocación de geomembrana	Almacenamiento temporal tierra	Transporte de materiales de construcción	Instalación de bombas	Mantenimiento de maquinaria y equipos	NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN FILAS	Generación de lixiviados	Recepción de lixiviados	Tratamiento de lixiviados	Descarga a cuerpo receptor	NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN FILAS	Cierre del relleno sanitario	Demolición de infraestructuras	Nivelación de suelo	Adecuación a su posterior uso	NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN FILAS
AB1	Abiótico	Aire	Calidad del aire	1,00	2,50	5,00	2,50	1,00	2,50	1,00			1,00	1,00		1,00	5,00	5,00	1,00				
AB			Nivel sonoro	5,00	2,50	2,50	2,50	1,00	1,00	2,50				1,00	1,00			1,00	5,00	2,50			
AB3			Olores											2,50	2,50	2,50							
AB4		Agua	Balance hídrico														5,00						
AB5			Aguas superficiaes								1,00						5,00						
AB6			Aguas subterráneas											1,00			1,00						
AB7		Suelo	Calidad del suelo	2,50	2,50	5,00		1,00	1,00			2,50		1,00									
AB8			Erosión	1,00		2,50																	
AB9			Geomorfología	2,50	2,50	5,00																5,00	
BO1	Biótico	Flora	Vegetacion	5,00	2,50	5,00		2,50													5,00		
BO2		Fauna	Ecosistemas acuáticos													5,00							
BO3			Mastofauna	5,00	2,50	2,50	1,00							1,00			1,00				5,00	5,00	
BO4			Avifauna	5,00	1,00	1,00	1,00								2,50							5,00	5,00
ANT1	Antrópico	Infraestructura	Paisaje	2,50	2,50	5,00	2,50	1,00	1,00					2,50						5,00	5,00	5,00	
ANT 2			Red Vial	2,50	2,50	2,50	1,00											2,50					
ANT3		Humano	Salud pública	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00	2,50	2,50		2,50	2,50	2,50				5,00	2,50	2,50	5,00
ANT4			Calidad de vida	2,50	2,50	1,00	1,00	1,00				2,50		2,50	2,50	2,50				5,00	5,00		5,00
ANT5			Salud ocupacional	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50		2,50	2,50	2,50		2,50	2,50	2,50				2,50	5,00	2,50	5,00
ANT6			Generación de empleos	2,50	5,00	2,50	2,50	5,00	2,50	2,50	5,00	5,00		5,00	5,00	5,00	1,00			2,50	2,50	2,50	2,50
NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN COLUMNAS																							

Matriz N°6, Magnitud de impactos ambientales Construcción y Operación Planta de Tratamiento de Lixiviados

Código	Componente	Subcomponente	Factor Ambiental	FASE DE CONSTRUCCIÓN								FASE DE OPERACIÓN				FASE DE CIERRE								
				Desbroce	Construcción de vías acceso	Movimiento de tierras	Desalojo de tierra	Colocación de geomenbrana	Almacenamiento temporal tierra	Transporte de materiales de construcción	Instalación de bombas	Mantenimiento de maquinaria y equipos	NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN FILAS	Generación de lixiviados	Recepción de lixiviados	Tratamiento de lixiviados	Descarga a cuerpo receptor	NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN FILAS	Cierre del relleno sanitario	Demolición de infraestructuras	Nivelación de suelo	Adecuación a su posterior uso	NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN FILAS	
AB1	Abiótico	Aire	Calidad del aire	1,00	2,50	4,50	2,20	1,00	2,50	1,00			1,30	1,30		1,00		5,00	5,00	1,00				
AB			Nivel sonoro	4,50	2,50	2,20	2,20	1,00	1,00	2,20				1,00	1,00				1,00	4,50	2,20			
AB3			Olores											3,50	3,50	3,50								
AB4		Agua	Balance hídrico														5,00							
AB5			Aguas superficiaes									1,30					5,50							
AB6			Aguas subterráneas											1,00			1,00							
AB7		Suelo	Calidad del suelo	2,50	3,50	4,50		2,30	1,30				2,50		1,00									
AB8			Erosión	1,00		2,50																		
AB9			Geomorfología	3,00	3,00	5,00																	5,00	
BO1	Biótico	Flora	Vegetacion	5,00	3,00	5,00		3,50														5,00		
BO2		Fauna	Ecosistemas acuáticos													5,00								
BO3			Mastofauna	5,00	2,50	3,00	1,00							1,30			1,00		5,00				5,00	
BO4			Avifauna	5,00	1,00	1,00	1,00								2,50				5,00					5,00
ANT1	Antropico	Infraestructura	Paisaje	3,00	3,00	5,00	2,50	1,00	1,00					3,50				6,00	4,50			6,00		
ANT 2			Red Vial	3,00	3,00	2,50	1,00												4,00					
ANT3		Humano	Salud pública	1,80	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00	2,50	2,50		3,00	3,00	3,00		6,00	2,50	2,50	6,00			
ANT4			Calidad de vida	2,50	3,00	1,00	1,00	1,00				2,50		3,00	3,00	3,00		6,00	4,50			6,00		
ANT5			Salud ocupacional	2,50	3,00	2,50	2,50	2,50		2,50	2,50	2,50		3,00	3,00	3,00		2,50	4,50	2,50	4,20			
ANT6			Generación de empleos	2,50	4,50	2,50	2,50	5,00	2,50	2,50	4,50	5,00		5,00	5,00	5,00	1,00		2,50	2,50	2,50	2,50		
NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN COLUMNAS																								

Matriz N°7, Importancia de impactos ambientales Construcción y Operación Planta de Tratamiento de Lixiviados

Código	Componente	Subcomponente	Factor Ambiental	FASE DE CONSTRUCCIÓN									FASE DE OPERACIÓN				FASE DE CIERRE							
				Desbroce	Construcción de vías acceso	Movimiento de tierras	Desalojo de tierra	Colocación de geomembrana	Almacenamiento temporal tierra	Transporte de materiales de construcción	Instalación de bombas	Mantenimiento de maquinaria y equipos	NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN FILAS	Generación de lixiviados	Recepción de lixiviados	Tratamiento de lixiviados	Descarga a cuerpo receptor	NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN FILAS	Cierre del relleno sanitario	Demolición de infraestructuras	Nivelación de suelo	Adecuación a su posterior uso	NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN FILAS	
AB1	Abiótico	Aire	Calidad del aire	1,00	1,98	2,60	1,38	1,00	1,98	1,00				1,60	1,60		1,00		3,60	3,60	1,00			
AB			Nivel sonoro	2,60	2,50	1,38	1,38	1,00	1,00	1,38					1,00	1,00				1,00	2,60	1,38		
AB3			Olores												5,38	5,38	5,38							
AB4		Agua	Balance hídrico															4,13						
AB5			Aguas superficiaes								1,60							6,00						
AB6			Aguas subterráneas												1,00			1,00						
AB7		Suelo	Calidad del suelo	2,50	5,38	3,13		5,88	1,60			2,50		1,00										
AB8			Erosión	1,00		1,98																		
AB9			Geomorfología	4,38	4,38	4,13																		6,75
BO1	Biótico	Flora	Vegetacion	4,13	5,25	4,13		6,25															6,75	
BO2		Fauna	Ecosistemas acuáticos														5,00							
BO3			Mastofauna	4,13	2,50	3,50	1,00							1,60			1,00		5,00				5,00	
BO4			Avifauna	5,00	1,00	1,00	1,00							2,50					5,00					5,00
ANT1	Antrópico	Infraestructura	Paisaje	4,38	4,38	5,00	2,50	3,28	1,00					6,25					8,75	2,60			8,75	
ANT2			Red Vial	3,50	5,25	1,98	1,00												5,50					
ANT3		Humano	Salud pública	2,60	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00	2,50	2,50		2,98	2,98	2,98			8,75	1,98	1,98		8,75	
ANT4			Calidad de vida	1,98	2,98	1,00	1,00	1,00				2,50		3,50	3,50	3,50			7,00	4,00			7,00	
ANT5			Salud ocupacional	1,98	2,98	1,98	1,98	1,98	0,35	1,98	1,98	1,98		2,98	2,98	2,98			1,98	2,60	1,98		2,00	
ANT6			Generación de empleos	1,98	2,60	1,98	1,98	3,60	1,98	1,98	2,60	3,60		5,00	5,00	5,00	1,00		1,98	1,98	1,98		1,98	
NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN COLUMNAS																								

Matriz N°8, Severidad de impactos ambientales Construcción y Operación Planta de Tratamiento de Lixiviados

Código	Componente	Subcomponente	Factor Ambiental	FASE DE CONSTRUCCIÓN									FASE DE OPERACIÓN				FASE DE CIERRE																
				Desbroce	Construcción de vías acceso	Movimiento de tierras	Desalojo de tierra	Colocación de geomembrana	Almacenamiento temporal tierra	Transporte de materiales de construcción	Instalación de bombas	Mantenimiento de maquinaria y equipos	NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN FILAS	Generación de lixiviados	Recepción de lixiviados	Tratamiento de lixiviados	Descarga a cuerpo receptor	NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN FILAS	Cierre del relleno sanitario	Demolición de infraestructuras	Nivelación de suelo	Adecuación a su posterior uso	NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN FILAS										
AB1	Abiótico	Aire	Calidad del aire	1,3	2,6	3,5	1,8	1,3	2,6	1,3			2,1	2,1		1,3		4,8	4,8	1,3		13,00											
			Nivel sonoro	3,5	3,3	1,8	1,8	1,3	1,3	1,8				1,3	1,3				1,3	3,5	1,8		12,00										
AB2			Olores										7,2	7,2	7,2								3,00										
AB3		Agua	Balance hídrico													5,5							1,00										
AB4			Aguas superficiaes								2,1					8,0							2,00										
AB5			Aguas subterráneas											1,3			1,3						2,00										
AB6		Suelo	Calidad del suelo	3,3	7,2	4,2		7,8	2,1		3,3		1,3										7,00										
AB7			Erosión	1,3		2,6																	2,00										
AB8	Geomorfología		5,8	5,8	5,5																9,0	4,00											
BO1	Biótico	Flora	Vegetacion	5,5	7,0	5,5		8,3													9,0	5,00											
BO3		Fauna	Ecosistemas acuáticos													6,7							1,00										
BO4			Mastofauna	5,5	3,3	4,7	1,3						2,1			1,3		6,7			6,7	8,00											
BO5			Avifauna	6,7	1,3	1,3	1,3							3,3				6,7			6,7	7,00											
ANT1			Antrópico	Infraestructura	Paisaje	5,8	5,8	6,7	3,3	4,4	1,3				8,3					10,0	3,5		10,0	10,00									
ANT 2	Red Vial	4,7			7,0	2,6	1,3											7,3				5,00											
ANT4	Humano	Salud pública		3,5	1,3	1,3	1,3	1,3		1,3	3,3	3,3	4,0	4,0	4,0			10,0	2,6	2,6	10,0	15,00											
ANT5		Calidad de vida		2,6	4,0	1,3	1,3	1,3				3,3	4,7	4,7	4,7			9,3	5,3		9,3	12,00											
ANT6		Salud ocupacional		2,6	4,0	2,6	2,6	2,6	0,5	2,6	2,6	2,6	4,0	4,0	4,0			2,6	3,5	2,6	2,7	16,00											
ANT9	Generación de empleos	2,6	3,5	2,6	2,6	4,8	2,6	2,6	3,5	4,8		6,7	6,7	6,7	1,3		2,6	2,6	2,6	2,6	17,00												
NUMERO DE IMPACTOS SEGÚN COLUMNAS				14,00	13,00	14,00	10,00	9,00	6,00	5,00	3,00	6,00		12,00	7,00	5,00	7,00		10,00	7,00	5,00	9,00	142,00										
IMPACTOS				CANTIDAD									%	CANTIDAD				%	CANTIDAD				%										
ALTAMENTE SIGNIFICATIVOS				7,6 a 10									0,0	0,0	0,0	0,0	2,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,00	2,00	0,0	0,0	0,0	5,00	8,00				
SIGNIFICATIVOS				5,1 a 7,5									5,00	5,00	3,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,00	1,00	2,00	1,00	2,00	6,00	3,00	1,00	0,0	2,00	6,00
DESPRECIABLES				2,6 a 5									6,00	6,00	7,00	3,00	3,00	2,00	2,00	3,00	5,00	32,00	4,00	3,00	3,00	0,0	10,00	3,00	6,00	3,00	2,00	14,00	
BENEFICOS				0 a 2,5									3,00	2,00	4,00	7,00	4,00	4,00	3,00	0,0	1,00											3,00	
												75,00										28,00					31,00						

12,00
25,00
56,00
41,00
134,00

IMPACTOS	% de interacciones
ALTAMENTE SIGNIFICATIVOS	8,96
SIGNIFICATIVOS	18,66
BENEFICOS	30,60

3.1.9 Propuesta

Para la realización de la propuesta del rediseño de la planta de tratamiento de lixiviados del Complejo Ambiental para la Disposición Final de Residuos Sólidos del Cantón Santo Domingo, se realizó la caracterización del lixiviado producido, la evaluación estructural, funcional y de eficiencia de los tratamientos implementados, la determinación del caudal de lixiviado generado, el análisis del terreno y la disponibilidad económica del GAD. Municipal Santo Domingo, factores que se tomaron en cuenta para el rediseño de la planta.

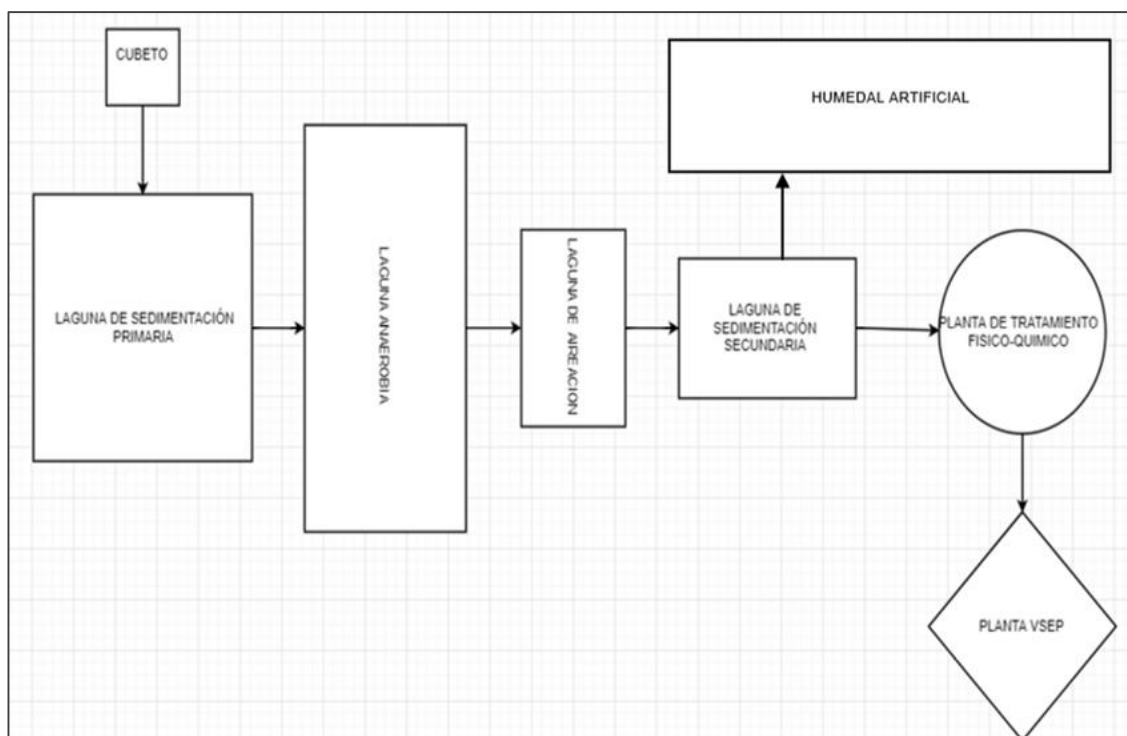


Figura 1-3: Rediseño de la planta de tratamiento de lixiviados del complejo ambiental

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

La solución propuesta consta de:

3.1.9.1 Optimización de la planta de tratamiento de lixiviado.

- **Tratamiento primario**

El caudal que trata esta etapa es de 120 m³/día, de acuerdo con el cálculo el caudal generado es de 116 m³/día lo que indica que este método de tratamiento es apto para la cantidad de lixiviado producido. Por lo que se realiza la optimización e implementación de un buen manejo de las lagunas.

Laguna de Sedimentación Primaria.

Para que esta etapa cumpla con su rango de eficiencia de 30-40 %, se dará mantenimiento a la instalación que consistirá en el vaciado de la piscina, la limpieza y desalojo de los lodos, el lixiviado será transportado al módulo para realizar esta actividad. Se capacitará al encargado que opera en el tratamiento primario para que se cumpla con el bombeo de 120 m³/día de lixiviado que es el caudal para el que está diseñada la laguna y realice el desalojo de los lodos sedimentados cada 15 días como lo indica el informe técnico proporcionado por (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Laguna Anaerobia

Para cumplir con el rango de eficiencia de 30-50 %, se dará mantenimiento a la instalación que consistirá en el vaciado de la piscina, la limpieza y desalojo de los lodos, el lixiviado será transportado al módulo para realizar esta actividad. Se adicionará bacterias anaerobias que ya se encuentran adquiridas por el GAD municipal Santo Domingo, en la dosis recomendada por la casa comercial donde son adquiridas para obtener un mejor resultado de degradación. Se capacitará al encargado que opera en el tratamiento primario para que se cumpla con el bombeo de 120 m³/día de lixiviado que es el caudal de diseño que soporta la laguna y realice el desalojo de los lodos cada 15 días, como lo indica el informe técnico proporcionado por (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Laguna de Aireación

Para que esta etapa cumpla con su rango de eficiencia de 80 – 95 %, se dará mantenimiento a la instalación que consistirá en el vaciado de la piscina, la limpieza y desalojo de de los lodos, el lixiviado será transportado al módulo para la realización de esta actividad. Se probará el funcionamiento de los blowers y se les se dará mantenimiento, en caso de daño se realizará el cambio de los mismos. Se adicionará bacterias aerobias que ya se encuentran adquiridas por el GAD municipal Santo Domingo, en la dosis recomendada por la casa comercial donde son adquiridas para obtener un mejor resultado de degradación. Se capacitará al encargado que ópera en el tratamiento primario para que se cumpla con el bombeo de 120 m³/día de lixiviado que es el caudal de diseño que soporta la laguna y realice el desalojo de los lodos cada 15 días, como lo indica el informe técnico proporcionado por (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Laguna de Sedimentación Secundaria

Para cumplir con el rango de eficiencia de 30-40 %, se dará mantenimiento a la instalación que consistirá en el vaciado de la piscina, la limpieza y desalojo de de los lodos, el lixiviado será transportado al módulo para la realización de esta actividad. Se capacitará al encargado que ópera en el tratamiento primario para que se cumpla con el bombeo de 120 m³/día de lixiviado que es el caudal para el que está diseñada la laguna y realice el desalojo de los lodos sedimentados cada 15 días, como lo indica el informe técnico proporcionado por (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Planta Físico - Química

Para obtener un buen funcionamiento de la Planta Físico – Química se va adquirir una bomba dosificadora de caudal la cual permitirá bombear 12 m³/hora de lixiviado que es el caudal para el cual está diseñada la planta. A la salida del tanque ecualizador se colocará coagulante y se adicionará el floculante, luego se producirá el mezclado por medio del sistema de bandejas y será bombeado hacia el

tanque floculador – sedimentador donde se mantendrá durante 1 hora para que se produzca la separación del floculo sedimentado, periódicamente por un tiempo de 10 segundos se realizará las purgas de fondo cada media hora de acuerdo con lo dispuesto en el informe técnico proporcionado por (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014) utilizando la válvula del fondo del tanque con la finalidad de evacuar los sólidos sedimentados producto de este proceso. El lixiviado tratado será enviado a un tanque de reserva que tiene una capacidad de 15m³ que se modificará colocándole gravas entre 2 y 64 milímetros por el que pasará el lixiviado para ser enviado a un filtro de arena y luego a un filtro de carbón donde culminará el tratamiento físico-químico.

El tratamiento físico químico trata 90 m³ /día de lixiviado.

Planta VSEP

La optimización de esta etapa se basará en la activación y mejora del tratamiento primario y planta físico – química. Debido a que actualmente la planta VSEP trata lixiviado crudo lo que incrementa el mantenimiento, el uso de químicos de limpieza y la disminución del tiempo de vida útil de las membranas de 4 a 5 años a 2 años.

3.1.9.2 Diseño de las nuevas etapas

- Se modificará el tanque de reserva de la planta Físico-Química colocándole medio metro de gravas de 2 y 64 milímetros.
- Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la caracterización, la evaluación de la eficiencia de los tratamientos implementados, la evaluación estructural y funcional, el caudal de lixiviado generado, la disponibilidad de terreno y la búsqueda de un tratamiento que sea eficiente y viable económicamente que cubra con los requerimientos de una mejora paisajística, amortiguamiento de fluctuaciones de caudales y eliminación de contaminantes exigidos por el GAD. Municipal Santo Domingo se propone el diseño de un humedal artificial.

3.1.9.3 Cálculos del rediseño de la planta

Humedal artificial

- Caudal de diseño

El caudal que ingresará al humedal artificial será bombeado desde la laguna de sedimentación secundaria. Por lo que se recomienda la instalación de una bomba superficial dosificadora de caudal intermitente para líquidos efluentes de 10 HP, 400V, 60 Hz garantía mínima 1 año con caudal máximo de operación de 13 m³/hora.

El caudal que se utilizará para los cálculos es el siguiente:

Se genera 116 m³/día de lixiviado que es enviado a la etapa del tratamiento primario, luego la etapa de la planta físico química tratará 90 m³/día que es el que requiere la planta VSEP para su funcionamiento.

Por lo que el caudal sobrante de 26 m³/día será tratado por un humedal artificial sub superficial de flujo vertical.

- Cálculo de la constante de reacción de primer orden (k_T).

Ecuación 21-1

$$K_T = 1.104 * 1.06^{T-20}$$

Donde

$$T_2 = 28 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$K_T = 1.104 * 1.06^{28-20}$$

$$K_T = 1.759 \text{ d}^{-1}$$

- Cálculo del área

El cálculo del área se lo realiza en función a la DBO₅.

Ecuación 22-1

$$AS = \frac{Q * \ln\left(\frac{C_o}{C}\right)}{K_T * h * p}$$

Donde

Q: 26 m³/día

C: 1625,6 mg/L ver Tabla 10-3

Co: 100 mg/L valor asumido como límite permisible de descarga ver Tabla 12-3

K_T: 1.759 d⁻¹

h: 0.60 m

p: porosidad del medio granular (% expresado en fracción).

El valor de la porosidad del medio granular se determina asumiendo un valor de la tabla 4-2 de acuerdo al diámetro del material utilizado en cada capa del lecho

Ecuación 25-1

P prom = porosidad de arena gruesa + porosidad de arena gravosa +
porosidad de grava media/3

$$P \text{ prom} = \frac{30 + 33 + 38}{3}$$

$$\mathbf{P \text{ prom}} = 33.6 = 0.336$$

$$\mathbf{AS} = \frac{26 \text{ m}^3/\text{día} * \text{Ln}\left(\frac{100 \text{ mg/L}}{1625.6 \text{ mg/L}}\right)}{1.759 \text{ d}^{-1} * 0.6\text{m} * 0.336}$$

$$\mathbf{AS} = 45.667 \text{ m}^2$$

- Cálculo del tiempo de retención

Ecuación 23-1

$$\mathbf{THR} = \frac{As * h * p}{Q}$$

Donde

As: 45.667m²

h: 0.60 m

p: 0.336

Q: 26 m³/día

$$\mathbf{THR} = \frac{45.667\text{m}^2 * 0.60 \text{ m} * 0.336}{26 \text{ m}^3 / \text{día}}$$

$$\mathbf{THR} = 0.354 \text{ dia}$$

- Cálculo del ancho del humedal

Ecuación 24-1

$$W = \frac{1}{h} * \left(\frac{(Q)(As)}{(s)(Ks)} \right)^{0.5}$$

Donde:

Q: 26 m³/día

As: 45.667m²

h: 0.60 m

s: 0.5 % ver tabla 3-2

Ks: Conductividad hidráulica ver tabla 4-2

El valor de conductividad hidráulica se determina mediante un promedio de las Ks de cada una de las capas del lecho se determina mediante:

Ecuación 25-1

Ks = porosidad de arena gruesa + porosidad de arena gravosa + porosidad de grava media/3

$$Ks = \frac{100 + 500 + 10000}{3}$$

Ks =3533.333 m

$$W = \frac{1}{0.60 \text{ m}} * \left(\frac{(26 \text{ m}^3 / \text{día})(45.667\text{m}^2)}{(0.5)(3533.333\text{m}/\text{dia})} \right)^{0.5}$$

$$W = 0.56 \text{ m}$$

- Cálculo del largo del humedal

Ecuación 26-1

$$L = \frac{As}{W}$$

Donde

$$As: 45.667 \text{ m}^2$$

$$W: 0.56 \text{ m}$$

$$L = \frac{45.667 \text{ m}^2}{0.56 \text{ m}}$$

$$L = 81.54 \text{ m}$$

Área superficial real

Ecuación 27-1

$$AS = (L * W)$$

$$AS = (81.54 * 0.56) \text{ m}^2$$

$$AS = 45.662 \text{ m}^2$$

- Cálculo de la cantidad de medio filtrante

Ecuación 28-1

$$\mathbf{Vol} = L * W * H$$

Donde

Vol.: volumen m³

L: 81.54 m

W: 0.56 m

H: ver tabla 5-2

Arena gruesa

h>30cm, diámetro efectivo de 25 a 40mm

$$\mathbf{Vol} = 81.54 * 0.56 * 0.35$$

$$\mathbf{Vol} = 15.981\text{m}^3$$

Arena gravosa

h de 10 a 15 cm diámetro efectivo de 3a10 mm

$$\mathbf{Vol} = 81.54 * 0.56 * 0.12$$

$$\mathbf{Vol} = 5.479 \text{ m}^3$$

Arena grava media

h de 10 cm diámetro efectivo de 20 a 40 mm

$$\mathbf{Vol} = 81.54 * 0.56 * 0.10$$

$$\mathbf{Vol} = 4.566 \text{ m}^3$$

3.1.10 Eficiencia del sistema implementado

Tabla 16-3: Efectividad teórica del Humedad artificial implementado

Efectividad teórica de Humedad artificial sub-superficial de flujo vertical (Heliconia Psittacorum)				
Parámetro	Valores promedio	Eficiencia promedio estimada(%)	Eficiencia del sistema	*Limite permisible para descarga
DBO5	1471,00	98,30	25,01	100
DQO	2986,33	94,00	179,18	200
*AM 097-A, Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce				

Fuente: MONTOYA J, CEBALLOS L, CASAS J, MORATÓ & J. (2010).

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

De acuerdo a los valores obtenidos se puede determinar que con la implementación del humedal artificial sub superficial de flujo vertical se puede llegar a descarga cumpliendo los límites permisibles exigidos por la normativa ambiental vigente.

3.1.11 Propuesta económica del rediseño de la planta de tratamiento de lixiviados

La propuesta de los costó del rediseño se fundamentan en:

Tabla 16-3: Costos de la construcción del humedal artificial de subsuperficial de flujo vertical

Descripción	Unidades	Cantidad	Costo Unitario	Total
Limpieza del terreno	m2	45.66	3.32	151.59
Replanteo y nivelación de estructura	m2	45.66	0.66	30.13
Cubierta impermeable	m2	45.66	4.50	205.47

Bombas de acero inoxidable de 13 m3/h	u	1,00	1.447.20	1447.20
Tubería y accesorios	u	1,00	2.627.88	2627.88
Arena gruesa	m ³	15.98	217.13	3469.7
Arena gravosa	m ³	5.48	400.47	2194.57
Arena grava media	m ³	4.57	430.03	1965.23
Total				12091.77

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

Tabla 16-3: Costos de la modificación del Tratamiento físico - químico

Descripción	Unidades	Cantidad	Costo Unitario	Total
Arena grava media	m ³	0.5	430.03	215.01

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

Tabla 17-3: Costo total del rediseño de la planta de tratamiento de lixiviados

Descripción	Total
Costo de la modificación de la planta de tratamiento físico química	215.01
Costo del humedal artificial	12091.77
Total	12306.78

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado, 2014)

Realizado por: Torres Génesis. F, 2018

CONCLUSIONES

- Una vez realizada la caracterización de la planta de tratamiento de lixiviado se determinó las eficiencias de las tecnologías implementadas, obteniendo como resultado que en el tratamiento primario existe grandes falencias en sus procesos, que se demuestran con los siguientes datos de porcentajes obtenidos: la eficiencia para las lagunas de sedimentación son del 30-40 % de remoción mientras que los valores obtenidos son 0.99% de DBO5 y - 6.23% de DQO de en la laguna de sedimentación primaria y en la laguna de sedimentación secundaria de 9.51 % DBO5 de y 4.80 % DQO, valores que se encuentran muy por debajo de rango ofrecido. Al igual sucede en la laguna de aireación cuya eficiencia es del 80 – 95 % DBO5 y 60 – 70 % DQO obteniendo un porcentaje de remoción de 26.54 % DBO5 y 12.18% DQO valores que no cumplen con el rango de eficiencia, lo mismo pasa en la laguna anaerobia teniendo un porcentaje de remoción de 30-60 % DBO5 y 30-50 % DQO, obteniendo el 14.12% de remoción de DBO5 y el 30.79 % de remoción de DQO. Valores que de muestran que la planta presenta grandes rangos de ineficiencia y concluyendo que esto se produce por la mala operación, la falta de mantenimiento y la falta de capacitación al personal encargado del tratamiento primario.
- Debido a que la Planta de tratamiento Físico – Química no se encuentra actualmente trabajando no se pudo realizar la caracterización del lixiviado por ende no se determinó el porcentaje de eficiencia de remoción de contaminantes.
- Mediante la caracterización se evidenció que la Planta de Tratamiento VSEP, es la única tecnología que cumple con su porcentaje de eficiencia de 90 – 99 %. Debido que se obtuvo una remoción del 97,98% DBO5 y 97,67% DQO, recalando que está planta trata lixiviado crudo lo que produce mayores gastos de reactivos de limpieza y disminuye la vida útil de las membranas que es de 5-4 a rango de 2-1.5 años por lo que se concluye que esta tecnología trabaja óptimamente pero no se la puede tomar como único método de tratamiento debido a que los costos de operación y mantenimiento son muy elevados.

- Mediante la evaluación estructural se determinó las variaciones entre los planos de diseño y los sistemas de tratamientos construidos, se obtuvo como resultado una mínima variación en las medidas de largo y el ancho obteniendo así en la laguna de sedimentación primaria 1.8m menos en la medición de ancho (dato de plano 25 m, dato in situ 23.20 m), en la laguna anaerobia 0.30 m menos en la medición de ancho (dato de plano 20 m, dato in situ 19.70 m), en la laguna de aireación 1 m de aumento tanto en el largo como en el ancho (dato de plano largo 36 m – ancho 15 m, dato in situ largo 37 m – ancho 16 m) y en la laguna de sedimentación secundaria 2.4 m de aumento en el ancho (dato de plano 15 m, dato in situ 17.40 m). Mediante la evaluación funcional se concluyó que todas las lagunas estaban llenas de lodos, que el lixiviado estaba a pocos centímetros del borde, que no se ha dado mantenimiento ni capacitación a los encargados, que se manda un caudal de 250 m³ diarios de lixiviado aproximadamente cuando el caudal de diseño que soporta la planta es de 120 m³ diarios determinando que el tratamiento está siendo operado erróneamente y necesita de mantenimiento urgente, por ende, la eficiencia del sistema no es óptima.
- Se concluye mediante la evaluación estructural y funcional que la planta físico- química no presenta diferencias estructurales entre los planos y la construcción in situ. Se determinó que la planta está paralizada, que no se tenía una dosificación, ni un tipo específico de coagulante y floculante y que el caudal que se bombea es 50 m³/hora de lixiviado (375 m³/día) debido a que no poseen una bomba dosificadora de caudal.
- La planta VSEP no presenta diferencias entre las medidas debido a que es una planta pre fabricada. Por medio de la evaluación estructural se comprobó que la planta trata lixiviado crudo debido a esto las membranas de filtración son dañadas antes de los cuatro años de vida útil y la cantidad de reactivos utilizados para la limpieza triplican el uso normal, el mantenimiento incrementa de 1 vez cada 3 meses a 4 o 5 veces por mes motivos por los cuales los costos de operación son altos. En conclusión, esta planta cumple óptimamente con su grado de eficiencia de remoción de contaminantes siendo el único sistema que funciona correctamente a pesar del aumento de los costos.
- Por medio de la determinación del caudal se concluyó que se produce 116 m³ diarios se concluye que la planta de tratamiento primario es apta para tratar este caudal debido a que soporta 120 m³ / día. La planta físico - química requiere de una bomba dosificadora de caudal puesto que esta trata

12 m³/hora hacia el tanque equalizador tratando 90 m³/día caudal ideal que requiere la planta VSEP para su funcionamiento, esta trata 3.5 a 2.5 m³/hora de lixiviado durante 24 horas, es decir de 84 – 90 m³/día de lixiviado.

- Se realizó una prueba de tratabilidad para la planta físico-química tomando a la turbiedad como medio de verificación de la eficiencia por exigencia técnica de la planta VSEP concluyendo que el policloruro de aluminio es el producto que tuvo una mayor eficiencia en el tratamiento del lixiviado disminuyendo la turbiedad de 78.4 a 36.9 cumpliendo así con el rango de turbiedad exigida por la planta VSEP de 40 NTU, con un pH óptimo de 8, dosis óptima es 500 ppm y una mezcla de 1 minuto a 100 rpm y 3 minutos a 50 rpm.
- Se modificó el tanque de reserva de la planta Físico-Química colocándole medio metro de gravas de 2 y 64 milímetros.
- Se concluyó después del análisis de resultados de los objetivos plantados y en base a la disponibilidad de terreno y la búsqueda de un tratamiento que sea eficiente y viable económicamente que cubra con las exigencias de una mejora paisajística, amortiguamiento de fluctuaciones de caudales, eliminación de contaminantes y requerimientos exigidos por el GAD. Municipal Santo Domingo de no implementar sistemas iguales a los construidos actualmente, se diseñó un humedal artificial para tratar 26 m³/día de lixiviado caudal sobrante del tratamiento primario que no es tratado por la planta físico-químico, ni por la planta VSEP. Obteniendo como resultado un humedal artificial sub superficial de flujo vertical, con un área superficial de 45.662 m², un tiempo de retención de 0.354 días, ancho de 0.56 m, largo de 81.54 m y una cantidad de medio filtrante de arena gruesa 15.981 m³, arena gravosa 5.479 m³, arena grava media 4.566 m³.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda dar mantenimiento inmediato a toda la planta de tratamiento de lixiviados, vaciar las lagunas del tratamiento primario, limpiar los lodos sedimentados.
- Se recomienda verificar el funcionamiento de los aireadores en caso de daño se recomienda el cambio de los mismos.
- Se recomienda cumplir con los caudales de diseño que soporta cada una de las etapas tratamiento primario, planta físico-química y planta VSEP.
- Se recomienda capacitar al personal encargado de cada una de las etapas de tratamiento para obtener un óptimo funcionamiento.
- Se recomienda a las autoridades del GAD. Municipal Santo Domingo aplicar los resultados obtenidos en este trabajo de titulación.
- Se recomienda realizar análisis periódicos del lixiviado producido en cada una de las etapas de tratamiento.
- Se recomienda a las autoridades del GAD. Municipal Santo Domingo realizar pruebas en la planta físico- química mediante procesos de oxidación avanzada con reactivo fenton reemplazando al PCA para verificar el rendimiento de la misma y retirar el proceso de osmosis inversa para minimizar costos.

BIBLIOGRAFÍA

Angélica Sofía Silva; & Hernán Darío Zamora. *Depuración de Aguas Residuales con humedales artificiales.* [En línea] (Tesis) (Ingeniera Ambiental). Universidad Nacional de Colombia sede manisales. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Escuela de Ingeniería Química. Bogotá - Colombia. [En línea] 2005. [Consulta: 2018-03-23]. Disponible en : <http://www.bdigital.unal.edu.co/view/types/thesis.html>.

Abalo, J. & Morales, L. *Veinticinco Heliconias nuevas de Colombia.* *Phytología*, vol. 51, no. 1, 1982, pp.1-61.

Bórdalo, et.al.: "Tecnologías de tratamiento de vertedero (II)". *Dialnet*, Nº. 452, (2007), (Murcia), pp. 204-213.

Brix, H & Arias, C A. *"The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater: New Danish guidelines"*, *Ecological Engineering* , Vol. 25,(2005), Pag. 491–500.

Cheremisnoff, N. "Handbook of water and wastewater treatment technologies". *Butterworth-Heinemann.* (USA),(2002), pp. 636.

Cujia, Maria E. *Análisis del Costo y Eficiencia de los Tratamientos de los lixiviados en los Rellenos Sanitarios de las Ciudades Capitales de Colombia.* (Tesis).(Maestría) Tesis Unisalle, 2001, pp. 54.

Decreto 1713 De 2002. *Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos.*

Decreto 838 de 2005. *Disposición final de residuos sólidos.*

Ehrig, Hans-Jürgen. *Cantidad y Contenidos de Lixiviados de Rellenos de Desechos Domésticos* [En línea]. CEPIS, 2000, España, pp. 4. [Consulta: 2018-02-2]. Disponible en : www.cepis.org.pe.

Fernández, González. *Manual de Fitodepuración, Filtros en macrofitas en flotación.* 2 ed. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 2004, pp. 40-52.

FHIA, Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. *Introducción a ornamentales tropicales*. Honduras, 1995, pp. 131.

García, J. Corzo, A. *Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*. Barcelona-España, 2008, pp. 120-130.

Giraldo, E. "Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: avances recientes", *Revista de Ingeniería*, vol 14, (2001), pp. 44-55.

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal De Santo Domingo. *Complejo ambiental para la disposición final de residuos sólidos del canton santo domingo*. Santo Domingo, 2014.

Instituto Nacional De Meteorología E Hidrología. *Medidas metereologicas*. [En línea] 2007. [Consulta: 2017-06-4]. Disponible en :

<http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>.

Jaramillo, Jorge. "Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales" *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente*, Universidad de Antioquia OPS/CEPIS/PUB/02.93, (2002), (COLOMBIA), pp. 92.

Kadlec & Zmarthie. *Wetland treatment of leachate from a closed landfill*, *Ecological Engineering*, vol. 36, 2010, pp. 946-957.

Lara, J. A. *Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales*. (Tesis).(Maestría).Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, pp. 59-63.

Mosquera-Beltrán, Y & Lara-Borrero J. "Leachate treatment using constructed wetland". *Revista Tumbaga*, (2012), (USA), pp. 7, 73-99.

OPS. *Diagnóstico Preliminar Sectorial Manejo de Residuos Sólidos en Ecuador*. octubre del 2001.

Pilon & Smits. "Phytoremediation" *Annual review of plant biology*.(2005), (USA), págs. 56:15-39.

Santos, A. B, Et.Al. "New records of Heliconia (Heliconiaceae) for the region of Chajul, Southern México, and their potential use in biodiversity-friendly cropping systems" *Revista Mexicana de Biodiversidad*. no. 80,(2009),(Mexico), pp. 857-8.

Saeeda, T; & Sun, G. *A review on nitrogen and organics removal mechanisms in subsurface flow constructed wetlands: Dependency on environmental parameters, operating conditions and supporting media.* Madrid, España: Environmental Management, 2012, pp. 112, 429 – 448.

Secretaría Del Medio Ambiente y Desarrollo Rural. *Guía para el Adecuado Manejo de los Residuos Sólidos y Peligrosos.*

SECRETARIA NACIONAL DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO. *SENPLADES*, [En línea], Santo Domingo, 2007, [Consulta: 2018-04-4]. Disponible en :

<http://app.sni.gob.ec/sni->

Tchobanoglous, George. "Gestión Integral de Residuos Sólido" *Mc Graw Hill.* vol 1. Cit., (Ecuador), (1997), pp. 55.

Toufexi, E. "Environmental and human risk assessment of landfill leachate: An integrated approach with the use of cytotoxic and genotoxic stress indices in mussel and human cells", *Journal of Hazardous Materials.* vol 260, (2013), pp. 593 -601.

TULSMA Presidencia De La Republica Del Ecuador. *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, LIBRO VI ANEXO 1, tabla 12, "Limite de descarga a un cuerpo de agua dulce".*

Vargas, W. *Guía ilustrada de las plantas de las montañas del Quindío y los Andes Centrales.* (Tesis).(Maestría), Universidad de Caldas, Manizales - Colombia, Centro editorial, 2002, pp. 73 -79

Vymazal, J. "Constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republicstate". *ELSEVIR, Water Science and Technology*, Volume 32, Issue 3,(1995),(España), pp. 357-364.

Vymazal. "Removal of nutrients in various types of constructed wetlands", *Sci.Total Environ* , Volume 380, (Issues), (15 Julio 2007), pp. 380, 48-65.

Yalcuk & Ugurlu. *Comparison of horizontal and vertical constructed wetland.* *Bioresource Technology*, 2009, pp. 2521-2526.

Zhi-Xin, N, Et.AL: *Evaluation of phytoextracting cadmium and lead by sunflower, ricinus,alfalfa and mustard in hydroponic culture.* *Journal of environmental, Barcelona, Limusa*, 2007, pp. 19:961-967.

