



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

## **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LIXIVIADOS GENERADOS EN EL BOTADERO DEL CANTÓN FRANCISCO DE ORELLANA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN:**

**TIPO: PROYECTO TÉCNICO**

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTORA: MONTEZUMA NÚÑEZ GÉNESIS DAYANA**

**TUTOR: DR. JOSÉ GERARDO LEÓN CHIMBOLEMA**

Riobamba – Ecuador

2019

**©2019, Génesis Dayana Montezuma Núñez**

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 DE CIENCIAS QUÍMICAS**

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El Trabajo de Titulación: Tipo técnico, titulado “DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LIXIVIADOS GENERADOS EN EL BOTADERO DEL CANTÓN FRANCISCO DE ORELLANA”, de responsabilidad de la señorita Genesis Dayana Montezuma Núñez, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. José Gerardo León Chimbolema <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	_____	_____
Dr. Fausto Manolo Yaulema Garcés <b>MIEMBRO ASESOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	_____	_____

Yo, Génesis Dayana Montezuma Núñez soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Génesis Dayana Montezuma Núñez

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo:

A mis padres Ema Núñez y Julio Montezuma, quienes con su apoyo incondicional han sido el pilar fundamental en mi vida y en toda mi carrera estudiantil, por el ejemplo de constancia y perseverancia que los caracteriza; además de brindarme sus consejos, valores y motivación para ser una persona de bien.

A mi hermana Marilin la mejor hermana del mundo, gracias por haber sido mi amiga, mi guardiana, mi confidente y por apoyarme cuando más necesitaba de ti.

A mi hermano Javier, un excelente hermano, confidente y noble persona, en general gracias por soportarme en todo sentido.

A toda la familia y amigos allegados, por el apoyo y motivación que siempre me brindaron en todo el transcurso de mi carrera universitaria.

Los Ama, Génesis.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme una maravillosa familia, salud y vida que me han permitido alcanzar este objetivo.

A mis Padres por ser los principales promotores de mis sueños; a mi familia querida por el apoyo incondicional brindado en estos años de estudio.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por ser mi segunda casa y un templo de sabiduría que me ayudo a convertirme en una profesional.

A la Municipalidad del Cantón Francisco de Orellana por la apertura y el apoyo en este proyecto de titulación, de manera especial a mi hermana la Ing. Marilin Montezuma Técnica de residuos sólidos, por acompañarme en cada paso de este proyecto.

A mis directores del proyecto, Dr. Gerardo León y el Dr. Fausto Yaulema quienes con su conocimiento y experiencia supieron guiarme en la elaboración del trabajo.

A mis amigos de toda la vida, a las personas especiales y a mis amigos con los que compartí en esta etapa estudiantil, gracias por su amistad, consejos, ánimos y apoyo.

A las personas y amigos que fueron partícipes de este proyecto, ya sea de manera directa o indirecta, gracias por el apoyo brindado durante la ejecución de este trabajo.

No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, a su apoyo, a su amor y a su inmensa bondad, lo complicado de lograr esta meta se ha notado menos. Les agradezco, y hago presente mi gran afecto hacia ustedes, mi hermosa familia, amigos y allegados.

Génesis Dayana Montezuma Núñez

## TABLA DE CONTENIDO

	Páginas
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xx</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xxi</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
<b>1.1. Antecedentes</b> .....	<b>5</b>
<b>1.2. Marco Conceptual</b> .....	<b>6</b>
<b>1.2.1. Disposición final de residuos sólidos urbanos</b> .....	<b>6</b>
1.2.1.1. Botaderos.....	6
1.2.1.2. Vertederos.....	7
1.2.1.3. Relleno sanitario.....	8
<b>1.2.2. Lixiviado</b> .....	<b>9</b>
1.2.2.1. Características y composición de los lixiviados.....	9
1.2.2.2. Muestreo de lixiviados .....	11
<b>1.2.3. Cuantificación del caudal</b> .....	<b>13</b>
1.2.3.1. Método suizo.....	13
<b>1.2.4. Tecnologías de tratamiento de lixiviados</b> .....	<b>14</b>
1.2.4.1. Tratamientos biológicos .....	14
1.2.4.2. Tratamientos físico-químicos .....	15
<b>1.2.5. Etapas del sistema de tratamiento de lixiviados</b> .....	<b>17</b>
1.2.5.1. Pretratamiento.....	17
1.2.5.2. Tratamiento primario .....	18
1.2.5.3. Tratamiento secundario.....	41

1.2.5.4.	<i>Tratamiento terciario o avanzado</i> .....	48
1.2.6.	<i>Normativa Ambiental</i> .....	49

## CAPÍTULO II

<b>2.</b>	<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>51</b>
<b>2.1.</b>	<b>Diagnóstico Zonal</b> .....	<b>51</b>
<b>2.1.1.</b>	<b>Localización del proyecto</b> .....	<b>51</b>
2.1.1.1.	<i>Macro localización</i> .....	51
2.1.1.2.	<i>Micro localización</i> .....	52
<b>2.1.2.</b>	<b>Área de Influencia Directa (AID)</b> .....	<b>52</b>
<b>2.1.3.</b>	<b>Área de Influencia Indirecta (AII)</b> .....	<b>53</b>
<b>2.1.4.</b>	<b>Estado actual del Botadero</b> .....	<b>53</b>
2.1.4.1.	<i>Áreas de servicio</i> .....	54
2.1.4.2.	<i>Vías de acceso</i> .....	55
2.1.4.3.	<i>Sitios de descargas de Basura</i> .....	55
2.1.4.4.	<i>Área de reciclaje</i> .....	56
2.1.4.5.	<i>Recolección y drenaje de lixiviados</i> .....	57
2.1.4.6.	<i>Drenaje pluvial</i> .....	59
2.1.4.7.	<i>Chimenea de biogás</i> .....	59
2.1.4.8.	<i>Densidad de residuos sólidos</i> .....	59
2.1.4.9.	<i>Volumen de residuos sólidos</i> .....	60
2.1.4.10.	<i>Composición de residuos sólidos</i> .....	60
<b>2.2.</b>	<b>Caudal</b> .....	<b>61</b>
<b>2.2.1.</b>	<b>Caudal real o de campo</b> .....	<b>61</b>
<b>2.2.2.</b>	<b>Caudal de diseño</b> .....	<b>61</b>
<b>2.3.</b>	<b>Caracterización físico-química y biológica de lixiviados</b> .....	<b>66</b>
<b>2.3.1.</b>	<b>Muestreo de lixiviados</b> .....	<b>66</b>



2.3.1.1.	<i>Selección de fechas de muestreo</i> .....	66
2.3.1.2.	<i>Identificación de los puntos de muestreo</i> .....	67
2.3.1.3.	<i>Etiquetado de la muestra</i> .....	68
2.3.1.4.	<i>Recepción y registro de la muestra</i> .....	68
<b>2.3.2.</b>	<b><i>Muestreo de parámetros Físico-químicos y Biológicos</i></b> .....	<b>69</b>
2.3.2.1.	<i>Metodología de trabajo</i> .....	69
2.3.2.2.	<i>Materiales y equipos</i> .....	69
2.3.2.3.	<i>Procedimiento</i> .....	70
<b>2.3.3.</b>	<b><i>Medición de parámetros físicos in situ</i></b> .....	<b>71</b>
2.3.3.1.	<i>Metodología de trabajo</i> .....	71
2.3.3.2.	<i>Materiales, equipos y reactivos</i> .....	71
2.3.3.3.	<i>Procedimiento</i> .....	72
<b>2.4.</b>	<b><i>Pruebas de tratabilidad</i></b> .....	<b>73</b>
<b>2.4.1.</b>	<b><i>Coagulación – Flocculación</i></b> .....	<b>73</b>
2.4.1.1.	<i>Prueba de jarras</i> .....	73
<b>2.4.2.</b>	<b><i>Humedal artificial</i></b> .....	<b>77</b>
2.4.2.1.	<i>Impermeabilización del suelo</i> .....	77
2.4.2.2.	<i>Selección de especies vegetales</i> .....	77
2.4.2.3.	<i>Selección de sustratos</i> .....	78
2.4.2.4.	<i>Materiales para la construcción del Humedal artificial</i> .....	78
2.4.2.5.	<i>Procedimiento para la construcción del Humedal artificial</i> .....	79
 <b>CAPÍTULO III</b>		
<b>3.</b>	<b><i>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</i></b> .....	<b>81</b>
<b>3.1.</b>	<b><i>Resultados</i></b> .....	<b>81</b>
<b>3.1.1.</b>	<b><i>Caudal real o de campo</i></b> .....	<b>81</b>
<b>3.1.2.</b>	<b><i>Caracterización inicial físico-química y biológica del lixiviado</i></b> .....	<b>82</b>

3.1.3.	<i>Pruebas de tratabilidad</i> .....	87
3.1.3.1.	<i>Coagulación – Floculación</i> .....	87
3.1.3.2.	<i>Humedal artificial</i> .....	91
3.2.	<b>Propuesta de diseño del sistema de tratamiento de lixiviados</b> .....	93
3.2.1.	<i>Piscinas de almacenamiento</i> .....	94
3.2.2.	<i>Canaleta Parshall</i> .....	94
3.2.3.	<i>Floculador Horizontal</i> .....	95
3.2.4.	<i>Sedimentador convencional rectangular</i> .....	95
3.2.5.	<i>Lechos de secado</i> .....	95
3.2.6.	<i>Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical</i> .....	95
3.3.	<b>Dimensionamiento del Sistema de Tratamiento de Lixiviados</b> .....	96
3.3.1.	<i>Caudal de diseño</i> .....	96
3.3.2.	<i>Piscina de almacenamiento de lixiviados</i> .....	99
3.3.3.	<i>Coagulación – Floculación</i> .....	100
3.3.4.	<i>Canaleta Parshall</i> .....	100
3.3.5.	<i>Floculador Horizontal</i> .....	105
3.3.6.	<i>Sedimentador convencional</i> .....	108
3.3.7.	<i>Lechos de secado</i> .....	111
3.3.8.	<i>Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical</i> .....	112
3.4.	<b>Resultados del Dimensionamiento del Sistema de Tratamiento de Lixiviados</b> .....	114
3.4.1.	<i>Caudal de diseño</i> .....	115
3.4.2.	<i>Piscinas de almacenamiento de lixiviados</i> .....	115
3.4.3.	<i>Coagulación –Floculación</i> .....	115
3.4.4.	<i>Canaleta Parshall</i> .....	116
3.4.5.	<i>Floculador Horizontal</i> .....	116
3.4.6.	<i>Sedimentador convencional</i> .....	117
3.4.7.	<i>Lechos de secado</i> .....	118

<b>3.4.8.</b>	<b><i>Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical.</i></b> .....	<b>118</b>
<b>3.5.</b>	<b>Eficiencia del Sistema de Tratamiento de Lixiviados</b> .....	<b>119</b>
<b>3.6.</b>	<b>Análisis de costos</b> .....	<b>120</b>
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>126</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>128</b>
	<b>GLOSARIO</b>	
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Composición típica del lixiviado de un Relleno Sanitario. ....	10
<b>Tabla 1-2:</b> Parámetros de muestreo de los lixiviados.....	12
<b>Tabla 1-3:</b> Clasificación de rejillas. ....	18
<b>Tabla 1-4:</b> Determinación del ancho de la canaleta Parshall en función del caudal. ....	19
<b>Tabla 1-5:</b> Valores de $K_c$ y $n_c$ de acuerdo al tamaño (W).....	20
<b>Tabla 1-6:</b> Dimensiones estandarizadas de la canaleta Parshall, primera parte. ....	22
<b>Tabla 1-7:</b> Dimensiones estandarizadas de la canaleta Parshall, segunda parte. ....	22
<b>Tabla 1-8:</b> Valores de la relación peso específico y viscosidad absoluta para el agua. ....	28
<b>Tabla 1-9:</b> Relación de sumergencia respecto al ancho de garganta de la canaleta parshall. ....	28
<b>Tabla 1-10:</b> Información usual para el diseño de sedimentadores rectangulares y circulares en el tratamiento primario y secundario, parte 1. ....	35
<b>Tabla 1-11:</b> Información usual para el diseño de sedimentadores rectangulares y circulares en el tratamiento primario y secundario, parte 2. ....	35
<b>Tabla 1-12:</b> Información usual para el diseño de lechos de secado. ....	39
<b>Tabla 1-13:</b> Comparación entre diferentes sistemas de humedales artificiales.....	42
<b>Tabla 1-14:</b> Principales especies de plantas usadas en humedales artificiales.....	43
<b>Tabla 1-15:</b> Materiales empleados en el diseño y construcción de humedales artificiales. ....	44
<b>Tabla 1-16:</b> Información usual para el diseño del Humedal artificial.....	44
<b>Tabla 1-17:</b> Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	49
<b>Tabla 2-1:</b> Ubicación Cartográfica del Botadero. ....	51
<b>Tabla 2-2:</b> Producción total de residuos sólidos en el Cantón Francisco de Orellana. ....	60
<b>Tabla 2-3:</b> Componentes básicos de los residuos sólidos del Cantón Francisco de Orellana. ...	60
<b>Tabla 2-4:</b> Coordenadas de los puntos de muestreo.....	67
<b>Tabla 2-5:</b> Nomenclatura de Muestras. ....	68
<b>Tabla 2-6:</b> Materiales y equipos para el muestreo de parámetros físico-químicos y biológicos.....	69
<b>Tabla 2-7:</b> Materiales, equipos y reactivos para la medición de parámetros físicos in situ. ....	71
<b>Tabla 2-8:</b> Materiales, equipos, reactivos y sustancias para la prueba de jarras. ....	73
<b>Tabla 2-9:</b> Ensayos en la prueba de jarras con $Al_2(SO_4)_3$ . ....	75
<b>Tabla 2-10:</b> Sustratos del humedal.....	78
<b>Tabla 2-11:</b> Materiales para la construcción del Humedal artificial. ....	78
<b>Tabla 3-1:</b> Resultados de la medición de la altura de aumento de lixiviado en las piscinas de almacenamiento. ....	81

<b>Tabla 3-2:</b> Resultados iniciales de la caracterización físico-química y biológica del lixiviado.	82
<b>Tabla 3-3:</b> Parámetros físico-químicos y biológicos que no cumplen con el límite máximo permisible del TULSMA.	87
<b>Tabla 3-4:</b> Resultados de ensayos en prueba de jarras con $Al_2(SO_4)_3$ .	87
<b>Tabla 3-5:</b> Resultados de ensayos de ajuste de pH de acuerdo al rango óptimo del $Al_2(SO_4)_3$ .	89
<b>Tabla 3-6:</b> Porcentajes de remoción de contaminantes, mediante la coagulación con Sulfato de Aluminio.	90
<b>Tabla 3-7:</b> Resultados finales de la caracterización físico-química y biológica del lixiviado, tratado mediante el humedal artificial.	91
<b>Tabla 3-8:</b> Porcentajes de remoción de contaminantes, mediante el humedal artificial.	92
<b>Tabla 3-9:</b> Datos para el cálculo del caudal de diseño.	96
<b>Tabla 3-10:</b> Datos para el cálculo de la piscina de almacenamiento de lixiviados.	99
<b>Tabla 3-11:</b> Datos para el cálculo de la dosificación de coagulante.	100
<b>Tabla 3-12:</b> Datos para el cálculo de la canaleta Parshall.	100
<b>Tabla 3-13:</b> Datos para el cálculo del floculador horizontal.	105
<b>Tabla 3-14:</b> Datos para el cálculo del sedimentador rectangular primario.	108
<b>Tabla 3-15:</b> Datos para el cálculo de lechos de secado.	111
<b>Tabla 3-16:</b> Datos para el cálculo del HAFSSV.	112
<b>Tabla 3-17:</b> Resultados del Caudal de diseño.	115
<b>Tabla 3-18:</b> Dimensiones de la piscina de almacenamiento de lixiviados.	115
<b>Tabla 3-19:</b> Dosificación de Sulfato de Aluminio.	115
<b>Tabla 3-20:</b> Dimensiones de la Canaleta Parshall.	116
<b>Tabla 3-21:</b> Dimensiones del floculador horizontal.	116
<b>Tabla 3-22:</b> Dimensiones del sedimentador rectangular primario.	117
<b>Tabla 3-23:</b> Dimensiones de los lechos de secado.	118
<b>Tabla 3-24:</b> Dimensiones de los humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical.	118
<b>Tabla 3-25:</b> Eficiencia de la Planta de tratamiento de lixiviados.	119
<b>Tabla 3-26:</b> Presupuesto de construcción.	120
<b>Tabla 3-27:</b> Listado de Obra civil.	120
<b>Tabla 3-28:</b> Listado de Materiales.	123
<b>Tabla 3-29:</b> Listado de Mano de obra.	124
<b>Tabla 3-30:</b> Listado de Equipos.	124
<b>Tabla 3-31:</b> Cronograma de construcción.	125

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Botadero de basura.....	6
<b>Figura 1-2:</b> Vertedero controlado. ....	7
<b>Figura 1-3:</b> Relleno sanitario. ....	8
<b>Figura 1-4:</b> Lixiviado. ....	9
<b>Figura 1-5:</b> Parámetros de diseño floculador hidráulico de flujo horizontal, de diferentes autores. ....	29
<b>Figura 1-6:</b> Sedimentador primario rectangular.....	34
<b>Figura 1-7:</b> Clasificación de humedales artificiales según el tipo de macrófitas.....	42
<b>Figura 2-1:</b> Mapa de Ubicación del Botadero del Cantón Francisco de Orellana. ....	52

## INDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía 2-1:</b> Estado actual del Botadero del Cantón Francisco de Orellana.....	53
<b>Fotografía 2-2:</b> Caseta de inspección.....	54
<b>Fotografía 2-3:</b> Vivero forestal.....	54
<b>Fotografía 2-4:</b> Vías de acceso.....	55
<b>Fotografía 2-5:</b> Sitio de descarga de basura.....	56
<b>Fotografía 2-6:</b> Control de olores.....	56
<b>Fotografía 2-7:</b> Piscina de almacenamiento primario de la zona baja del.....	57
<b>Fotografía 2-8:</b> Piscina de almacenamiento secundario de la zona alta del.....	58
<b>Fotografía 2-9:</b> Poza de almacenamiento natural de lixiviado.....	58
<b>Fotografía 2-10:</b> Chimeneas.....	59

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Grafico 2-1:</b> Capas de sustrato del humedal artificial.....	80
<b>Gráfico 3-1:</b> Curva de turbidez vs dosis óptima de $Al_2(SO_4)_3$ .....	88
<b>Grafico 3-2:</b> Curva de color vs dosis óptima de $Al_2(SO_4)_3$ .....	89
<b>Grafico 3-3:</b> Curva de color vs dosis óptima de $Al_2(SO_4)_3$ .....	90
<b>Grafico 3-4:</b> Diagrama de procesos del sistema de tratamiento para lixiviados generados en el Botadero del Cantón Francisco de Orellana.....	94



## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-1:</b> Caudal de lixiviado por método suizo. ....	14
<b>Ecuación 1-2:</b> Altura de diseño canaleta Parshall. ....	20
<b>Ecuación 1-3:</b> Ancho de sección de medición. ....	20
<b>Ecuación 1-4:</b> Velocidad en sección de medición.....	21
<b>Ecuación 1-5:</b> Carga hidráulica disponible. ....	21
<b>Ecuación 1-6:</b> Caudal específico en la garganta de la canaleta Parshall. ....	23
<b>Ecuación 1-7:</b> Ángulo específico en la garganta de la canaleta Parshall. ....	23
<b>Ecuación 1-8:</b> Coseno de alfa.....	23
<b>Ecuación 1-9:</b> Velocidad antes del resalto. ....	24
<b>Ecuación 1-10:</b> Altura de agua antes del resalto. ....	24
<b>Ecuación 1-11:</b> Número de Froude. ....	24
<b>Ecuación 1-12:</b> Altura de resalto.....	25
<b>Ecuación 1-13:</b> Velocidad del resalto. ....	25
<b>Ecuación 1-14:</b> Altura en la sección de salida de la canaleta Parshall. ....	26
<b>Ecuación 1-15:</b> Velocidad en la sección de salida. ....	26
<b>Ecuación 1-16:</b> Pérdida de carga en el resalto. ....	26
<b>Ecuación 1-17:</b> Tiempo de mezcla en el resalto.....	27
<b>Ecuación 1-18:</b> Gradiente de velocidad. ....	27
<b>Ecuación 1-19:</b> Relación de sumergencia. ....	28
<b>Ecuación 1-20:</b> Área de sección del canal. ....	29
<b>Ecuación 1-21:</b> Longitud del canal. ....	30
<b>Ecuación 1-22:</b> Altura de la lámina de agua. ....	30
<b>Ecuación 1-23:</b> Espaciamiento entre los extremos.....	30
<b>Ecuación 1-24:</b> Longitud efectiva del canal.....	31
<b>Ecuación 1-25:</b> Número de canales.....	31
<b>Ecuación 1-26:</b> Longitud del floculador. ....	31
<b>Ecuación 1-27:</b> Radio hidráulico.....	32
<b>Ecuación 1-28:</b> Perdida de carga 1.....	32
<b>Ecuación 1-29:</b> Perdida de carga 2.....	32
<b>Ecuación 1-30:</b> Pérdida de carga total.....	33
<b>Ecuación 1-31:</b> Gradiente de velocidad. ....	33
<b>Ecuación 1-32:</b> Longitud total del sedimentador. ....	36

<b>Ecuación 1-33:</b> Velocidad de sedimentación.....	36
<b>Ecuación 1-34:</b> Área superficial del sedimentador.....	37
<b>Ecuación 1-35:</b> Carga hidráulica.....	37
<b>Ecuación 1-36:</b> Volumen del sedimentador.....	38
<b>Ecuación 1-37:</b> Período de retención hidráulico.....	38
<b>Ecuación 1-38:</b> Volumen diario de lodos digeridos.....	40
<b>Ecuación 1-39:</b> Área del lecho de secado.....	40
<b>Ecuación 1-40:</b> Largo del lecho de secado.....	41
<b>Ecuación 1-41:</b> Constante de reacción de 1er orden.....	45
<b>Ecuación 1-42:</b> Área superficial del humedal.....	45
<b>Ecuación 1-43:</b> Ancho del humedal.....	46
<b>Ecuación 1-44:</b> Largo del humedal.....	46
<b>Ecuación 1-45:</b> Volumen del humedal.....	46
<b>Ecuación 1-46:</b> Tiempo de retención hidráulica del humedal.....	47
<b>Ecuación 1-47:</b> Relación largo - ancho.....	47
<b>Ecuación 1-48:</b> Porcentaje de remoción del parámetro medido.....	48
<b>Ecuación 2-1:</b> Caudal por el método Suizo.....	61
<b>Ecuación 2-2:</b> Población Futura.....	62
<b>Ecuación 2-3:</b> Cobertura del servicio.....	62
<b>Ecuación 2-4:</b> Producción per cápita.....	63
<b>Ecuación 2-5:</b> Cantidad de RSU por día.....	63
<b>Ecuación 2-6:</b> Volumen diario de RSU.....	64
<b>Ecuación 2-7:</b> Volumen anual compactado de RSU.....	64
<b>Ecuación 2-8:</b> Volumen del material de cobertura.....	65
<b>Ecuación 2-9:</b> Volumen del Botadero.....	65
<b>Ecuación 2-10:</b> Volumen proyectado del Botadero.....	65
<b>Ecuación 2-11:</b> Área del Botadero.....	66
<b>Ecuación 2-12:</b> Solución de reserva.....	74
<b>Ecuación 2-13:</b> Dosificación de coagulante.....	76
<b>Ecuación 2-14:</b> Masa de coagulante.....	76
<b>Ecuación 2-15:</b> Índice de Biodegradabilidad.....	77

## **ÍNDICE DE ANEXO**

**ANEXO A:** Cronograma de muestreo.

**ANEXO B:** Etiqueta para muestras.

**ANEXO C:** Cadena de custodia.

**ANEXO D:** Muestreo de parámetros físico-químicos y biológicos.

**ANEXO E:** Medición de parámetros físicos in situ.

**ANEXO F:** Prueba de Jarras con Sulfato de aluminio.

**ANEXO G:** Pruebas piloto de construcción del Humedal artificial.

**ANEXO H:** Informes de resultados, muestreo #1.

**ANEXO I:** Informes de resultados, muestreo #2.

**ANEXO J:** Informes de resultados, muestreo #3.

**ANEXO K:** Informes de resultados, muestreo #4.

**ANEXO L:** Informes de resultados, muestreo #5.

**ANEXO M:** Informe de resultados Muestro #6. Caracterización final del lixiviado.

**ANEXO N:** Informe de resultados Muestreo #7. Caracterización del lixiviado mediante la prueba de tratabilidad de coagulación – floculación.

**ANEXO O:** Tabla de resultados de medición de parámetros físicos de los lixiviados del Botadero del Cantón Francisco de Orellana.

**ANEXO P:** Planos AutoCAD

**ANEXO Q:** Mapa de implantación de la planta de tratamiento de lixiviados en el Botadero del Cantón Francisco de Orellana.

## RESUMEN

Se diseñó un sistema de tratamiento para lixiviados generados en el Botadero del Cantón Francisco de Orellana, con el fin de cumplir con la normativa vigente para límites máximos permisibles de descarga a cuerpos de agua dulce del TULSMA. Se realizó un diagnóstico zonal del Botadero, determinando el método suizo como idóneo para la cuantificación del caudal obteniendo un resultado de 1,73 L/s. Se caracterizó el lixiviado mediante métodos estándar de muestreo de aguas y se obtuvo la caracterización físico-química y biológica del lixiviado, se identificó que los parámetros fuera del límite máximo permisible son: DBO<sub>5</sub> 334,50 mg/L, DQO 836,80 mg/L, Coliformes fecales 911500 NMP/100ml, Coliformes totales 1205000 Col/100ml, Amonio (NH<sub>4</sub>) 161,48 mg/L, Nitrógeno total 308,43 mg/L y Sólidos totales 2697,24 mg/L. Con estos resultados se propuso el sistema de tratamiento de lixiviados, que consta de los siguientes componentes: dos piscinas de almacenamiento, una canaleta parshall, dos floculadores para la etapa de coagulación - floculación con sulfato de aluminio, dos sedimentadores convencionales, dos lechos de secado de lodos con una caja de registro, cuatro humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical empleando pasto alemán y una caja de salida, registro o recirculación del agua tratada. Se determinó la eficiencia de dichos tratamientos mediante pruebas de tratabilidad, dando los siguientes porcentajes de remoción para la coagulación con sulfato de aluminio: DBO<sub>5</sub> 50%, DQO 49,20%, Nitrógeno total 2,09% y Coliformes totales 58%; y los porcentajes de remoción del humedal artificial fueron de: DBO<sub>5</sub> 86 %, DQO 83 %, Nitrógeno total 97 %, Amonio 64 %, Coliformes fecales 99,99 %, Coliformes Totales 99,99 % y Sólidos totales 53 %. Se concluyó que los parámetros se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, evidenciando de esta manera un sistema fiable y viable para el tratamiento de los lixiviados del Botadero del Cantón Francisco de Orellana.

**PALABRAS CLAVES:** <BIOTECNOLOGÍA>, <TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS>, <TRATABILIDAD>, <SULFATO DE ALUMINIO>, <HUMEDAL ARTIFICIAL>, <PASTO ALEMÁN (*Echinochloa Polystachya*)>, <FRANCISCO DE ORELLANA (CANTÓN)>.

## SUMMARY

A treatment system for leachates was designed in the landfill site in Francisco de Orellana Canton in order to comply with valid regulations for maximum permissible discharge limits to freshwater bodies of the TULSMA. A zonal diagnosis of the landfill site was made, determining the Swiss method as suitable for the quantification of the flow obtaining a result of 1, 73 L/s. The leachate was characterized by standard methods of water sampling, and the physical-chemical and biological characterization of the leachate was obtained. Furthermore, the parameters outside the maximum permissible limit were identified; they are: BOD5 334,50 mg/L, COD 836,80 mg/L, Fecal Coliforms 911500 NMP/100ml, Total Coliforms 1205000 Col/100ml, Ammonium (NH<sub>4</sub>) 161.48 mg/L, Total Nitrogen 308,43 mg/L, and total Solids 2697,24 mg/L, with these results, the leachate treatment system was proposed, it has the following components: two storage pools, one parshall gutter, two flocculators for the coagulation stage - aluminum sulphate flocculation, two conventional settling tanks, two drying beds of sludge with a register box, four artificial wetlands of vertical subsurface flow using German grass and an outlet box, register or recirculation of the treated water. The efficiency of these treatments was determined by treatment tests, giving the following removal percentages for coagulation with aluminum sulfate: 50% BOD5, 49,20 % COD, total nitrogen 2,09 % and total coliforms 58%; and the percentages of removal of the artificial wetland were: BOD5 86%, COD5 83%, 97% total nitrogen, 64% ammonium, 99,99 % fecal coliforms , Total Coliforms 99.99% and Total Solids 53%. In conclusion, the parameters are within the maximum permissible limits, evidenced in this way a reliable and viable system for the treatment of the leachate of Francisco de Orellana Canton.

**KEY WORDS:** <BIOTECHNOLOGY>, <LEACHATE TREATMENT>, <TREATABILITY>, <ALUMINUM SULPHATE>, <ARTIFICIAL WETLAND>, <GERMAN GRASS (Echinochloa Polystachya)>, <FRANCISCO DE ORELLANA (CANTON)>.

## INTRODUCCIÓN

En la gran mayoría de las grandes ciudades el acelerado crecimiento demográfico ocasiona un incremento en la demanda de servicios de limpieza, así como la generación de elevadas cantidades de residuos sólidos. La disposición definitiva de los residuos sólidos es, hoy en día, una de las dificultades más importantes que afectan a las sociedades del mundo en términos ambientales.

El cantón Francisco de Orellana se encuentra ubicado al nororiente de la Región Amazónica Ecuatoriana, el área cantonal ocupa una superficie total de 143.6 km<sup>2</sup>, (Andrade et al., 2018). Según datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, el Cantón Francisco de Orellana tiene una población de 42.010 habitantes y representa el 53,4% del total de la Provincia de Orellana. (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010)

El Cantón de Francisco de Orellana, realiza su disposición final de residuos en un Vertedero de residuos controlado, o lo que comúnmente llamamos “botadero de basura a cielo abierto”; que se encuentra ubicado en el km 9 1/2 vía al Auca sector La Paz, este constituye un claro ejemplo de la desvinculación del Estado y los gobiernos locales en los procesos de tratamiento de Residuos Sólidos (RS), lleva en funcionamiento 19 años. Se tiene además inconvenientes en la recolección de basura que, sumado al incremento poblacional, así como al aumento de las actividades comerciales, ocasionan un notable incremento en la generación de los residuos sólidos.

Según, (Chávez, 2011) los lixiviados son el líquido que se filtra a través de los residuos sólidos y que extrae materiales disueltos o en suspensión y es función de múltiples factores, tales como: composición de la basura, la interacción del lixiviado con el medio ambiente, edad y operación del relleno sanitario, (Contreras y Gelvez, 2006). Su contaminación es considerable, presentando un daño directo a suelos y corrientes acuíferas cercanas al sitio de disposición tanto superficiales como subterráneas. Las características del lixiviado especifican su tratamiento, además la cantidad generada también es un punto importante a considerar en el momento de la selección de la tecnología para su tratamiento.

Debido a la carencia de equipamientos técnicamente planificados en el botadero a cielo abierto, se propone la alternativa de formular la propuesta de diseño de un sistema de tratamiento para lixiviados que constara dentro del plan de cierre del botadero, que al momento constituye un foco de contaminación al ambiente; con el objeto de contribuir a mejorar la calidad de vida de la población, recuperando de forma ambiental y socialmente el sitio, permitiendo una interacción social, ambiental y económica positiva de los habitantes de Francisco de Orellana.

## JUSTIFICACIÓN

En la actualidad según el Ministerio del Ambiente (MAE, 2015) “De los 221 Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD’s), el 80% dispone sus residuos en botaderos a cielo abierto, quebradas y orillas de cuerpos de agua, y tan solo un 20% dispone sus residuos en rellenos sanitarios manuales, mecanizados y mancomunados” que no ofrecen del todo un manejo sustentable y una gestión integral, teniendo tan solo el 12% de municipios la Licencia Ambiental otorgada por la Autoridad Ambiental Competente.

Actualmente los municipios gestionan sus RSU con botaderos a cielo abierto no tecnificados para la disposición final de los residuos sólidos; donde se disponen la totalidad de los residuos, que se generan tanto en el área urbana como en el área rural.

Se ha demostrado que para el tratamiento de los lixiviados la aplicación de métodos convencionales con tecnologías nuevas, operando de manera conjunta, tienen mayor eficiencia en la remoción de los contaminantes que si fuese de forma aislada. (Chávez, 2013)

Constituye un interés de la municipalidad del Cantón de Francisco de Orellana, la implementación de un sistema de tratamiento de Lixiviados que busca minimizar los impactos ambientales que pueden o estén generando las descargas de lixiviados a efluentes cercanos; esto como parte del respectivo plan de cierre técnico del Botadero.

La realización del proyecto favorecerá a que la población del Cantón de Francisco de Orellana y sobre todo de quienes habitan en el área de influencia directa del botadero, se beneficien con la propuesta; garantizando que los derechos de los ciudadanos para vivir en un ambiente saludable sean respetados, como lo establece la Constitución de la República del Ecuador, (Asamblea, 2008) *“Artículo 14: Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kawsay. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados”*.



## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar un sistema de tratamiento para lixiviados generados en el Botadero del Cantón Francisco de Orellana.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar las características fisicoquímicas y biológicas de los lixiviados generados en el Botadero del Cantón Francisco de Orellana e identificar el tratamiento biológico adecuado para el sistema.
- Realizar las pruebas de tratabilidad necesarias para la verificación del sistema de tratamiento seleccionado, según la caracterización de los lixiviados generados en el Botadero del Cantón Francisco de Orellana.
- Dimensionar el Sistema de Tratamiento para lixiviados generados en el Botadero del Cantón Francisco de Orellana, hasta generar los planos base en AutoCAD.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Antecedentes

Parte de la contaminación del aire y del agua ha sido atribuida a la gestión inapropiada de los residuos, generando importantes desequilibrios ecológicos donde se ha excedido la capacidad de asimilación natural. El desarrollo de la tecnología propiciada por el ser humano transmite grandes beneficios. El Cantón Francisco de Orellana según el estudio de cantidad y caracterización de residuos en zona residencial, comercial, industrial y centros hospitalarios además de la zona rural hecho por la Consultora Oficina Técnica OTWC presenta una cantidad de basura generada de 58,73 toneladas/día y la cantidad recolectada es de 44,17 toneladas/día.

El botadero a cielo abierto del Cantón Francisco de Orellana, se encuentra ubicado en el km 9 1/2 vía al Auca sector La Paz, donde se inició el depósito de basura desde hace 19 años aproximadamente, sin que exista una plataforma impermeabilizada con un sistema de recolección de líquidos que capte a los lixiviados generados hacia un adecuado tratamiento; constituyendo un foco contaminante a largo tiempo. La generación de los lixiviados se produce debido al agua proveniente de las precipitaciones, escorrentías, composición de la basura, descomposición de la materia orgánica, entre otros, los mismos que se infiltran hacia niveles freáticos, o son vertidos a efluentes cercanos.

Por los antecedentes expuestos el GAD Municipal consciente que es necesario tomar las medidas respectivas de saneamiento del ambiente con el fin de alcanzar un cierre técnico adecuado del botadero de Francisco de Orellana, de acuerdo a lo establecido en los términos de referencia del Acuerdo Ministerial No. 031 publicada el 4 de abril del 2012.

## 1.2. Marco Conceptual

### 1.2.1. Disposición final de residuos sólidos urbanos

#### 1.2.1.1. Botaderos

También conocidos como Vertederos clandestinos o incontrolados, es una de las prácticas de disposición final más antiguas que ha utilizado el hombre para deshacerse de los residuos producidos por la actividad antropogénica. (Garrido, 2008) Estos suelen descargarse sin separación ni tratamiento alguno y suelen colocarse en cualquier explanada retirada, barranco, agujero, margen de río, etc. Los factores del ambiente como el aire, el agua y el suelo son deteriorados por la formación de gases, líquidos lixiviados, polvo y olores nauseabundos. (Báez, 2011)



**Figura 1-1:** Botadero de basura.

Fuente: (Araoz, 2018)

Antiguamente los residuos sólidos urbanos se vertían directamente en las calles, delante de la casa y las zanjas servían de vertedero de animales muertos, aguas negras y todo tipo de residuos. Muchos países latinoamericanos han llegado a los actuales depósitos controlados de residuos a partir de los primeros “botaderos” o lugares donde se votaba la basura. Estas zonas sin ninguna adecuación previa, ningún control del vertido, ni seguimiento de su impacto en el entorno, han sido durante muchos años focos de contaminación que han afectado al aire con

olores desagradables, a las aguas negras fuente de contaminación y enfermedades y al suelo. (Casas Sabata et al., 2005)

#### 1.2.1.2. *Vertederos*

También llamados vertederos controlados, municipales o urbanos, es un sitio que bajo ciertos aspectos de tipo económico, social y ambiental; es destinado por las entidades municipales para la disposición final de los residuos sólidos urbanos. (INA, s/n)

La disposición final en vertederos se define generalmente por la simple descarga a cielo abierto de los residuos sobre el terreno, sin tratamiento alguno y sin medidas de protección para el ambiente o la salud pública. El vertido debe cumplir con las disposiciones legales vigentes en cuanto a regulación, control y autorizaciones, del ente encargado.



**Figura 1-2:** Vertedero controlado.

Fuente: (Briongos, 2018)

Terrenos que son destinados para el depósito de los residuos sólidos urbanos y que se encuentran carentes de sistemas de protección generando impactos ambientales negativos; los líquidos residuales generados pueden llegar hasta las aguas subterráneas y superficiales. (Fernandez y Sánchez-Osuna, 2007)

### 1.2.1.3. *Relleno sanitario*

Es un espacio de obra de ingeniería predestinado para la disposición final de los residuos sólidos urbanos, los cuales se depositan en el suelo con condiciones controladas de espaciamiento y compactación, minimizando los efectos dañinos al ambiente y el riesgo que genera su descomposición a de la población cercana. (Fernandez y Sánchez-Osuna, 2007)

Se lo realiza en un terreno adecuado sistemáticamente donde no se causa molestias ni peligros para la salud o la seguridad pública, y que no se perjudica al ambiente durante su operación ni después de su clausura. Se utilizan principios de ingeniería para confinar los residuos en un área lo más estrecha posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, se prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos por efecto de la descomposición de la materia orgánica. (Jaramillo, 2002)

En general, la operación de un Relleno Sanitario comprende básicamente. (Montenegro, 2013) La disposición final de residuos sólidos ordinarios, residuos del tratamiento de los residuos hospitalarios peligrosos y no peligrosos, infecciosos y de material aprovechable.



**Figura 1-3:** Relleno sanitario.

**Fuente:** (Segura, 2018)

### 1.2.2. *Lixiviado*

Los lixiviados son el resultado de la percolación de líquidos a través de los residuos que se encuentran en el proceso de estabilización; es decir, fluidos que brotan a la superficie o se infiltran hacia el terreno donde se encuentra instalado un relleno sanitario o un vertedero de basura y que arrastran a su paso compuestos que son producto de las reacciones que ocurren con la finalidad de alcanzar el equilibrio tras su degradación. (Chávez, 2013)



**Figura 1-4:** Lixiviado.  
Fuente: (Alejandro, 2011)

Una de sus principales fuentes es el agua de lluvia y el agua de descomposición de los residuos que drenan y percolan a través de las grietas y capas de basura, proporcionando a su paso reacciones y procesos fisicoquímicos y biológicos. (Valles, 2013)

Los residuos orgánicos, usualmente contienen una gran cantidad de agua y de otros líquidos, que estos al ser compactados con maquinaria pesada liberan estos líquidos que se infiltran y escurren hasta la base de la celda de disposición. Al cesar la presión de la maquinaria pesada, los residuos recuperan gran parte de estos líquidos, pero lo que no es absorbido permanece en la base de la celda. (Fernandez y Sánchez-Osuna, 2007)

#### 1.2.2.1. *Características y composición de los lixiviados*

Las características y composición del lixiviado fluctúan dependiendo el nivel socioeconómico de la población, con lo cual el nivel de biodegradabilidad será menor si el predominio de

residuos en un relleno sanitario es inorgánico y será mayor si la mayoría de compuestos son orgánicos. (Salazar y Saavedra, 2009)

Los lixiviados son fuente de sustancias químicas y biológicas altamente tóxicas, que pueden generar daños en la salud humana y el ambiente; el mayor impacto ambiental está asociado a la contaminación de fuentes de agua superficial y subterránea. (Torres-Lozada et al., 2014)

Las características pueden variar dependiendo de: (Vazquez, 2001)

- El clima
- El manejo de los residuos
- De la composición de los residuos sólidos
- De la edad del relleno
- De la etapa operacional
- Del material de cobertura

En Latinoamérica la composición de la basura es en su mayoría orgánica fácilmente biodegradable, la presencia de materiales tóxicos, inflamables, pesticidas, entre otros, es menor que en los países desarrollados debido al bajo nivel de industrialización. (Torres-Lozada et al., 2014)

La composición química de los lixiviados variará mucho según la antigüedad del vertedero y la historia previa al momento del muestreo. La biodegradabilidad del lixiviado variará con el tiempo, se pueden supervisar sus cambios en mediante el control de la relación DBO<sub>5</sub>/DQO. (Salazar y Saavedra, 2009)

**Tabla 1-1:** Composición típica del lixiviado de un Relleno Sanitario.

Constituyente	Edad del relleno sanitario		
	Menos de 10 años		Mayor de 10 años
	Rango (mg/L)	Típico (mg/L)	Rango (mg/L)
DBO <sub>5</sub>	52.000 –30.000	10.000	100 –200
COT	1.500 –20.000	6.000	80 –160
DQO	3.000 –60.000	18.000	100 –500
Total de sólidos en suspensión	200 –2.000	500	100 – 400

Nitrógeno orgánico	10 –800	200	80 –120
Nitrógeno amoniacal	10 – 800	200	20 –40
Nitrato	5 – 40	25	5 –10
Total fósforo	5 –100	30	5 –10
Ortofosfato	4 –80	20	4 –8
Alcalinidad como CaCO <sub>3</sub>	21.000 –10.000	3.000	200 –1.000
pH	4.5 –7.5	6	6.6 –7.5
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	2.300 –10.000	3.500	200 –500
Calcio	200 –3.000	1.000	100 –400
Magnesio	50 –1.500	250	50 –200
Potasio	200 –1.000	300	50 –400
Sodio	200 –2.500	500	100 –200
Cloro	200 –3.000	500	100 –400
Sulfatos	50 –1.000	300	20 –50

Fuente: (Montenegro, 2013)

En el proceso, no pueden verse separados los líquidos provenientes de procesos de reacción bioquímica y de lixiviación. Todo cambio en la estructura y composición del relleno tiene efecto sobre las corrientes y la acumulación, de tal modo que el agua y los procesos en el relleno son magnitudes que se influyen mutuamente. (Méndez Novelo Roger et al., 2004)

#### 1.2.2.2. Muestreo de lixiviados

El muestreo debe certificar la particularidad de las características y concentraciones del efluente o cuerpo de agua analizado. Esto involucra un desarrollo previa en cuanto a: (Fajardo, 2007)

- la elección de los puntos de muestreo característicos,
- material adecuado para la toma de muestra según el tipo de agua,
- medios de conservación de la muestra, si estos son necesarios,
- hojas de información,
- volumen necesario para los análisis a realizarse,
- etiquetas, y demás insumos.



El muestreo de lixiviados se realiza con el objetivo de constituir una relación de remoción de contaminantes del sistema de tratamiento, de establecer sus características y su impacto de afectación al efluente o cuerpo de agua dulce, permitiendo crear medidas de corrección y/o prevención para el manejo del recurso. (Fajardo, 2007)

**Tabla 1-2:** Parámetros de muestreo de los lixiviados.

<b>FÍSICO</b>	<b>ORGÁNICO</b>	<b>INORGÁNICO</b>	<b>BIOLÓGICO</b>
Aspecto	Químicos orgánicos	Sólidos en suspensión (SS), sólidos totales disueltos (STD)	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
pH	Fenoles	Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV). Sólidos Disueltos Volátiles (SDV)	Bacterias coliformes (totales, fecales y estreptococo)
Potencial de reducción oxidación	Demanda química de oxígeno (DQO)	Cloruros	Recuento sobre placas estándar
Conductividad	Carbono orgánico total (COT)	Sulfatos	
Color	Ácidos volátiles	Fosfatos	
Turbiedad	Taninos, ligninas	Alcalinidad y acidez	
Temperatura	N-orgánico	N-Nitrato	
Olor	Aceites y grasas (solubles en éter)	N-Nitrato	
	Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	N-Amoniaco	
	Grupos funcionales orgánicos	Sodio	
	Hidrocarburos clorados	Potasio	
		Calcio	
		Magnesio	
		Dureza	
		Metales pesados (Pb, Cu, Ni, Cr, Zn, Cd, Fe, Mn, Hg, Ba, Ag, As, Se)	
		Cianuro	
		Flúor	

Fuente: (Codina, 2001)

### 1.2.3. *Cuantificación del caudal*

Se necesita conocer el número total de habitantes del área de estudio, para definir las cantidades de RSU que se generan para la disposición final. La producción urbana se hace más notoria por razones de mayor población, desarrollo tecnológico y urbanístico. (Jaramillo, 2002, pp. 81-90)

Es sumamente importante la valoración de la población futura de la comunidad en la que se realizara el diseño, se estima por lo menos entre los próximos 5 a 10 años, a fin de calcular la cantidad de RSU que se deberá disponer diaria y anualmente, el volumen y el área total a lo largo de la vida útil del relleno sanitario. Existen actualmente diferentes métodos tanto simplificados como más complejos que satisfacen parcialmente estas necesidades. (Mironel de Jesus Corena Luna, 2008)

#### 1.2.3.1. *Método suizo*

El volumen de lixiviado en un relleno sanitario, depende de los siguientes factores:

- Precipitación pluvial en el área del relleno.
- Escorrentía superficial y/o infiltración subterránea.
- Evapotranspiración.
- Humedad natural de los RSU.
- Grado de compactación
- Capacidad de campo (capacidad del suelo y de los RSU para retener humedad).

El volumen de lixiviado se encuentra en función de la precipitación pluvial. Su generación no solo depende de la escorrentía, también las lluvias que caen en el área del relleno hacen que su cantidad aumente, ya sea por la precipitación sobre los residuos depositados o por el aumento de infiltración a través de las grietas en el terreno. (Jaramillo, 2002) Debido a las diferentes condiciones de operación y localización geográfica de cada relleno, las tasas esperadas pueden variar; de ahí que deban ser calculadas para cada caso en particular. (Lopez, 2009)

El método suizo, por ejemplo, permite estimar de manera rápida y sencilla el caudal de lixiviado o líquido percolado mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 1-1:** Caudal de lixiviado por método suizo.

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

**Dónde:**

**Q:** caudal medio de lixiviado (L/s)

**P:** precipitación media anual (mm/año)

**A:** área superficial del relleno (m<sup>2</sup>)

**t:** número de segundos en un año (seg)

**K:** coeficiente del grado de compactación (adimensional)

Para rellenos débilmente compactados con peso específico de 0,4 a 0,7 t/m<sup>3</sup>, se estima una producción de lixiviado entre 25 y 50% (k = 0,25 a 0,50) de precipitación media anual correspondiente al área del relleno.

Para rellenos fuertemente compactados con peso específico > 0,7 t/m<sup>3</sup>, se estima una generación de lixiviado entre 15 y 25% (k = 0,15 a 0,25) de la precipitación media anual correspondiente al área del relleno.

#### **1.2.4. Tecnologías de tratamiento de lixiviados**

Los tratamientos se deben elegir según el método requerido, o a su vez por el problema de contaminación a tratarse, ya sean estos por microorganismos patógenos, contaminación por nutrientes, concentración de materia orgánica y por elementos tóxicos. (Alvarado Aguinda, 2016)

Las alternativas de tratamiento de lixiviados se pueden clasificar de acuerdo a diversas características como, por ejemplo, de acuerdo a los niveles de tratamiento que se logren con cada una de ellas, o por el tipo de contaminación que puedan remover. Hay una amplia literatura sobre la utilización de las diferentes tecnologías para el tratamiento de lixiviados. (Martinez-Lopez et al., 2014)

##### **1.2.4.1. Tratamientos biológicos**

Para remover la materia orgánica disuelta de los lixiviados, son eficientes los procesos biológicos, especialmente de los lixiviados jóvenes que presentan elevada carga contaminante

de ácidos volátiles, considerándose cuando la relación  $DBO_5/DQO$  es menor a 0.3, el vertimiento es no biodegradable, valores entre 0.3 y 0.7 lo hacen poco biodegradable, mientras que valores superiores o iguales a 0.4 lo hacen biodegradable, permitiendo tratar con procesos biológicos al determinarse biodegradable. (Martinez-Lopez, et al., 2014) Existen dos tipos de tratamientos biológicos:

- a. Tratamientos aerobios
- b. Tratamientos anaerobios

#### 1.2.4.2. *Tratamientos físico-químicos*

Se considera que los procesos fisicoquímicos tienen costos más altos y de efectividad más limitada, en diversas fuentes se afirma que los tratamientos fisicoquímicos son una herramienta que puede funcionar como un pretratamiento o un tratamiento avanzado. (Ruiz, 2006) Se recomienda poner antes o después de un tratamiento biológico para mejorar o corregir su efecto.

Los tratamientos fisicoquímicos, son recomendables para el tratamiento de lixiviados con  $DBO_5/DQO$  bastante bajas; algunos de los tratamientos son: (Valles, 2013)

- a. Procesos de oxidación avanzada (POA)

Los procesos de oxidación avanzada se han caracterizado por remoción de contaminantes que se encuentran en el agua y han demostrado una gran eficacia; las propiedades fisicoquímicas permiten la generación del radical hidroxilo (HO), la cual ayuda a oxidar la materia orgánica. (Linares-Hernandez et al, 2011)

- b. Ozonización

El ozono ( $O_3$ ) y el oxígeno son oxidantes muy eficaces, los cuales pueden oxidar diversos contaminantes presentes en corrientes de aguas residuales y biosólidos. Cabe recalcar que el  $O_3$  es más activo en comparación con el oxígeno, sin embargo, debe ser generado en el momento de ser utilizado debido a que es un material inestable. (Martinez-Lopez et al., 2014)

**c. UV/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

El porcentaje de irradiación de la molécula de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> es de 0,98 (a 254 nm), efectuada por los fotones con mayor energía a la del enlace O-O, permite la formación de dos radicales HO. (Domenech, et al., 2004)

Este tratamiento químico se ha aplicado a los contaminantes presentes en efluentes industriales y municipales, tales como organoclorados, alifáticos, aromáticos, fenoles, plaguicidas, colorantes, etc.

**d. Procesos Fenton**

El proceso Fenton es la tecnología que resulta de la combinación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y una sal de hierro (II), la técnica Fenton interviene en la descomposición de compuestos alifáticos y aromáticos clorados, PCBs, fenoles, PCP, entre otros. (Alvarado Aguinda, 2016) Este reactivo Fenton no tiene efecto sobre los compuestos organoclorados, acetona, parafinas, ácido acético ácido oxálico. Contribuye en la decoloración de aguas, es un potente oxidante de herbicidas y otros compuestos que afectan al suelo. Los municipios utilizan este reactivo para minimizar la concentración de DQO de aguas residuales domésticas y en el tratamiento de lixiviados. (Alvarado Aguinda, 2016)

**e. Coagulación - Floculación**

Procesos diferentes relacionados directamente entre sí, que tienen como objetivo principal eliminar los sólidos suspendidos totales de la fase líquida; actúan a valores bajos de pH específicos y se remueven las partículas de tamaño pequeño que le confieren color al lixiviado. (Mendez, et al., 2009)

**f. Adsorción**

La adsorción es un proceso por el cual una sustancia se transfiere desde la fase líquida a la superficie de un sólido obligado por interacciones fisicoquímicas. Debido a su gran área superficial activada, la estructura microporosa y la superficie de reactividad el carbón activado en polvo es uno de los métodos más atractivos utilizado para la adsorción ya que elimina compuestos recalcitrantes de lixiviados.

**g.** Sistemas de membrana

Actualmente existen más casos del empleo de sistema de membranas para tratar aguas residuales domésticas, industriales e incluso los lixiviados originados en los rellenos sanitarios. La aplicación de membranas ha sido útil en procesos de microfiltración, nanofiltración, ultrafiltración, ósmosis inversa y directa, hasta en procesos de pervaporación para remediar lixiviados. (Martinez-Lopez et al., 2014)

**h.** Evaporación

La evaporación es una tecnología que se basa en el uso del biogás que se origina en el relleno sanitario que permite el calentamiento del agua que contiene el lixiviado provocando la evaporación del mismo. (Najera, et al., 2010)

**i.** Recirculación de lixiviados

La recirculación de lixiviados permite controlar la dispersión de lixiviados, por medio de la reinfiltración, estos líquidos vuelven al relleno dispuestos en el interior de los residuos; aquí los lixiviados circulan por todo el relleno pasando por sistemas biológicos, lluvia y adsorción, nuevamente. (Lopez-Vega & Santos-Herrera, 2017)

**1.2.5. Etapas del sistema de tratamiento de lixiviados**

**1.2.5.1. Pretratamiento**

La primera etapa es la descontaminación, es esencialmente físico, en esta fase se remueven sólidos y partículas pesadas como grava, arena y semillas, presentes en las aguas residuales, a través de rejillas, desarenadores, etc. La selección del tipo de dispositivos para la etapa de pretratamiento, dependerá del: tipo de aguas residuales, características del agua residual, tipos de unidades que serán empleadas posteriormente y el nivel de operación de la depuradora.

**a.** Pozo de muy gruesos

Son diseñados especialmente para aguas residuales urbanas en donde se espera el arrastre de una gran cantidad de arenas y sólidos de gran tamaño que viajan por el alcantarillado. (Espadas, et al., 2007)

**b. Rejillas**

Estructuras diseñadas para retener los elementos flotantes como plásticos, trozos de madera y ramas, entre otros. (Lozano, 2012) También se conoce como desbaste o cribado y se hace de construye de manera frecuente, mediante la instalación de rejillas metálicas de diferentes características de diseño y operación, dependiendo del tipo de agua a tratar. Las rejas pueden clasificarse según:

**Tabla 1-3:** Clasificación de rejillas.

<b>Su limpieza</b>	<b>Su separación entre barrotes</b>	<b>Su inclinación</b>
Manual Mecánica	Fina: entre 0,5 y 1,5 cm de separación. Media: entre 1,5 y 5,0 cm de separación. Gruesa: mayor a 5,0 cm de separación.	Verticales: a 90° respecto de la horizontal. Inclinadas: entre 60 y 80° respecto de la horizontal.

Fuente: (Lozano-Rivas, 2016)

**c. Desarenador**

En el desarenador, como lo indica su nombre, se remueven las partículas de arena y similares, que tienen un peso específico de cercano a 2,65 g/cm<sup>3</sup> y tamaños superiores a los 0,15 mm de diámetro como por ejemplo las cáscaras, semillas, etc. Este tipo de partículas presentes, especialmente, en las aguas residuales urbanas y muy rara vez en las de tipo industrial, causan abrasión y daños en las tuberías y en otros equipos de la depuradora.

*1.2.5.2. Tratamiento primario*

Esta etapa tiene como objetivo eliminar, por efecto de la gravedad, los sólidos suspendidos de las aguas residuales; se logra bien sea de manera libre, o asistida con químicos que aglomeran las partículas (floculantes) para que ganen peso y decanten con mayor velocidad. Las operaciones unitarias más frecuentemente usadas para el tratamiento primario de las aguas residuales urbanas, son: Unidades de decantación asistida químicamente, Sedimentadores y Tamices.

a. Coagulación – floculación

i. Canaleta Parshall

Es un tratamiento primario para la coagulación-floculación, que se añade los sistemas de tratamiento de aguas para que cumpla con una doble función: servir de medidor de caudales y de servir de punto de aplicación del coagulante en la turbulencia que se genera a la salida del canal. (Ramirez, et al., 2010) Las canaletas Parshall son prefabricadas de acuerdo al caudal de agua que se va a pasar, por cual se tiene el siguiente dimensionamiento:

Ancho de garganta:

Es el espacio que tendrá la parte estrecha de la canaleta. Se determina con el valor de los caudales mínimo y máximo calculados, de acuerdo a la siguiente tabla, para cumplir con la condición requerida.

**Tabla 1-4:** Determinación del ancho de la canaleta Parshall en función del caudal.

Ancho (W)	Límites del caudal (L/s)	
	Q mínimo	Q máximo
1"	0,28	5,67
2"	0,57	14,15
3"	0,85	28,31
6"	1,42	110,44
9"	2,58	252,00
12"	3,11	455,90
18"	4,24	696,50
24"	11,90	937,30
36"	17,27	1427,20
48"	36,81	1922,70
60"	45,31	2424,00
72"	73,62	2931,00

Fuente: (Rojas, 2008)

Altura de la lámina de agua, medida aguas arriba de la sección de control:

Es la elevación que alcanza el agua en la canaleta.



**Ecuación 1-2:** Altura de diseño canaleta Parshall.

$$H_a = K_c * Q^{n_c}$$

**Dónde:**

**H<sub>a</sub>:** Altura del diseño (m)

**Q:** Caudal medio de diseño (m<sup>3</sup>/s)

**K<sub>c</sub>:** Constante de acuerdo a W (adimensional)

**n<sub>c</sub>:** Constante de acuerdo a W (adimensional)

**Tabla 1-5:** Valores de K<sub>c</sub> y n<sub>c</sub> de acuerdo al tamaño (W).

Ancho de la garganta de la canaleta Parshall (W)		K <sub>c</sub>	n <sub>c</sub>
Pulgadas	Metros		
3"	0,075	3,704	0,646
6"	0,150	1,842	0,636
9"	0,229	1,486	0,633
1"	0,305	1,276	0,657
1 1/2"	0,460	0,966	0,650
2"	0,610	0,795	0,645
3"	0,915	0,608	0,639
4"	1,22	0,505	0,634
5"	1,525	0,436	0,630
6"	1,83	0,389	0,627
8"	2,44	0,324	0,623

Fuente: CEPIS, 1992

Ancho de la sección de medición:

Es el espacio inicial de la canaleta.

**Ecuación 1-3:** Ancho de sección de medición.

$$D' = \frac{2}{3} * (D - W) + W$$

**Dónde:**

**D´:** Ancho de la sección de medición (m)

**D:** Dimensiones de la canaleta (m)

**W:** Ancho de la garganta (m)

Velocidad en la sección de medición:

Es la rapidez con la que recorre el fluido dentro de la canaleta.

**Ecuación 1-4:** Velocidad en sección de medición.

$$v_o = \frac{Q}{H_a * D}$$

**Dónde:**

**v<sub>o</sub>:** Velocidad en la sección de medición (m/s)

**Q:** Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

**H<sub>a</sub>:** Altura del diseño (m)

**D:** Ancho de la sección de medición (m)

Carga hidráulica disponible:

Es la elevación de la superficie líquida.

**Ecuación 1-5:** Carga hidráulica disponible.

$$E_o = \frac{v_o^2}{2g} + H_a + N$$

**Dónde:**

**E<sub>o</sub>:** Carga hidráulica disponible (m)

**v<sub>o</sub>:** Velocidad en la sección de medición (m/s)

**g:** Gravedad (m/s<sup>2</sup>)

**H<sub>a</sub>:** Altura del diseño (m)

**N:** Dimensiones de la canaleta (m)

**Tabla 1-6:** Dimensiones estandarizadas de la canaleta Parshall, primera parte.

(W)		A (cm)	B (cm)	C (cm)	D (cm)	E (cm)	F (cm)	G (cm)
Pulg.	cm							
1"	2,5	36,3	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3
3"	7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	45,7	15,2	30,5
6"	15,2	61,0	61,0	39,4	40,3	61,0	30,5	61,0
9"	22,9	88,0	86,4	38,0	57,5	76,3	30,5	45,7
1"	30,5	137,2	134,4	61,0	84,5	91,5	61,0	91,5
1 1/2"	45,7	144,9	142,0	76,2	102,6	91,5	61,0	91,5
2"	61,0	152,5	149,6	91,5	120,7	91,5	61,0	91,5
2"	91,5	167,7	164,5	122,0	157,2	91,5	61,0	91,5
4"	122,0	183,0	179,5	152,5	193,8	91,5	61,0	91,5
5"	152,5	198,3	194,1	183,0	230,3	91,5	61,0	91,5
6"	183,0	213,5	209,0	213,5	266,7	91,5	61,0	91,5
7"	213,5	228,8	224,0	244,0	303,0	91,5	61,0	91,5
8"	244,0	244,0	239,2	274,5	340,0	91,5	61,0	91,5
10"	305,0	274,5	427,0	366,0	475,9	122,0	91,5	183,5

Fuente: CEPIS, 1992

**Tabla 1-7:** Dimensiones estandarizadas de la canaleta Parshall, segunda parte.

(W)		K (cm)	N (cm)	R (cm)	M (cm)	P (cm)	X (cm)	Y (cm)
Pulg.	cm							
1"	2,5	1,9	2,9	-	-	-	-	-
3"	7,6	2,5	5,7	41	30	77	2	4
6"	15,2	7,6	11,4	41	30	90	5	8
9"	22,9	7,6	11,4	41	30	108	5	8
1"	30,5	7,6	22,9	51	38	149	5	8
1 1/2"	45,7	7,6	22,9	51	38	168	5	8
2"	61,0	7,6	22,9	51	38	185	5	8
2"	91,5	7,6	22,9	51	38	22	5	8
4"	122,0	7,6	22,9	61	46	271	5	8
5"	152,5	7,6	22,9	61	46	308	5	8
6"	183,0	7,6	22,9	61	46	344	5	8
7"	213,5	7,6	22,9	61	46	381	5	8
8"	244,0	7,6	22,9	61	46	417	5	8
10"	305,0	15,3	34,3	-	-	-	-	-

Fuente: CEPIS, 1992

Caudal específico en la garganta de la canaleta:

Es la determinación del fluido en la parte estrecha de la canaleta.

**Ecuación 1-6:** Caudal específico en la garganta de la canaleta Parshall.

$$Q_w = \frac{Q_d}{W}$$

**Dónde:**

**Q<sub>w</sub>:** Caudal específico en la garganta de la canaleta (m<sup>3</sup>/sm)

**Q<sub>d</sub>:** Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

**W:** Ancho de la garganta (m)

Ángulo de inclinación:

Es el desnivel que presentará la canaleta.

**Ecuación 1-7:** Ángulo específico en la garganta de la canaleta Parshall.

$$\theta_p = \cos^{-1}(\cos \alpha)$$

**Dónde:**

**θ<sub>p</sub>:** Ángulo específico en la garganta de la canaleta (°)

**cos α:** coseno de alfa

**Ecuación 1-8:** Coseno de alfa.

$$\cos \alpha = \frac{-Q_w * g}{\left[\left(\frac{2 * g}{3}\right) * E_o\right]^{1,5}}$$

**Dónde:**

**Q<sub>w</sub>:** Caudal específico en la garganta de la canaleta (m<sup>3</sup>/sm)

**g:** Gravedad (m/s<sup>2</sup>)

**E<sub>o</sub>:** Carga hidráulica disponible (m)

### Velocidad antes del resalto:

Es la rapidez del fluido antes de la turbulencia que se produce en la canaleta.

**Ecuación 1-9:** Velocidad antes del resalto.

$$v_1 = 2 \left( \frac{2E_0 * g}{3} \right)^{0,5} * \cos \left( \theta_p * \frac{\pi}{540} \right)$$

### **Dónde:**

**v<sub>1</sub>:** Velocidad antes del resalto (m/s)

**E<sub>0</sub>:** Carga hidráulica disponible (m)

**g:** Gravedad (m/s<sup>2</sup>)

**θ<sub>p</sub>:** Ángulo de inclinación (°)

### Altura del agua antes del resalto:

Es el nivel que alcanza el agua antes de la turbulencia en la canaleta.

**Ecuación 1-10:** Altura de agua antes del resalto.

$$h_1 = \left( \frac{Q_w}{v_1} \right)$$

### **Dónde:**

**h<sub>1</sub>:** Altura de agua antes del resalto (m)

**Q<sub>w</sub>:** Caudal del agua (m<sup>3</sup>/sm)

**v<sub>1</sub>:** Velocidad antes del resalto (m/s)

### Número de Froude:

Es un número adimensional que relaciona las fuerzas de inercia y las fuerzas de gravedad que actúan sobre un fluido.

El número de Froude debe estar comprendido entre estos dos rangos: 1,7-2,5 ó 4,5-9,0. Debe evitarse números entre 2,5-4,5 que producen un resalto inestable que puede dificultar la adición de coagulantes. (Vega, 2016, p. 44)

**Ecuación 1-11:** Número de Froude.

$$F_1 = \frac{v_1}{(g * h_1)^{0,5}}$$

**Dónde:**

**F<sub>1</sub>:** Número de Froude (adimensional)

**v<sub>1</sub>:** Velocidad antes del resalto (m/s)

**h<sub>1</sub>:** Altura de agua antes del resalto (m)

**g:** Gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Altura del resalto:

Es el nivel que alcanza el agua en la turbulencia de la canaleta.

**Ecuación 1-12:** Altura de resalto.

$$h_2 = \frac{h_1}{2} * \left[ (1 + 8F_1^2)^{0,5} - 1 \right]$$

**Dónde:**

**h<sub>2</sub>:** Altura de resalto (m)

**h<sub>1</sub>:** Altura de agua antes del resalto (m)

**F<sub>1</sub>:** Número de Froude (adimensional)

Velocidad del resalto:

Es la rapidez del agua en la turbulencia presente en la canaleta.

**Ecuación 1-13:** Velocidad del resalto.

$$v_2 = \frac{Q}{W * h_2}$$

**Dónde:**

**v<sub>2</sub>:** Velocidad del resalto (m/s)

**Q:** Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

**W:** Ancho de la garganta (m)

**h<sub>2</sub>:** Altura de resalto (m)

Altura en la sección de salida de la canaleta:

**Ecuación 1-14:** Altura en la sección de salida de la canaleta Parshall.

$$h_3 = h_2 - (N - K')$$

**Dónde:**

**h<sub>3</sub>:** Altura en la sección de salida de la canaleta (m)

**h<sub>2</sub>:** Altura de resalto (m)

**K'; N:** Dimensiones de la canaleta (m)

Velocidad en la sección de la salida:

**Ecuación 1-15:** Velocidad en la sección de salida.

$$v_3 = \frac{Q_d}{C * h_3}$$

**Dónde:**

**v<sub>3</sub>:** Velocidad en la sección de salida (m/s)

**Q<sub>d</sub>:** Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

**C:** Dimensiones de la canaleta (m)

**h<sub>3</sub>:** Altura en la sección de salida de la canaleta (m)

Pérdida de carga en el resalto:

Es la pérdida de energía en la turbulencia del flujo.

**Ecuación 1-16:** Pérdida de carga en el resalto.

$$h_p = H_a + K' + h_3$$

**Dónde:**

**$h_p$** : Pérdida de carga en el resalto (m)

**$H_a$** : Altura del diseño (m)

**$K'$** : Dimensión de la canaleta (m)

**$h_3$** : Altura en la sección de salida de la canaleta (m)

Tiempo de mezcla en el resalto:

Es el período de combinación del agua con el coagulante.

**Ecuación 1-17:** Tiempo de mezcla en el resalto.

$$T = \frac{2G'}{v_2 + v_3}$$

**Dónde:**

**$T$** : Tiempo de mezcla en el resalto (s)

**$G'$** : Dimensión de la canaleta (m)

**$v_2$** : Velocidad del resalto (m/s)

**$v_3$** : Velocidad en la sección de salida (m/s)

Gradiente de velocidad:

Es la variación de la velocidad.

El gradiente de velocidad óptimo para este tipo de unidades es de aproximadamente  $1.000 \text{ s}^{-1}$ .

**Ecuación 1-18:** Gradiente de velocidad.

$$G = \sqrt{\gamma/\mu} * \left(\frac{h_p}{T}\right)^{0,5}$$

**Dónde:**

**$G$** : Gradiente de velocidad ( $\text{s}^{-1}$ )

**$h_p$** : Pérdida de carga en el resalto (m)

**$T$** : Tiempo de mezcla en el resalto (s)



$\sqrt{\gamma/\mu}$ : Relación peso específico y viscosidad absoluta

**Tabla 1-8:** Valores de la relación peso específico y viscosidad absoluta para el agua.

Temperatura (°C)	$\sqrt{\gamma/\mu}$
0	2336,94
4	2501,56
10	2736,53
15	2920,01
20	3114,64
23	3206,03
25	3266,96

Fuente: (Rojas, 2008)

#### Relación de Sumergencia

**Tabla 1-9:** Relación de sumergencia respecto al ancho de garganta de la canaleta parshall.

Ancho de garganta W (m)	Relación de sumergencia $H_b/H_a$
$\leq 0,229$	$\leq 0,60$
$\leq 2,438$	$\leq 0,70$

Fuente: (Asunción Gutiérrez, 2007)

Altura de la lámina de agua, medida aguas debajo de la sección de control:

**Ecuación 1-19:** Relación de sumergencia.

$$H_b = S * H_a$$

**Dónde:**

**$H_b$ :** Altura de la lámina aguas abajo.

**S:** Porcentaje de Sumergencia

**$H_a$ :** Altura de lámina en la sección de medición

## ii. Floculador Horizontal

Criterios de diseño de un floculador horizontal:

- Recomendables para caudales menores de 50 L/s.
- La unidad puede tener una profundidad de 1,00 a 2,00 m, dependiendo del material utilizado en las pantallas.
- Con pantallas de asbesto cemento, se recomienda diseñar unidades de máximo un metro de profundidad útil, colocando las pantallas con la dimensión de 1,20 m en el sentido vertical

Autores y Entidades	G Gradiente [s <sup>-1</sup> ]	Gt Número de Camp	t Tiempo Retención [min]	v Velocidad Flujo [m/s]	h Pérdida de Energía [m]
Smethurst	20-100	20000-150000	10-60	0,15-0,5	0,15-0,6
Arboleda	10-100	-	15-20	0,10-0,60	-
Insfopal	-	-	15-60	0,15-0,45	-
Hardenbergh y Rodie	-	-	20-50	0,15-0,45	-
Fair y Geyer	-	-	10-90	0,1-0,9	0,3-0,9
AWWA	5-100	30000-150000	10-60	0,09-0,30	-
RAS 2000	20-70	-	20-30	0,2-0,6	-

**Figura 1-5:** Parámetros de diseño floculador hidráulico de flujo horizontal, de diferentes autores.

Fuente: (Romero, 2000)

El dimensionamiento del floculador horizontal se establece según el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), realizado con las siguientes ecuaciones:

Sección del canal:

**Ecuación 1-20:** Área de sección del canal.

$$A = \frac{Q}{v}$$

**Dónde:**

**A:** Área de la sección del canal (m<sup>2</sup>)

**Q:** Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

**v:** Velocidad de flujo del canal (m/s)

Longitud total de canales:

**Ecuación 1-21:** Longitud del canal.

$$L_c = v * T$$

**Dónde:**

**L<sub>c</sub>:** Longitud del canal (m)

**v:** Velocidad de flujo del canal (m/s)

**T:** Tiempo de retención hidráulica (s)

Altura de la lámina de agua:

Teniendo en cuenta la altura de la placa de asbesto - cemento de 1.2m, por lo tanto la altura de la lámina de agua será: Asumimos un borde libre de 0.1 m

**Ecuación 1-22:** Altura de la lámina de agua.

$$H = h_p - h_b$$

**Dónde:**

**H:** Altura de la lámina de agua (m)

**h<sub>p</sub>:** Altura de la placa (m)

**h<sub>b</sub>:** Altura del borde libre (m)

Espaciamiento entre los extremos:

Por lo general la distancia desde el extremo del tabique y el muro = 1.5 la separación entre placas.

**Ecuación 1-23:** Espaciamiento entre los extremos.

$$e = a * 1,5$$

**Dónde:**

**e:** Espaciamiento entre los extremos (m)

**a:** Espacio entre placas (m)

Longitud efectiva del canal:

Teniendo en cuenta las dimensiones de las placas de asbesto cemento de 2 m \* 1,2m \* 0,008m.

**Ecuación 1-24:** Longitud efectiva del canal.

$$L = B - e$$

**Dónde:**

**L:** Longitud efectiva del canal (m)

**B:** Ancho de placa (m)

**e:** Espaciamiento entre placas (m)

Número de canales:

**Ecuación 1-25:** Número de canales.

$$N = \frac{L_c}{L}$$

**Dónde:**

**N:** Número de canales (adimensional)

**L<sub>c</sub>:** Longitud de los canales (m)

**L:** Longitud efectiva del canal (m)

Longitud total del tanque:

La longitud total del tanque, teniendo en cuenta el espesor de las placas será de 0.008m.

**Ecuación 1-26:** Longitud del floculador.

$$L_T = N * e_p + N_p * a$$

**Dónde:**

**L<sub>T</sub>:** Longitud el floculador (m)

**N:** Número de canales (adimensional)

**e<sub>p</sub>:** Espesor de las placas (m)

**N<sub>p</sub>**: Número de placas (adimensional)

**a**: Espacio entre placas (m)

Radio hidráulico:

**Ecuación 1-27:** Radio hidráulico.

$$R = \frac{A}{2 * H + a}$$

**Dónde:**

**A**: Área del canal (m<sup>2</sup>)

**H**: Nivel de agua en el canal de entrada (m)

**a**: Espacio entre placas (m)

Perdida de carga localizada:

**Ecuación 1-28:** Perdida de carga 1.

$$h_1 = k * N * \frac{v^2}{2g}$$

**Dónde:**

**h<sub>1</sub>**: Pérdida de carga en las vueltas (m)

**k**: Constante empírica (2 a 4, comúnmente 3.0)

**v**: Velocidad de flujo del canal (m/s)

**N**: Número de canales (adimensional)

**g**: Aceleración de la gravedad (m<sup>2</sup>/s)

Perdida por fricción:

**Ecuación 1-29:** Perdida de carga 2.

$$h_2 = \left( \frac{n * v}{R^{2/3}} \right)^2 * L$$

**Dónde:**

**$h_2$ :** Pérdida de por fricción (m)

**$n$ :** Coeficiente de rugosidad de Manning (adimensional)

**$v$ :** Velocidad del canal (m/s)

**$r$ :** Radio hidráulico (m)

**$L_c$ :** Longitud del canal (m)

Pérdida de carga total

**Ecuación 1-30:** Pérdida de carga total.

$$h_f = h_1 + h_2$$

**Dónde:**

**$h_f$ :** Pérdida de carga total (m)

**$h_1$ :** Pérdida de carga localizada (m)

**$h_2$ :** pérdida de carga por fricción (m)

Gradiente de velocidad

**Ecuación 1-31:** Gradiente de velocidad.

$$G = \sqrt{\gamma/\mu} * \sqrt{\frac{h_f}{T}}$$

**Dónde:**

**$G$ :** Gradiente de velocidad ( $s^{-1}$ )

**$\sqrt{\gamma/\mu}$ :** Relación peso específico y viscosidad absoluta (adimensional)

**$h_f$ :** Pérdida de carga total (m)

**$T$ :** Tiempo de retención (s)

## b. Sedimentador Convencional

La sedimentación primaria favorece de manera importante al tratamiento de lixiviados, cuando se utilizan como único tratamiento, su objetivo principal es la eliminación de, (Lara, 2010): Sólidos sedimentables, Aceite libre, grasas y otras materias flotantes, parte de la carga orgánica vertida a las aguas receptoras. Estas unidades pueden alcanzar niveles de remoción de entre 25 y 40% para DBO y entre 50 y 70% para SST. Los sedimentadores primarios de flujo horizontal que se usan en el tratamiento de los lixiviados pueden clasificarse de acuerdo con la forma, en:



**Figura 1-6:** Sedimentador primario rectangular.

**Fuente:** (Internacional, 2018)

Algunos criterios de diseño de los sedimentadores convencionales son:

- El periodo de diseño es de 8 a 16 años, según criterios técnicos y económicos.
- El número de unidades mínimas en paralelo es de 2 para efectos de mantenimiento.
- El periodo de operación es de 24 horas por día.
- El tiempo de retención será entre 2 – 6 horas.
- La carga superficial será entre los valores de 2 – 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día.
- La profundidad del sedimentador será entre 1,5 – 2,5 m.
- La relación de las dimensiones de largo y ancho (L/B) será entre los valores de 3 – 6.
- El fondo de la unidad debe tener una pendiente entre 5 a 10% para facilitar el deslizamiento del sedimento.
- La velocidad en los orificios no debe ser mayor a 0,15 m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación.
- Se debe aboquillar los orificios en un ángulo de 15° en el sentido del flujo.

- La descarga de lodos se debe ubicar en el primer tercio de la unidad, pues el 80% del volumen de los lodos se deposita en esa zona.
- Se debe efectuar experimentalmente la determinación del volumen máximo que se va a producir.
- La ubicación de la pantalla difusora debe ser entre 0,7 a 1,00 m de distancia de la pared de entrada.

**Tabla 1-10:** Información usual para el diseño de sedimentadores rectangulares y circulares en el tratamiento primario y secundario, parte 1.

Parámetro	Unidad	Intervalo	Valor usual
<b>Rectangular</b>			
Profundidad	m	1,5 – 2,5	3,6
Longitud	m	3 – 90	3
Ancho	m	3 – 25	5 – 10
Velocidad del reactor	m/s	0,10 – 0,50	0,10
<b>Circular</b>			
Profundidad	m	3 -4,5	3,6
Longitud	m	3 – 60	12 – 45
Pendiente de la solera	mm/mm	6,25 – 16	8
Velocidad de los rascadores	r/min	0,02 – 0,05	0,03

Fuente: (METCALF y EDDY, 1995)

**Tabla 1-11:** Información usual para el diseño de sedimentadores rectangulares y circulares en el tratamiento primario y secundario, parte 2.

Características	Intervalo	Típico
<b>Sedimentación primaria y secundaria</b>		
Tiempo de retención, h	1.5 – 2.5	2
<b>Carga de superficie (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>día)</b>		
A caudal medio	8 – 50	40
A caudal punta	80 – 120	100
Carga sobre vertedero (m <sup>3</sup> /m. día)	125 – 500	250
<b>Sedimentación primaria con adición de lodo activado en exceso:</b>		
Tiempo de retención, h	1,5 – 2,5	2



<b>Carga de superficie (m<sup>3</sup>/ m<sup>2</sup>.día)</b>		
A caudal medio	24 – 32	28
A caudal punta	48 – 70	60
Carga sobre vertedero (m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> .día)	125 – 500	250

Fuente: (METCALF y EDDY, 1995)

Para el dimensionamiento de un sedimentador se toma el modelo teórico de Hazen y Camp conocido como sedimentación primario, en el cual se diferencia cuatro zonas: entrada, sedimentación, salida y recolección de lodos:

**Zona de entrada.-** Permite la distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador.

**Zona de sedimentación.-** Debe constar de las condiciones idóneas de volumen, longitud y flujo para sedimentar las partículas, siendo su velocidad uniforme en todos los puntos.

Longitud total:

Es la sumatoria de la longitud propuesta del sedimentador y distancia entre la pantalla difusora y pared de entrada.

**Ecuación 1-32:** Longitud total del sedimentador.

$$L_T = L_S + L_{pd}$$

**Dónde:**

**L<sub>T</sub>:** Longitud total (m)

**L<sub>S</sub>:** Longitud del sedimentador (m)

**L<sub>pd</sub>:** Longitud entre la pantalla difusora y la pared de entrada (m)

Velocidad de sedimentación:

**Ecuación 1-33:** Velocidad de sedimentación.

$$v_s = \frac{Q}{L_T * B_S}$$

**Dónde:**

$v_s$ : Velocidad de sedimentación (m/s)

$Q$ : caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

$L_T$ : Longitud total del sedimentador (m)

$B_s$ : Ancho del sedimentador (m)

Área superficial en la zona de sedimentación:

Se calcula tomando en consideración el caudal de entrada y la velocidad de sedimentación.

**Ecuación 1-34:** Área superficial del sedimentador.

$$A_s = \frac{Q}{v_s}$$

**Dónde:**

$A_s$ : Área superficial (m<sup>2</sup>)

$v_s$ : Velocidad de sedimentación (m/s)

$Q$ : Caudal (m<sup>3</sup>/s)

Carga Hidráulica:

Es la presión que ejerce el líquido sobre una superficie o punto de referencia.

**Ecuación 1-35:** Carga hidráulica.

$$C_H = \frac{Q}{B_s}$$

**Dónde:**

$C_H$ : Carga hidráulica (L/sm)

$Q$ : caudal de diseño (L/s)

$B_s$ : Ancho del sedimentador (m)

Volumen del tanque sedimentador:

**Ecuación 1-36:** Volumen del sedimentador.

$$Vol = B_S * L_T * H_S$$

**Dónde:**

**Vol:** Volumen (m<sup>3</sup>)

**B<sub>S</sub>:** Ancho del sedimentador (m)

**B<sub>T</sub>:** Longitud total del sedimentador (m)

**H<sub>S</sub>:** Profundidad del sedimentador (m)

Periodo de retención hidráulico:

Es el tiempo que se demora en llegar la partícula a la zona de lodos.

**Ecuación 1-37:** Período de retención hidráulico.

$$P_{RH} = \frac{Vol}{Q}$$

**Dónde:**

**P<sub>RH</sub>:** Período de retención hidráulico (min)

**Vol:** Volumen de la zona de sedimentación (m<sup>3</sup>)

**Q:** Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/min)

### **Zona de recolección de lodos**

Esta zona está constituida por una tolva en donde se recolectan los lodos sedimentados, además de una tubería de diámetro de  $\geq 12''$  y válvula para su evacuación periódica. Para una mejor facilidad de deslizamiento de las partículas, el fondo tendrá una pendiente entre el 5% al 10 %.

### **Zona de salida**

Se da mediante tubos perforados que recolectan el agua tratada evitando perturbar la sedimentación de las partículas depositadas en la tolva.

c. Lechos de secado

El proceso de sedimentación, da como resultado lodos sedimentados los cuales se encuentran la tolva de recolección, para su evacuación se dispone el diseño de lechos de secado, que son sistemas sencillos de bajo costo que permiten la deshidratación de los lodos digeridos. Mediante la evaporación e infiltración se elimina el agua presente en los lodos, dando como resultado un material sólido con humedad inferior al 70% y puede ser usado como activador de suelos, antes habiendo hechos análisis del mismo para la verificar su funcionalidad.

El medio de drenaje es generalmente de 0,30 de espesor y debe tener los siguientes componentes:

- El medio de soporte recomendado está constituido por una capa de 15 cm. Formada por ladrillos colocados sobre el medio filtrante, con una separación de 2 a 3 cm. Llena de arena.
- La arena es el medio filtrante y debe tener un tamaño efectivo de 0,3 a 1,3 mm y un coeficiente de uniformidad entre 2 y 5.
- Debajo de la arena se deberá colocar un estrato de grava graduada entre 1,6 y 51 mm (1/6” y 2”) de 0,20 m de espesor.

**Tabla 1-12:** Información usual para el diseño de lechos de secado.

Parámetro	Unidad	Valor
Densidad del lodo, $\delta_{lodo}$	Kg/L	1,03
Porcentaje de sólidos	%	8-12
Tiempo de digestión de acuerdo a la temperatura	días	30
Ancho del lecho de secado	m	3-6
Profundidad de aplicación	m	0,8-1
<i>Área de drenaje</i>		
Distancia de la tubería con respecto al fondo del tanque	cm	15
Diámetro de la tubería	mm	$\leq 200$
Carga hidráulica mínima	m	1,8
Espesor	m	0,20-0,46
Capa de ladrillos	cm	10-15

Separación de ladrillos	cm	2-3
Arena	mm	0,2-3
Coefficiente de uniformidad	-	2-5
Grava bajo la arena	m	0,30
Ancho	m	2-6

Fuente: Normas OPS/CEPIS, 2005

El diseño típico del lecho de secado es una caja en forma rectangular poco profunda que puede tener o no un sistema de drenaje.

Volumen de lodos a extraerse:

**Ecuación 1-38:** Volumen diario de lodos digeridos.

$$V_{lodos} = V_{lodos\ Jarras} * Q$$

**Dónde:**

**V<sub>lodos</sub>:** Volumen diario de lodos digeridos (m<sup>3</sup>/día)

**V<sub>lodos Jarras</sub>:** Volumen de lodos en la prueba de jarras (mL/L)

**Q:** Caudal de diseño (L/día)

Área del lecho de secado:

**Ecuación 1-39:** Área del lecho de secado.

$$A_{ls} = \frac{V_{lodos}}{Ha}$$

Dónde:

**A<sub>ls</sub>:** Área del lecho de secado (m<sup>2</sup>)

**V<sub>lodos</sub>:** Volumen diario de lodos digeridos (m<sup>3</sup>/día)

**Ha:** Profundidad de aplicación (m)

Largo del lecho de secado:

**Ecuación 1-40:** Largo del lecho de secado.

$$L_{ls} = \frac{A_{ls}}{B_{ls}}$$

**Dónde:**

**L<sub>ls</sub>:** Largo del lecho de secado (m)

**A<sub>ls</sub>:** Área del lecho de secado (m<sup>2</sup>)

**B<sub>ls</sub>:** Ancho del lecho de secado (m)

#### 1.2.5.3. *Tratamiento secundario*

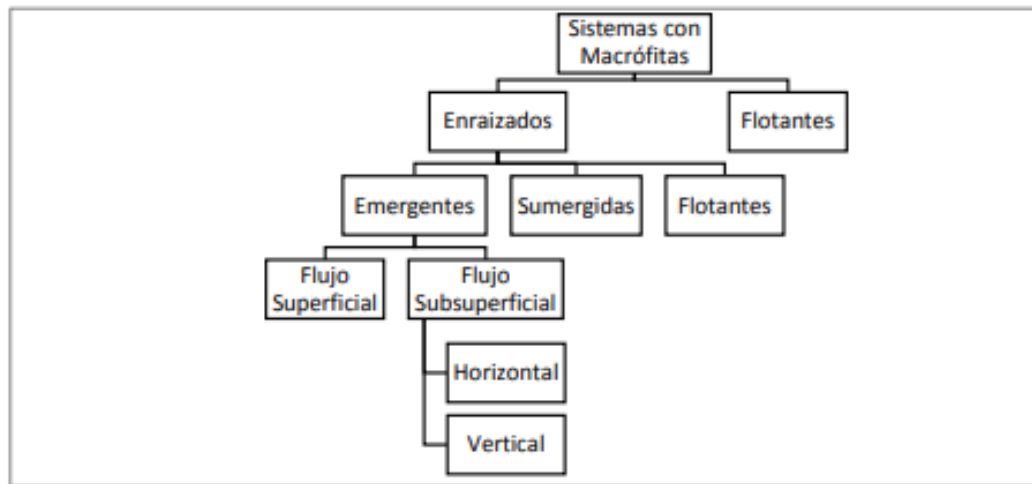
Es esencialmente biológico, en esta etapa se emplean las bacterias benéficas para consumir otra parte de contaminantes que no fueron removidos en el tratamiento primario. También conocido como depuración o tratamiento biológico de las aguas residuales, es entendido como una eliminación de contaminantes mediante la actividad biológica de los microorganismos presentes en los reactores.

##### a. Humedal artificial

Los humedales artificiales son zonas de fitodepuración construidas por el hombre como una alternativa tecnológica para el tratamiento de aguas contaminadas, que consisten en la siembra de macrófitas, cuya profundidad es inferior a 0,6 m; estas plantas acuáticas son el principal agente depurador de las aguas residuales al producir una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas que eliminan de forma gradual y progresivamente grandes cantidades de contaminantes como material orgánico, sólidos, nitrógeno, fósforo, etc. (Zapata, 2014) Los rendimientos medios de remoción alcanzados por estos sistemas son:

- Sólidos Suspendidos Totales: 60 al 70%
- DBO estándar: 60 al 80%
- DQO: 50 al 70%
- Nitrógeno: 20 al 40%
- Fósforo: 20 al 30%

Cabe recalcar que esto depende de la especie de planta que se utilice en el humedal artificial, ya que estas son apropiadas en condiciones propias de cada especie. La clasificación de humedales artificiales es de acuerdo al tipo de macrófitas que se emplean para su funcionamiento en superficial y subsuperficial.



**Figura 1-7:** Clasificación de humedales artificiales según el tipo de macrófitas.  
Fuente: (Delgadillo et al., 2010)

Entre la clasificación de los sistemas de humedales artificiales tenemos a los de flujo superficial y los de flujo subsuperficial.

**Tabla 1-13:** Comparación entre diferentes sistemas de humedales artificiales.

	<b>Flujo superficial</b>	<b>Flujo subsuperficial</b>
<b>Tratamiento</b>	Tratamiento de flujos secundarios (aguas ya tratadas por otros medios, ej. Lagunajes, biodiscos, etc.).	Para tratar flujos primarios (aguas pre tratadas ej. Tanques Imhoff, pozos sépticos, sedimentadores, etc.)
<b>Operación</b>	Opera con baja carga orgánica	Altas tasa de carga orgánica
<b>Olor</b>	Puede ser controlado	No existe
<b>Insectos</b>	Control es caro	No existe
<b>Protección termina</b>	Mala, las bajas temperaturas afectan al proceso de remoción	Buena, por acumulación de restos vegetales y el flujo subterráneo el agua mantiene una temperatura casi constante.
<b>Área</b>	Requieren superficies de mayor tamaño	Requieren superficies de menor tamaño

<b>Costo</b>	Menor costo en relación al subsuperficial	Mayor costo debido al material granular que puede llegar a incrementar el precio hasta un 30 %
<b>Operación</b>	Son tratamientos adicionales a los sistemas convencionales (usadas para tratamiento terciario y mejoramiento de calidad agua)	Puede usarse como tratamiento secundario.

Fuente: (Delgadillo et al., 2010)

Las plantas que se usan en los humedales artificiales van a depender del tipo de humedal que se establezca para el tratamiento, es por ello que representan una parte fundamental en estos sistemas. Los criterios que se consideran comúnmente son los siguientes:

- Debe ser de preferencia una planta nativa para su fácil manejo.
- Capacidad de asimilar contaminantes, alta productividad y crecimiento.
- Adaptabilidad al clima y a sus diversos cambios.
- Tolerancia a concentraciones elevadas de contaminantes.
- Capacidad de transportar oxígeno desde sus hojas hasta las raíces.

**Tabla 1-14:** Principales especies de plantas usadas en humedales artificiales.

Familia	Nombre científico	Nombre común	Características
Ciperácea	Cyperus papyrus	Papiro gigante	Son plantas perennes que se desarrollan en humedales, aguas costeras e interiores salobres.
	Scirpus validus	Junco redondo	Crecen en grupo
	Scirpus lacustris	Junco cebra	Pueden establecerse en lugares con agua de 5cm a 3m de profundidad y también resisten periodos de sequía. Penetración de raíces en grava 60 cm
Gramínea	Phragmites australis	Carrizo	Son macrofitas usadas en preferencia en los humedales por su eficacia en la transferencia de oxígeno al contar con raíces profundas que penetran fácilmente en el lecho de grava
	Hymenachne amplexicaulis	Canutilo	Ofrecen un valor alimenticio bajo
	Panicum maximum	Pasto guinea	Son muy resistentes a los cambios de salinidad y ph del agua. Penetración de raíces en grava 40 cm
Tifácea	Typha domingensis	Junco	Planta con la capacidad de crecer con facilidad en condiciones ambientales hostiles.
	Typha angustifolia	Aenea	Se propaga fácilmente
	Typha latifolia	Espadaña	Tienen gran capacidad de transferir el oxígeno desde sus hojas y tallo a la zona de la raíz. Remueve en pequeñas cantidades nutrientes como el



			nitrógeno y fósforo a través de la poda y cosecha. Penetración de raíces en grava 30cm
--	--	--	---

Fuente: (Vega, 2016)

El sustrato es el medio donde las plantas crecen y proliferan microorganismos, se realizan los principales procesos de depuración; para el diseño se recomienda utilizar grava con menos de 30 mm (3/4") de diámetro.

La utilización de grava con diámetro muy grande de sustrato, originará una rápida velocidad del paso de agua sobre estos, lo que resultará en una turbulencia. Peor utilizar la grava demasiado pequeña, esta reducirá la velocidad, formando burbujas de agua en diferentes zonas de las capas de sustrato, la única ventaja que se tiene que proporcionan un hábitat de proliferación más adecuado para los microorganismos.

**Tabla 1-15:** Materiales empleados en el diseño y construcción de humedales artificiales.

Tipo de material	Tamaño efectivo (mm)	Conductividad hidráulica, ks (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .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 et al., 2010)

El dimensionamiento de un humedal artificial puede darse con los siguientes criterios y ecuaciones:

**Tabla 1-16:** Información usual para el diseño del Humedal artificial.

Parámetros	Unidad	Intervalo	Valor usual
Tiempo de retención hidráulica	Días	4-15	7
Profundidad del humedal	m	0,1-0,8	0.6
Área	m <sup>2</sup>	2,5-5	
Carga orgánica	g DBO <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> .dia	3-7.7	<11
Carga orgánica	kg DBO <sub>5</sub> /heq.di	<70	
Carga hidráulica	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	0,1-0,2	
<b>Características constructivas</b>			

Grava ingreso salida	mm	50-100	50
Grava media	mm	3-6	19
		5-10	
		6-12	
Coefficiente uniformidad		3-5	<5
Profundidad medio	m	0.70-1.5	0.7
Pendiente	%	0-1	0.5
Relación largo - ancho		2:1 – 7:1	3:1
<b>Drenaje</b>			
Tubería perforada - tamaño	pulgada	3-4	4
<b>Distribución de agua</b>			
Tubería perforada - canal	pulgada	2-4	3

Fuente: (Delgadillo et al., 2010)

Constante de reacción de primer orden:

**Ecuación 1-41:** Constante de reacción de 1er orden.

$$K_T = 1,104 * 1,06^{(T_a - 20)}$$

**Dónde:**

**K<sub>T</sub>:** Constante de reacción de primer orden (adimensional)

**T<sub>a</sub>:** temperatura del agua (°C)

Área superficial del humedal:

El cálculo del área superficial se realiza en función al parámetro contaminante que se desea disminuir o remover, generalmente los diseños se realizan para disminución de la DBO<sub>5</sub>.

**Ecuación 1-42:** Área superficial del humedal.

$$A_{SH} = \frac{Q * Ln\left(\frac{C_o}{C}\right)}{K_T * h * n}$$

**Dónde:**

**A<sub>SH</sub>:** Área superficial del humedal (m<sup>2</sup>)

**Q:** caudal medio de diseño (m<sup>3</sup>/día)

**C:** concentración final de DBO<sub>5</sub> (mg/L)

**C<sub>0</sub>:** concentración inicial de DBO<sub>5</sub> (mg/L)

**K<sub>T</sub>:** constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura (d<sup>-1</sup>)

**h:** profundidad del humedal (m)

**n:** porosidad del medio granular (porcentaje expresado en fracción)

Ancho del humedal:

**Ecuación 1-43:** Ancho del humedal.

$$W_H = \sqrt{\frac{A_{SH}}{4}}$$

**Dónde:**

**W<sub>H</sub>:** Ancho del humedal (m)

**A<sub>SH</sub>:** área vertical del humedal (m<sup>2</sup>)

Largo del humedal:

**Ecuación 1-44:** Largo del humedal.

$$L_H = 4 * W_H$$

**Dónde:**

**L<sub>H</sub>:** Largo del humedal (m)

**W<sub>H</sub>:** ancho del humedal (m)

Volumen del humedal:

**Ecuación 1-45:** Volumen del humedal.

$$V_H = L_H * W_H * h$$

**Dónde:**

**V<sub>H</sub>:** Volumen del humedal (m<sup>3</sup>)

**L<sub>H</sub>**: largo del humedal (m)

**W<sub>H</sub>**: ancho del humedal (m)

**h**: profundidad del humedal (m)

Tiempo de retención hidráulico:

**Ecuación 1-46:** Tiempo de retención hidráulica del humedal.

$$T_{rh} = \frac{A_{SH} * h * n}{Q}$$

**Dónde:**

**T<sub>rh</sub>**: Tiempo de retención hidráulico (s)

**A<sub>SH</sub>**: Área superficial del humedal (m<sup>2</sup>)

**h**: profundidad del humedal (m)

**n**: porosidad del medio granular

**Q**: caudal medio de diseño (m<sup>3</sup>/día)

Relación Largo – Ancho:

**Ecuación 1-47:** Relación largo - ancho

$$\frac{L}{W}$$

Mientras mayor es la relación largo-ancho se tiene mejor depuración de las aguas, pero se tiene problemas de cortocircuitos, flujos preferenciales, presencia de agua sobre el lecho de grava y otros.

Por ello se recomienda relación largo – ancho de: 2 a 1, 3 a 1 y 4 a 1.

Porcentaje de remoción de los parámetros fuera de los límites permisibles:

El porcentaje de remoción en función al parámetro contaminante que se desea disminuir o remover, generalmente los diseños se realizan para disminución de la DBO<sub>5</sub> y DQO.

**Ecuación 1-48:** Porcentaje de remoción del parámetro medido.

$$\%Remoción = \frac{Concentración\ inicial - Concentración\ final}{Concentración\ inicial} * 100$$

#### 1.2.5.4. *Tratamiento terciario o avanzado*

Después de los tratamientos anteriores, se ha logrado eliminar un 85% de los contaminantes de las aguas residuales y queda por eliminar los nutrientes que favorecen al crecimiento de la flora y fauna acuática (algas y lirios). Como son el fosforo y el amoniaco que proviene del escurrimiento agrícola, de desechos humanos y del uso de detergentes. Estos son eliminados por medio de:

**a.** Nitrificación y desnitrificación

Como se mencionó anteriormente, el vertido de aguas residuales puede ocasionar problemas de hiper eutrofización en lagos y embalses, a causa de la presencia de concentraciones significativas de nutrientes. (Lozano-Rivas, 2016) Adicionalmente, altos niveles de nitrógeno en las aguas pueden causar la reducción del oxígeno disuelto en los ecosistemas hídricos receptores y, para muchas especies, puede llegar a constituirse en un tóxico.

**b.** Desinfección

La desinfección es un tratamiento terciario que tiene como objetivo la destrucción de los microorganismos patógenos que están presentes en las aguas residuales, antes de su vertido a los cuerpos de agua receptores. (Lozano-Rivas, 2016) Debe recordarse que los tres grandes grupos de patógenos de origen entérico que causan la mayor parte de los problemas de salud pública relacionada con enfermedades gastrointestinales son: Bacterias, Virus y Protozoos.

**c.** Tecnologías de membranas

Son tecnologías muy costosas y sólo se justifica su utilización en los que el uso del agua regenerada justifica el precio final como la aplicación de ósmosis inversa para agua de bebida en campos de refugiados, naves espaciales, abastecimientos de emergencia o recarga de

acuíferos. Entre estas tecnologías se cuentan: microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, ósmosis inversa, electrodiálisis reversible y electrodesionización. (Lozano-Rivas, 2016)

**d. Filtración avanzada**

En esta técnica, se usan anillas planas plásticas con ranura, estas se comprimen unas sobre otras formando así el cuerpo del filtro. Dependiendo del nivel de compresión y el tamaño de las ranuras empleadas, habrá mayor o menor filtrabilidad. (Lozano-Rivas, 2016)

**1.2.6. Normativa Ambiental**

Para la ejecución de este tema de investigación, se toma a consideración las leyes y artículos aplicables al manejo de residuos sólidos en el Ecuador y en el cantón Orellana Para lo cual se utilizará como guía la normativa ambiental difundida por el TULSMA, la cual permite valorar los límites permisibles de descarga a cuerpos de agua dulce de los parámetros a controlar.

Según El Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente, (TULSMA) establece en el Libro VI de la Calidad Ambiental, en el Artículo 46: *En caso de existir peligro de un daño grave o irreversible al ambiente, la ausencia de certidumbre científica, no será usada por ninguna entidad reguladora nacional, regional, provincial o local, como una razón para posponer las medidas costo-efectivas que sean del caso para prevenir la degradación del ambiente.*

Y el Art. 25: *Cuando las entidades ambientales de control detectaren que los regulados ambientales incumplen las normas de protección ambiental, así como otras obligaciones ambientales, tuvieren pendiente autorizaciones, permisos, falta de aprobación de estudios, evaluaciones y otros documentos o estudios solicitados por la entidad ambiental de control. Considerando la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua inciso 4.2.3.7 toda descarga a un cuerpo de agua dulce, deberá cumplir con los valores establecidos a continuación (Ver tabla 1-17)*

**Tabla 1-17:** Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

<b>Parámetros</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Nitrógeno Total	N	mg/L	15

Organoclorados Totales	Concentración de Organoclorados Totales	mg/L	0,05
Organofosforados Totales	Concentración de Organofosforados Totales	mg/L	0,1
Plata	Ag	mg/L	0,1
Plomo	Pb	mg/L	0,2
Potencial de Hidrógeno	pH		5 a 9
Selenio	Se	mg/L	0,1
Sólidos Sedimentables	mg/l		100
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l		100
Sulfatos	SO <sub>4</sub>	mg/L	1000
Sulfitos	SO <sub>3</sub>	mg/L	2
Sulfuros	S	mg/L	0,5
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	0,5
Tetracloruro de Carbono	Tetracloruro de Carbono	mg/L	1
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/L	1

Fuente: (MAE, 2011)

## CAPÍTULO II

### 2. METODOLOGÍA

#### 2.1. Diagnóstico Zonal

##### 2.1.1. Localización del proyecto

###### 2.1.1.1. Macro localización

**Tabla 2-1:** Ubicación Cartográfica del Botadero.

<b>PROVINCIA:</b>	Orellana
<b>CANTÓN:</b>	Francisco de Orellana
<b>PARROQUIA:</b>	El Dorado
<b>SITIO:</b>	La paz

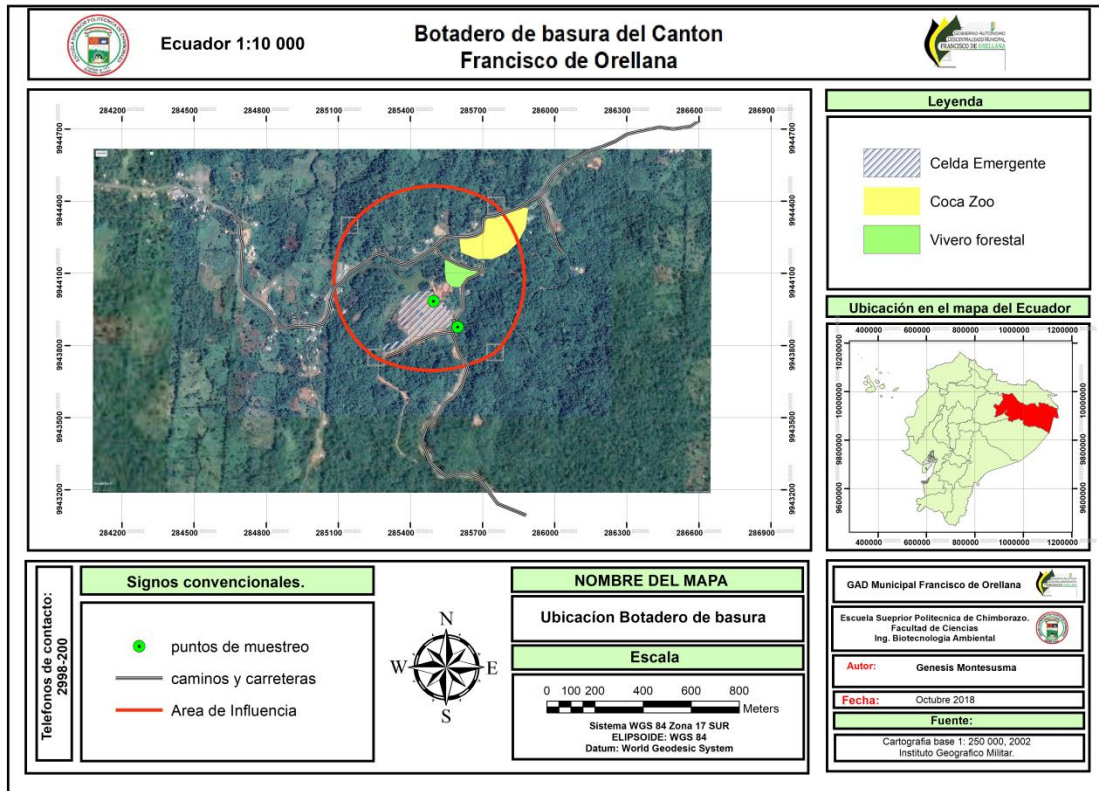
**Fuente:** GAD Municipal Cantón Francisco de Orellana

**Elaborado por:** Montezuma Génesis, 2018

El cantón limita al Norte con el cantón La Joya de los Sachas (Provincia de Orellana) y los cantones Cascales y Shushufindi (Provincia de Sucumbíos); al Sur con los cantones Arajuno (Provincia de Pastaza) y Tena (Provincia de Napo), al Este con el cantón Aguarico (Provincia de Orellana) y al Oeste con el cantón Loreto (Provincia de Orellana) y Tena (Provincia de Napo).



### 2.1.1.2. Micro localización



**Figura 2-1:** Mapa de Ubicación del Botadero del Cantón Francisco de Orellana.  
Elaborado por: Montezuma Génesis, 2018

El Botadero se encuentra ubicado en el Cantón Francisco de Orellana en el sector de la Paz, Parroquia el Dorado km 9 vía al Auca, se encuentra ubicada en las coordenadas 18M 285459 m E, 9943915 m S y a una altitud de 305 msnm; localizado en un terreno de propiedad municipal, el lote cuenta con una extensión de 10 hectáreas y está en funcionamiento desde 1998 hasta la fecha, como referencia aldeaña se encuentra situado el vivero forestal y el Zoológico Municipal de Francisco de Orellana (Coca Zoo).

### 2.1.2. Área de Influencia Directa (AID)

Para éste proyecto se ha determinado en el campo el área de influencia directa que corresponde a 4.10Ha, que es lo que comprende la zona del Botadero en un radio a 500m. Norma del Ministerio del Ambiente del Ecuador para viviendas en este radio de 500m a su alrededor encontramos parte de la Comunidad la Paz. Un estero ubicado a 150m del botadero la quebrada

ubicada en el Kilómetro 8 y medio y el Zoo criadero que esta aledaño al Botadero y constituye un riesgo para las especies animales que se encuentran en este.

### **2.1.3. Área de Influencia Indirecta (AII)**

Como área de influencia indirecta vamos a tomar el recorrido de los recolectores de la ciudad al Botadero vía al Auca que son 9 Km, 10 m a cada lado de vía y vamos a tomar en cuenta los olores que son una molestia para la población aledaña en especial la Comunidad la Paz y Laureles así como la Basura o los desperdicios que estén en la Vía esperando a ser recogidos por los recolectores.

### **2.1.4. Estado actual del Botadero**

Se determinó que el Botadero semi-controlado del Cantón Francisco de Orellana, ubicado en el sector la Paz, cuenta con una extensión de 10 hectáreas que son bordeadas por un estero; según fuentes de la Municipalidad del Cantón Francisco de Orellana, su funcionamiento data desde hace 19 años en el cual se depositan todo tipo de residuos sólidos como materia orgánica, escombros de construcción, papel, cartón, tela, plásticos, envases metálicos, neumáticos, animales muertos, residuos hospitalarios, residuos del camal municipal, etc. Para conocer el estado actual del botadero se realizó una investigación bibliográfica y observación de campo de las áreas de operación y control del Botadero:



**Fotografía 2-1:** Estado actual del Botadero del Cantón Francisco de Orellana.  
**Elaborado por:** Génesis Montezuma, 2018

#### 2.1.4.1. Áreas de servicio

Se reconoció las áreas de servicio en el Botadero, como tal casi inexistente, se toma en cuenta una caseta de inspección para el personal de mantenimiento del botadero y en donde se realiza el registro de entrada y salida al sitio, los operadores la utilizan para protegerse del sol; respecto a servicios básicos, se cuenta con energía eléctrica y se tiene agua que es bombeada del estero, además se encuentra a disposición la batería sanitaria del Vivero Forestal del Cantón.



**Fotografía 2-2:** Caseta de inspección.

**Elaborado por:** Génesis Montezuma, 2018



**Fotografía 2-3:** Vivero forestal.

**Elaborado por:** Génesis Montezuma, 2018

#### 2.1.4.2. *Vías de acceso*

Se determinó que en el recorrido desde el casco urbano, la volqueta de recolección atraviesa aproximadamente 9 km de vía pavimentada en excelente estado, vía al Auca y aproximadamente 300 m de vía lastrada en buenas condiciones. Los vehículos recolectores ingresan al Botadero por lo general dos veces al día del sector urbano. Para el sector rural, la recolección se realiza 3 veces por semana en una Volqueta e ingresa al Botadero 3 veces a la semana. La vía de acceso es compartida con el Vivero forestal del Cantón, pero funcionan como 2 departamentos separados cada uno con sus funciones específicas.



**Fotografía 2-4:** Vías de acceso.  
**Elaborado por:** Génesis Montezuma, 2018

#### 2.1.4.3. *Sitios de descargas de Basura*

Se evidencio que la basura se descarga directamente en las celdas dispuestas por montículos de desechos para su posterior compactación “in situ”, mediante un tractor tipo oruga, encargada de distribuir los residuos y compactar la capa de tierra (arcilla) que se utiliza como recubrimiento, la cual tiene un peso específico de  $1980 \text{ kg/m}^3$ . Los desechos Hospitalarios son depositados en una celda dispuesta con geomembrana HPDE de 1,5mm. Periódicamente se realiza un control de olores con una fumigación de bacterias para minimizar el mal olor y acelerar de la descomposición de la basura. Además, se realiza una desinfección periódica, para evitar proliferación de insectos y roedores.





**Fotografía 2-5:** Sitio de descarga de basura.  
Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018



**Fotografía 2-6:** Control de olores.  
Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

#### 2.1.4.4. *Área de reciclaje*

Se observó que el Botadero Municipal no cuenta con áreas de Reciclaje, pero en la actualidad, mediante un convenio con la Asociación de recicladores de Orellana (ARO), se realiza la recolección separada por parte de esta Asociación; esta asociación está encargada de recolectar materiales como: cartón, papel y plásticos.

#### 2.1.4.5. *Recolección y drenaje de lixiviados*

Actualmente en el botadero no existe un sistema de tratamiento del lixiviado, ni cuenta con un drenaje propiamente dicho más bien es incipiente ya que solo cuenta con un tubo de PVC de 4 pulgadas de 3m de longitud incrustado en la cota más baja de la zona de basura del botadero, el lixiviado que percola por este dren es recolectado en una piscina de almacenamiento primario (2 m de ancho, 3 m de largo, 3 m de profundidad), este lixiviado recolectado es impulsado por una bomba simple y trasladado con una manguera de PVC hacia las dos piscinas de almacenamiento secundario (3 m de ancho, 10 m de largo, 3 m de profundidad) que se encuentra en la parte norte del botadero, el bombeo de lixiviado se da principalmente en época de invierno o cuando se haya tenido una lluvia de gran intensidad.

Es preciso mencionar que este tipo de drenes tiende a taponarse y debido a que esta tubería fue instalada hace 10 años no se ha logrado dar un mantenimiento para que se destape el dren por donde percola el lixiviado, por lo que el lixiviado que se recolecta en esta piscina es de poco volumen.



**Fotografía 2-7:** Piscina de almacenamiento primario de la zona baja del Botadero.

**Elaborado por:** Génesis Montezuma, 2018



**Fotografía 2-8:** Piscina de almacenamiento secundario de la zona alta del Botadero.

**Elaborado por:** Génesis Montezuma, 2018

El lixiviado percolado por aguas lluvias forma una poza natural de almacenamiento en la parte Norte alta del botadero, la cual se encuentra de forma paralela a un estero que bordea el área del botadero. Este lixiviado es bombeado a la piscina de almacenamiento secundario.

Cabe recalcar que las piscinas de almacenamiento de lixiviados fueron instaladas debido a la necesidad de generar un caudal constante en una piscina de almacenamiento completo, de lixiviado generado en las dos zonas del Botadero. Las piscinas de almacenamiento primario y secundario se instalaron en el mes de abril del 2018.



**Fotografía 2-9:** Poza de almacenamiento natural de lixiviado.

**Elaborado por:** Génesis Montezuma, 2018



#### 2.1.4.6. *Drenaje pluvial*

El Botadero actual no cuenta con drenaje pluvial propiamente dicho, solo posee zanjas provisionales en la parte baja de la zona de basura que recoge las aguas lluvias y algunas filtraciones de lixiviados que caen a este dren y luego descargan directamente en el río.

#### 2.1.4.7. *Chimenea de biogás*

En el Botadero se observan 5 Chimeneas esparcidas en toda el área, pero que no están en funcionamiento, debido a que se encuentran deterioradas.



**Fotografía 2-10:** Chimeneas.  
Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

#### 2.1.4.8. *Densidad de residuos sólidos*

Mediante revisión bibliográfica de información suministrada por el Departamento de gestión de residuos del Cantón se pudo obtener los datos del estudio de caracterización realizado por la Consultora OTWC determinando la densidad de los desechos que se generan en la ciudad de Francisco de Orellana:

- Zona residencial = 348.68Kg/m<sup>3</sup>
- Zona comercial = 184,21Kg/m<sup>3</sup>
- Densidad promedio = 266.45 Kg/m<sup>3</sup>



#### 2.1.4.9. Volumen de residuos sólidos

Las cantidades que se producen diariamente, según el estudio de caracterización de la Basura realizada en el Cantón por la Consultora OTWC es de: 58,73 ton/día de donde se recolectan 44,17 toneladas.

**Tabla 2-2:** Producción total de residuos sólidos en el Cantón Francisco de Orellana.

Año	Producción total		
	Diaria	Anual	Acumulada
	ton/día	ton/año	ton
2011	58,73	21.438,16	21.438,16

Fuente: Weather Consulting S.A. Informe de estudio de diagnóstico y factibilidad.

#### 2.1.4.10. Composición de residuos sólidos

Los desechos en Francisco de Orellana en la actualidad, según: el tipo, material y cantidad; en relación porcentual se distribuyen de la siguiente manera:

**Tabla 2-3:** Componentes básicos de los residuos sólidos del Cantón Francisco de Orellana.

Componente	Porcentaje (%)
Papel y cartón	12.75
Plástico	23.81
Desperdicios orgánicos	52.77
Vidrio	5.74
Metal (latas)	2.63
Textil	2.30
<b>Total</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Weather Consulting S.A

## 2.2. Caudal

### 2.2.1. Caudal real o de campo

Se realizó el cálculo del caudal en campo, mediante la medición del aumento de volumen del lixiviado de las piscinas de almacenamiento y el tiempo en que se llegó a este volumen.

Se realizó las mediciones cada 24 horas durante 5 días consecutivos; iniciando el día 05 de noviembre a las 8:00 am, con ayuda de una varilla se midió la profundidad de lixiviado en las 2 piscinas de almacenamiento y se registró las observaciones meteorológicas que pudieron haber afectado el caudal.

El caudal se obtiene mediante la relación del volumen sobre tiempo, para lo cual el cálculo del aumento de volumen en las piscinas de almacenamiento de lixiviados, durante 24 horas, se obtiene mediante la altura de aumento de lixiviado y las dimensiones de las piscinas. Las piscinas de almacenamiento de lixiviados tienen: 10m de largo, 3m de ancho y 3 m de profundidad.

### 2.2.2. Caudal de diseño

#### Método Suizo para la cuantificación del caudal

Para estimar el caudal de lixiviado que genera el actual botadero, se eligió mediante revisión bibliográfica y se determinó emplear el método suizo que permite determinar teóricamente el caudal del lixiviado; se optó este método debido a los datos teóricos que se poseen del botadero.

**Ecuación 2-1:** Caudal por el método Suizo.

$$Q = \frac{1}{t} * P * Ab * K$$

**Dónde:**

**Q:** caudal medio de lixiviado (L/s).

**P:** precipitación media anual del Cantón Francisco de Orellana (mm/año).

**Ab:** Área del Botadero, (m<sup>2</sup>).

**t:** número de segundos en un año (seg).

**k:** coeficiente del grado de compactación (adimensional).

Consideraciones:

Para rellenos débilmente compactados con peso específico de 0,4 a 0,7 t/m<sup>3</sup>, se estima una producción de lixiviado entre 25 y 50% (k = 0,25 a 0,50) de precipitación media anual correspondiente al área del relleno.

Para rellenos fuertemente compactados con peso específico > 0,7 t/m<sup>3</sup>, se estima una generación de lixiviado entre 15 y 25% (k = 0,15 a 0,25) de la precipitación media anual correspondiente al área del relleno.

Proyección de la población:

Se determina la población futura mediante la siguiente expresión, que es un método matemático referido al crecimiento geométrico, es decir, al de las poblaciones biológicas en expansión, para lo cual se asume una tasa de crecimiento constante:

**Ecuación 2-2:** Población Futura.

$$P_f = P_o \left(1 + \frac{r}{100}\right)^t$$

**Dónde:**

**P<sub>f</sub>:** Población futura, resultado de la proyección, (habitantes).

**P<sub>o</sub>:** Población al inicio del período, (habitantes).

**r:** Tasa media anual de crecimiento, (%).

**t:** Número de años que se va a proyectar la población, (años).

Cobertura del servicio:

El cubrimiento del servicio de aseo diario de la población total del Cantón Francisco de Orellana, se calculó mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 2-3:** Cobertura del servicio.

$$Cob = \frac{Pob A}{P_t} * 100$$

**Dónde:**

**Cob:** Cobertura del servicio, (%)

**Pob A:** Población atendida, (habitantes).

**P<sub>t</sub>:** Población total, (habitantes).

Producción per cápita:

Se calculó mediante la relación de la cantidad de residuos producidos en la semana por la población del Cantón:

**Ecuación 2-4:** Producción per cápita.

$$ppc = \frac{D_{rs} \text{ semana}}{Pob * 7 * Cob}$$

**Dónde:**

**ppc:** producción per cápita, (kg/hab.día).

**D<sub>rs</sub> semana:** Cantidad de residuos sólidos recolectados, (kg/semana).

**Pob:** Población área urbana, (habitantes).

**7:** días de la semana

**Cob:** Cobertura del servicio, (%).

Producción total de residuos sólidos:

El conocimiento de la cantidad generada de residuos sólidos urbanos por día, se obtiene mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 2-5:** Cantidad de RSU por día.

$$D_{Sp} = Pob * ppc$$

**Dónde:**

**D<sub>sp</sub>:** Cantidad de RSU producidos por día, (kg/día).

**Pob:** Población área urbana, (habitantes).

**ppc:** producción per cápita, (kg/hab.día).

Volumen diario de residuos sólidos:

Los requerimientos de espacio en el botadero están en función de la producción diaria y la densidad de los RSU, y se expresa en la siguiente ecuación:

**Ecuación 2-6:** Volumen diario de RSU.

$$V_d = \frac{D_{sp}}{D_{rsm}}$$

**Dónde:**

**V<sub>d</sub>:** volumen diario de residuos sólidos, (m<sup>3</sup>/día).

**D<sub>sp</sub>:** Cantidad de residuos sólidos producidos, (kg/día).

**D<sub>rsm</sub>:** Densidad de los RSU, (kg/m<sup>3</sup>).

Volumen anual compactado:

Se calcula en función del volumen de residuos sólidos que anualmente se generan en el Botadero:

**Ecuación 2-7:** Volumen anual compactado de RSU.

$$V_{ac} = V_d * 365 \text{ días}$$

**Dónde:**

**V<sub>ac</sub>:** Volumen anual compactado de RSU (m<sup>3</sup>).

**V<sub>d</sub>:** volumen diario de residuos sólidos, (m<sup>3</sup>/día).

**365:** Equivalente a un año, (días).

#### Volumen del material de cobertura:

Se calcula el volumen del material de cobertura en función del volumen anual compactado y el coeficiente del grado de compactación del Botadero, que se calcula mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 2-8:** Volumen del material de cobertura.

$$m_c = V_{ac} * k$$

#### **Dónde:**

**m<sub>c</sub>:** Volumen del material de cobertura, (m<sup>3</sup>)

**V<sub>ac</sub>:** Volumen anual compactado de RSU en un año, (m<sup>3</sup>).

**k:** coeficiente del grado de compactación (adimensional)

#### Volumen del Botadero:

Con los valores de volumen obtenidos en la Ecuación 2-6 y 2-7, se puede obtener el volumen total del Botadero para el primer año.

**Ecuación 2-9:** Volumen del Botadero.

$$V_b = V_{ac} * m_c$$

#### **Dónde:**

**V<sub>b</sub>:** Volumen del Botadero, (m<sup>3</sup>).

**V<sub>ac</sub>:** Volumen anual compactado de RSU en un año, (m<sup>3</sup>).

**m<sub>c</sub>:** Volumen del material de cobertura, (m<sup>3</sup>).

#### Volumen proyectado del Botadero:

El volumen total ocupado durante la vida útil del Botadero, proyectado a n años; se obtiene así:

**Ecuación 2-10:** Volumen proyectado del Botadero.

$$V_{tb} = V_b * n$$

**Dónde:**

**V<sub>tb</sub>:** Volumen proyecto del Botadero durante n años, (m<sup>3</sup>).

**V<sub>b</sub>:** Volumen del Botadero, (m<sup>3</sup>).

**n:** Número de años de vida útil.

Área requerida para el Botadero:

Con el valor del volumen total del Botadero, se puede estimar el área requerida para la vida útil del mismo, con una profundidad o altura estimada y mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 2-11:** Área del Botadero.

$$A_b = \frac{V_{tb}}{H}$$

**Dónde:**

**A<sub>b</sub>:** Área del Botadero, (m<sup>2</sup>).

**V<sub>tb</sub>:** Volumen total del Botadero durante n años, (m<sup>3</sup>).

**H:** Profundidad o altura estimada del Botadero, (m).

### **2.3. Caracterización físico-química y biológica de lixiviados**

#### **2.3.1. Muestreo de lixiviados**

##### *2.3.1.1. Selección de fechas de muestreo*

La toma de muestras se efectuó de acuerdo al cronograma acordado con el director del departamento de gestión ambiental, para luego ser trasladados al laboratorio de análisis, donde se generaron los análisis fisicoquímicos y biológicos correspondientes.

Según el Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la región, en general considera que el clima del cantón es esencialmente tropical cálido húmedo, la temperatura promedio anual en las tierras bajas es de 26°C.

Las fechas de muestreo se seleccionaron de acuerdo al clima y a los meses de mínima y máxima precipitación (según datos proporcionados por la estación meteorológica cercana); por lo que se seleccionó un mes de poca precipitación (febrero) y un mes de mucha precipitación (marzo), para realizar los muestreos periódicos cada semana se seleccionó el día miércoles, el cual es el día de mayor recolección y fluencia de residuos según datos proporcionados por el Departamento de residuos sólidos de la municipalidad de Francisco de Orellana . (Ver Anexo A: Cronograma de muestreo.)

### 2.3.1.2. Identificación de los puntos de muestreo

Los puntos de muestreo se eligieron considerando la accesibilidad al sitio, factores estacionales como lluvias intensas que intervienen en la cantidad de lixiviado, al igual que el factor de dilución en la fuente superficial. Descripción de los puntos de muestreo en la Zona 18 M:

PUNTO I.- Esta poza se forma alrededor en la parte Norte del Botadero, en donde aflora el lixiviado joven de manera natural y de forma paralela a un estero que bordea el área del Botadero.

PUNTO II.- Existe un tubo de PVC de 3m de longitud incrustado en la cota más baja de la zona de basura formando una poza en la parte occidental del botadero de lixiviado maduro y es aquí donde se marca el segundo punto de muestreo.

**Tabla 2-4:** Coordenadas de los puntos de muestreo.

<b>PUNTO I</b>	X	0285496
	Y	9943985
<b>PUNTO II</b>	X	0285597
	Y	9943877

**Fuente:** GAD Municipal Cantón Francisco de Orellana

**Elaborado por:** Montezuma Génesis, 2018

Por medio de un GPS se tomó de los puntos geográficos de los sitios de muestreo del Botadero del Cantón Francisco de Orellana, empleando como Datum Horizontal el Sistema Geofísico



Mundial de 1984 (WGS 84) y como Datum Vertical se utilizó el Sistema de Proyección Cartográfica Universal Transverse Mercator (UTM), Zona 18.

### 2.3.1.3. *Etiquetado de la muestra*

Para prevenir confusiones en la identificación de las muestras se realizó un formato de etiquetas, el cual se pega al frasco de muestra antes de o en el momento del muestreo, con papel engomado o etiquetas adhesivas en las que se anote con tinta a prueba de agua, y deberá de constar por lo menos la siguiente información: número de muestra, código, fecha, hora y lugar de recolección, origen y tipo de muestra, punto de muestreo y responsable del muestreo. (Ver Anexo B: Etiqueta de muestra.)

**Tabla 2-5:** Nomenclatura de Muestras.

<b>Ejemplo: LBFO - 01- 1 - I</b>	
LBFO:	Lixiviado del Botadero Francisco de Orellana.
01:	Número de muestreo.
1:	Numero de muestra.
I-II:	Punto de muestreo

**Fuente:** GAD Municipal Cantón Francisco de Orellana  
**Elaborado por:** Montezuma Génesis, 2018

### 2.3.1.4. *Recepción y registro de la muestra*

Las muestras se deben entregar en el laboratorio lo más pronto posible una vez realizado el muestreo, en el transcurso de dos horas como máximo; la entrega se realiza en la recepción del laboratorio y debe estar acompañada por el registro completo del proceso de control de la muestra, como es la respectiva etiqueta en cada una de las muestras y la cadena custodia del proceso de muestreo, la cual deberá constar de por lo menos la siguiente información: Numero de muestreo, código de campo, tipo de muestra, origen de la muestra, punto de muestreo, lugar, hora, fecha, volumen de la muestra; además la cadena de custodia debe constar de un campo exclusivo para el laboratorio donde se llenara datos como: recibido por, condición de la muestra, comentarios, etc. (Ver Anexo C: Cadena de custodia de muestreo.)

En el laboratorio, el recepcionista inspecciona la condición de la muestra, compara la información de la etiqueta, llena los datos asignados en la cadena de custodia y le asigna un número o código para su entrada al laboratorio, la registra en el libro del laboratorio, y la guarda en el cuarto o cabina de almacenamiento hasta que sea asignada a un analista.

### 2.3.2. Muestreo de parámetros Físico-químicos y Biológicos

#### 2.3.2.1. Metodología de trabajo

Para la ejecución de esta actividad se utilizó los materiales de la Tabla 2-6 y se realizó el procedimiento determinado para muestreo de parámetros físico-químicos y biológicos; además de la ayuda de los trabajadores y la supervisión de la técnica responsable del Botadero.

En la recolección de las muestras de lixiviado se escogió un tipo de muestreo compuesto y simple para el punto de muestro I y II respectivamente; se ejecutó el cronograma estipulado, las muestras se recolectaron en envases de vidrio ámbar de 1 L y ½ L y envase de plástico estéril de 250ml debidamente etiquetados con el código, fecha y hora de muestreo.

#### 2.3.2.2. Materiales y equipos

**Tabla 2-6:** Materiales y equipos para el muestreo de parámetros físico-químicos y biológicos.

MATERIALES	CANTIDAD	
	Un muestreo	Totalidad del muestreo
Botas	1 par	1 par
Guantes	1 par	5 pares
Mascarilla	1	5
Envase de vidrio ámbar de 1 L	2	10
Envase de vidrio ámbar de ½ L	2	10
Envase de plástico estéril de 250ml	2	10
Hielo	1 funda	5 fundas
Recipiente de plástico de 10L	1	
Jarra de plástico de 1L	1	

Garrocha o pértiga	1
Cooler	1
<b>EQUIPOS</b>	
Cámara fotográfica	1
GPS	1

**Fuente:** Fuente: GAD Municipal Cantón Francisco de Orellana

**Elaborado por:** Montezuma Génesis, 2018

### 2.3.2.3. Procedimiento

- ✓ Se revisó el cronograma de fechas de muestreo y se preparó los materiales y equipos para el muestreo de parámetros físico-químicos y biológicos.
- ✓ Se moviliza a la ubicación del Botadero del Cantón Francisco de Orellana y se coloca el EPP necesario para realizar la actividad.
- ✓ Se sitúa en el punto I de muestreo, con ayuda de la garrocha en la que se amarra la jarra de plástico de 1L, se recolecta lixiviado de 10 puntos diferentes en la poza y se colocan en el recipiente de 10 L; posteriormente se purga la botella tres veces en dicho lixiviado recolectado y se procede a llenar la botella ámbar de 1L y se tapa enseguida, se recoge doble muestra; en la toma de muestra para análisis microbiológico el envase de plástico se sumerge en el lixiviado, seguida de la acción de abrir, llenar y tapar.
- ✓ Se sitúa en el punto II de muestreo, se purga la botella ámbar tres veces en el lixiviado y se recolecta la muestra, se tapa enseguida, se recoge doble muestra; para la muestra de análisis microbiológico el envase de plástico se sumerge en el lixiviado, seguida de la acción de abrir, llenar y tapar.
- ✓ Se coloca las etiquetas en cada botella, con su respectiva nomenclatura y se las acaudala en el cooler con hielo, para su previo transporte al laboratorio.
- ✓ Se realiza la cadena de custodia del día de muestreo respectivo y se transportó las muestras al laboratorio.

### 2.3.3. Medición de parámetros físicos in situ

#### 2.3.3.1. Metodología de trabajo

Para la ejecución de esta actividad se utilizó los materiales de la Tabla 2-7 y se realizó el procedimiento determinado para medición de parámetros físicos in situ; además de la ayuda de los trabajadores y la supervisión de la técnica responsable del Botadero.

En la medición de los parámetros físicos de las muestras de lixiviado se escogió un tipo de muestreo compuesto y simple para el punto de muestro I y II respectivamente; los parámetros físicos que se midieron en campo fueron la temperatura y el pH, para lo cual se ejecutó el cronograma y el procedimiento para medición de parámetros físicos in situ.

#### 2.3.3.2. Materiales, equipos y reactivos

**Tabla 2-7:** Materiales, equipos y reactivos para la medición de parámetros físicos in situ.

MATERIALES	CANTIDAD	
	Un muestreo	Totalidad del muestreo
Botas	1 par	1 par
Guantes	1 par	4 pares
Mascarilla	1	4
Vaso de plástico	2	8
Toallas absorbentes	2	8
Servilletas	4	24
Papel filtro	2	8
Embudo	1	
Matraz de Erlenmeyer de 250 ml	1	
Recipiente de plástico de 10 L	1	
Jarra de plástico de 1 L	1	
Garrocha o pértiga	1	
Libreta	1	

Esfero	1	
<b>EQUIPOS</b>		
Cámara fotográfica	1	
pHmetro	1	
GPS	1	
<b>REACTIVOS</b>		
Agua destilada	1 litro	4 litros

**Fuente:** GAD Municipal Cantón Francisco de Orellana

**Elaborado por:** Montezuma Génesis, 2018

### 2.3.3.3. Procedimiento

- ✓ Se revisó el cronograma de fechas de muestreo y se preparó los materiales y equipos para el muestreo de parámetros fisicoquímicos y biológicos.
- ✓ Se moviliza a la ubicación del Botadero del Cantón Francisco de Orellana y se coloca el EPP necesario para realizar la actividad.
- ✓ Se sitúa en el punto I de muestreo y la con ayuda de la garrocha en la que se amarra la jarra de plástico de 1L, recolectar lixiviado de 10 puntos diferentes en la poza y se colocaron en el recipiente de 10 L.
- ✓ Previamente se prepara el equipo de filtrado: embudo con el papel filtro y el matraz Erlenmeyer y se procede a filtrar mínimo 50 ml de lixiviado, del punto I de muestreo.
- ✓ Se enciende el pHmetro, el cual debe estar debidamente calibrado y se enjuaga con agua destilada; posteriormente se coloca en un vaso el lixiviado filtrado y se realiza la medición, colocando el pHmetro dentro del vaso con el lixiviado filtrado.
- ✓ Se anota en la libreta los valores de Temperatura y pH.
- ✓ Se sitúa en el punto II de muestreo, se purga el recipiente recolector tres veces en el lixiviado y se recoge la muestra, tapando enseguida.
- ✓ Previamente se prepara el equipo de filtrado: embudo con el papel filtro y el matraz Erlenmeyer y se procede a filtrar mínimo 50 ml de lixiviado, del punto II de muestreo.
- ✓ Se enciende el pHmetro y se enjuaga con agua destilada; posteriormente se coloca en un vaso el lixiviado filtrado y se realizó la medición, colocando el pHmetro dentro del vaso con el lixiviado filtrado.
- ✓ Se anota en la libreta los valores de Temperatura y pH; además se deberá registrar en la libreta de campo, datos como: lugar, fecha y hora de cada medición y punto de muestreo respectivo.

## 2.4. Pruebas de tratabilidad

### 2.4.1. Coagulación – Flocculación

Se determinó una elevada cantidad de sólidos totales, como resultado de la caracterización del lixiviado del Botadero del Cantón Francisco de Orellana, por lo que se plantea utilizar la coagulación, la cual consiste en agrupar el material suspendido en el lixiviado mediante la adición de un coagulante, en este caso se eligió Sulfato de Aluminio, este debe estar disuelto en el lixiviado, para conocer la concentración exacta de coagulante a utilizar respecto al caudal de entrada de lixiviado, se realiza una prueba de jarras.

Se definió como coagulante a usar el sulfato de aluminio tipo B granular, para lograr un óptimo rendimiento se debe preparar una solución, de esta manera se garantiza una mejor desestabilización de las partículas al momento de realizar la coagulación - flocculación.

#### 2.4.1.1. Prueba de jarras

El ensayo de jarras se llevó a cabo durante 5 días consecutivos a partir del día lunes 22 de octubre al día viernes 26 de octubre del año 2018, en el laboratorio de calidad del agua de la Facultad de Ciencias, en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Se realizó 11 ensayos de pruebas de jarras para dosificación de la concentración adecuada de Sulfato de Aluminio (Coagulante) que se añadirá al lixiviado para la coagulación de flóculos.

**Tabla 2-8:** Materiales, equipos, reactivos y sustancias para la prueba de jarras.

<b>MATERIALES</b>	<b>CANTIDAD</b>
Balón de 100 ml	1
Vasos de precipitación de 1000ml	4
Varilla de agitación	1
Pipeta de vidrio de 10 ml	1
<b>EQUIPOS</b>	
pHchmetro	1

Turbidimetro	1
Conductimetro	1
<b>REACTIVOS Y SUSTANCIAS</b>	
Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$	1 kg
Agua destilada	1 litro
Lixiviado	25 litros

Fuente: GAD Municipal Cantón Francisco de Orellana

Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

**a.** Procedimiento para la prueba de jarras

- ✓ Para la preparación de la solución madre de sulfato de aluminio se pesan 10 g de  $Al_2(SO_4)_3$  y se afora con agua destilada en un balón de 100 ml. Se realiza los siguientes cálculos para determinar la concentración y dosificación de la solución madre:

$$\frac{10g(Al_2(SO_4)_3)}{100\text{ ml (agua destilada)}} * \frac{1000\text{ mg}}{1\text{ g}} * \frac{1000\text{ ml}}{1\text{ L}} = 100000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} (Al_2(SO_4)_3)$$

**Ecuación 2-12:** Solución de reserva.

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$C_2 = \frac{C_1 * V_1}{V_2}$$

$$C_2 = \frac{100000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} (Al_2(SO_4)_3) * 1\text{ml}}{1000\text{ ml}}$$

$$C_2 = 100 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

- ✓ Observaciones: Cada 1 ml de solución de  $Al_2(SO_4)_3$  contiene 100 mg/L (ppm) de concentración.
- ✓ Se realizaron 11 ensayos, para lo cual se preparó los vasos de precipitación de 1000 ml, introduciendo en cada uno 1000 ml de volumen de la muestra de lixiviado, se mide y registra la turbidez, pH, color y conductividad inicial de cada muestra.
- ✓ Utilizando la solución madre preparada anteriormente, colocamos diferentes concentraciones en los vasos:

**Tabla 2-9:** Ensayos en la prueba de jarras con  $Al_2(SO_4)_3$ .

N° Ensayo	Concentración (mg/L)	Volumen (mL)
1	1500	15
2	1600	16
3	1700	17
4	1800	18
5	1900	19
6	2000	20
7	2100	21
8	2200	22
9	2300	23
10	2400	24
11	2500	25

**Elaborado por:** Génesis Montezuma, 2018

- ✓ Al agregar a cada muestra la cantidad de solución madre correspondiente, se procede a realizar la mezcla rápida (200rpm) durante 5 min, luego se deja reposar durante un lapso de 30 min para que los flóculos precipiten. Pasado el tiempo de reposo se mide y registra la turbidez, pH, color y conductividad final de cada muestra.
- ✓ La dosis más adecuada del coagulante será el resultado con la cual se obtiene un floculo más precipitado, con menor valor de turbidez, pH, color y conductividad.
- ✓ Es posible realizar una segunda etapa en el ensayo de jarras; obteniendo el resultado de dosis óptima en la etapa anterior, se procede a preparar varios vasos de precipitación con la muestra de lixiviado a diferentes dosis de pH (Rango óptimo de pH del coagulante).
- ✓ El ajuste de pH se realizó con ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), procurando llegar a un pH de: 5, 6, 7 y 8, obteniendo 4 muestras a tratar a las cuales se mide y registra la turbidez, pH, color y conductividad inicial de cada muestra.
- ✓ Se añade a cada muestra la dosis óptima de sulfato de aluminio, obtenida en la etapa anterior, y se procede a realizar la mezcla rápida (200rpm) durante 5 min, luego se deja reposar durante un lapso de 30 min para que los flóculos precipiten.
- ✓ Pasado el tiempo de reposo se mide y registra la turbidez, pH, color y conductividad final de cada muestra.
- ✓ Para una mayor confiabilidad en el tratamiento de coagulación, se realiza una caracterización inicial de la muestra del lixiviado antes de ser tratado y una caracterización final del lixiviado tratado en la prueba de jarras con la dosificación y pH óptimo de sulfato de aluminio.



**b.** Cálculos para la dosificación de coagulante

Dosificación de coagulante:

La dosificación del Sulfato de aluminio se efectuará por vía húmeda manualmente en una solución al 100%, cuyo volumen necesario de la solución se determinó mediante un ensayo de laboratorio empleando la prueba de jarras.

**Ecuación 2-13:** Dosificación de coagulante.

$$D_{Al_2(SO_4)_3} = \frac{Q_E * C_{Al_2(SO_4)_3}}{60 * P_{Al_2(SO_4)_3} * \delta_{Al_2(SO_4)_3}}$$

**Dónde:**

$D_{Al_2(SO_4)_3}$ : Dosificación de Sulfato de Aluminio (mL/min)

$Q_E$ : Caudal de entrada (m<sup>3</sup>/h)

$C_{Al_2(SO_4)_3}$ : Concentración de Sulfato de aluminio de la prueba de jarras (mg/L)

$P_{Al_2(SO_4)_3}$ : Porcentaje de dilución (%)

$\delta_{Al_2(SO_4)_3}$ : Densidad del Sulfato de aluminio (Kg/L)

Masa del Sulfato de Aluminio:

**Ecuación 2-14:** Masa de coagulante.

$$M_{Al_2(SO_4)_3} = \delta_{Al_2(SO_4)_3} * D_{Al_2(SO_4)_3}$$

**Dónde:**

$M_{Al_2(SO_4)_3}$ : Masa de sulfato de aluminio (kg)

$\delta_{Al_2(SO_4)_3}$ : Densidad del Sulfato de aluminio (Kg/L)

$D_{Al_2(SO_4)_3}$ : Dosificación de Sulfato de aluminio (mL/min)

#### **2.4.2. Humedal artificial**

Una vez realizada la caracterización inicial físico-química y biológica de los lixiviados del Botadero, se eligió un tratamiento biológico para la etapa secundaria del sistema, considerando los fundamentos para su elección y de acuerdo con la relación de biodegradabilidad, entonces tenemos:

**Ecuación 2-15:** Índice de Biodegradabilidad.

$$\frac{DBO_5}{DQO}$$

Los resultados obtenidos de esta relación, nos permite deducir que el lixiviado originada en el Cantón Francisco de Orellana tiende a ser biodegradable pudiendo aplicarse en ellas Sistemas Biológicos o Fitodepuradores como los humedales artificiales.

Se procedió a preparar el campo para construir las celdas donde se construirá el humedal artificial de flujo subsuperficial vertical, en el cual se sembró pasto alemán; se escogió el tipo de humedal y especie de planta en base a investigación bibliográfica.

##### *2.4.2.1. Impermeabilización del suelo*

Se utilizó Geomembranas de Polietileno de alta densidad o HDPE de 1,5mm; es fabricada a partir de un 93% de resina de Polietileno de alta densidad, un 3% de aditivos antioxidantes y negro de humo, que las hace muy resistentes a los rayos UV haciéndola excelente para aplicaciones expuestas.

##### *2.4.2.2. Selección de especies vegetales*

La especie seleccionada fue la *Echinochloa polystachya* (Pasto alemán) para la pre-experimentación fue identificada y recolectada de los humedales de la Planta de tratamiento de aguas residuales del Cantón, la cual se encuentra ubicada en el km 3 vía Auca.

### 2.4.2.3. Selección de sustratos

**Tabla 2-10:** Sustratos del humedal.

Tipo de material	Altura efectiva (cm)
Abono orgánico	5
Arena gruesa (diámetro 2mm)	40
Grava fina (diámetro 16mm)	20
Tamo de café	5
Piedra bola (diámetro 3-5 cm)	20

Fuente: GAD Municipal Cantón Francisco de Orellana

Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

### 2.4.2.4. Materiales para la construcción del Humedal artificial

**Tabla 2-11:** Materiales para la construcción del Humedal artificial.

Material	Cantidad
<b>EPP</b>	
Botas	1 par
Guantes de golpe	1 par
Ropa de trabajo	-----
<b>Herramientas de construcción</b>	
Pala	2
Taladro	1
Segueta	1
Plomada	1
<b>Material de construcción</b>	
Geomembrana HPDE (1.5mm)	25 m <sup>2</sup>
Tuvo PVC de 4 pulgadas	20 m
Codo 90° 4 pulgadas	1
Codo 45° 4 pulgadas	2
Unión T PVC 4 pulgadas	4
Piedra bola de río (diámetro 3-5 cm)	5 m <sup>3</sup>
Tamo de café	1,25 m <sup>3</sup>
Grava fina (diámetro 16mm)	5 m <sup>3</sup>

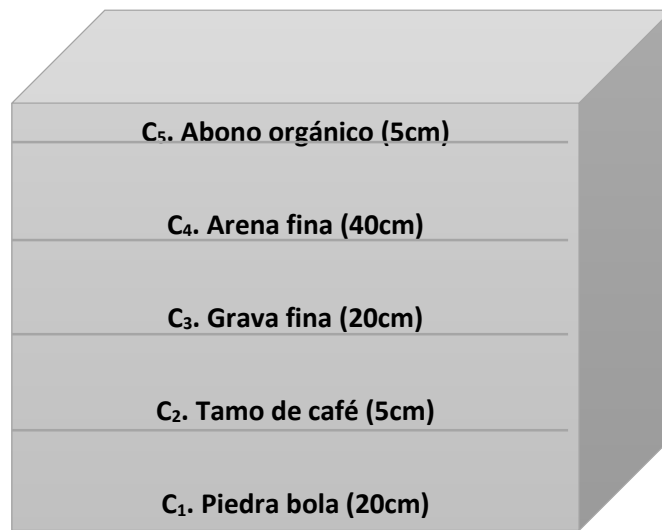
Arena gruesa (diámetro 2mm)	10 m <sup>3</sup>
Abono orgánico	1,25 m <sup>3</sup>

Fuente: GAD Municipal Cantón Francisco de Orellana

Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

#### 2.4.2.5. Procedimiento para la construcción del Humedal artificial

- ✓ Se preparó 25 m<sup>2</sup> de área de terreno para la construcción del humedal: (Largo: 10m, Ancho: 2,5m, profundidad: 1m e inclinación: 1%). Además, se dejó una distancia de seguridad de 10cm, alrededor del área preparada; esto como medida de precaución y protección de aguas percoladas, y otros factores.
- ✓ Se colocó la geomembrana HPDE de 1,5mm en el área preparada, la impermeabilización se realizó hasta la distancia de seguridad sugerida y se aseguró los bordes de la geomembrana con piedra bola.
- ✓ Se instaló la tubería de distribución, tanto a la entrada del humedal se colocó tubería con un codo de 90° para conectarlos a la tubería de distribución dentro del humedal, mediante un codo de 45°; para la tubería interna del humedal se realizó los cortes y perforaciones al tubo PVC de 4", procurando armar una estructura de espina de pescado, cada perforación se realizó a 20 cm de distancia. La espina de pescado se armó con un tubo largo de 9 m al cual se le acoplo cada 3 m con unión T de PVC, un tubo de 2,5 m por ambos lados, tal y como se observa en el anexo 7. La salida del humedal se realizó por medio de tubería.
- ✓ Se aseguró la estructura de distribución, tanto a la entrada como la salida del humedal se colocó piedra bola de mayor tamaño (diámetro 3-5 cm), para crear un efecto de gavión que, al poseer mayor espacio entre las piedras, favorece la distribución del flujo a lo largo del sistema; esta es la primera capa de material filtrante del sustrato del humedal. Se colocó el sustrato para el humedal, con la ayuda de una pala, se puso cada capa de material filtrante en el siguiente orden y altura:



**Grafico 2-1:** Capas de sustrato del humedal artificial.  
**Elaborado por:** Génesis Montezuma, 2018

- ✓ Se delimito el área de siembra, poniendo una fina capa de abono orgánico para proceder a la siembra del pasto alemán; cada planta se sembró a una distancia de 15 cm y se dejó pasar lixiviado para humedecer el terreno y se rego durante una semana las plantas para que estén puedan adaptarse.
- ✓ En la salida de descarga del humedal se instaló una caja de registro para un posterior análisis de cumplimiento y si es necesario recirculación.
- ✓ Después de la semana de adaptabilidad de la planta, se dejó pasar por la tubería de distribución el lixiviado, este deberá quedarse en el sistema durante un periodo de 2 a 15 días para permitir el tratamiento por plantas.

## CAPÍTULO III

### 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1. Resultados

##### 3.1.1. Caudal real o de campo

**Tabla 3-1:** Resultados de la medición de la altura de aumento de lixiviado en las piscinas de almacenamiento.

Fecha	Hora	Altura de lixiviado (m)		Altura de aumento de lixiviado (m)	Volumen de aumento de lixiviado (m <sup>3</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /hora)
		Piscina 1	Piscina 2			
Lunes 05/Nov/2018	8:00 am	1,1	0,5			
Martes 06/Nov/2018	8:00 am	2,8	0,9	2,1	63	2,625
Miércoles 07/Nov/2018	8:00 am	2,8	1,9	1	30	1,25
Jueves 08/Nov/2018	8:00 am	2,8	2,2	0,3	9	0,375
Viernes 09/Nov/2018	8:00 am	2,8	2,5	0,3	9	0,375
<b>Promedio caudal:</b>						<b>1,15625</b>

Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

En la Tabla 3-1, muestran los datos del caudal real de la medición realizada en campo y los resultados que se obtienen a partir de la altura de aumento del lixiviado; se obtienen 4 caudales medidos en 5 días consecutivos en un lapso de 24 horas para cada medición, los valores del caudal van en descenso, esto se debe a que en observaciones de campo las condiciones meteorológicas mostraron una alta precipitación los días 05, 06 y 07 de Noviembre mostrando caudales de 2,625 y 1,25 m<sup>3</sup>/h, mientras que los días 08 y 09 de Noviembre se pudo observar días soleados sin precipitación dando como resultado un caudal de 0,375 m<sup>3</sup>/h.

Por lo expuesto se calculó el promedio del caudal real o de campo mediante la sumatoria de los caudales medidos, dando como resultado un caudal de 1,16 m<sup>3</sup>/hora lo que se traduce a 0,32 L/

### 3.1.2. Caracterización inicial físico-química y biológica del lixiviado

**Tabla 3-2:** Resultados iniciales de la caracterización físico-química y biológica del lixiviado.

# DE MUESTREO	FECHA DE MUESTREO	CÓDIGO DE MUESTRA	PARÁMETROS													
			FÍSICOS					QUÍMICOS							BIOLÓGICOS	
			Sólidos sedimentables	Conductividad eléctrica	Turbidez	Dureza total	Sólidos Totales	DBO5	DQO	Nitrógeno total	Fósforo total	Hidrocarburos totales	Amonio	Cloruros	Coliformes totales	Coliformes Fecales
ml/l	uS/cm	UFT	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	Col/100 ml	NMP/100 ml		
1	06/02/2018	LBFO - 01- 1 - I					1921.35	45.00	198.00	218.83	3.72		237.13		700000	
		LBFO - 01- 2 - II					4169.38	1200.00	1800.00	947.86	10.77		536.98		600000	
2	14/02/2018	LBFO - 02- 1 - I					3096.01	70.00	204.00	359.20	0.70		500.00		180000	
		LBFO - 02- 2 - II					4493.84	380.00	1330.00	871.76	0.70		500.00		3200000	
3	20/02/2018	LBFO - 03- 1 - I					3107.40	85.00	273.00	32.41	0.70		454.18		100000	
		LBFO - 03- 2 - II						420.00	1490.00	80.71	0.94		938.46		500000	
4	21/03/2018	LBFO - 04- 1 - I	4.50	6350.00	187.00	5.00	3102.86	420.00	970.00	22.50	9.76	1.20	0.33	398.97	220000	60000
		LBFO - 04- 2 - II	0.50	3970.00	219.00	130.0	488.00	580.00	1900.00	33.16	10.80	1.20	5.14	296.09	1500000	100000
5	28/03/2018	LBFO - 05- 1 - I	3.20	4.64	171.00	5.00	2381.52	75.00	198.00	270.11	6.81	20.00	331.79	306.13	2700000	2700000
		LBFO - 05- 2 - II	2.00	3.25	203.00	5.00	1539.41	70.00	190.00	247.71	7.69	20.00	308.64	230.85	400000	400000
PROMEDIO DE CARACTERIZACION			2.55	2581.97	195.00	36.25	2697.24	334.50	836.80	308.43	5.91	10.60	161.48	439.88	1205000	911500
LÍMITES PERMISIBLES			100				1600	100	200	50	10	20	30	1000	2000	2000

Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

La tabla 3-2, nos muestra los resultados del muestreo de lixiviados para la caracterización físico-química y biológica; respecto al análisis de resultados del parámetro de sólidos sedimentables se puede observar que se realizó 2 muestreos con resultados significativos de reducción en el primer muestreo donde los valores bajan drásticamente de 4,50 mL/L en el punto I a 0,50 mL/L en el punto II, con menor reducción sucede el segundo muestreo donde los valores bajan de 3,20 mL/L en el punto I a 2,00 mL/L en el punto II; esta reducción de sólidos sedimentables es debido a que la muestra recolectada en el punto I es compuesta y en el punto II es una muestra simple, por lo que existe una mayor mezcla en el punto I de muestreo lo que genera más sólidos sedimentables. El promedio de estos valores es aceptado y cumple con los límites máximos permisibles de la norma.

Otro de los parámetros físicos analizados es los sólidos totales, se observa los resultados del primer muestreo con un aumento de 1921.35 mg/L del punto I de muestreo a 4169.38 mg/L del punto II de muestreo, este aumento de sólidos totales se debe a que el punto II de muestreo se encuentra mayor cantidad de sólidos disueltos, en suspensión y sedimentables; el segundo muestreo da como resultado un aumento del punto de muestreo I al II, de 3096.01mg/L a 4493.84 mg/L respectivamente, corroborando lo que se obtuvo en el primer muestreo, se analiza un aumento significativo entre el primer y segundo muestreo debido a que en el segundo muestro se encuentran parámetros en dilución por condiciones meteorológicas de precipitación. El tercer muestreo muestra las mismas condiciones que en el segundo muestreo, en el cuarto muestreo se observa todo lo contrario a lo analizado anteriormente, ya que se observa una disminución del valor de 3102.86 mg/L del punto I a 488.00 mg/L del punto II de muestreo, esto debido a que los parámetros se encuentran en dilución por condiciones de precipitación durante toda la semana; el quinto y último muestreo se observa igualmente una disminución no tan drástica de sólidos totales de 2381.52 mg/L en el punto I a 1539.41 mg/L, influenciado por las condiciones de precipitación media durante toda la semana.

Otros de los parámetros físicos importantes y relacionados con la  $DBO_5$  y la DQO que se muestran en la tabla son la conductividad y turbidez, se observan 2 muestreos con resultados para la conductividad de: en el primer muestreo 6350 us/cm en el punto I y 3970 en el punto II, observándose un mayor valor de conductividad en el punto I de muestreo relacionándose con el valor alto valor de DBO y DQO; en el segundo muestreo se observa valores más bajos de conductividad que lo normal en el punto I de 4,64 us/cm y en el punto II de 3,25 us/cm; estos valores se ven alterados debido a las condiciones de precipitación media durante las semanas. Los resultados de turbidez varían significativamente de un punto de muestreo a otro, con



resultados de: primer muestreo de 187 NTU en el punto I y 219 NTU en el punto II, en el segundo muestreo con 171 NTU en el punto I y 203 NTU en el punto II; este parámetro está relacionado directamente con los sólidos sedimentables y se alteran significativamente con la cantidad de estos.

La DBO<sub>5</sub> se analiza como una de los parámetros más importantes para el tratamiento de lixiviados, dando como resultados: el primer muestreo nos da valores de 45 mg/L en el punto I y 1200 en el punto II, este pico de elevación entre un punto y otro se debe a que el punto II se encuentra menos influenciado por las condiciones meteorológicas y del medio, el valor del punto I se encuentra dentro de los límites permisibles ya que el parámetro es afectado por la dilución del lixiviado. En el segundo muestreo se obtuvieron valores de 70 mg/L en el punto I y 380 mg/L en el punto II, se observa las mismas condiciones que en el primer muestreo, el punto I muestra valores más bajos por encontrarse en estado de dilución y el punto II muestra valores más altos, pero esta vez no tan significativamente. El tercer muestreo se observa valores de 85 mg/L en el punto I y 420 mg/L, observando las mismas condiciones que el muestreo anterior. El cuarto muestreo es atípico a los demás ya que podemos observar valores de 420 mg/L en el punto I y 580 mg/L en el punto II, el valor en el punto I que se encuentra en dilución se tiene un pico de aumento significativo, esto debido a que se encuentra influenciado por condiciones de precipitación durante toda la semana, lo que ocasiona un lavado total de los residuos y un aumento en la DBO, el punto II de muestreo no se mayormente afectado pero muestra una pequeña elevación en su valor. El quinto muestreo se ve influenciado por condiciones de precipitación media durante toda la semana bajando drásticamente los valores de DBO en ambos punto de muestreo, con valores de 75 mg/L en el punto I y 70 mg/L en el punto II; esta anomalía se debe a que las condiciones del lixiviado se ven alteradas por las precipitaciones continuas de dos semanas llegando a diluir el lixiviado a tal punto de que este cumple con el límite máximo permisible. El promedio de estos valores es aceptado ya que se toma en cuenta las condiciones meteorológicas y del medio que afectan a lo largo del año a las características del lixiviado; el promedio no cumple con los límites máximos permisibles de la norma.

En la DQO podemos analizar los resultados con los mismos criterios que a la DBO<sub>5</sub>, ya que podemos observar sus variaciones en la misma fecha y número de muestreo, por lo cual se tiene: el primer muestreo de valores de 198 mg/L en el punto I y 1800 en el punto II, este pico de elevación entre un punto y otro se debe a que el punto II se encuentra menos influenciado por las condiciones meteorológicas y del medio. En el segundo muestreo se obtuvieron valores de 204 mg/L en el punto I y 1330 mg/L en el punto II, se observa las mismas condiciones que en el primer muestreo, el punto I muestra valores más bajos por encontrarse en estado de dilución y el

punto II muestra valores más altos. El tercer muestreo se observa valores de 273 mg/L en el punto I y 1490 mg/L, observando las mismas condiciones que el muestreo anterior. El cuarto muestreo es atípico a los demás ya que podemos observar valores de 970 mg/L en el punto I y 1900 mg/L en el punto II, el valor en el punto I que se encuentra en dilución se tiene un pico de aumento significativo, esto debido a que se encuentra influenciado por condiciones de precipitación durante toda la semana, lo que ocasiona un lavado total de los residuos y un aumento en la DQO, el punto II de muestreo no se ve mayormente afectado pero muestra una pequeña elevación en su valor. El quinto muestreo se ve influenciado por condiciones de precipitación media durante toda la semana bajando drásticamente los valores de DQO en ambos punto de muestreo, con valores de 198 mg/L en el punto I y 190 mg/L en el punto II; esta anomalía se debe a que las condiciones del lixiviado se ven alteradas por las precipitaciones continuas de dos semanas llegando a diluir el lixiviado a tal punto de que este cumple con el límite máximo permisible. El promedio de estos valores es aceptado ya que se toma en cuenta las condiciones meteorológicas y del medio que afectan a lo largo del año a las características del lixiviado; el promedio no cumple con los límites máximos permisibles de la norma.

El nitrógeno total al ser la suma de los compuestos de nitrógeno orgánico y amoniacal se expresa con los siguientes resultados: El primer muestreo da valores de 218,83 mg/L en el punto I y 947,86 en el punto II, este pico de elevación entre un punto y otro se debe a que el punto II se encuentra una mayor oxidación de la materia orgánica, ya que se recolecta el lixiviado viejo, por lo que va a existir mayor cantidad de nitrógeno. En el segundo muestreo se obtuvieron valores de 359,20 mg/L en el punto I y 871,76 mg/L en el punto II, se observa las mismas condiciones que en el primer muestreo, el punto I muestra valores más bajos por encontrarse en estado de menor oxidación que el punto II. El tercer muestreo nos da valores de 32,41 mg/L en el punto I y 80,71 mg/L en el punto II, el valor del nitrógeno total baja en ambos puntos debido a que esta semana no se presentó la disposición final de los residuos del camal, lo que disminuyo la concentración de nitrógeno orgánico. En el cuatro muestreo se observa igualmente una baja en los valores de nitrógeno total 22,50 mg/L en el punto I y 33,16 mg/L en el punto II, debido a que esta semana se ve influenciada por las condiciones meteorológicas de precipitación. En el quinto muestreo se observa nuevamente un aumento en el valor del nitrógeno total de 270,11 mg/L en el punto I y 247,71 mg/L en el punto II, pero no tan significativo con el los dos primeros muestreos ya que estos valores aún se encuentran influenciados por la precipitación media durante la semana. El amoniaco se analiza según los mismos criterios que el nitrógeno total, ya que el  $\text{NH}_4$  forma parte de nitrógeno total, por lo que sus valores estarán relacionados entre sí. El promedio de los valores de los muestreos se toma a

consideración tanto para el Amonio como el Nitrógeno total, y se observa que ambos no cumplen el límite permisible de la norma.

Los parámetros como el fósforo total, hidrocarburos totales y cloruros en los muestreos realizados se observa que los resultados cumplen con los límites máximos permisibles por que no surge una problemática para la remoción de estos contaminantes.

Los parámetros biológicos analizados fueron las coliformes fecales y totales, mostrando valores dispersos en ambos casos; para las coliformes fecales se tienen bajas y subidas de valores respecto al punto I o II de muestreo. En el primer muestreo se observa un valor de coliformes más elevado en el punto I de 700000 NMP/ 100mL que en el punto II de 600000 NMP/ 100mL, indicando más vías de contaminación en el punto I que en el punto II, pero sin descartar el alto valor de coliformes que se encuentran ambos casos. El segundo muestreo muestra valores en el punto I de 180000 NMP/ 100mL que en el punto II de 3200000 NMP/ 100mL, lo que indica una inestabilidad en cuanto a la cantidad de coliformes que se pueden encontrar día a día en el punto I o en el punto II de muestreo. El tercer muestreo al igual que el primer muestreo se tiene mayor cantidad en el punto I que en el II, con valores de 100000 NMP/ 100mL y 500000 NMP/ 100mL respectivamente. En el cuarto muestreo sucede lo mismo que en el anterior con valores de coliformes fecales en el punto I de 60000 NMP/ 100mL y en el punto II de 100000 NMP/ 100mL; para las coliformes totales de tienen valores de 220000 Col/100 mL en el punto I y 1500000 Col/100 mL en el punto II, estos aumentos nos indican mayor vías de contaminación en el punto II de muestreo. El quinto muestreo de coliformes totales nos da valores de 2700000 Col/100 mL en el punto I y 400000 Col/100 mL en el punto II, indicando amor vías de contaminación ene l punto II de muestreo. Los promedios de los valores de las coliformes fecales y de as coliformes totales son aceptadas a que contantemente se encuentran en varían con y son inestables por lo que es recomendable un valor promedio; ambos valores no cumplen con límite máximo permisible del TULSMA.

Una vez comparados los parámetros físico-químicos y biológicos con la normativa TULSMA Libro VI Anexo I Tabla 12, se determinó los siguientes datos fuera de la norma:

**Tabla 3-3:** Parámetros físico-químicos y biológicos que no cumplen con el límite máximo permisible del TULSMA.

Parámetro	Unidad	Límite máximo permisible	Resultado
Sólidos Totales	mg/L	1600	2697,24
DBO <sub>5</sub>	mg/L	100	334,5
DQO	mg/L	200	836,8
Nitrógeno Total	mg/L	50	308,43
Amonio (NH <sub>4</sub> )	mg/L	30	161,48
Coliformes Fecales	NMP/100ml	2000	911500
Coliformes Totales	Col/100ml	2000	1205000

Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

### 3.1.3. Pruebas de tratabilidad

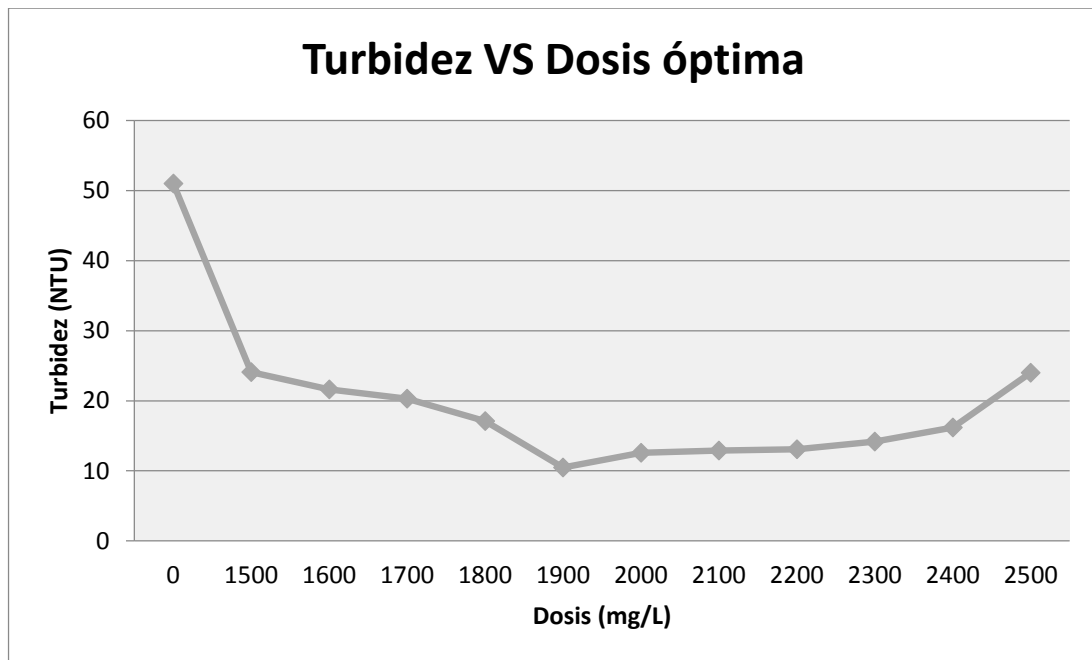
#### 3.1.3.1. Coagulación – Floculación

**Tabla 3-4:** Resultados de ensayos en prueba de jarras con Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.

# Ensayo	Dosificación de Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (mg/L)	Parámetros				
		pH	Turbidez (NTU)	Color	Conductividad (us/cm)	Sólidos Totales Disueltos (mg/L)
Inicial	0	8,21	51	1330	2150	1330
1	1500	6,93	24,1	429	2580	1360
2	1600	6,89	20,3	371	2580	1370
3	1700	6,82	21,6	364	2590	1370
4	1800	6,74	17,1	326	2590	1380
5	1900	6,7	10,5	274	2600	1390
6	2000	6,7	12,6	269	2650	1390
7	2100	6,62	12,9	246	2690	1440
8	2200	6,53	13,1	248	2690	1440
9	2300	6,5	14,2	250	2700	1500
10	2400	6,46	16,2	252	2700	1550
11	2500	6,4	24	291	2710	1600

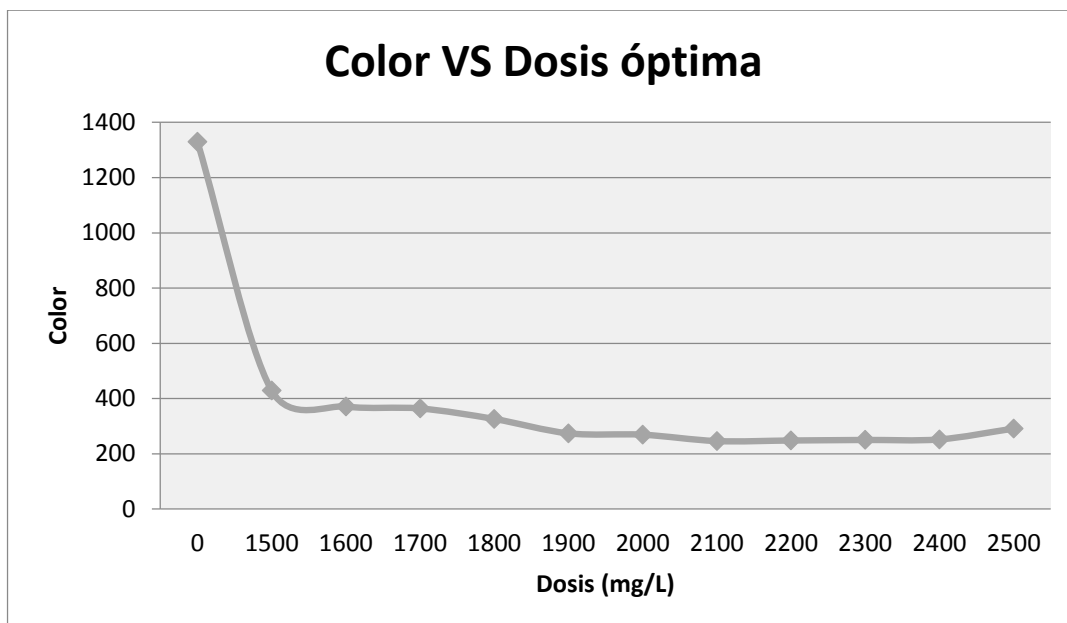
Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

La tabla 3-4, nos muestra los resultados obtenidos en laboratorio al realizar la prueba de jarras; se establece una medición inicial de pH 8,21, turbidez 51 NTU, color 1330, conductividad 2150 us/cm y sólidos totales disueltos 1330 mg/L, a fin de establecer una relación de remoción con cada ensayo al finalizar el proceso. Los 11 ensayos realizados con dosificación ascendente de sulfato de aluminio manifiestan una disminución de pH, color, turbidez y un notable aumento en la conductividad y sólidos totales disueltos; esto se expresa en los siguientes gráficos:



**Gráfico 3-1:** Curva de turbidez vs dosis óptima de  $Al_2(SO_4)_3$ .  
Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

El gráfico 3-1 muestra la eficiencia de la dosis de sulfato de aluminio sobre la turbidez del lixiviado tratado, la máxima claridad del lixiviado se obtiene empleando 1900 mg/L de coagulante con una reducción de turbidez a 10,5 NTU, la concentración de sulfato de aluminio óptimo indica una composición compleja del fluido.



**Gráfico 3-2:** Curva de color vs dosis óptima de  $Al_2(SO_4)_3$ .  
**Elaborado por:** Génesis Montezuma, 2018

El gráfico 3-2 muestra la disminución de color respecto a la dosificación ascendente de sulfato de aluminio; del ensayo 5 al ensayo 10 se observa una disminución lineal, mientras que en el ensayo 11 el color empieza a subir de valor; se seleccionó la medición de color debido a que se relaciona con la turbidez ya que las partículas coloidales cargadas negativamente aportan color al agua.

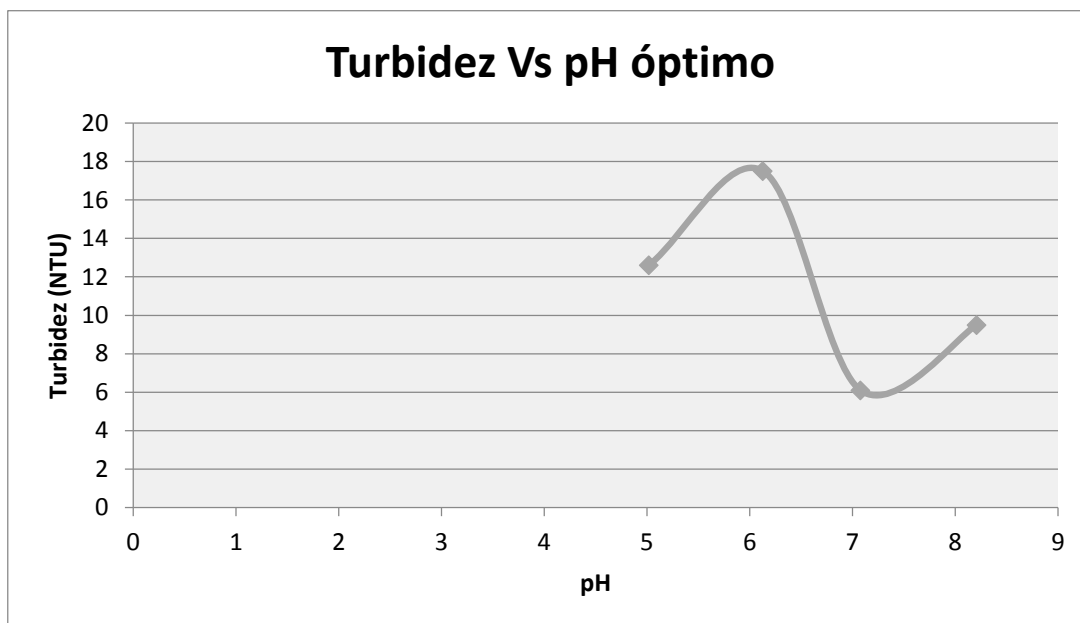
**Tabla 3-5:** Resultados de ensayos de ajuste de pH de acuerdo al rango óptimo del  $Al_2(SO_4)_3$ .

# Ensayo	Medición Inicial			Dosis óptima (ppm)	Medición Final	
	pH	Turbidez (NTU)	Color		Turbidez (NTU)	Color
1	8,21	51	1281	1900	9,5	332
2	7,08	23	1266	1900	6,1	240
3	6,13	22,6	1263	1900	17,5	193
4	5,02	20,5	1389	1900	12,6	275

**Elaborado por:** Génesis Montezuma, 2018

La tabla 3-5 muestra la realización de la segunda etapa de la prueba de jarras, al definir la dosis óptima de 1900 mg/L de sulfato de aluminio, se realizó el ajuste de pH inicial a: 8.21, 7.08, 6.13

y 5.02 de tal forma que se logre cubrir desde los últimos valores de la escala ácida hasta los primeros de la básica; la medición inicial de turbidez se reduce notablemente al descender el pH, pero el color no se ve alterado. Se realiza la medición final de pH, turbidez y color a los 4 ensayos sometidos a la prueba de jarras con la dosis óptima, para determinar el pH con el cual la dosis aplicada muestre el menor valor de turbidez y color. Quedando definido el pH y la dosis óptima del proceso de coagulación para el tratamiento del lixiviado del Botadero del Cantón Francisco de Orellana.



**Gráfico 3-3:** Curva de color vs dosis óptima de  $Al_2(SO_4)_3$ .  
Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

El gráfico 3-3 muestra el rango óptimo de pH con relación a la disminución de la turbidez, para lo cual se obtuvo el valor de 7 como pH óptimo con una turbidez de 6,1 NTU. Se realizó la prueba con pH de 5 a 8 según el rango óptimo de pH del Sulfato de aluminio.

**Tabla 3-6:** Porcentajes de remoción de contaminantes, mediante la coagulación con Sulfato de Aluminio.

Parámetro	Unidad	Concentración inicial	Concentración final	% Remoción
DBO <sub>5</sub>	mg/L	220	110	50 %
DQO	mg/L	556	283	49,10 %
Nitrógeno total	mg/L	271,66	265,97	2,09 %

Coliformes totales	Col/100ml	15000	6300	58 %
-----------------------	-----------	-------	------	------

Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

En la tabla 3-6, se muestra los resultados de la caracterización inicial de la muestra del lixiviado antes de someterse a la prueba de jarras y los resultados de la caracterización final de la muestra del lixiviado tratado con sulfato de aluminio en la prueba de jarras realizada en el laboratorio, se analizaron los 5 parámetros de la caracterización inicial, de los cuales hay un porcentaje significativo de remoción para cada parámetro: los sólidos totales muestran un aumento relacionado a la presencia de iones en solución, la DBO<sub>5</sub> tiene un porcentaje de remoción del 50%, en la DQO se muestra un porcentaje de remoción del 49%, el nitrógeno total con un 2 % de remoción y las coliformes totales con un 58% de remoción. Aunque los 5 parámetros aún se encuentran fuera del límite permisible, presentan un significativo porcentaje de remoción de los contaminantes principales en las características del lixiviado.

### 3.1.3.2. Humedal artificial

**Tabla 3-7:** Resultados finales de la caracterización físico-química y biológica del lixiviado, tratado mediante el humedal artificial.

<b>Fecha de muestreo:</b>		22/08/2018		
<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>	<b>Resultado</b>	
Conductividad eléctrica	us/cm		0,7	
Dureza total	mg/L CaCO <sub>3</sub>		1,2	
Potencial de hidrogeno		6 a 9	7,71	
Solidos sedimentables	mg/ml	100	0,5	
Solidos suspendidos	mg/L	130	32	
Sólidos Totales	mg/L	1600	1272,93	
Turbidez	UFT		50	
Aceites y grasas	mg/L	30	0,05	
Amonio (NH <sub>4</sub> )	mg/L	30	6	
Arsénico	mg/L	0,01	0,002	
Cadmio	mg/L	0,05	0,005	
Cloro residual	mg/L	0,5	0,11	



Cloruros	mg/L	1000	200,74
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	100	50
Demanda química de oxígeno	mg/L	200	144
Fluoruros	mg/L	5	0,02
Fósforo total	mg/L	10	6,92
Hidrocarburos totales	mg/L	20	0,05
Hierro total	mg/L	10	0,53
Manganeso total	mg/L	2	0,42
Mercurio	mg/L	0,006	0,001
Níquel	mg/L	2	0,04
Nitrógeno total	mg/L	50	10
Plomo	mg/L	0,2	0,03
Coliformes Fecales	Col/100 mL	2000	1,5
Coliformes totales	Col/100 mL	2000	0,5

**Elaborado por:** Génesis Montezuma, 2018

La tabla 3-7 muestra los resultados de la caracterización final de los lixiviados, después de ser tratados en el humedal artificial piloto, con la totalidad de 26 parámetros entre físicos, químicos y biológicos. La totalidad de los parámetros cumplen con la normativa de límites permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce. Respecto a los resultados de los parámetros físicos relacionados con la DBO y DQO, y que no exigen un límite máximo permisible tenemos la conductividad con 0,7 us/cm y la turbidez de 50 UFT, que son valores relativamente bajos pero mejorables para su descarga.

**Tabla 3-8:** Porcentajes de remoción de contaminantes, mediante el humedal artificial.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Concentración inicial</b>	<b>Concentración final</b>	<b>% Remoción</b>
Sólidos totales	mg/L	2697,24	1272,93	52,80 %
DBO <sub>5</sub>	mg/L	334,5	50,00	85,49 %
DQO	mg/L	836,8	144,00	82,79 %
Nitrógeno total	mg/L	308,43	10,00	96,75 %
Amonio NH <sub>4</sub>	mg/L	161,48	6,00	96,28 %

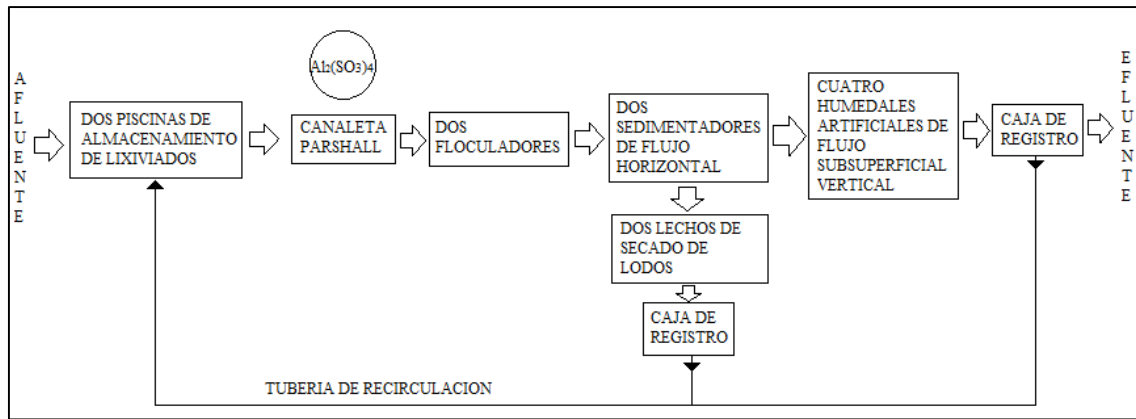
Coliformes Fecales	NMP/100ml	911500	1,5	100 %
Coliformes totales	Col/100ml	1205000	0,5	99,99 %

**Elaborado por:** Génesis Montezuma, 2018

La tabla 3-8 muestra la comparación de los 7 parámetros iniciales fuera de norma y el resultado de los parámetros finales en la caracterización del lixiviado tratado mediante el humedal artificial, con el fin de establecer una relación de remoción del contaminante, dando un porcentaje de remoción y disminución del parámetro de: sólidos totales 53% de 2697,24 mg/L a 1272,93 mg/L, la DBO<sub>5</sub> se redujo 85% de 334,5 mg/L a 50 mg/L, la DQO 83% de 836,8 mg/L a 144 mg/L, el nitrógeno total se redujo 97% de 161,48 mg/L a 10 mg/L, el Amonio 96% de 308,43 mg/L a 6 mg/L; las coliformes muestran una reducción significativa, las fecales 100% de 911500 NMP/100ml a 1,5 NMP/100ml y las totales 99,99% de 1205000 col/100ml a 0,5 col/100ml.

### **3.2. Propuesta de diseño del sistema de tratamiento de lixiviados**

Se propone un sistema de tratamiento compuesto por: dos piscinas de almacenamiento de lixiviados para evitar un rebosamiento por un aumento de caudal, una canaleta parshall y dos flocculadores para la coagulación – flocculación del lixiviado disminuyendo así los parámetros físicos (turbidez, conductividad, etc.), químicos y biológicos en los porcentajes de remoción del tratamiento; dos sedimentadores de flujo horizontal los cuales atacaran directamente a los sólidos totales y DBO<sub>5</sub>, dos lechos de secado de lodos como complemento del tratamiento de sedimentación; cuatro humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical, que disminuirá directamente a los parámetros que se encontraron fuera de los límites máximos permisibles de la norma; como complemento del sistema se añade dos cajas de registro, recirculación y salida con el fin de controlar el agua tratada, se colocan al final de los humedales y al final de los lechos de secado.



**Grafico 3-4:** Diagrama de procesos del sistema de tratamiento para lixiviados generados en el Botadero del Cantón Francisco de Orellana.

Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

La propuesta de diseño del sistema de tratamiento de lixiviados tiene en su totalidad dieciséis unidades físicas dentro de las cuales se encuentran las principales y complementarias, la planta consta de cinco etapas principales netamente de tratamiento para los lixiviados. Cada etapa con sus unidades físicas de tratamiento se describe a continuación:

### 3.2.1. *Piscinas de almacenamiento*

Las piscinas de almacenamiento para lixiviados, cumplirán la función de recolectar el caudal neto del lixiviado y para evitar el rebosamiento del volumen del lixiviado en un cambio brusco de caudal.

### 3.2.2. *Canaleta Parshall*

Funciona como unidad de tratamiento primario asistida químicamente, ya que en la zona de turbulencia de la canaleta se llevara a cabo la mezcla rápida del sulfato de aluminio para la coagulación de los flóculos del lixiviado.

### **3.2.3. *Floculador Horizontal***

Esta unidad tiene la función de la mezcla lenta del lixiviado con el sulfato de aluminio, dosificado en la anterior etapa, con esto se busca una mejor formación de flóculos y de mayor tamaño.

### **3.2.4. *Sedimentador convencional rectangular***

Tiene como función principal la recolección de los flóculos formados en la coagulación de la anterior etapa, en la zona de sedimentación precipitarán los flóculos hasta la zona de lodos, en donde se depositarán temporalmente para después ser evacuados a la unidad de tratamiento de secado de lodos.

### **3.2.5. *Lechos de secado***

Los lechos de secado funcionan como una unidad complementaria del sedimentador para el secado de los lodos y una unidad de registro o recirculación del agua que percole de la desecación de los lodos. Se considera una etapa importante en el tratamiento de los lixiviados ya que estos los lodos secados deben de ser dispuestos como residuos peligrosos, ya que contienen químicos.

### **3.2.6. *Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical***

Los humedales artificiales actúan como un tratamiento secundario biológico del lixiviado, su función es depurar el lixiviado a través diferentes capas de sustrato y mediante plantas que absorben los contaminantes del agua. Además se complementa con una caja de registro, recirculación y salida al afluente, para que actúe como punto de control de descarga del agua tratada.

### 3.3. Dimensionamiento del Sistema de Tratamiento de Lixiviados

#### 3.3.1. Caudal de diseño

**Tabla 3-9:** Datos para el cálculo del caudal de diseño.

Parámetro	Sigla	Unidad	Valor
Población al inicio del período o total	P <sub>o</sub>	Habitantes	42010
Tasa media anual de crecimiento	r	%	5,60
Número de años que se va a proyectar la población	t	años	15
Población atendida	Pob A	Habitantes	56762
Cantidad de RSU producidos por semana	D <sub>rs</sub> semana	ton/día	58,73
Densidad de los RSU	D <sub>rsm</sub>	kg/m <sup>3</sup>	266,45
Coefficiente del grado de compactación	K	---	0.25
Profundidad o altura estimada del Botadero	H	m	20
Precipitación media anual	P	mm/año	3405,40
Número de segundos en un año	t	segundos	31536000

Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

#### a. Proyección de la población

Para la población del Cantón Francisco de Orellana, se estima una proyección de diseño de 10 años.

$$P_f = P_o \left(1 + \frac{r}{100}\right)^t$$

$$P_f = 42010 \text{ hab} \left(1 + \frac{5,60}{100}\right)^{10}$$

$$P_f = 72442,24 \text{ hab}$$

#### b. Cobertura del servicio

$$Cob = \frac{Pob A}{P_t} * 100$$

$$Cob = \frac{33608 \text{ hab}}{42010 \text{ hab}} * 100$$

$$Cob = 80\%$$

c. Producción per cápita

$$ppc = \frac{D_{rs} \text{ semana}}{Pob * 7 * Cob}$$

$$ppc = \frac{411110 \frac{kg}{semana}}{42010 \text{ hab} * 7 * 0,80}$$

$$ppc = 1,74 \frac{kg}{\text{hab. día}}$$

d. Producción total de residuos sólidos

$$D_{Sp} = Pob * ppc$$

$$D_{Sp} = 42010 \text{ hab} * 1,74 \frac{kg}{\text{hab. día}}$$

$$D_{Sp} = 73412,5 \frac{kg}{\text{día}}$$

e. Volumen diario de residuos sólidos

$$V_d = \frac{D_{Sp}}{D_{rsm}}$$

$$V_d = \frac{73412,5 \frac{kg}{\text{día}}}{266,45 \frac{kg}{m^3}}$$

$$V_d = 275,52 \frac{m^3}{\text{día}}$$

f. Volumen anual compactado

$$V_{ac} = V_d * 365 \text{ días}$$

$$V_{ac} = 275,52 \frac{m^3}{\text{día}} * 365 \text{ días}$$

$$V_{ac} = 100565,06 m^3$$

**g.** Volumen del material de cobertura

$$m_c = V_{ac} * k$$

$$m_c = 100565,06 \text{ m}^3 * 0,25$$

$$m_c = 25141,26 \text{ m}^3$$

**h.** Volumen del Botadero

$$V_b = V_{ac} + m_c$$

$$V_b = 100565,06 \text{ m}^3 + 25141,26 \text{ m}^3$$

$$V_b = 125706,32 \text{ m}^3$$

**i.** Volumen proyectado del Botadero

El volumen total ocupado durante la vida útil del Botadero, proyectado a 10 años.

$$V_{tb} = V_b * n$$

$$V_{tb} = 125706,32 \text{ m}^3 * 10$$

$$V_{tb} = 1257063,28 \text{ m}^3$$

**j.** Área requerida para el Botadero

$$A_b = \frac{V_{tb}}{H}$$

$$A_b = \frac{1257063,28 \text{ m}^3}{20 \text{ m}}$$

$$A_b = 62853,16 \text{ m}^2$$

**k.** Caudal por el Método Suizo:

$$Q = \frac{1}{t} * P * A_b * k$$

$$Q = \frac{1}{31536000 \frac{s}{año}} * 3405,40 \frac{mm}{año} * 62853,16 \text{ m}^2 * 0,25$$

$$Q = 1,73 \frac{L}{s}$$

$$Q = 1,73 \frac{L}{s} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 L} = 0,00173 \frac{\text{m}^3}{s}$$

$$Q = 1,73 \frac{L}{s} * \frac{1 m^3}{1000 L} * \frac{3600 s}{1 h} = 6,23 \frac{m^3}{h}$$

$$Q = 1,73 \frac{L}{s} * \frac{1 m^3}{1000 L} * \frac{3600 s}{1 h} * \frac{24 h}{1 día} = 149,47 \frac{m^3}{día}$$

### 3.3.2. Piscina de almacenamiento de lixiviados

**Tabla 3-10:** Datos para el cálculo de la piscina de almacenamiento de lixiviados.

Parámetro	Sigla	Unidad	Valor
Caudal de diseño	Q	m <sup>3</sup> /día	149,47
Tiempo de retención hidráulica	trh	días	3
Profundidad de la piscina de almacenamiento	H	m	3

Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

- a. Volumen de la piscina de almacenamiento.

$$V = Q * trh$$

$$V = 149,47 \frac{m^3}{día} * 3 días$$

$$V = 448,41 m^3$$

- b. Área de la piscina de almacenamiento.

$$A = \frac{V}{H}$$

$$A = \frac{448,41 m^3}{3 m}$$

$$A = 162 m^2$$



### 3.3.3. Coagulación – Floculación

**Tabla 3-11:** Datos para el cálculo de la dosificación de coagulante.

Parámetro	Sigla	Unidad	Valor
Caudal de entrada	Q	m <sup>3</sup> /h	6,23
Concentración de Sulfato de aluminio de la prueba de jarras*	$C_{Al_2(SO_4)_3}$	mg/L	1900
Porcentaje de dilución	$P_{Al_2(SO_4)_3}$	%	10
Densidad del Sulfato de aluminio	$\delta_{Al_2(SO_4)_3}$	kg/L	1,24

Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

a. Dosificación de Sulfato de Aluminio:

$$D_{Al_2(SO_4)_3} = \frac{Q_E * C_{Al_2(SO_4)_3}}{60 * P_{Al_2(SO_4)_3} * \delta_{Al_2(SO_4)_3}}$$

$$D_{Al_2(SO_4)_3} = \frac{6,23 \frac{m^3}{h} * 1900 \frac{mg}{L}}{60 * 10\% * 1,24 \frac{kg}{L}}$$

$$D_{Al_2(SO_4)_3} = 15,91 \text{ ml/min}$$

$$D_{Al_2(SO_4)_3} = 15,91 \frac{ml}{min} * \frac{1L}{1000ml} * \frac{1440min}{1día} = 22,91 \frac{L}{día}$$

b. Masa del Sulfato de Aluminio:

$$M_{Al_2(SO_4)_3} = \delta_{Al_2(SO_4)_3} * D_{Al_2(SO_4)_3}$$

$$M_{Al_2(SO_4)_3} = 1,24 \frac{kg}{L} * 22,91 \frac{L}{día}$$

$$M_{Al_2(SO_4)_3} = 28,41 \frac{kg}{día}$$

### 3.3.4. Canaleta Parshall

**Tabla 3-12:** Datos para el cálculo de la canaleta Parshall.

Parámetro	Sigla	Unidad	Valor
Caudal de diseño	Q	m <sup>3</sup> /s	0,00173
Ancho de garganta*	W	m	0,150

Constante de acuerdo a W**	Kc	----	1,842
Constante de acuerdo a W **	nc	----	0,636
Gravedad	g	m/s <sup>2</sup>	9,8
Dimensiones estandarizadas****	C	cm	39,40
Dimensiones estandarizadas****	D	cm	40,3
Dimensiones estandarizadas****	G	cm	61,0
Dimensiones estandarizadas****	K	cm	7,6
Dimensiones estandarizadas****	N	cm	11,4
Valor estándar de Relación peso específico y viscosidad absoluta*****	$\sqrt{\gamma/\mu}$		3266,96
Relación de sumergencia *****	S	%	60

Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

a. Ancho de garganta:

Conociendo el caudal con el que se va a trabajar que es  $Q = 1,73 \text{ L/s}$ , y en base a la Tabla 11-2, se obtiene  $W = 6''$ .

$$W = 0,150m$$

b. Altura de la lámina de agua, medida aguas arriba de la sección de control:

$$Ha = Kc * Q^{nc}$$

$$Ha = 1,842 * (0,00173 \text{ m}^3/\text{s})^{0,636}$$

$$Ha = 0,032 \text{ m}$$

c. Ancho de la sección de medición:

$$D' = \frac{2}{3} * (D - W) + W$$

$$D' = \frac{2}{3} * (0,403 \text{ m} - 0,150 \text{ m}) + 0,150 \text{ m}$$

$$D' = 0,319 \text{ m}$$

d. Velocidad en la sección de medición:

$$v_o = \frac{Q}{H_a * D'}$$

$$v_o = \frac{0,00173 \frac{m^3}{s}}{0,032 m * 0,319 m}$$

$$v_o = 0,169 \frac{m}{s}$$

e. Carga hidráulica disponible:

$$E_o = \frac{v_o^2}{2g} + H_a + N$$

$$E_o = \frac{\left(0,169 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * \left(9,8 \frac{m}{s^2}\right)} + 0,032 m + 0,114 m$$

$$E_o = 0,147 m$$

f. Caudal específico en la garganta de la canaleta:

$$Q_w = \frac{Q}{W}$$

$$Q_w = \frac{0,00173 \frac{m^3}{s}}{0,150 m}$$

$$Q_w = 0,011 \frac{m^3}{sm}$$

g. Ángulo de inclinación:

$$\cos \alpha = \frac{-Q_w * g}{\left[\left(\frac{2 * g}{3}\right) * E_o\right]^{1,5}}$$

$$\cos \alpha = \frac{-0,011 \frac{m^3}{sm} * 9,8 \frac{m}{s^2}}{\left[\left(\frac{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}}{3}\right) * 0,147 m\right]^{1,5}}$$

$$\cos \alpha = -0,114$$

$$\theta_p = \cos^{-1}(\cos \alpha)$$

$$\theta_p = \cos^{-1}(-0,114)$$

$$\theta_p = 96,54^\circ$$

h. Velocidad antes del resalto:

$$v_1 = 2 \left( \frac{2Eo * g}{3} \right)^{0,5} * \cos \left( \theta_p * \frac{\pi}{540} \right)$$

$$v_1 = 2 \left( \frac{2(0,147 \text{ m}) * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{3} \right)^{0,5} * \cos \left( 96,54 * \frac{\pi}{540} \right)$$

$$v_1 = 1,96 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

**i.** Altura del agua antes del resalto:

$$h_1 = \frac{Q_w}{v_1}$$

$$h_1 = \frac{0,011 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1,96 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$h_1 = 0,0056 \text{ m}$$

**j.** Número de Froude:

$$F_1 = \frac{v_1}{(g * h_1)^{0,5}}$$

$$F_1 = \frac{1,96 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{\left( 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,0056 \text{ m} \right)^{0,5}}$$

$$F_1 = 8,37$$

El número de Froude debe estar comprendido entre estos dos rangos: 1,7-2,5 ó 4,5-9,0. Debe evitarse números entre 2,5-4,5 que producen un resalto inestable que puede dificultar la adición de coagulantes. (Vega, 2016, p. 44)

**k.** Altura del resalto:

$$h_2 = \frac{h_1}{2} * \left[ (1 + 8F_1^2)^{0,5} - 1 \right]$$

$$h_2 = \frac{0,0056 \text{ m}}{2} * \left[ (1 + 8 * (8,37)^2)^{0,5} - 1 \right]$$

$$h_2 = 0,063 \text{ m}$$

**l.** Velocidad del resalto:

$$v_2 = \frac{Q}{W * h_2}$$

$$v_2 = \frac{0,00173 \frac{m^3}{s}}{0,150 m * 0,063 m}$$

$$v_2 = 0,183 \frac{m}{s}$$

**m.** Altura en la sección de salida de la canaleta:

$$h_3 = h_2 - (N - K)$$

$$h_3 = 0,063 m - (0,114 m - 0,076 m)$$

$$h_3 = 0,025 m$$

**n.** Velocidad en la sección de la salida:

$$v_3 = \frac{Q}{C * h_3}$$

$$v_3 = \frac{0,00173 \frac{m^3}{s}}{0,394 m * 0,025 m}$$

$$v_3 = 0,175 \frac{m}{s}$$

**o.** Pérdida de carga en el resalto:

$$h_p = H_a + K + h_3$$

$$h_p = 0,032 m + 0,076 m + 0,025 m$$

$$h_p = 0,133 m$$

**p.** Tiempo de mezcla en el resalto:

$$T = \frac{2G}{v_2 + v_3}$$

$$T = \frac{2 * 0,61 m}{0,183 \frac{m}{s} + 0,175 \frac{m}{s}}$$

$$T = 3,408 s$$

**q.** Gradiente de velocidad:

$$G = \sqrt{\gamma/\mu} * \left(\frac{h_p}{T}\right)^{0,5}$$

$$G = 3266,96 * \left(\frac{0,133 \text{ m}}{3,408 \text{ s}}\right)^{0,5}$$

$$G = 645,39 \text{ s}^{-1}$$

r. Altura de la lámina de agua, medida aguas debajo de la sección de control:

$$H_b = S * H_a$$

$$H_b = 0,60 * 0,032 \text{ m}$$

$$H_b = 0,019 \text{ m}$$

### 3.3.5. Floculador Horizontal

**Tabla 3-13:** Datos para el cálculo del floculador horizontal.

Parámetro	Sigla	Unidad	Valor
Caudal de diseño	Q	m <sup>3</sup> /s	0,00173
Velocidad del reactor	v	m/s	0,15
Altura de placa de cemento	hp	m	1
Ancho de placa de cemento	B	m	1,5
Separación entre placas	a	m	0,3
Espesor de placa de cemento	ep	m	0,008
Altura de borde libre	hb	m	0,10
Velocidad del canal	v	m/s	0,09
Tiempo de retención	T	min	10
Gravedad	g	m/s <sup>2</sup>	9,8
Constante empírica	k		3
Coefficiente de rugosidad de Manning	n		0,013

Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

a. Área de la sección del canal:

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$A = \frac{0,00173 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,09 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$A = 0,0192 \text{ m}^2$$

**b.** Longitud total de canales

$$Lc = v * T$$

$$Lc = 0,09 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 10 \text{ min} * 60$$

$$Lc = 54 \text{ m}$$

**c.** Altura de la lámina de agua:

$$H = hp - hb$$

$$H = 1 \text{ m} - 0,1 \text{ m}$$

$$H = 0,9 \text{ m}$$

**d.** Espaciamiento entre los extremos:

$$e = a * 1,5$$

$$e = 0,3 \text{ m} * 1,5$$

$$e = 0,45 \text{ m}$$

**e.** Longitud efectiva del canal:

$$L = B - e$$

$$L = 1,5 \text{ m} - 0,45 \text{ m}$$

$$L = 1,05 \text{ m}$$

**f.** Número de canales:

$$N = \frac{Lc}{L}$$

$$N = \frac{54 \text{ m}}{1,05 \text{ m}}$$

$$N = 51$$

**g.** Longitud total del tanque:

$$L_T = N * e_p + N_p * a$$

$$L_T = 51 * 0,008 + 50 * 0,3 \text{ m}$$

$$L_T = 15,41 \text{ m}$$

**h.** Radio hidráulico:

$$R = \frac{A}{2 * H + a}$$

$$R = \frac{0,0192 \text{ m}^2}{2 * 0,9 \text{ m} + 0,3 \text{ m}}$$

$$R = 0,009 \text{ m}$$

**i.** Pérdida de carga localizada:

$$h_1 = k * N * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_1 = 3 * 51 * \frac{(0,09 \text{ m/s})^2}{2 * 9,8 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$h_1 = 0,063 \text{ m}$$

**j.** Pérdida por fricción:

$$h_2 = \left( \frac{n * v}{R^{2/3}} \right)^2 * L$$

$$h_2 = \left( \frac{0,013 * \left( 0,09 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)}{(0,009 \text{ m})^{2/3}} \right)^2 * 54 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,039 \text{ m}$$

**k.** Pérdida de carga total

$$hf = h_1 + h_2$$

$$hf = 0,063 \text{ m} + 0,039 \text{ m}$$

$$hf = 0,102 \text{ m}$$

**l.** Gradiente de velocidad

$$G = \sqrt{\gamma/\mu} * \sqrt{\frac{hf}{T}}$$



$$G = 3266,96 * \sqrt{\frac{0,102 \text{ m}}{10 \text{ min} * 60 \text{ s}}}$$

$$G = 42,59 \text{ s}^{-1}$$

### 3.3.6. Sedimentador convencional

**Tabla 3-14:** Datos para el cálculo del sedimentador rectangular primario.

Parámetro	Sigla	Unidad	Valor
Caudal de diseño	Q	m <sup>3</sup> /s	0,00173
Velocidad del reactor*	V <sub>o</sub>	m/s	0,10
Diámetro asumido del orificio	D	cm	3
Gravedad	g	cm/s <sup>2</sup>	981
Ancho del sedimentador*	B <sub>s</sub>	m	2
Longitud del sedimentador*	L <sub>s</sub>	m	7
Profundidad del sedimentador*	H <sub>s</sub>	m	1,5
Longitud entre la pantalla difusora y la pared de entrada**	L <sub>pd</sub>	m	0,7

Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

#### Zona de entrada

a. Área total de los orificios:

$$A_o = \frac{Q}{V_o}$$

$$A_o = \frac{0,00173 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,10 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$A_o = 0,017 \text{ m}^2$$

b. Área de sección circular:

$$a_o = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$a_o = \frac{\pi * (0,03 \text{ m})^2}{4}$$

$$a_o = 7,07 \times 10^{-4} m^2$$

c. Número de orificios:

$$n_o = \frac{A_o}{a_o}$$

$$n_o = \frac{0,017 m^2}{7,07 \times 10^{-4} m^2}$$

$$n_o = 24$$

d. Altura de la pantalla difusora:

$$h = H_s - \frac{2}{5} H_s$$

$$h = 1,5 m - \frac{2}{5} (1,5 m)$$

$$h = 0,90 m$$

e. Espaciamiento entre filas:

Asume:  $n_f$ : 3;  $n_c$ : 8.

$$a_f = \frac{h}{n_f}$$

$$a_f = \frac{0,90 m}{3}$$

$$a_f = 0,30 m$$

f. Espaciamiento entre columnas:

$$a_c = \frac{B_s}{n_c}$$

$$a_c = \frac{2 m}{8}$$

$$a_c = 0,25 m$$

### Zona de sedimentación

g. Longitud total:

$$L_T = L_S + L_{pd}$$

$$L_T = 7 m + 0,7 m$$

$$L_T = 7,70m$$

**h.** Velocidad de sedimentación:

$$v_s = \frac{Q}{L_T * B_S}$$

$$v_s = \frac{0,00173 \frac{m^3}{s}}{7,07m * 2m}$$

$$v_s = 1,22x10^{-4} \frac{m}{s}$$

**i.** Área superficial en la zona de sedimentación:

$$A_S = \frac{Q}{v_s}$$

$$A_S = \frac{0,00173 \frac{m^3}{s}}{1,22x10^{-4} \frac{m}{s}}$$

$$A_S = 14,18 m^2$$

**j.** Carga Hidráulica:

$$C_H = \frac{Q}{B_S}$$

$$C_H = \frac{0,00173 \frac{m^3}{s}}{2m}$$

$$C_H = 8,65x10^{-4} \frac{m^3}{sm}$$

**k.** Volumen del tanque sedimentador:

$$Vol = B_S * L_T * H_S$$

$$Vol = 2m * 7,70m * 1,5m$$

$$Vol = 23,10m^3$$

**l.** Periodo de retención hidráulico:

$$P_{RH} = \frac{Vol}{Q}$$

$$P_{RH} = \frac{23,10m^3}{0,00173 \frac{m^3}{s}}$$

$$P_{RH} = 13352,60 s$$

$$P_{RH} = 13352,60 s * \frac{1h}{3600s} = 3,71 h$$

### Zona de recolección de lodos

Esta zona está constituida por una tolva en donde se recolectan los lodos sedimentados, además de una tubería de diámetro de  $\geq 12''$  y válvula para su evacuación periódica. Para una mejor facilidad de deslizamiento de las partículas, el fondo tendrá una pendiente entre el 5% al 10 %.

### Zona de salida

Se da mediante tubos perforados que recolectan el agua tratada evitando perturbar la sedimentación de las partículas depositadas en la tolva.

### 3.3.7. Lechos de secado

**Tabla 3-15:** Datos para el cálculo de lechos de secado.

Parámetro	Sigla	Unidad	Valor
Caudal medio de diseño	Q	L/día	149472
Volumen de lodos en la prueba de jarras.	$V_{lodos\ Jarras}$	mL/L	200
Profundidad de aplicación.	Ha	m	1
Ancho del lecho de secado	$B_{is}$	m	2,5

Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

a. Volumen de lodos a extraerse:

$$V_{lodos} = V_{lodos\ Jarras} * Q$$

$$V_{lodos} = 200 \frac{mL}{L} * 149472 \frac{L}{día}$$

$$V_{lodos} = 29,89 \frac{m^3}{día}$$

b. Área del lecho de secado:

$$A_{ls} = \frac{V_{lodos}}{Ha}$$

$$A_{ls} = \frac{29,89 \text{ m}^3}{1 \text{ m}}$$

$$A_{ls} = 29,89 \text{ m}^2$$

c. Largo del lecho de secado:

$$L_{ls} = \frac{A_{ls}}{B_{ls}}$$

$$L_{ls} = \frac{29,89 \text{ m}^2}{2,5 \text{ m}}$$

$$L_{ls} = 11,96 \text{ m}$$

Por cuestión de diseño el largo se redondea a:  $L_{ls} = 12 \text{ m}$

Y se plantea diseñar 2 unidades, para mejor abastecimiento.

### 3.3.8. Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical

**Tabla 3-16:** Datos para el cálculo del HAFSSV.

Parámetro	Sigla	Unidad	Valor
Caudal medio de diseño	Q	m <sup>3</sup> /día	149,47
Concentración de DBO5 inicial***	Co	mg/L	334,50
Concentración de DBO5 final****	C	mg/L	50,00
Concentración de DQO inicial***	Co	mg/L	836,80
Temperatura del humedal	Ta	°C	26
Profundidad**	H	m	1
Porosidad del medio granular*	N	%	35
Pendiente**	S	%	15

Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

$$\frac{DBO_5}{DQO}$$

$$\frac{334,50}{836,80}$$

$$0,40$$

a. Cálculo de la constante de reacción de primer orden:

$$K_T = 1,104 * 1,06^{(T_a-20)}$$

$$K_T = 1,104 * 1,06^{(26-20)}$$

$$K_T = 1,57$$

b. Cálculo del área superficial del humedal:

$$A_{SH} = \frac{Q * \ln\left(\frac{C_0}{C}\right)}{K_T * h * n}$$

$$A_{SH} = \frac{149,47 \frac{m^3}{día} * \ln\left(\frac{334,50}{50}\right)}{1,57 * 1 m * 0,35}$$

$$A_{SH} = 525 m^2$$

c. Cálculo de ancho del humedal:

$$W_H = \sqrt{\frac{A_{SH}}{4}}$$

$$W_H = \sqrt{\frac{525 m^2}{4}}$$

$$W_H = 11,45 m$$

Por cuestión de diseño el área se redondea a:  $W_H = 12 m$

d. Cálculo del largo del humedal:

$$L_H = 4 * W_H$$

$$L_H = 4 * 12 m$$

$$L_H = 48 m$$

e. Cálculo del volumen del humedal:

$$V_H = L_H * W_H * h$$

$$V_H = 48 m * 12 m * 1 m$$

$$V_H = 576 \text{ m}^3$$

f. Cálculo del tiempo de retención hidráulico:

$$A_{SH} = W_H * L_H$$

$$A_{SH} = 12 \text{ m} * 48 \text{ m}$$

$$A_{SH} = 576 \text{ m}^2$$

$$Trh = \frac{A_{SH} * h * n}{Q}$$

$$Trh = \frac{576 \text{ m}^2 * 1 \text{ m} * 0,35}{149,47 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}$$

$$Trh = 1,35 \text{ días}$$

Por cuestión de diseño el área se redondea a:  $Trh = 2 \text{ días}$

g. Relación Largo – Ancho:

$$\frac{L}{W}$$

$$\frac{48 \text{ m}}{12 \text{ m}}$$

$$4$$

Por cuestión de diseño se plantea el dimensionamiento de 4 humedales artificiales, en una relación 4:1.

### 3.4. Resultados del Dimensionamiento del Sistema de Tratamiento de Lixiviados

Los resultados obtenidos a partir de los cálculos de diseño para cada unidad de tratamiento se establecen en las siguientes tablas:

### 3.4.1. Caudal de diseño

**Tabla 3-17:** Resultados del Caudal de diseño.

Detalle	Sigla	Unidad	Valor
Caudal de diseño	Q	L/s	1,73
		m <sup>3</sup> /s	0,00173
		m <sup>3</sup> /h	6,23
		m <sup>3</sup> /día	149,47

Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

### 3.4.2. Piscinas de almacenamiento de lixiviados

**Tabla 3-18:** Dimensiones de la piscina de almacenamiento de lixiviados.

Detalle	Sigla	Unidad	Valor
Número de unidades			2
Volumen	V	m <sup>3</sup>	448,47
Tiempo de retención hidráulica	trh	días	3
Área	A	m <sup>2</sup>	162
Profundidad	H	m	3
Largo	L	m	20
Ancho	B	m	8

Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

### 3.4.3. Coagulación –Floculación

**Tabla 3-19:** Dosificación de Sulfato de Aluminio.

Detalle	Sigla	Unidad	Valor
Dosificación del sulfato de aluminio	$D_{Al_2(SO_4)_3}$	L/día	3,61
Masa del sulfato de aluminio	$M_{Al_2(SO_4)_3}$	kg/día	4,48

Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018



### 3.4.4. Canaleta Parshall

**Tabla 3-20:** Dimensiones de la Canaleta Parshall.

Detalle	Sigla	Unidad	Valor
Ancho de garganta*	W	cm	15,0
Altura de la lámina de agua, medida aguas arriba de la sección de control	Ha	cm	3,20
Altura de la lámina de agua, medida aguas debajo de la sección de control	Hb	cm	1,90
Dimensiones estandarizadas**	A	cm	61,0
Dimensiones estandarizadas**	B	cm	61,0
Dimensiones estandarizadas**	C	cm	39,40
Dimensiones estandarizadas**	D	cm	40,3
Dimensiones estandarizadas**	E	cm	61,0
Dimensiones estandarizadas**	F	cm	30,5
Dimensiones estandarizadas**	G	cm	61,0
Dimensiones estandarizadas***	K	cm	7,6
Dimensiones estandarizadas***	N	cm	11,4
Dimensiones estandarizadas***	R	cm	41,0
Dimensiones estandarizadas***	M	cm	30,0
Dimensiones estandarizadas***	P	cm	90
Dimensiones estandarizadas***	X	cm	5,00
Dimensiones estandarizadas***	Y	cm	8,00

Fuente: CEPIS, 1992

### 3.4.5. Floculador Horizontal

**Tabla 3-21:** Dimensiones del floculador horizontal.

Detalle	Sigla	Unidad	Valor
Número de unidades			2
Longitud total del floculador	L <sub>T</sub>	m	15
Ancho total del floculador	B <sub>T</sub>	m	2,95

Ancho de placa de cemento	B	m	2,5
Altura de placa de cemento	hp	m	1
Espesor de placa de cemento	ep	m	0,008
Número de canales	N	m	51
Número de placas	Np	m	50
Separación entre placas	a	m	0,30
Espaciamiento entre los extremos de la placa y el muro	e	m	0,45

Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

### 3.4.6. Sedimentador convencional

**Tabla 3-22:** Dimensiones del sedimentador rectangular primario.

Detalle	Sigla	Unidad	Valor
Número de unidades			2
<i>Zona de entrada</i>			
Compuerta de entrada de caudal	Ce	m	0,50
Altura de la pantalla difusora	h	m	0,90
Número de orificios	n <sub>o</sub>		24
Número de filas	nf		3
Número de columnas	nc		8
Espaciamiento entre filas	af	m	0,30
Espaciamiento entre columnas	ac	m	0,25
<i>Zona de sedimentación</i>			
Ancho del sedimentador	Bs	m	2
Longitud del sedimentador	Ls	m	7
Profundidad del sedimentador	Hs	m	1,5
Longitud entre la pantalla difusora y la pared de entrada	L <sub>pd</sub>	m	0,7
Longitud total	L <sub>T</sub>	m	7,70
<i>Zona de recolección de lodos</i>			
Porcentaje de inclinación	$\alpha$	%	10
<i>Zona de salida</i>			
Largo del vertedero de salida	Lvs	m	0,5

Profundidad de vertedero de salida	Hvs	m	0,4
------------------------------------	-----	---	-----

Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

### 3.4.7. Lechos de secado

**Tabla 3-23:** Dimensiones de los lechos de secado.

Detalle	Sigla	Unidad	Valor
Número de unidades			2
Profundidad de aplicación	Ha	m	1
Ancho del lecho de secado	B <sub>L</sub>	m	2,5
Largo del lecho de secado	L <sub>L</sub>	m	12
Pendiente de inclinación hacia la caja de control.	S	%	1
Porcentaje de inclinación hacia la tubería de recolección.	$\alpha$	%	5
<i>Medio de drenaje</i>			
Capa de grava	C <sub>1</sub>	cm	10
Capa de arena	C <sub>2</sub>	cm	10
Capa de ladrillos	C <sub>3</sub>	cm	10
<i>Caja de control</i>			
Largo de caja de control.	L <sub>C</sub>	m	0,50
Ancho de caja de control.	B <sub>C</sub>	m	0,50
Profundidad de caja de control.	H <sub>C</sub>	m	0,64

Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

### 3.4.8. Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical.

**Tabla 3-24:** Dimensiones de los humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical.

Detalle	Sigla	Unidad	Valor
Número de unidades			4
Largo del humedal	L <sub>H</sub>	m	24
Ancho del humedal	W <sub>H</sub>	m	6
Profundidad del humedal	h	m	1

Pendiente	S	%	10
Borde de seguridad	b	m	0,25
Piedra bola (diámetro 3-5 cm)	C <sub>1</sub>	cm	20
Tamo de café	C <sub>2</sub>	cm	5
Grava fina (diámetro 16mm)	C <sub>3</sub>	cm	20
Arena gruesa (diámetro 2mm)	C <sub>4</sub>	cm	40
Abono orgánico	C <sub>5</sub>	cm	5
Volumen del humedal	V <sub>H</sub>	m <sup>3</sup>	144
Tiempo de retención hidráulica	T <sub>rh</sub>	días	2
<i>Caja de control o recirculación</i>			
Largo de caja de control.	L <sub>C</sub>	m	0,50
Ancho de caja de control.	B <sub>C</sub>	m	0,50
Profundidad de caja de control.	H <sub>C</sub>	m	0,64

Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

### 3.5. Eficiencia del Sistema de Tratamiento de Lixiviados

**Tabla 3-25:** Eficiencia de la Planta de tratamiento de lixiviados.

Parámetro	Unidad	Co	%Remoción			Cf	Eficiencia	Límite máximo permisible
			Coagulación Floculación	Sedimentador	Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical			
Sólidos Totales	mg/L	2697,24		70%	53,00%	309,17	88,54%	1600
DBO <sub>5</sub>	mg/L	334,50	50%	30%	85,00%	17,57	94,75%	100
DQO	mg/L	836,80	49,00%		83,00%	72,56	91,33%	200
Nitrógeno Total	mg/L	308,43	2,00%		97,00%	9,07	97,06%	50
Amonio (NH <sub>4</sub> )	mg/L	161,48			96,00%	6,46	96,00%	30
Coliformes Fecales	NMP/ 100ml	911500			100%	0	100%	2000
Coliformes Totales	Col/10 0ml	1205000	58%		99,99%	50,61	99,99%	2000

Elaborado por: Génesis Montezuma, 2018

La Tabla 3-28 nos muestra la eficiencia del sistema de tratamiento de lixiviados, mediante el porcentaje de remoción de contaminantes en cada etapa significativa del tratamiento. Se analiza la disminución del valor de los parámetros que se encontraron fuera del límite máximo

permisible en la caracterización inicial del lixiviado, para lo cual se obtuvo que todos los parámetros cumplen con la norma después del sistema de tratamiento de lixiviados, mostrando porcentajes de reducción de: 89% de Sólidos totales, 95% en DBO5, 91% de DQO, 97% de Nitrógeno Total, 96% de Amonio, 100% de coliformes fecales y 99,99% en coliformes totales.

### 3.6. Análisis de costos

El análisis de costos nos permitió estimar un presupuesto de construcción aproximado para la implementación de la planta de tratamiento de lixiviados del Botadero.

El siguiente análisis de costos está compuesto por los costos unitarios de cada rubro y el precio total para la implementación de cada unidad física de tratamiento de la planta, con costos de construcción y costos de materiales o accesorios complementarios al sistema. El presupuesto total de la obra es de 122.960,83 dólares americanos, con un total de quince unidades físicas.

El tiempo de construcción de la planta de tratamiento se aproxima mediante un cronograma de construcción de 5 periodos en donde se detalla el cada proceso de la implementación.

**Tabla 3-26:** Presupuesto de construcción.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO TOTAL
1	Listado de Obra civil	97.117,10
2	Listado de Materiales	2.224,53
3	Listado de Mano de obra	1.0243,20
4	Listado de Equipos	1.3376,00
	<b>TOTAL:</b>	<b>122.960,83</b>

Elaborado por: Ing. Luis Méndez, 2018

**Tabla 3-27:** Listado de Obra civil.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	PRECIO TOTAL
<b>A</b>	<b>PREPARACIÓN DEL TERRENO</b>				
1	Replanteo y nivelación del terreno.	m <sup>2</sup>	4045,22	1,56	6.310,54

2	Excavación a máquina H: 4-6 m	m <sup>3</sup>	1003,00	5,70	5.717,10
3	Relleno compactado con material de excavación.	m <sup>3</sup>	2400,00	2,73	6.552,00
4	Desalojo de material sobrante.	m <sup>3</sup>	876,00	2,70	2.365,20
<b>B</b>	<b>PISCINA DE ALMACENAMIENTO DE LIXIVIADOS (2 UNIDADES)</b>				
<b>B1</b>	<b>Área de las piscinas</b>				
1	Excavación a máquina H: 2-4 m	m <sup>3</sup>	960	3,73	3.580,80
2	Excavación a mano	m <sup>3</sup>	34,86	4,08	142,23
3	Resanteo de fondo	m <sup>2</sup>	320	0,56	179,20
4	Geomembrana HPDE de 1,5mm.	m <sup>2</sup>	540,50	4,15	2.243,08
5	Desalojo de material sobrante.	m <sup>3</sup>	600	2,70	1.620,00
<b>B2</b>	<b>Cubierta de las piscinas</b>				
1	Base de hormigón, hormigón simple f'c = 210 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	0,38	140,67	53,45
2	Correa G de 100x50x15mm, fy = 2400 kg/cm <sup>2</sup>	U	15	6,85	102,75
3	Correa G de 80x40x15mm, fy = 2400 kg/cm <sup>2</sup>	U	60	6,85	411,00
4	Cumbrero Alutecho 0.25 x 610 x 3m - Kubiec	U	7	7,02	49,14
5	Planchas de Supertecho 1000 mm x 4.80 m x 0.25 mm – Rooftec.	U	40	16,95	678,00
<b>B3</b>	<b>Canal de conexión de piscina con canaleta parshall.</b>				
1	Excavación a mano	m <sup>3</sup>	1,04	4,08	4,24
2	Resanteo de fondo	m <sup>2</sup>	1,69	0,56	0,95
3	Replanteo fc = 140 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	0,17	97,33	16,55
4	Acero de refuerzo fc = 4200 kg/cm <sup>2</sup> , alambre galv. N°18	kg	84,75	1,90	161,03
5	Hormigón simple f'c = 210 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	1,04	140,67	146,30
<b>C</b>	<b>CANAleta PARSHALL (2 UNIDADES)</b>				
1	Excavación a mano	m <sup>3</sup>	1,88	4,08	7,67
2	Resanteo de fondo	m <sup>2</sup>	2	0,56	1,12
3	Replanteo fc = 140 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	0,2	97,33	19,47
4	Acero de refuerzo fc = 4200 kg/cm <sup>2</sup> , alambre galv. N°18	kg	100	1,90	190,00
5	Hormigón simple f'c = 210 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	0,14	140,67	19,69
<b>C1</b>	<b>Canal de conexión de canaleta parshall con floculador</b>				
1	Excavación a mano	m <sup>3</sup>	10,20	4,08	41,62
2	Resanteo de fondo	m <sup>2</sup>	15	0,56	8,40
3	Replanteo fc = 140 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	0,46	97,33	44,77
4	Acero de refuerzo fc = 4200 kg/cm <sup>2</sup> , alambre galv. N°18	kg	750	1,90	1425
5	Hormigón simple f'c = 210 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	3,12	140,67	438,39
6	Desalojo de material sobrante.	m <sup>3</sup>	22,36	2,70	60,37
<b>D</b>	<b>FLOCULADOR HORIZONTAL (2 UNIDADES)</b>				
1	Excavación a máquina H: 0-2 m	m <sup>3</sup>	95	3,50	332,50
2	Resanteo de fondo	m <sup>2</sup>	88,50	0,56	49,56
3	Replanteo fc = 140 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	8,85	97,33	861,37

4	Acero de refuerzo $f_c = 4200 \text{ kg/cm}^2$ , alambre galv. N°18	kg	4420	1,90	8390,00
5	Hormigón simple $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , paredes.	$\text{m}^3$	97,35	140,67	1.3694,22
6	Placas deflectoras de hormigón simple $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ . (2,5x1,00x0,008).	$\text{m}^3$	2	140,67	281,34
7	Compuerta separador caudales de acero inoxidable AISI-304L.	U	2	500,00	1.000,00
<b>D1</b>	<b>Canal de conexión de floculador con sedimentador</b>				
1	Excavación a mano	$\text{m}^3$	2,40	4,08	9,79
2	Resanteo de fondo	$\text{m}^2$	5,92	0,56	3,31
3	Replanto $f_c = 140 \text{ kg/cm}^2$	$\text{m}^3$	0,59	97,33	57,42
4	Acero de refuerzo $f_c = 4200 \text{ kg/cm}^2$ , alambre galv. N°18	kg	296	1,90	562,40
5	Hormigón simple $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	$\text{m}^3$	1,70	140,67	239,14
6	Desalojo de material sobrante.	$\text{m}^3$	12,88	2,70	34,78
<b>E</b>	<b>SEDIMENTADOR RECTANGULAR DE FLUJO HORIZONTAL (2 UNIDADES)</b>				
1	Excavación a mano	$\text{m}^3$	51	4,08	55,08
2	Resanteo de fondo	$\text{m}^2$	34	0,56	19,04
3	Excavación a mano zanja de tubería	$\text{m}^3$	40,5	4,08	165,24
4	Replanto $f_c = 140 \text{ kg/cm}^2$	$\text{m}^3$	3,40	97,33	330,92
5	Acero de refuerzo $f_c = 4200 \text{ kg/cm}^2$ , alambre galv. N°18	kg	1700	1,90	3.230,00
6	Hormigón simple $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	$\text{m}^3$	3,84	140,67	540,17
7	Pantalla difusora de hormigón simple $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (2x0,90x0,10).	$\text{m}^3$	0,18	140,67	25,32
8	Compuerta separador caudales de acero inoxidable AISI-304L.	U	2	500,00	1.000,00
9	Desalojo de material sobrante.	$\text{m}^3$	88	2,70	237,60
<b>F</b>	<b>LECHOS DE SECADO (2 UNIDADES)</b>				
<b>F1</b>	<b>Área lechos de secado</b>				
1	Excavación a máquina H: 0-2 m	$\text{m}^3$	60	3,50	210,00
2	Resanteo de fondo	$\text{m}^2$	60	0,56	33,60
3	Replanto $f_c = 140 \text{ kg/cm}^2$	$\text{m}^3$	6	97,33	538,98
4	Acero de refuerzo $f_c = 4200 \text{ kg/cm}^2$ , alambre galv. N°18	kg	3000	1,90	5700
5	Hormigón simple $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	$\text{m}^3$	2,9	140,67	407,94
6	Ladrillo Panelón de dimensiones 8x13x28cm	U	1600	0,13	208,00
7	Arena	$\text{m}^3$	6	37,20	223,20
8	Grava	$\text{m}^3$	6	38,60	231,60
<b>F2</b>	<b>Cubierta lechos de secado</b>				
1	Base de hormigón,	$\text{m}^3$	0,27	140,67	37,98
2	Correa G de 100x50x15mm, $f_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$	m	13	1,37	17,81
3	Correa G de 80x40x15mm, $f_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$	m	36	1,37	49,32

4	Cumbrero Alutecho 0.25 x 610 x 3m - Kubiec	U	4	7,02	28,08
5	Cubierta de Policarbonato	m <sup>2</sup>	97,50	3,50	341,25
<b>F3</b>	<b>Caja de registro, recirculación y salida</b>				
1	Excavación a mano	m <sup>3</sup>	0,25	4,08	1,02
2	Caja de control prefabricada	U	1	51,23	51,23
3	Desalojo de material sobrante.	m <sup>3</sup>	124,1	2,70	335,07
<b>G</b>	<b>HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL (4 UNIDADES)</b>				
<b>G1</b>	<b>Área de humedales</b>				
1	Excavación a máquina H: 0-2 m	m <sup>3</sup>	576	3,50	2.016,00
2	Excavación a mano zanja de tubería	m <sup>3</sup>	12,75	4,08	52,02
3	Resanteo de fondo	m <sup>2</sup>	576	0,56	322,56
4	Geomembrana HPDE de 1,5mm.	m <sup>2</sup>	582	4,15	2.397,84
5	Plantas de pasto alemán	U	2304	0,05	115,20
6	Abono orgánico	m <sup>3</sup>	28,8	6,00	172,80
7	Arena gruesa	m <sup>3</sup>	230,40	37,20	8.570,88
8	Grava fina	m <sup>3</sup>	115,20	38,60	4.446,72
9	Tamo de café	m <sup>3</sup>	28,8	1,00	28,80
10	Piedra bola	m <sup>3</sup>	115,20	10,00	1.152,00
<b>G2</b>	<b>Caja de registro, recirculación y salida</b>				
1	Excavación a mano	m <sup>3</sup>	0,25	4,08	1,02
2	Caja de control prefabricada	U	1	51,23	51,23
3	Desalojo de material sobrante.	m <sup>3</sup>	1027,18	2,70	2.773,39
<b>H</b>	<b>DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS, INTERIOR Y EXTERIOR</b>				
1	Excavación a mano de zanjas	m <sup>3</sup>	324	4,08	1.321,92
2	Resanteo de zanjas	m <sup>2</sup>	108	0,56	60,48
3	Revestimiento con terrocemento	m <sup>2</sup>	324	1,33	430,92
4	Desalojo de material sobrante.	m <sup>3</sup>	400	2,70	1.080,00
			<b>TOTAL:</b>		<b>97.117,10</b>

Elaborado por: Ing. Luis Méndez, 2018

**Tabla 3-28:** Listado de Materiales.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	PRECIO TOTAL
a	Accesorios	GLB	1	500,00	500,00
b	Adaptador roscable para limpieza	U	30	18,40	552,00
c	Clavos 2"	kg	2	1,80	3,60
d	Codo 45° PVC 4"	U	4	1,90	7,60
e	Codo 90° PVC 4"	U	18	1,90	34,20
f	Pernos autopercorantes	kg	3	8,31	24,95
g	Pintura de caucho	L	1.5	13,00	19,50
h	Polipega	L	1	12,00	12,00



I	Resina para pintura	L	2	8,00	16,00
j	Tabla de encofrado	U	25	2,50	62,50
k	Tablones l=3.00m	U	20	6,75	135,00
l	Tuvo PVC 4"	m	188,81	2,79	526,78
m	Tuvo PVC 4" perforado	m	96,00	3,15	302,40
n	Unión T PVC 4"	U	8	3,50	28,00
				<b>TOTAL:</b>	<b>2.224,53</b>

Elaborado por: Ing. Luis Méndez, 2018

**Tabla 3-29:** Listado de Mano de obra.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SALARIO REAL X HORA	HORAS - HOMBRE	TOTAL
b	Albañil	1	3,55	1704	1.704,00
a	Chofer Volquetas	1	5,15	824	824,00
d	Inspector de obra	1	3,94	1891,20	1.891,20
e	Operador de equipo liviano	1	3,55	568,00	568,00
c	Peón	2	3,51	1684,8	3.369,60
h	Supervisor eléctrico general	1	3,94	630,40	630,40
g	Técnico en soldadura industrial	1	3,55	568	568,00
f	Topógrafo	1	4,30	688	688,00
				<b>TOTAL:</b>	<b>10.243, 20</b>

Elaborado por: Ing. Luis Méndez, 2018

**Tabla 3-30:** Listado de Equipos.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SALARIO REAL X HORA	HORAS - EQUIPO	TOTAL
a	Andamios metálicos	1	0,15	24	24,00
b	Concretera	1	5,00	1600	1.600,00
c	Equipo de topografía	1	17,00	2720	2.720,00
d	Herramienta menor	1	6,50	3120	3.120,00
e	Retroexcavadora	1	5,65	904	904,00
f	Soldadora eléctrica 300a	1	2,00	320	320,00
g	Volqueta 8m <sup>3</sup>	1	25,00	4000	4.000,00
				<b>TOTAL:</b>	<b>13.376,00</b>

Elaborado por: Ing. Luis Méndez, 2018

**Tabla 3-31:** Cronograma de construcción.

DESCRIPCIÓN	PERIODOS									
	1	2	3	4	5					
Replanteo y nivelación	■									
Excavación		■								
Hormigón			■	■	■	■				
Enlucido-pintura							■			
Accesorios-tuberías								■		
Granulometría								■	■	■
Total parcial										■
Total acumulado										■

**Elaborado por:** Ing. Luis Méndez, 2018

## CONCLUSIONES

- Se diseñó un sistema de tratamiento para lixiviados generados en el Botadero del Cantón Francisco de Orellana, como parte fundamental del cierre técnico del mismo; con la finalidad de minimizar los impactos ambientales y de cumplir con la obligación de restaurar integralmente el ecosistema afectado por el manejo inadecuado de los lixiviados, garantizando óptimas condiciones de salubridad pública a las comunidades aledañas al área de influencia del Botadero.
- Se determinó las características fisicoquímicas y biológicas de los lixiviados generados en el Botadero del Cantón Francisco de Orellana, para conocer los parámetros que no cumplen con el límite máximo permisible del TULSMA, Libro VI, Anexo I, Tabla 12 de límites de descarga a un cuerpo de agua dulce; obteniéndose los siguientes resultados: Sólidos totales 2697,24 mg/L, Demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) 334,50 mg/L, Demanda química de oxígeno (DQO) 836,80 mg/L, Coliformes fecales 911500 NMP/100ml, Coliformes totales 1205000 Col/100ml, Amonio ( $NH_4^+$ ) 161,48 mg/L y Nitrógeno total 308,43 mg/L. Se identificó mediante revisión bibliográfica el tratamiento biológico adecuado para el sistema; al determinar la relación  $DBO_5/DQO = 0,4$ , la cual corresponde a un agua biodegradable, siendo útil tratarla mediante sistemas naturales. El tratamiento biológico adecuado para los lixiviados del Botadero del Cantón Francisco de Orellana, ha sido escogido en función de las características del suelo, la caracterización y el caudal de lixiviados; resultando como selección un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical, lo que garantiza la sostenibilidad y eficiencia en la depuración de estas aguas, por sus costos bajos de construcción, operación y mantenimiento.
- Se realizó la prueba de jarras y el humedal artificial como pruebas de tratabilidad para el tratamiento de los lixiviados, a nivel de laboratorio se realizó la prueba de jarras para encontrar las condiciones óptimas de tratabilidad en la operación de coagulación para la dosificación óptima de sulfato de aluminio, como tratamiento primario en el sistema, para lo cual se obtuvo un resultado de dosificación de 1900 mg/L con un porcentajes de remoción de: 50% de  $DBO_5$ , 49,10% de DQO, 2,09% de Nitrógeno Total y 58% de Coliformes totales; además la realización de esta prueba permite reducir costos en la operación y en el mantenimiento de la planta. A nivel de campo se realizó la construcción del humedal artificial de flujo subsuperficial vertical a una escala proporcional de relación largo/ancho 4:1 (Largo: 10m, Ancho: 2,5m, profundidad: 1m e inclinación: 1%) como tratamiento secundario del sistema, para lo cual se obtuvo un porcentaje de remoción de sólidos totales del 53 %,  $DBO_5$  del 86 %, porcentaje de remoción de la DQO del 83 %, porcentaje de remoción de Nitrógeno total de 97 %, porcentaje de remoción del Amonio de 64 %,

porcentaje de remoción de Coliformes fecales del 99,99 % y porcentaje de remoción de Coliformes Totales del 99,99%; comprobando así la eficiencia de la implementación de un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical, en el sistema de tratamiento.

- Se dimensionó cada unidad del sistema de tratamiento para lixiviados generados en el Botadero del Cantón Francisco de Orellana, según los criterios de diseño y ecuaciones sugeridas por métodos, normas y guías de diseño para sistemas de tratamiento de aguas residuales hasta generar los planos en AutoCAD de la planta de tratamiento; la cual tiene un área total de 0.4045 ha aproximadamente y está compuesta por: dos piscinas de almacenamiento de lixiviados, una canaleta Parshall como unidad asistida químicamente, dos floculadores complementarios a la etapa de coagulación-floculación, dos sedimentadores convencionales rectangulares de flujo horizontal como unidad de tratamiento primario, los lodos depurados del sedimentador se extraen en dos unidades de lechos de secado y como unidad de tratamiento secundario se diseñó cuatro humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical, además como unidad complementaria al sistema se diseñó una caja de registro, recirculación y salida del agua tratada.
- Se diseñó el sistema de tratamiento de lixiviados el cual, mediante el dimensionamiento de la planta de tratamiento que consta con una eficiencia de remoción de contaminantes de: 89% de sólidos totales, 95% de DBO<sub>5</sub>, 91% de DQO, 97% de nitrógeno total, 96% de amonio, 100% de coliformes fecales y 99,99% de coliformes totales. El presupuesto de construcción estimado para la implementación de la planta de tratamiento es de 122.960,83 dólares americanos. Con los valores de porcentajes de remoción se valida la eficiencia y viabilidad del sistema para la implementación del mismo para dar tratamiento a los lixiviados del Botadero y que cumplan con la normativa de límites máximos permisibles a cuerpos de agua dulce, minimizando los impactos ambientales y como complemento del cierre técnico del mismo.

## RECOMENDACIONES

- Procurar que el caudal de lixiviados no se vea alterado por condiciones meteorológicas u otras, para obtener un funcionamiento óptimo de la planta.
- La dosificación de sulfato de aluminio en el tratamiento de coagulación deberá hacerse cuidadosamente con la cantidad calculada, para evitar que el lixiviado pueda contaminarse por la insuficiencia o saturación de este producto y provocar que no se formen los flóculos para su sedimentación.
- En los humedales artificiales se recomienda evaluar diferentes sistemas con especies alternativas de macrófitas, comparando la eficiencia de remoción y reducción; además de incrementar el período de operación del sistema, verificando los cambios de remoción o saturación del medio filtrante.
- Para que la eficiencia de remoción del humedal de flujo subsuperficial vertical sea la deseada, se debe esperar un mínimo de un año de adaptación y se recomienda realizar inspecciones mensuales para observar que no exista la proliferación de vectores.
- Establecer un cronograma de análisis físico-químicos y biológicos de los niveles de contaminación de las aguas resultantes del tratamiento de lixiviados, para controlar que los parámetros permanezcan con el cumplimiento a la normativa TULSMA y de la verificación del buen funcionamiento de la planta.

## GLOSARIO

- **Coagulación.-** Es el proceso de desestabilización de un coloide originada por la destrucción de las dobles capas eléctricas que envuelven a todas las partículas coloidales, esto genera la formación de núcleos microscópicos. (Junco, 2015)
- **Floculación-** Es el proceso de aglomeración de las partículas desestabilizadas en la coagulación, primero en microflóculos y luego en aglomerados voluminosos llamados flóculos. (Junco, 2015)
- **Pasto alemán (*echinochia polystachya*).**- Son plantas forrajeras originarios de América del Sur y crecen en climas húmedos tropicales; este pasto tiene un alto potencial de fitoremediación y es muy eficaz en disminuir altas concentraciones de nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánico, sólidos totales, coliformes totales, DBO<sub>5</sub> y DQO en aguas residuales domésticas.
- **Prueba de tratabilidad.-** Es un ensayo realizado en laboratorio mediante métodos, análisis de aguas, prototipos de tratamientos, que permitan conocer la composición, el tipo de agua y ciertos parámetros necesarios para el tratamiento del agua en las plantas.
- **Sulfato de aluminio.-** Compuesto cristalino, blanco o incoloro, se conoce como compuesto anhídrido ( $Al_2(SO_4)_3$ ), es uno de los compuestos de aluminio más importantes comercialmente en el tratamiento de aguas residuales, en la purificación de agua potable, en la industria del papel, etc. (Vasquez, et al., 2004)

## BIBLIOGRAFÍA

**Acurio, G. et al.**, *Diagnóstico de la situación del manejo de los residuos sólidos municipales en america latina y el caribe*. Washington d.c: publicación conlunta del banco interamericano de desarrollo y la organización panamericana, 1997.

**Alvarado Aguinda, Natali Johana**, *Tratamiento de lixiviados del relleno sanitario del cantón tena provincia de napo mediante reacción fenton y microorganismos eficientes*, 2016. [en línea] escuela superior politécnica de chimborazo, s.l. 2016. Pp. 20-21. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/6310>.

**Andrade, Luisa et al.**, *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial municipal de francisco de orellana* [en línea]. 2018. Disponible en: [https://www.orellana.gob.ec/docs/pdyot\\_gadmfo\\_2014-2019.pdf](https://www.orellana.gob.ec/docs/pdyot_gadmfo_2014-2019.pdf).

**Asamblea, Constituyente**, *Constitución del ecuador* [en línea]. 2008. Disponible en: <http://www.wipo.int/edocs/lexdocs/laws/es/ec/ec030es.pdf>.

**Báez, Adelaida Cabral**, *Relatorio de impacto ambiental* [en línea]. 2011. Disponible en: [http://www.seam.gov.py/sites/default/files/users/control/8082\\_adelaida.pdf](http://www.seam.gov.py/sites/default/files/users/control/8082_adelaida.pdf).

**Bernardo, C.**, *Ceteme la tragedia* [en línea]. 2018. Disponible en: <http://ceteme.blogspot.com/2016/04/r-s-u.html/>.

**Casas Sabata, Josep m<sup>a</sup> et al.**, *Gestión de los residuos sólidos urbanos* [en línea]. España: asociación mundial de las grandes metrópolis, 2005. Isbn 8460950220. Disponible en: [https://www.metropolis.org/sites/default/files/2005\\_c3-residuos-solidos-urbanos-esp.pdf](https://www.metropolis.org/sites/default/files/2005_c3-residuos-solidos-urbanos-esp.pdf).

**Chávez, Ana María Valles**, *Tratamiento fisicoquímico y biológico de lixiviado del relleno sanitario de la ciudad de chihuahua* [en línea] centro de investigacion en materiales avanzados.,

s.l. 2013. Pp. 5. Disponible en:  
[https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/127/1/tesis\\_ana\\_maria\\_valles\\_chavez.pdf](https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/127/1/tesis_ana_maria_valles_chavez.pdf).

**Chávez, Wendy Margarita**, *Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la cd. De chihuahua. Méx.* [en línea] centro de investigacion en materiales avanzados, s.l. 2011. Pp. 8-9. Disponible en:  
[https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/858/1/wendy\\_margarita\\_chavez\\_montes\\_mcta.pdf](https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/858/1/wendy_margarita_chavez_montes_mcta.pdf).

**Codina, Elias Vazquez**, *Cuantificacion y efectos de la produccion de lixiviados en el relleno sanitario de salinas victoria, n. L.* [en línea] universidad autonoma de nuevo leon, s.l. 2001. Pp. 1-121. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/6324/1/1080095002.pdf>.

**Contreras, Alexander Alvarez & Gelvez, John Hermógenes Suárez**, "Tratamiento biológico del lixiviado generado en el relleno sanitario «el guayabal» de la ciudad san josé de cúcuta". *Ingeniería y desarrollo* [en línea], 2006, vol. 20, pp. 95-105. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85202007>.

**Delgadillo, Oscar et al.**, *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales* [en línea]. Cochabamba, bolivia: centro andino para la gestión y uso del agua, 2010. Isbn 9789995476625. Disponible en:  
[http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion\\_de\\_aguas\\_residuales\\_por\\_medio\\_de\\_humedales\\_artificiales.pdf%5cnhttp://www.aguasresiduales.info/revista/libros/depuracion-de-aguas-residuales-por-medio-de-humedales-artificiales](http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf%5cnhttp://www.aguasresiduales.info/revista/libros/depuracion-de-aguas-residuales-por-medio-de-humedales-artificiales).

**Elizabeth, Vega Quispe Tanya**, *diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para el cantón archidona de la provincia de napo* [en línea] escuela superior politécnica de chimborazo, s.l. 2016. Pp. 165. Disponible en:  
<http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/6849>.

**Fajardo, Sandra Lidia Zambrano**, *Protocolo para toma de muestras de aguas residuales* [en



línea]. 2007. Disponible en:  
[http://www.corpoamazonia.gov.co/files/protocolo\\_para\\_toma\\_de\\_muestras\\_de\\_aguas\\_residuales.pdf](http://www.corpoamazonia.gov.co/files/protocolo_para_toma_de_muestras_de_aguas_residuales.pdf).

**Fernandez, Alejandro & Sánchez-Osuna, Mayra**, *Guía para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos* [en línea]. Vienna, austria: united nations industrial development organization, 2007. Disponible en:  
[https://open.unido.org/api/documents/4745768/download/guia para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos](https://open.unido.org/api/documents/4745768/download/guia%20para%20la%20gesti3n%20integral%20de%20los%20residuos%20s3lidos%20urbanos).

**INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos)**, *Fascículo provincial orellana* [en línea]. 2010. Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/manu-lateral/resultados-provinciales/orellana.pdf>.

**Jaramillo, Jorge**, *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales* [en línea]. Lima-perú: centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente, 2002. Disponible en:  
<http://ambiente.lapampa.gob.ar/images/stories/imagenes/archivos/guia.pdf>.

**Lara, Omar Eduardo Olivos**, *Tratamiento de aguas* [en línea]. 2010. Disponible en:  
<http://www.uap.edu.pe/intranet/fac/material/24/20102bt240224e10240108011/20102bt240224e1024010801120689.pdf>.

**Lozano Rivas, William Antonio**, *Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales autor*. Colombia: universidad piloto de colombia, 2016.

**MAE**, *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes : recurso agua* [en línea]. S.n., 2011. Disponible en: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>.

**MAE**, *Programa nacional de gestión integral de desechos sólidos*. [en línea]. 2015. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/>.

**MAE,** *Código orgánico del ambiente* [en línea]. 2017. Disponible en: <http://www.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2017/06/05nor2017-coa.pdf>.

**Medina Serrano, Aida Beatriz,** *Diseño de un sistema de tratamiento para lixiviados generados en el relleno sanitario de la ciudad de chunchi* [en línea] escuela superior politécnica de chimborazo, s.l. 2014. Pp. 157. Disponible en: [http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/3651/1/96t00266\\_udctfc.pdf](http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/3651/1/96t00266_udctfc.pdf).

**Méndez Novelo Roger et al.,** "Tratamiento fisicoquímico de los lixiviados de un relleno sanitario". *Red de revistas científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal* [en línea], 2004, vol. 8, no. 2, pp. 155-163. Issn 1665-529x. Disponible en: [http://www.researchgate.net/profile/german\\_giacoman\\_vallejos/publication/240643188\\_tratamiento\\_fisicoquimico\\_de\\_los\\_lixiviados\\_de\\_un\\_relleno\\_sanitario/links/543816c60cf2d6698bdd35b7.pdf](http://www.researchgate.net/profile/german_giacoman_vallejos/publication/240643188_tratamiento_fisicoquimico_de_los_lixiviados_de_un_relleno_sanitario/links/543816c60cf2d6698bdd35b7.pdf)

**Metcalf & Eddy,** *Ingeniería de aguas residuales*. 3ra ed. Mcgraw-hill/interamericana editores, s.a. de c.v, 1995. Isbn 84-481-1612-7.

**Mironel de Jesus Corena Luna,** *Sistemas de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios* [en línea] universidad de sucre facultad, s.l. 2008. Pp. 63-71. Disponible en: <http://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/304/2/628.44564c797.pdf>.

**Montenegro, Diana Lucía Cristancho,** *Estimación del efecto del lixiviado del relleno doña juana sobre la calidad del agua río tunjuelo y su posible tratamiento en la ptar canoas* [en línea] universidad nacional de colombia, s.l. 2013. Pp. 23. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/45405/1/52480760.2013.pdf>.

**Peña Salamanca, Enrique et al.,** "Bioprospección de plantas nativas para su uso en procesos de biorremediación: caso heliconia psittacorum (heliconiaceae)". *Revista de la academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales* [en línea], 2013, vol. 37, no. 145, pp. 469-

481. Issn 0370-3908. Doi 10.18257/raccefyn.29. Disponible en:  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s0370-39082013000400004&lang=pt](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0370-39082013000400004&lang=pt).

**Rojas, Jairo Alberto Romero**, *Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño*. 3ra ed. Bogotá-colombia: escuela colombiana de ingeniería, 2008. Isbn 9588060133 9789588060132.

**Romero, María Yisela Ordóñez**, *Los desechos sólidos y la salud de los estudiantes* [en línea] universidad tecnológica equinoccial, s.l. 2013. Pp. 8. Disponible en:  
[http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/2918/1/46190\\_1.pdf](http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/2918/1/46190_1.pdf).

**Salazar, Lorena & Saavedra, Inés**, "Tratamiento de lixiviados, casos prácticos en diferentes temperaturas". *Ii simposio iberoamericano de ingeniería de residuos*, 2009, pp. 2.

**Solano, Segundo Tomas Cungachi**, *Análisis comparativo de sistemas de tratamiento de lixiviados «recirculación y campo de infiltración» yurak casha 2014* [en línea] escuela superior politecnica de chimborazo, s.l. 2015. Pp. 25. Disponible en:  
<http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/4844/1/236t0160.pdf>.

**Suttibak, Samonporn & Nitivattananon, Vilas**, "Assessment of factors influencing the performance of solid waste recycling programs". *Resources, conservation and recycling* [en línea], 2008, vol. 53, no. 1-2, pp. 45-56. Issn 09213449. Doi 10.1016/j.resconrec.2008.09.004. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344908001444>.

**Tchobanoglous, George, Theissen, Hilary & Eliassen, Rolf**, *Desechos sólidos: principio de ingeniería y administración*. Mérida-venezuela: ambiente y los recursos naturales renovables, 1982. Isbn 8448117786.

**Torres-Lozada, Patricia et al.**, "Influencia de la edad de lixiviados sobre su composición físico-química y su potencial de toxicidad". *U.d.c.a actualidad & divulgación científica* [en línea], 2014, vol. 17, no. 1, pp. 246. Issn 0123-4226. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v17n1/v17n1a27.pdf>.

**Vasquez, Domingo et al.** y otros. 2004. Diccionario de Ciencias. 1era reimpression. Madrid : Complutense, 2004. pág. 42. ISBN: 84-89784-80-9.

