



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS  
PARA LA CELDA EMERGENTE DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL  
MUNICIPIO DE PASTAZA”**

**Trabajo de titulación**

**Tipo: PROYECTO TÉCNICO**

Presentado para optar al grado académico de

**INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTOR: EMILYS GERMANIA MOSQUERA CHOTO**

**DIRECTOR: ING. HANNÍBAL LORENZO BRITO MOÍNA PhD.**

Riobamba – Ecuador

2018

**© 2018, Emilys Germania Mosquera Choto**

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 investigación: Tipo técnico “**Diseño de un sistema de tratamiento de lixiviados para la celda emergente de residuos sólidos del Municipio de Pastaza**”, de responsabilidad de la Srta. egresada Emilys Germania Mosquera Choto ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

**Ing. Hanníbal Lorenzo Brito**

**Moína. PhD**

DIRECTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Ing. Luis Miguel Santillán**

**Quiroga.**

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Yo, Emilys Germania Mosquera Choto, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual del presente trabajo de titulación pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Emilys Germania Mosquera Choto  
CI. 1600683542

## **DEDICATORIA**

Este proyecto está dedicado con mucho cariño:

A Dios, la Luz de mi vida, quien a pesar de las duras batallas que me ha puesto nunca me ha dejado caer y cada día me ha dado un motivo para levantarme, creer en mí y jamás renunciar a mis sueños.

A mis padres, Germán y Cecilia, que con su amor, esfuerzo, apoyo y ejemplo han permitido que culmine exitosamente mis estudios y me forme como una persona de bien.

A mis hermanas, a quienes amo con todo el corazón y espero que este trabajo sea un ejemplo de lucha y superación en sus vidas.

A mi familia y amigos, que constantemente me han motivado y han puesto su granito de arena para que continúe adelante.

A esa persona especial que es una bendición en mi vida, y siempre ha estado junto a mí en las buenas y malas desde los inicios de mi carrera, y a pesar de los obstáculos que se nos han presentado nunca me ha faltado su amor y apoyo incondicional.

*Emilys*

## AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente, primero a Dios por darme la vida y la fuerza para salir adelante y a mis padres por confiar siempre en mí.

Gracias a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por acogerme estos 5 años y formarme tanto como profesional y como persona.

A mis profesores y amigos que me compartieron su sabiduría, experiencia y cariño en todo momento que pudieron.

A mi director del proyecto, Ing Hanníbal Brito e Ing. Miguel Santillán que me transmitieron sus conocimientos y me brindaron su valioso tiempo para poder llevar a cabo este objetivo.

Por último al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Pastaza, que me abrió las puertas y me facilitó la información necesaria para desarrollar mi proyecto, en especial al Ing. Marco Barreto, Coordinador del Departamento de Higiene y Salubridad y al Ing. Daniel Cárdenas, Director del Departamento de Gestión Ambiental y Riesgos.

*Emilys*

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

AGV	Ácidos grasos volátiles
AIDIS	Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
COT	Carbono orgánico total
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)
DQO	Demanda química de oxígeno (mg/L)
FAFA	Filtro anaerobio de flujo ascendente
GADs	Gestión Integral de Residuos
GIR	Gobiernos Autónomos Descentralizados
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
MAE	Ministerio del Ambiente del Ecuador
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PNGIDS	Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos
RS	Residuo Sólido
RSU	Residuos sólidos urbanos

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN</b> .....	<b>xviii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>CAPITULO I</b>	
<b>1. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>4</b>
<b>1.1 Residuos Sólidos</b> .....	<b>4</b>
<b>1.1.1 Aspectos sanitarios de los residuos sólidos urbanos</b> .....	<b>4</b>
<b>1.1.2 Clasificación</b> .....	<b>4</b>
1.1.2.1 Por su origen: .....	4
1.1.2.2 Por su composición:.....	5
1.1.2.3 Otra clasificación.....	6
<b>1.1.3 Composición de los residuos sólidos</b> .....	<b>7</b>
<b>1.1.4 Propiedades de los residuos sólidos</b> .....	<b>8</b>
1.1.4.1 Propiedades Físicas .....	8
1.1.4.2 Propiedades químicas .....	8
1.1.4.3 Propiedades Biológicas.....	9
<b>1.1.5 Gestión integral de residuos sólidos</b> .....	<b>9</b>
1.1.5.1 Programa nacional para la gestión integral de desechos sólidos. ...	9
1.1.5.2 Situación de los RSU en Ecuador .....	10
1.1.5.3 Etapas de la GIRS (Ríos, 2009) .....	12
<b>1.1.6 Disposición final de los Residuos Sólidos Urbanos</b> .....	<b>13</b>
1.1.6.1 Relleno Sanitario.....	14
1.1.6.2 Infraestructura necesaria.....	15
1.1.6.3 Tipos de relleno sanitario .....	16
1.1.6.4 Fases de descomposición de los residuos sólidos en un relleno sanitario .....	17
<b>1.1.7 Lixiviados</b> .....	<b>18</b>
1.1.7.1 Definiciones.....	18
1.1.7.2 Generación de lixiviado .....	19
1.1.7.3 Cálculo de la generación de lixiviado.....	19
1.1.7.4 Tipos de lixiviados según la edad. ....	20
1.1.7.5 Composición de los lixiviados.....	21



1.1.7.6	<i>Tratamientos</i> .....	22
1.1.7.7	<i>Procesos necesarios para el tratamiento de lixiviados</i> .....	24
1.1.7.8	<i>Normativa vigente</i> .....	32
<b>1.1.8</b>	<b>Diseño del Sistema de tratamiento de Lixiviado</b> .....	<b>34</b>
1.1.8.1	<i>Tanque de almacenamiento</i> .....	34
1.1.8.2	<i>Tanque Imhoff</i> .....	35
1.1.8.3	<i>Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)</i> .....	41
1.1.8.4	<i>Aireadores en cascadas</i> .....	49
<b>1.2</b>	<b>Línea Base</b> .....	<b>52</b>
<b>1.2.1</b>	<b>Cantón Pastaza</b> .....	<b>52</b>
1.2.1.1	<i>Localización geográfica</i> .....	52
1.2.1.2	<i>Descripción Física del Cantón</i> .....	53
1.2.1.3	<i>Demografía</i> .....	54
1.2.1.4	<i>Etnias y organizaciones sociales</i> .....	55
1.2.1.5	<i>Descripción socioeconómica</i> .....	55
<b>1.2.2</b>	<b>Relleno Sanitario de Puyo</b> .....	<b>56</b>
1.2.2.1	<i>Descripción general del área de estudio</i> .....	56
1.2.2.2	<i>Análisis de la Demanda del servicio</i> .....	58
1.2.2.3	<i>Rutas de recolección</i> .....	58
1.2.2.4	<i>Instalaciones del Relleno Sanitario</i> .....	59
1.2.2.5	<i>Descripción del Medio físico</i> .....	62
1.2.2.6	<i>Medio Biótico</i> .....	64
1.2.2.7	<i>Actividad de reciclaje y compostaje</i> .....	67
1.2.2.8	<i>Situación ambiental actual</i> .....	67
1.2.2.9	<i>Área de influencia del relleno sanitario de la ciudad del Puyo</i> .....	69
<b>CAPITULO II</b>		
<b>2.</b>	<b>PARTE EXPERIMENTAL</b> .....	<b>71</b>
<b>2.1</b>	<b>Muestreo</b> .....	<b>71</b>
2.1.1	<i>Localización del proyecto</i> .....	71
2.1.2	<i>Métodos y técnicas</i> .....	71
<b>2.2</b>	<b>Datos experimentales obtenidos</b> .....	<b>74</b>
2.2.2	<i>Caracterización de los RSU</i> .....	74
2.2.3	<i>Determinación de la densidad normal y compactada</i> .....	76
2.2.4	<i>Determinación de la producción per cápita PPC</i> .....	77

2.2.5	<i>Determinación del caudal</i> .....	77
2.2.6	<i>Caracterización físico- química y microbiológica del lixiviado</i> ...	78
2.2.7	<i>Prueba de jarras</i> .....	80
<b>CAPITULO III</b>		
3.	<b>DISEÑO</b> .....	<b>82</b>
3.1	<b>Cálculo de la población</b> .....	<b>82</b>
3.1.2	<i>Población inicial</i> .....	82
3.1.3	<i>Población futura</i> .....	82
3.2	<b>Cálculo del Caudal de diseño</b> .....	<b>84</b>
3.3	<b>Cálculos de la Planta de Tratamiento de lixiviados</b> .....	<b>86</b>
3.3.1	<b>Tanque de almacenamiento</b> .....	<b>86</b>
3.3.1.1	<i>Volumen del tanque</i> .....	86
3.3.1.2	<i>Altura del tanque</i> .....	86
3.3.1.3	<i>Ancho del tanque:</i> .....	86
3.3.1.4	<i>Largo del tanque.</i> .....	87
3.3.2	<b>Tanque Imhoff</b> .....	<b>87</b>
3.3.2.1	<i>Cámara de sedimentación</i> .....	87
3.3.2.2	<i>Cámara de digestión de lodos</i> .....	89
3.3.3	<b>Filtro anaerobio de flujo ascendente “FAFA”</b> .....	<b>89</b>
3.3.3.1	<i>Cálculo del área superficial del filtro</i> .....	89
3.3.3.2	<i>Lado del filtro</i> .....	89
3.3.3.3	<i>Cálculo del volumen del lecho filtrante</i> .....	90
3.3.3.4	<i>Cálculo de la altura del lecho filtrante</i> .....	90
3.3.3.5	<i>Cálculo de la altura total del filtro</i> .....	90
3.3.3.6	<i>Cálculo del volumen total del filtro</i> .....	90
3.3.3.7	<i>Revisión de la carga orgánica volumétrica</i> .....	90
3.3.3.8	<i>Cálculo del tiempo de residencia hidráulica</i> .....	90
3.3.3.9	<i>Cálculo de la eficiencia de remoción del filtro anaerobio</i> .....	91
3.3.3.10	<i>Concentración de DBO esperada en el efluente</i> .....	91
3.3.4	<b>Aireador de cascada</b> .....	<b>91</b>
3.3.4.1	<i>Longitud del aireador</i> .....	91
3.3.4.2	<i>Déficit de oxígeno</i> .....	91
3.3.4.3	<i>Altura del aireador</i> .....	91

3.3.4.4	<i>Número de escalones</i> .....	92
3.3.4.5	<i>Oxígeno absorbido</i> .....	92
3.3.4.6	<i>Altura de la lámina de agua</i> .....	93
<b>3.4</b>	<b>Resultados</b> .....	<b>93</b>
<b>3.4.1</b>	<b><i>Proyección de la población</i></b> .....	<b>93</b>
<b>3.4.2</b>	<b><i>Caudal de diseño</i></b> .....	<b>93</b>
<b>3.4.3</b>	<b><i>Dimensionamiento del Sistema de tratamiento de lixiviados</i></b> .....	<b>94</b>
<b>3.4.4</b>	<b><i>Prueba de jarras</i></b> .....	<b>96</b>
<b>3.4.5</b>	<b><i>Caracterización de lixiviados</i></b> .....	<b>97</b>
<b>3.4.6</b>	<b><i>Propuesta de tratamiento</i></b> .....	<b>98</b>
<b>3.4.7</b>	<b><i>Planos del sistema de tratamiento de lixiviados</i></b> .....	<b>99</b>
<b>3.5</b>	<b>Análisis costo beneficio del sistema de tratamiento de lixiviados</b> .....	<b>100</b>
<b>3.6</b>	<b>Análisis de resultados</b> .....	<b>102</b>
<b>3.7</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>107</b>
<b>3.8</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>108</b>

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Barreras de un Relleno Sanitario .....	15
<b>Figura 2-1:</b> Comparación de los porcentajes entre los sistemas de disposición final de RSU en las Regiones de Ecuador, 2016. ....	11
<b>Figura 3-1:</b> Fases de descomposición en un Relleno Sanitario.....	17
<b>Figura 4-1:</b> Coagulación y floculación de una suspensión coloidal.....	25
<b>Figura 5-1:</b> Tipos de sedimentación.....	30
<b>Figura 6-1:</b> Partes de un tanque Imhoff .....	35
<b>Figura 7-1:</b> Detalle de la zona de sedimentación.....	38
<b>Figura 8-1:</b> Vista Planta de un tanque Imhoff .....	38
<b>Figura 9-1:</b> Esquema de un Filtro anaerobio de flujo ascendente .....	42
<b>Figura 10-1:</b> Criterios de dimensionamiento en un FAFA.....	45
<b>Figura 11-1:</b> Componentes principales de un FAFA.....	45
<b>Figura 12-1:</b> Corte transversal de un FAFA con falso fondo.....	46
<b>Figura 13-1:</b> Aireador de cascadas, TIPO A. ....	49
<b>Figura 14-1:</b> Mapa de ubicación del Relleno Sanitario de Puyo.....	57
<b>Figura 15-1:</b> Mapa hidrológico del relleno sanitario de Puyo.....	63
<b>Figura 16-1:</b> Área de influencia directa e indirecta del relleno sanitario de Puyo.....	70

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía 1-1:</b> Hangares.....	59
<b>Fotografía 2-1:</b> Garita.....	59
<b>Fotografía 3-1:</b> Oficinas.....	59
<b>Fotografía 4-1:</b> Mecánica.....	60
<b>Fotografía 5-1:</b> Perrera.....	60
<b>Fotografía 6-1:</b> área de descanso.....	60
<b>Fotografía 7-1:</b> área de jornaleros.....	60
<b>Fotografía 8-1:</b> Separación de residuos.....	61
<b>Fotografía 9-1:</b> Báscula.....	61
<b>Fotografía 10-1:</b> Área de compostaje.....	61
<b>Fotografía 11-1:</b> Pilas de compostaje.....	67
<b>Fotografía 12-1:</b> empacado y almacenamiento de compost.....	67
<b>Fotografía 13-1:</b> Vectores de contaminación en el Relleno Sanitario de Puyo.....	68
<b>Fotografía 14-1:</b> Descarga de lixiviados al Río Chilcayacu.....	68
<b>Fotografía 15-1:</b> Almacenamiento de lixiviado crudo.....	69
<b>Fotografía 1-2:</b> Aplicación del método de cuarteo en el Relleno Sanitario de Puyo.....	75
<b>Fotografía 2-2:</b> Pesaje de cada componente encontrado en los residuos sólidos del Relleno Sanitario de Puyo .....	75
<b>Fotografía 3-2:</b> Determinación de la densidad compactada.....	76
<b>Fotografía 4-2:</b> Toma de muestras de lixiviado tratado.....	79
<b>Fotografía 5-2:</b> Muestreo de lixiviado crudo.....	79
<b>Fotografía 6-2:</b> Muestras para análisis microbiológico.....	80
<b>Fotografía 7-2:</b> Muestras para análisis físico-químico.....	80
<b>Fotografía 8-2:</b> Muestras para la prueba de jarras.....	80
<b>Fotografía 9-2:</b> Coagulantes para la prueba de jarras.....	81
<b>Fotografía 10-2:</b> Realización de la prueba de jarras.....	81
<b>Fotografía 11-2:</b> Resultados de la prueba de jarras.....	81

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-1:</b> Clasificación de los residuos sólidos.....	6
<b>Gráfico 2-1:</b> Porcentajes de composición física de los RSU en Ecuador.....	14
<b>Gráfico 1-2:</b> Caracterización de residuos sólidos del Relleno Sanitario de la Provincia de Pastaza. .....	74
<b>Gráfico 1-3:</b> Diagrama del sistema de tratamiento de lixiviados.....	98
<b>Gráfico 2-3:</b> Resultado final de turbiedad.....	102
<b>Gráfico 3-3:</b> Resultado final de color.....	103
<b>Gráfico 4-3:</b> Resultado final de DQO .....	103
<b>Gráfico 5-3:</b> Resultado final de DBO5 .....	104
<b>Gráfico 6-3:</b> Resultado final de Coliformes fecales.....	105
<b>Gráfico 7-3:</b> Resultado final de Sólidos totales.....	105

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Comparación de la composición de los residuos en países desarrollados y en vías de desarrollo.....	7
<b>Tabla 2-1:</b> Densidad de los Residuos sólidos urbanos en distintas condiciones .....	8
<b>Tabla 3-1:</b> Caracterización de RS en Ecuador .....	10
<b>Tabla 4-1:</b> Análisis FODA de la gestión de residuos sólidos urbanos en Ecuador.....	11
<b>Tabla 5-1:</b> Parámetros de los lixiviados según el tipo.....	21
<b>Tabla 6-1:</b> Características de los lixiviados .....	21
<b>Tabla 7-1:</b> Composición general de los lixiviados.....	22
<b>Tabla 8-1:</b> Sustancias químicas coagulantes .....	27
<b>Tabla 9-1:</b> Combinación y dosificación de coagulantes .....	29
<b>Tabla 10-1:</b> Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	32
<b>Tabla 11-1:</b> Ventajas y desventajas de un Tanque Imhoff .....	36
<b>Tabla 12-1:</b> Parámetros de diseño del tanque Imhoff .....	36
<b>Tabla 13-1:</b> Tiempo de digestión de lodos según la temperatura.....	38
<b>Tabla 14-1:</b> Ventajas y desventajas de un FAFA.....	43
<b>Tabla 15-1:</b> Criterios de diseño .....	43
<b>Tabla 16-1:</b> Criterios de diseño para filtros anaerobios .....	46
<b>Tabla 17-1:</b> Parámetros para el diseño de un sistema de aireación.....	49
<b>Tabla 18-1:</b> Información geográfica del Cantón Pastaza .....	52
<b>Tabla 19-1:</b> Distribución de la población del Cantón Pastaza por Parroquias .....	54
<b>Tabla 20-1:</b> Coordenadas Geográficas del Relleno Sanitario del Cantón Pastaza.....	57
<b>Tabla 21-1:</b> Rutas de Recolección de basura del Cantón Pastaza .....	58
<b>Tabla 22-1:</b> Horarios y Rutas de Recolección en barrios y sectores de la ciudad de Puyo.....	58
<b>Tabla 23-1:</b> Áreas del Relleno Sanitario .....	59
<b>Tabla 24-1:</b> Especies de mamíferos registradas en Relleno Sanitario de Puyo .....	64
<b>Tabla 25-1:</b> Especies de aves registradas en Relleno Sanitario de Puyo .....	65
<b>Tabla 26-1:</b> Especies de anfibios y reptiles registradas en Relleno Sanitario de Puyo .....	65
<b>Tabla 27-1:</b> Especies de peces registradas en Relleno Sanitario de Puyo.....	66
<b>Tabla 28-1:</b> Especies vegetales registradas en Relleno Sanitario de Puyo .....	66
<b>Tabla 1-2:</b> Metodología de trabajo.....	71
<b>Tabla 2-2:</b> Caracterización de residuos sólidos del Relleno Sanitario de la Provincia de Pastaza.....	74
<b>Tabla 3-2:</b> Datos tomados en campo para el cálculo de la densidad normal y compactada .....	77

<b>Tabla 4-2:</b> Datos de pesajes diarios de los RS tomados durante 1 semana.....	78
<b>Tabla 5-2:</b> Muestreo de caudal de lixiviados.....	78
<b>Tabla 6-2:</b> Análisis físico químico y microbiológico del lixiviado crudo.....	79
<b>Tabla 7-2:</b> Análisis físico químico y microbiológico del lixiviado tratado.....	80
<b>Tabla 1-3:</b> Proyección de la Población del Cantón Pastaza.....	83
<b>Tabla 2-3:</b> Métodos de para calcular la población futura.....	84
<b>Tabla 3-3:</b> Precipitación total mensual del año 2017.....	85
<b>Tabla 4-3:</b> Resultados de la proyección de la población a 10 años.....	94
<b>Tabla 5-3:</b> Resultados del caudal de diseño.....	94
<b>Tabla 6-3:</b> Dimensiones del tanque de almacenamiento.....	95
<b>Tabla 7-3:</b> Dimensiones del tanque Imhoff.....	95
<b>Tabla 8-3:</b> Dimensiones del FAFA.....	96
<b>Tabla 9-3:</b> Dimensiones del Aireador de cascadas.....	96
<b>Tabla 10-3:</b> Resultados de la prueba de jarras con varios coagulantes.....	97
<b>Tabla 11-3:</b> Prueba de jarras con sulfato de aluminio.....	97
<b>Tabla 12-3:</b> Prueba de jarras utilizando Poli electrolito como coayudante.....	97
<b>Tabla 13-3:</b> Resultados de los parámetros fuera de norma.....	98
<b>Tabla 14-3:</b> Resultados de los parámetros fuera de norma en el punto de salida de lixiviados....	98
<b>Tabla 15-3:</b> Resultados de los parámetros fuera de norma en el punto de salida de lixiviados....	98
<b>Tabla 16-3:</b> Análisis de costo de la planta de tratamiento de lixiviados.....	100
<b>Tabla 17-3:</b> Análisis de costo de materiales y accesorios.....	101
<b>Tabla 18-3:</b> Análisis de costo de mano de obra. ....	101
<b>Tabla 19-3:</b> Inversión total.....	102



## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A.** Permiso de ingreso al Relleno Sanitario de Puyo.
- ANEXO B.** Datos meteorológicos obtenidos del INAMHI.
- ANEXO C.** Resultados de los análisis de Lixiviados realizados en el Laboratorio de Calidad de Agua de la ESPOCH.
- ANEXO D.** Evidencias fotográficas: Análisis Químico.
- ANEXO E.** Evidencias fotográficas: Análisis Físicos.
- ANEXO F.** Evidencias fotográficas: Análisis Microbiológicos.

## **RESUMEN**

El objetivo fue diseñar un sistema de tratamiento de lixiviados para la celda emergente de residuos sólidos del Municipio de Pastaza, debido al inadecuado tratamiento de los lixiviados generados en el Relleno Sanitario descargados directamente al Río Chilcayacu. Inicialmente se caracterizó los residuos sólidos del Relleno Sanitario, obteniendo que la materia orgánica representa un 51,05%, seguido por el plástico. Durante un período de dos meses se tomaron muestras del lixiviado y se los caracterizaron física, química y microbiológicamente, en el Laboratorio de Calidad de Agua de la ESPOCH. Según lo establecido en el Acuerdo Ministerial 097-A Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, se determina que los parámetros Demanda Bioquímica (DBO5), Demanda Química de oxígeno (DQO), Sólidos totales, coliformes fecales están fuera de los límites permitidos en esta norma, además se observa a simple vista que el color y turbiedad también necesitan ser tratados. Basándose en los análisis anteriores se sometieron a pruebas de tratabilidad a las muestras de lixiviados, resultando un porcentaje de remoción de: Turbiedad 84,17%, Color 98,27%, DQO 96,64%, DBO5 96,59%, Coliformes fecales 99,99% y Sólidos totales 90,85%. El sistema de tratamiento de lixiviados, trabajará con un caudal de 1,20 L/s, en las siguientes etapas: tanque de almacenamiento, tanque Imhoff, filtro anaerobio de flujo ascendente y por último un aireador de cascadas. Se concluyó que el sistema de tratamiento de lixiviados presenta un alto porcentaje de remoción y por lo tanto la implementación de esta obra, representará un beneficio para los habitantes aledaños al sector, así como contribuirá a cuidar los recursos hídricos cercanos. Es necesario considerar una implementación inmediata del sistema de tratamiento de lixiviados y garantizar un correcto funcionamiento del mismo mediante su mantenimiento periódico. Con estas recomendaciones se logrará disminuir la contaminación ambiental y cumplir con la normativa vigente.

**PALABRAS CLAVE:** <BIOTECNOLOGÍA>, <GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS>, <LIXIVIADOS>, < SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS>, <TANQUE DE ALMACENAMIENTO>, <TANQUE IMHOFF>, <FILTRO ANAEROBIO>, <AIREADOR>, <PASTAZA (CANTÓN)>

## **ABSTRACT**

This investigation aims to design a treatment system of leachates for waste-solid emerging cell of Pastaza Municipality due to the inadequate treatment of leachates generated in the Sanitary Landfill which are landfilled into the Chilcayacu River directly. At first, the solid waste of the Sanitary Landfill were characterized, so we realized that the organic matter has 51,05%, followed by the plastic. During two months, we took samples of leachates and were characterized physically, chemically and microbiologically in Quality-Water Laboratory at ESPOCH. According to Ministry Agreement 097-A Environmental Quality Norm and discharge of effluents to water resource, it was determined that parameter DBO5, DBO, total solid, fecal coliforms aren't in the limits permitted in this norm. In addition, we could observe that the color and the turbidity also need to be treated. According to the prior analyses, the samples of leachates were linked to treatability tests and the following percentages of removal were gotten: Turbidity 84.17%, Color 98.27%, DQO 96.64%, DBO5 96.59%, Fecal Coliforms 99.99% and Total Solids 90.85%. The leachate treatment system will work with a caudal of 1.20 l/s, in the following stages: storing tank, Imhoff tank, upward flow anaerobic filter and a waterfall aerator. It is concluded that the leachate treatment system has a high percentage of removal, so this system will be benefit for the inhabitants of the sector. It will also contribute to take care the hydric resources nearby. Therefore, it is necessary to implement this system right away in order to guarantee a right running by means a permanent maintenance. By following these recommendations, the environmental pollution will be reduced and we will be able to meet the current regulation.

**KEYWORDS:** <BIOTECHNOLOGY>, <SOLID WASTED MANAGEMENT>, <LEACHATES>, <LEACHATE TREATMENT SYSTEM>, <STORING TANK>, <IMHOFF TANK>, <ANAEROBIC FILTER>, <AERATOR>, <PASTAZA (CANTON)>

## INTRODUCCIÓN

La generación de residuos sólidos urbanos se ha venido incrementando a nivel mundial, a medida que progresa la tecnología y se desarrollan los países. Esta situación que busca mejorar la comodidad de la población también tiene sus consecuencias sobre el ambiente, como es la generación de un alto nivel de contaminación que afecta a todos los ecosistemas.

En el caso de Ecuador, al ser un país que no posee la tecnología apropiada para el tratamiento y disposición de grandes cantidades de desechos sólidos, produce una alta tasa de contaminación. Según el INEC (INEC, 2015) los ciudadanos del sector urbano presenta una producción per cápita de 0,57 kilogramos de residuos sólidos por día y de los 221 Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs), en 2016 “el porcentaje de rellenos sanitarios en la Sierra fue de 50,5%, en la Costa de 14,3%, en la Amazonía de 61,0% y en la Región Insular de 33,33%”. (INEC & AME, 2016, p. 21)

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Pastaza en una de sus competencias tiene el manejo adecuado de los RSU, lo que comprende la recolección, transporte y disposición final, para lo cual ha destinado un área para el relleno sanitario del Cantón Pastaza en una extensión de 45000.00 m<sup>2</sup>. (Aldás, 2017)

Los diferentes sitios de disposición final de RSU generan principalmente emisiones gaseosas y descargas líquidas, conocidas como lixiviados. Estas descargas están compuestas por grandes concentraciones de materia orgánica e inorgánica, incluso contienen metales pesados, sales inorgánicas, entre otros componentes. (Brito, y otros, 2015) Por tal razón se debe manejar de una forma cuidadosa y eficaz, ya que son de carácter migratorio, sino se tiene un control adecuado, se puede tener una contaminación en aguas subterráneas, aguas superficiales, acuíferos y suelo. El principal ente que aumenta el volumen de lixiviados es la filtración del agua lluvia que fluye por los residuos que se encuentran en la celda, ocasionando inconvenientes en el momento de tratarlos.

El relleno Sanitario de Puyo, presenta problemas en el manejo de sus lixiviados, debido a la variabilidad climática de la zona y al mal manejo de sus residuos. Esta situación viene acarreado problemas con el Ministerio del Ambiente, ya que los parámetros de descarga no se están cumpliendo y por lo tanto se está afectando al Río Chilcayacu, cuerpo hídrico que de principal descarga.

## JUSTIFICACIÓN

Enterrar los residuos sólidos urbanos ha sido, y es aún, la práctica más utilizada por las sociedades del mundo para su manejo. La creación de un relleno sanitario es necesario para minimizar los impactos de esta práctica y contribuir a la protección del ambiente, no obstante el problema que ha generado los vertederos ha sido la aparición de un vertido fuertemente contaminado conocido como lixiviado. (Brito, Chariguamán, & Mora, 2017)

La gestión de los lixiviados se ve perjudicada por su composición y los factores climáticos principalmente, además la selección del tratamiento óptimo es un trabajo complejo, debido al grado de contaminación y al presupuesto destinado para este fin, por parte de los GADs.

De los varios rellenos sanitarios que se encuentran en nuestro país pocos cuentan con un tratamiento para sus lixiviados, y es necesario que se tomen medidas urgentes para que este problema no siga ocasionando repercusiones ambientales.

Para empezar, el agua que ha entrado en contacto con la basura recoge gran cantidad de las sustancias que originalmente estaban dentro del residuo, quedando de esa manera altamente contaminada. La gestión de lixiviados es fundamental para la eliminación del potencial contaminante hacia los ecosistemas cercanos. Existen varias alternativas para gestionar este desecho recolectado de los vertederos, los cuales son 1) reciclaje, 2) evaporación, 3) tratamiento y evacuación, y 4) descarga hacia algún sistema de recolección o cuerpo hídrico. (Canepa et al., 2008)

La mayoría de políticas ambientales, como por ejemplo el PNGIDS posee u objetivo claro como es incentivar la gestión de los residuos sólidos en los GADs, teniendo como fin disminuir la contaminación ambiental y mejorar la calidad de vida de los habitantes, mediante varias estrategias; pero como se puede evidenciar no siempre se cumplen estos propósitos, y es necesario dirigir nuestra atención hacia este problema y exigir a los municipios que nos den una solución real. (MAE, 2015)

La finalidad del presente proyecto es Diseñar una Planta de Tratamiento de Lixiviados para el relleno sanitario de la Ciudad de Puyo, contribuyendo así a la correcta implementación de un sistema de tratamiento de lixiviados capaz de minimizar al máximo, pues las descargas actuales hacia el río Chilcayacu no cumplen con los parámetros establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A, descarga de efluentes a aguas dulces.

Esta situación es preocupante pues en los límites de dicho relleno se encuentra fincas, cuyos habitantes se abastecen de los esteros derivados del Río Chilcayacu.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL:**

- Diseñar un sistema de tratamiento de lixiviados para la celda emergente de residuos sólidos del Municipio de Pastaza.

### **ESPECÍFICOS:**

- Caracterizar los lixiviados del relleno sanitario de Puyo.
- Identificar la cantidad de residuos sólidos y el volumen de lixiviados producidos en la celda emergente.
- Determinar el beneficio-costos del sistema de tratamiento de lixiviados.

## CAPITULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1 Residuos Sólidos

Un residuo se define como una sustancia u objeto que su poseedor deseche o tenga la intención o la obligación de desechar. Por lo general los residuos por sí solos carecen de un valor económico. (INFORECICLAJE, 2017)

##### *1.1.1 Aspectos sanitarios de los residuos sólidos urbanos*

Uno de los aspectos que se han venido evidenciando por el mal manejo de los residuos ha sido la aparición de epidemias de padecimientos a causa de la contaminación del agua de consumo, así como la propagación de vectores de enfermedades; esta situación ha impulsado la intervención de los gobiernos para la implementación de servicios de agua potable y recolección de los residuos. (Ríos, 2009, p. 6)

Los problemas más notorios que generan los residuos sólidos son los efectos nocivos sobre el ambiente en sus distintos recursos como son agua, aire, y suelo, trayendo como consecuencia trastornos a la población y daños a sus distintos ecosistemas, pues muchos de los residuos poseen un alto poder contaminante. (Ríos, 2009, p. 6)

##### *1.1.2 Clasificación*

###### *1.1.2.1 Por su origen:*

- ***Residuos Sólidos Urbanos o Municipales:*** son residuos provenientes de viviendas, oficinas administrativas, comercios y servicios en general, los cuales no se consideran un peligro para los habitantes. Se consideran también dentro de esta clasificación a los residuos generados en la limpieza de calles, jardines, parques y plazas, así como cadáveres de animales.

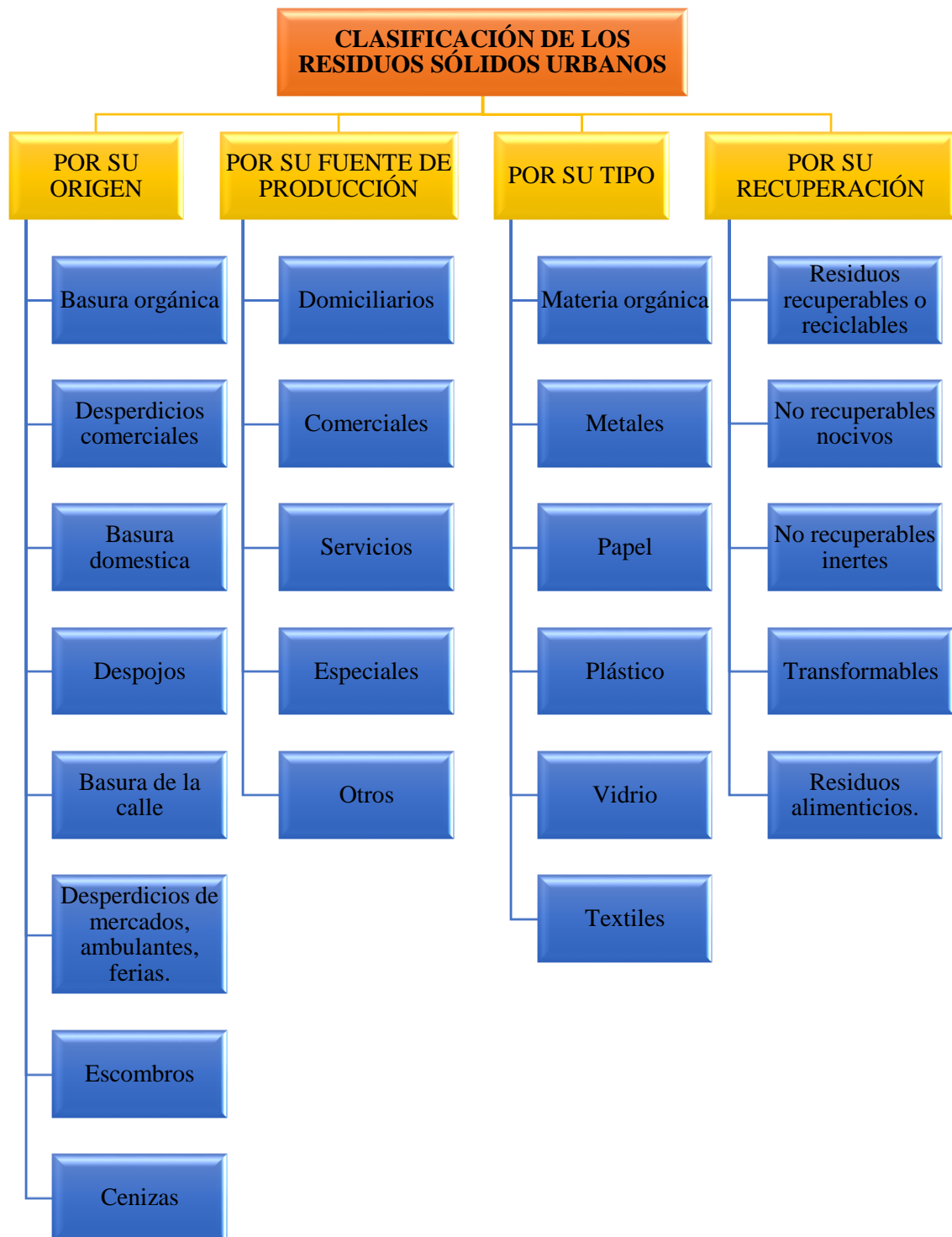
- **Residuos domésticos:** son generados en los hogares, resultado de las actividades domésticas.
- **Residuos comerciales:** originados por la actividad comercial, restaurantes, hoteles, centro de diversión, entre otros.
- **Residuos industriales:** resultado de la transformación de la materia, de consumo, de limpieza o de mantenimiento generados por la actividad industrial.
- **Biorresiduos:** son los residuos biodegradables procedentes de jardines y parques, residuos alimenticios originados en hogares, restaurantes, plantas procesadoras de alimentos, entre otros.
- **Escombros y residuos de la construcción:** residuos que se generan en una obra de construcción o demolición. Dentro de esta categoría no se incluyen tierras de excavación que se destinan a la reutilización en la propia obra o en otra obra autorizada.
- **Residuos sanitarios:** son los que provienen de centros, servicios y establecimientos sanitarios (que pueden ser de promoción de la salud, de atención sanitaria y sociosanitaria, de investigación biomédica y sanitaria o de veterinaria asistencial).
- **Residuos mineros:** Son aquellos residuos ya sea en fase sólida, acuosa o pastosa generados tras la investigación y aprovechamiento de un recurso geológico.
- **Residuos radioactivos:** Son residuos que contienen elementos químicos radiactivos que no tienen un destino práctico. Clasificados en exentos, de baja, media y alta radioactividad. (Brito & Vitri, 2016, p. 20)

#### 1.1.2.2 Por su composición:

- **Residuo orgánico.** todo desecho de origen biológico, que formó parte de un organismo vivo o es el propio ser vivo.
- **Residuo inorgánico:** no tiene un origen biológico, relacionado con la industria o algún otro proceso artificial.
- **Mezcla de residuo:** Se refiere a todos los desechos de residuos mezclados resultado de una combinación de materiales orgánicos e inorgánicos
- **Residuo peligroso:** Se refiere a todo residuo, orgánico e inorgánico, que tiene potencial peligroso. (RECYTRANS, 2017)



### 1.1.2.3 Otra clasificación



**Figura 1-1:** Clasificación de los residuos sólidos.

Fuente: (Ríos, 2009, p. 27)

Realizado por: MOSQUERA, Emilys, 2018

### 1.1.3 Composición de los residuos sólidos

Los factores que determinan la composición de los residuos sólidos son:

- Modo y nivel de vida de la población: con el creciente incremento de consumo en las personas, día a día generan grandes cantidades de residuos.
- Actividades de la población: tanto en zonas rurales como urbanas se desarrollan un sin número de actividades en los diferentes sectores económicos.
- Climatología: hace referencia al tipo de producto que se consume dependiendo de la estación del año. (Alvarado, 2016, p. 32)

Los factores principales que potencializan la producción de RS y de manera especial los RSU son: aumento de los niveles de ingresos, nuevos patrones de consumo de las sociedades, crecientes tasas de urbanización e industrialización, entre otros. (MAE & PNGIDS, 2015, p. 1)

**Tabla 1-1.** Comparación de la composición de los residuos en países desarrollados y en vías de desarrollo.

Tipo de Residuo	Países desarrollados	Países en vías de desarrollo
	% del peso total	% del peso total
Metales	3,60-8,00	0,70-1,60
Vidrio	6,50-16,70	1,00-3,80
Tierra y ceniza	0,20-5,00	6,00-16,00
Papel	14,00-32,00	2,60-5,00
Cartón	5,00-10,00	1,00-1,80
Madera	0,20-1,20	0,10-1,00
Plásticos	10,00-16,00	3,80-7,40
Gomas y cueros	0,30-1,20	0,20-1,40
Textiles	3,25-6,50	2,00-4,10
Residuos orgánicos	40,00-55,00	58,00-80,20

Fuente: (Alvarado, N. 2016)

Realizado por: Emilys Mosquera. 2018

### 1.1.4 Propiedades de los residuos sólidos

Son muy importantes en el momento de desarrollar y diseñar sistemas de gestión integradas de residuos sólidos. A continuación se analizan las propiedades para los residuos sólidos industriales, domésticos y comerciales:

#### 1.1.4.1 Propiedades Físicas

- **Peso específico o densidad:** es el peso de un material por unidad de volumen ( $\text{kg/m}^3$ ). Esta propiedad dependerá del grado de compactación de los residuos depositados. Determinar el peso específico es importante para conocer la masa y el volumen de los residuos y dar una correcta gestión integral. Los pesos específicos varían según la geografía, condiciones climáticas, los componentes, tipo y tiempo de almacenamiento (ALONSO, MARTÍNEZ, & AND DE LA MORENA, 2003).

**Tabla 2-1.** Densidad de los Residuos sólidos urbanos en distintas condiciones

ETAPAS		DENSIDAD ( $\text{kg/m}^3$ )	
		RANGO	VALOR TÍPICO
A.	Basura suelta en recipientes	150 – 250	200 $\text{kg/m}^3$
B.	Basura compactada en camiones compactadores	500 – 650	500 $\text{kg/m}^3$
C.	Basura suelta descargada en los rellenos	350 – 600	400 $\text{kg/m}^3$
D.	Basura recién rellenada	650 – 800	600 $\text{kg/m}^3$
E.	Basura estabilizada en los rellenos (2 años después del rellenamiento)	900 – 1000	900 $\text{kg/m}^3$

Fuente: (CEPIS & OPS, 2000)

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018

- **Contenido de humedad:** la humedad se define como el porcentaje del peso del material húmedo.
- **Tamaño de partícula:** es importante considerar para los procesos mecánicos y físicos de recuperación de materiales, como tromel, cribas y separadores magnéticos.

#### 1.1.4.2 Propiedades químicas

Las propiedades químicas de los RSU son importantes y aplicadas en su proceso y/o recuperación, o para determinar la viabilidad de la incineración, las posibilidades de compostaje o el depósito

final. Generalmente los residuos son una combinación de materiales con distinta humedad, combustibles o no combustibles (ALONSO, MARTÍNEZ, & AND DE LA MORENA, 2003).

#### *1.1.4.3 Propiedades Biológicas*

La mayor parte de los residuos sólidos urbanos se puede clasificar de la siguiente manera:

- Constituyentes hidrosolubles (azúcares, féculas, aminoácidos y ácidos orgánicos)
- Hemicelulosa
- Celulosa
- Grasa, aceites y ceras
- Lignina
- Lignocelulosa
- Proteínas (Ríos, 2009, p. 30)

#### *1.1.5 Gestión integral de residuos sólidos*

“La cadena de gestión integral de residuos sólidos involucra un impulso hacia una economía eficiente que aprovecha sus desechos para formar nuevos encadenamientos productivos. El trabajo sistematizado entre Municipios, empresa privada y ciudadanía es de vital importancia para un correcto manejo de desechos” (MAE, 2017)

Los residuos sólidos (RS) generados en el mundo, son subproductos principales del creciente desarrollo urbano y se han convertido en una fuente significativa de contaminación para el suelo, agua y aire, convirtiéndose en un riesgo para la salud de las poblaciones, ya sea a corto, mediano o largo plazo. (MAE & PNGIDS, 2015, p. 1)

El manejo y mitigación de los impactos ambientales está en manos de la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS), que por lo general está a cargo de las autoridades locales. Este proceso es muy complejo y necesita un grado elevado de especialización y conocimiento sobre el tema, así como una cooperación socio-económica, política y técnica para que se produzca los resultados esperados. (Rodríguez, Londoño, & Herrera, 2008, p. 36)

##### *1.1.5.1 Programa nacional para la gestión integral de desechos sólidos.*

El Gobierno Nacional a través del Ministerio del Ambiente, en abril del año 2010, crea el PROGRAMA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS SÓLIDOS

(PNGIDS), tiene como objetivo promover la gestión de los residuos sólidos en los ecuatorianos, de manera integral y sostenible; con el fin de disminuir la contaminación ambiental, mejorando la calidad de vida de los ciudadanos e incentivando la conservación de los ecosistemas. (MAE, 2017)

Las metas iniciales definidas por el Programa contemplaban el que un 70% de la población del Ecuador disponga sus desechos en un relleno sanitario técnicamente manejado hasta el año 2014. Actualmente el programa ha iniciado una nueva etapa que ha supuesto la ampliación del plazo de ejecución hasta el 2017, año para el cual el objetivo es eliminar los botaderos a cielo abierto de todos los municipios del país. (MAE, 2017)

Hasta el momento el PNGIDS-MAE ha beneficiado a 15 GADs con la entrega de geomembrana y ha financiado el estudio de Gestión Integral de Residuos Sólidos de 47 GADs de los cuales 24 han finalizado y los restantes 23 están en proceso. (MAE, 2017)

#### 1.1.5.2 Situación de los RSU en Ecuador

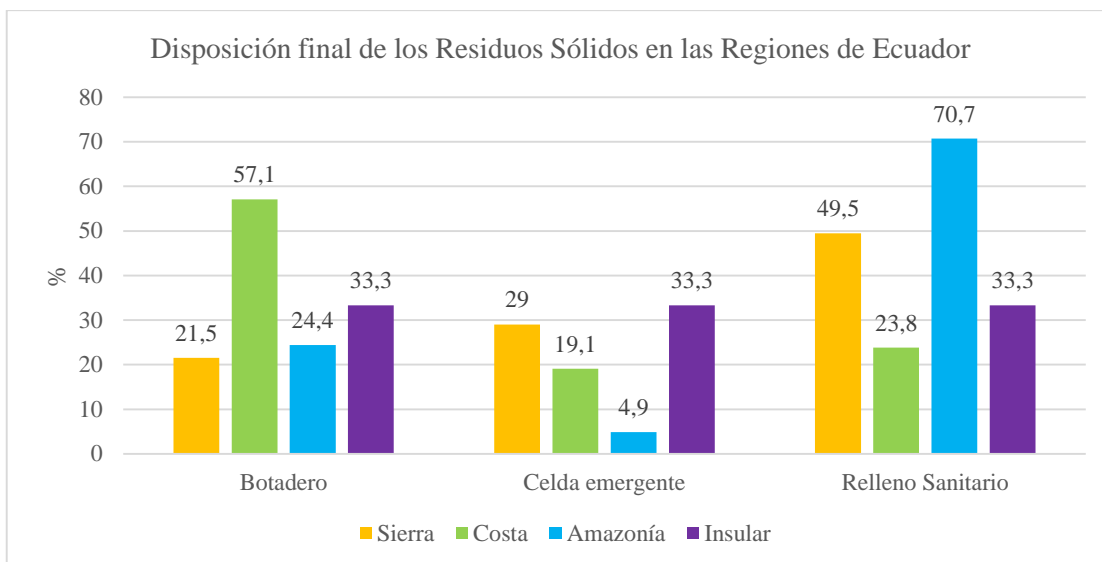
Los ecuatorianos ubicados en la zona urbana producen un promedio de 0,57 kilogramos de residuos sólidos por día, los cuales están distribuidos según el tipo en la siguiente tabla:

**Tabla 3-1:** Caracterización de RS en Ecuador

TIPO DE RESIDUO	TM	%
RSO	2.504.149,7	62
PAPEL Y CARTÓN	341.072,2	8
VIDRIO	77.079,1	2
PLÁSTICO	355.516,1	9
CHATARRA	139.853,7	3
RESIDUOS SÓLIDOS NO RECUPERABLES (RSNR)	648.146,7	16
TOTAL	4.065.817,74	100

Fuente: (MAE & PNGIDS, 2015)

Realizado por: Emilys Mosquera. 2018



**Figura 2-1:** Comparación de los porcentajes entre los sistemas de disposición final de RSU en las Regiones de Ecuador, 2016.

**Fuente:** (INEC & AME, 2016)

**Realizado por:** Emilys Mosquera, 2018

**Tabla 4-1:** Análisis FODA de la gestión de residuos sólidos urbanos en Ecuador.

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Institucionalización del manejo de residuos sólidos a través programa MAE-PNGIDS a través de programas.</li> <li>✓ Transparencia política en el gobierno nacional y seccional.</li> <li>✓ Coordinación y liderazgo entre los GADM, empresa privada y sector informal.</li> <li>✓ Financiamiento público y privado, aporte de inversión extranjera.</li> <li>✓ Creación de políticas ambientales para la eliminación de botaderos y tecnificación de disposición final.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Fortalecimiento del perfil ambiental dentro de la Nueva Matriz Productiva.</li> <li>✓ Incentivo a la innovación, mejores prácticas y tecnologías.</li> <li>✓ Línea de financiamiento para la GIRS.</li> <li>✓ Incentivos fiscales</li> <li>✓ Responsabilidad del productor, y consumo responsable</li> <li>✓ Incremento de la conciencia nacional con el reciclaje</li> <li>✓ Genera externalidades positivas a otras cadenas como turismo, contribuye a la salud pública.</li> </ul>

DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Falta de lineamientos políticos, planes y estrategias del sector</li> <li>✓ Capacidades limitadas en los GADM, falta de técnicos experimentados y estudios viables.</li> <li>✓ Falta de sistemas de información económica, estadística y descriptiva del sector GIRS, en el país todavía hay el subsidio del servicio</li> <li>✓ Falta tecnológica, equipamiento impropio, escaso, y desactualizado.</li> <li>✓ Carencia de estándares y parámetros para la optimización y eficiencia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Baja inversión del Estado en los municipios.</li> <li>✓ Alta informalidad y vulnerabilidad.</li> <li>✓ Ineficiencia por la incidencia de economías de escala, problemas para adquirir tecnología, equipos y operación.</li> <li>✓ Escaso y deficiente desarrollo tecnológico que se relaciona con la falta de investigación dentro del sector.</li> <li>✓ Ineficiente y bajo nivel de control en la separación en la fuente, lo cual perjudica la calidad y cantidad de material recuperable</li> <li>✓ Elevado costo de inversión en los GADM, por lo que no se mejora los sistemas de tratamiento.</li> </ul>

**Fuente:** (MAE & PNGIDS, 2015, p. 10)

**Realizado por:** Emilys Mosquera, 2018

### 1.1.5.3 Etapas de la GIRS (Ríos, 2009)

- *Generación:*

Acción de producir una cierta cantidad de residuos, ya sean materiales orgánicos e inorgánicos por parte de una sociedad, como consecuencia de un proceso de consumo en un determinado tiempo.

- *Disposición inicial:*

Comprende una separación en la fuente o segregación, ya sea general o selectiva. Este proceso de separación se lo realiza en la misma fuente generadora, antes de su almacenamiento.

- *Almacenamiento temporal:*

Acción de almacenamiento transitorio y/o acondicionamiento de residuos para su transporte y posterior tratamiento final.

- *Recolección y Transporte:*

Esta etapa está a cargo de los municipios, donde se carga los residuos en vehículos recolectores. La recolección puede ser general o diferenciada.

- *Acopio y/o transferencia:*

Se almacenan temporalmente los residuos para luego ser llevados por las unidades de transporte; el objetivo es llevar la mayor cantidad de residuos y minimizar costos de viaje, elevando su eficiencia.

- *Aprovechamiento y Transformación (tratamiento/ reciclaje):*

Involucra la transformación física, química o biológica de los desechos sólidos, que modifican sus características con el fin de aprovechar su potencial mediante la transformación en un nuevo producto que pueda ser utilizado y valorizado. Al hablar de reciclaje nos referimos a que los desechos sólidos clasificados pasan por una transformación que les dará una nueva vida útil.

- *Disposición final:*

Conjunto de operaciones dirigidas al depósito permanente de los desechos sólidos en un entorno adecuado para evitar repercusiones ambientales.

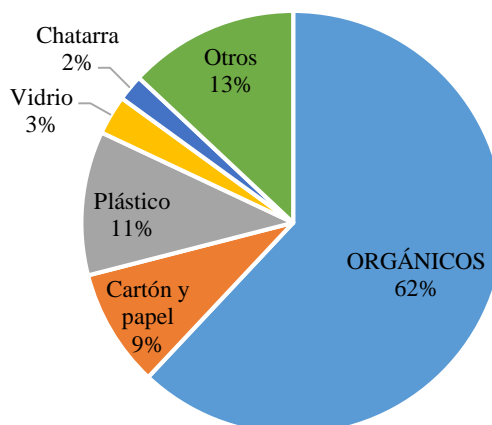
### ***1.1.6 Disposición final de los Residuos Sólidos Urbanos***

Los residuos deben alcanzar un estado “inerte” de modo que las emisiones del relleno sean compatibles con el ambiente por periodos a largo plazo independientemente de las capacidades de retraso y atenuación de los materiales a su alrededor.

- Se debería conseguir que cada generación humana maneje sus residuos, para que no se afecte a las generaciones futuras.
- Por lo que los rellenos sanitarios deben alcanzar su estado inerte de disposición final entre 25-30 años después de la disposición. (Brito et al., 2017)



## Composición física de los residuos sólidos en Ecuador



**Gráfico 2-1:** Porcentajes de composición física de los RSU en Ecuador.

**Fuente:** (MAE & PNGIDS, 2015)

**Realizado por:** Emilys Mosquera. 2018

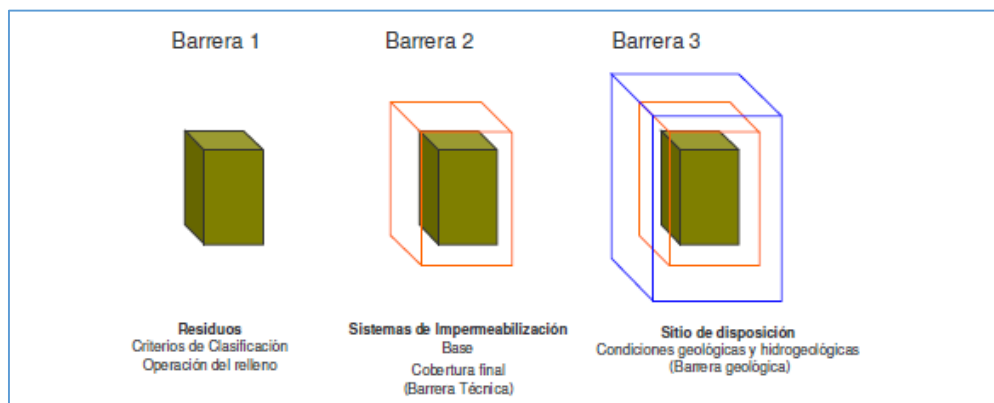
### 1.1.6.1 Relleno Sanitario

Existen varias definiciones de “Relleno Sanitario”, donde la mayoría se relaciona con palabras clave, como ingeniería, técnica, control, salud y ambiente.

- El Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos (1995), de la Ley de Medio Ambiente N° 1333, define un relleno sanitario como: “*Obra de ingeniería para la disposición final segura de residuos sólidos en sitios adecuados y bajo condiciones controladas, para evitar daños al ambiente y la salud*”. (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2012, p. 11)
- Según la CEPIS/OPS - Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales, un Relleno Sanitario es: “*una técnica de eliminación final de los desechos sólidos en el suelo, que no causa molestia ni peligro para la salud y seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más pequeña posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos en el Relleno, por efecto de la descomposición de la materia orgánica.*” (Jaramillo, 2000)
- El Informe de la “Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe”, de la Organización Panamericana de Salud, el Banco Interamericano de Desarrollo y la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental

(OPS/BID/AIDIS-2010), emplea la siguiente definición: “*Técnica de ingeniería para el confinamiento de los residuos sólidos municipales. Comprende el esparcimiento, acomodo y compactación de los residuos sobre un lecho impermeable, su cobertura con tierra u otro material inerte por lo menos diariamente, para el control de la proliferación de vectores y el manejo adecuado de gases y lixiviados, con el fin de evitar la contaminación del ambiente y proteger la salud de la población.*” (OPS, BID, & AIDIS, 2010)

- CONCEPTO MODERNO: sistema de múltiples barreras donde la barrera exterior siempre protege cuando la barrera interior por alguna razón, pierde su función. (Gavilanes, 2017, p. 9)



**Figura 1-1:** Barreras de un Relleno Sanitario

**Fuente:** (Gavilanes, 2017, p. 9)

- **Primera Barrera:** Depende de las características de los residuos y de la forma de operación de relleno.
- **Segunda Barrera:** encierra todas las medidas técnicas que se realizan durante la construcción y operación de los rellenos sanitarios.
- **Tercera Barrera:** constituye el sitio mismo del relleno sanitario, es decir la aptitud de la zona en que está ubicado.

#### 1.1.6.2 Infraestructura necesaria

Los rellenos sanitarios deben contener por lo menos la siguiente infraestructura:

- Sistema de impermeabilización de base: evitan la penetración de lixiviados y protegen aguas subterráneas.
- Recolección y tratamiento de lixiviados: Se realiza con una capa de drenaje que se extiende sobre toda el área de disposición, con una serie de tubos de drenaje, que para una mayor eficiencia se recomienda colocar encima de los tubos una capa de grava. Debido a que pueden producirse atascos por sedimentación dentro del tubo “bio-rock” ‘por precipitación de

lixiviados el diámetro del tubo debe ser lo suficientemente grande para poder superar temporalmente este efecto y posibilitar frecuentemente su limpieza.

- Control de aguas superficiales: Para lograr la disminución de los lixiviados lo más posible, se debe evitar la entrada de aguas superficiales en especial en zonas de depresión.
- Recolección y tratamiento de gases: La descomposición anaerobia de los residuos sólidos genera gases.
- Sistema de geomembranas: importante para la cobertura final. (Brito et al., 2017)

#### 1.1.6.3 Tipos de relleno sanitario

- *Relleno sanitario mecanizado*

El relleno sanitario mecanizado es un proyecto complejo diseñado para las grandes ciudades y poblaciones que produzcan más de 40 toneladas diarias de residuos sólidos. Por su magnitud de obra requiere un equipo pesado, relacionado con el tipo y cantidad de RSU.

Para su operación se demanda del uso de un compactador de residuos sólidos, así como equipo especializado para el movimiento de tierra. (Jaramillo, 2002, p. 59)

- *Relleno sanitario semimecanizado*

Diseñado para poblaciones que tengan una generación de residuos sólidos entre 16 y 40 toneladas diarias en el relleno sanitario. Se utiliza trabajo manual apoyado de maquinaria pesada con el objetivo de una buena compactación de la basura, estabilizar los terraplenes y dar mayor vida útil al relleno. (Jaramillo, 2002, p. 59)

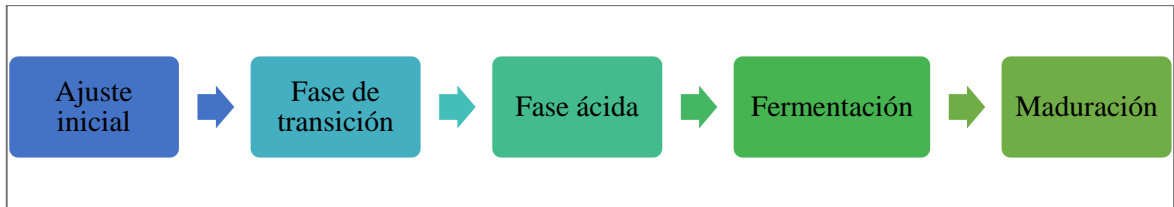
- *Relleno sanitario manual*

Se considera su construcción para las pequeñas poblaciones que por la cantidad y el tipo de residuos que producen menos de 15 t/día. Por las condiciones económicas no están en capacidad de adquirir el equipo pesado adecuado debido a sus altos costos de operación y mantenimiento.

El término *manual* hace referencia a que la operación de compactación y confinamiento puede llevarse a cabo con el apoyo de un grupo de hombres ayudados por ciertas herramientas. (ZANELLO, s. f., p. 4)

#### 1.1.6.4 Fases de descomposición de los residuos sólidos en un relleno sanitario

La descomposición en el relleno sanitario se lleva a cabo en 5 fases, mencionadas a continuación:



**Figura 2-1:** Fases de descomposición en un Relleno Sanitario.

**Realizado por:** Emilys Mosquera. 2018

- *Fase I: Ajuste Inicial*

Los componentes orgánicos biodegradables existentes en los RSU sufren descomposición microbiana mientras son colocados en el relleno sanitario.

La descomposición biológica se da bajo condiciones aerobias, debido al aire atrapado que queda dentro del cuerpo del relleno.

- *Fase II: Fase de Transición*

En esta etapa hay una disminución del oxígeno, creando un ambiente anaerobio. Mientras sucede esta transición de las condiciones del oxígeno, el nitrato se reduce a gas nitrógeno y el sulfato se convierte en sulfuro de hidrógeno. Subsiguientemente los microorganismos responsables de la conversión del material orgánico de los RSU en metano y dióxido de carbono inician la conversión del material orgánico complejo en ácidos orgánicos y otros productos intermedios.

El pH del lixiviado desciende debido a la presencia de ácidos orgánicos y a las elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub> presente.

- *Fase III: Fase ácida*

Hay un aceleramiento de la actividad microbiana que comenzó en la fase anterior a causa de la generación de ácidos orgánicos y altas cantidades de hidrógeno.

Se produce la transformación, de compuestos con alto peso molecular en compuestos aptos para ser asimilados por los microorganismos (fuentes de energía y de carbono celular).

- *Fase IV: Fermentación*

El metano es transformado por un grupo afín de microorganismos, en ácido acético y gas de hidrógenos. Estos microorganismos son estrictamente anaerobios y se los conoce como metanogénicos. La formación de metano y ácido se produce paralelamente, aunque la formación de ácidos es considerablemente menor en cuanto a velocidad de generación. (Cungachi, 2015, p. 27)

- *Fase V: Fase de Maduración*

Esta fase se conoce así debido a que se produce después de convertirse el material inorgánico biodegradable en CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>.

En cuanto a la humedad de los residuos esta sigue desprendiéndose de los residuos y se transforma en una nueva porción de material biodegradable disponible.

La velocidad de generación del gas en el relleno sanitario va disminuyendo a causa de que algunos nutrientes disponibles han sido arrastrados por el lixiviado en las fases anteriores y los residuos restantes sufren una degradación lenta.

A parte de los gases CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> también se forman pequeñas cantidades de nitrógeno y oxígeno en el relleno sanitario. (Cungachi, 2015, p. 27)

### **1.1.7 Lixiviados**

Los residuos líquidos generados, conocidos como lixiviados son el problema ambiental más serio en los rellenos sanitarios. Un relleno sanitario planificado y ambientalmente diseñado ofrece, una vez terminada su vida útil, excelentes perspectivas para realizar actividades agropecuarias a largo plazo. (Cungachi, 2015, p. 27)

Los lixiviados son considerados como emisiones secundarias de los RSU, son efecto de una combinación de la parte orgánica e inorgánica de los residuos que se generan a partir de la percolación de fluidos ocasionados por el propio residuo, exceso de humedad y precipitaciones.

#### *1.1.7.1 Definiciones*

Según (Gálvez, 2008), lixiviado es "cualquier líquido que percole a través de los residuos depositados y que sea emitido o esté contenido en un vertedero". El lixiviado puede ser caracterizado como una solución acuosa de 4 grupos de contaminantes: materia orgánica disuelta, macrocomponentes inorgánicos, metales pesados y compuestos orgánicos xenobióticos.

Lixiviado son "todos aquellos líquidos que han entrado en contacto con los desechos de rellenos sanitarios, y se producen por la disolución de uno o más compuestos de los residuos sólidos

urbanos en contacto con el agua, o por la propia dinámica de descomposición de los residuos.”  
(Álvarez & Suárez, 2006)

En la publicación de (Najera, 2009, p. 1), explica que es un “Líquido que se forma por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos y que contiene en forma disuelta o en suspensión, sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios de depósito de los residuos, contaminando suelo y agua y representando un riesgo potencial a los seres vivos”

Wang et al. (2003), expresan que a estos líquidos como “aguas residuales complejas generadas cuando el contenido de humedad o de agua de los residuos sólidos en un relleno sanitario es mucho mayor a su capacidad de campo.” (Najera, 2009, p. 1)

#### *1.1.7.2 Generación de lixiviado*

Los siguientes factores determinan el volumen de lixiviado en un relleno sanitario

- Precipitación pluvial.
- Escorrentía superficial y/o infiltración subterránea.
- Evapotranspiración.
- Humedad natural de los RSU.
- Grado de compactación de los residuos.
- Capacidad de campo para retener humedad (del suelo y de residuos). (Jaramillo, 2000)

#### *1.1.7.3 Cálculo de la generación de lixiviado*

Como se expresó previamente el volumen de lixiviado está principalmente en función de la precipitación pluvial y por otra parte la escorrentía influye en su aumento. Por las diferentes circunstancias de operación y localización de cada relleno, los volúmenes pueden alterarse; de ahí que deban ser calculadas dependiendo de cada caso. (Jaramillo, 2000)

El método suizo, permite calcular de forma rápida y sencilla el caudal de lixiviado mediante la siguiente expresión:

#### ***Ecuación 1***

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

**Donde:**

Q= Caudal medio de lixiviado (L/seg)

P = Precipitación media anual (mm/año)

A = Área superficial del relleno (m<sup>2</sup>)

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

K = Coeficiente que depende del grado de compactación de la basura; se recomienda los siguientes valores:

- 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. (Jaramillo, 2000)

#### 1.1.7.4 Tipos de lixiviados según la edad.

La calidad de los lixiviados en un relleno sanitario varía grandemente en el tiempo. Como se verá a continuación esto tiene importantes implicaciones para la operatividad y el rendimiento de los procesos de tratamiento, y debe tenerse cautela cuando se busque hacer la adaptación de las tecnologías a los casos locales.

Las diferencias se originan principalmente en los altos contenidos de materia orgánica fácilmente biodegradable, que se tiene en los residuos sólidos en los países en desarrollo. (Giraldo, 2014a)

- *Lixiviado joven:* Se produce en rellenos sanitarios recién rellenos, cuyas características son altamente contaminantes, provocando problemas de toxicidad. Mientras transcurre el tiempo las concentraciones de las sustancias disminuyen continuamente con el tiempo; siempre va a haber una parte del relleno que aporta lixiviado joven. Se recomienda sistemas de tratamiento biológicos. (López, 2011, p. 69)
- *Lixiviado maduro:* Se considera a los residuos líquidos que tienen una edad entre 5 y 10 años.
- *Lixiviado viejo:* Se considera la lixiviado entre una edad mayor a 5 años. Tienen una baja biodegradabilidad de la materia orgánica. Se recomienda sistemas de tratamiento físico químicos.

La relación DBO<sub>5</sub>/DQO es inferior a 0.1, esto representa una menor carga orgánica, por lo que la mayor parte de los contaminantes orgánicos son de naturaleza refractaria. (Najera, 2009)

**Tabla 5-1:** Parámetros de los lixiviados según el tipo

Parámetro	Edad del relleno (años) y tipo de lixiviado		
	<5 (joven)	5-10 (medio)	>10 (viejo)
	I (Biodegradable)	II (Intermedio)	III (estabilizado)
<b>pH</b>	<6.5	6.5 – 7.5	>7.5
<b>DQO (mg/L)</b>	>20 000	3000 - 15000	<5000
<b>DQO/COT</b>	<2.7	2.0 -2.7	>2.0
<b>DBO<sub>5</sub>/DQO</b>	>0.5	0.1 -0.5	<0.1
<b>AGV (%COT)</b>	>70	5 - 30	<5
<b>Metales Pesados (g/L)</b>	2		<50 mg/L

Fuente: (Najera, 2009)

Realizado por: Emilys Mosquera. 2018

**Tabla 6-1:** Características de los lixiviados

Características	Lixiviado joven	Lixiviado viejo
<b>DBO</b>	Muy alto	Bajo
<b>DQO</b>	Muy alto	Alto
<b>Amoniaco</b>	Muy alto	Alto
<b>Fósforo</b>	Usualmente Deficiente (desde el punto de vista de un tratamiento biológico aerobio)	Suficiente
<b>pH</b>	Muy bajo	Bajo
<b>Detergentes</b>	Muy Altos	Bajos
<b>Sales disueltas</b>	Muy Altas	Bajas (relativamente)
<b>Agentes Incrustantes (Fe, Ca, Mg)</b>	Muy Altos	Bajos
<b>Metales Pesados</b>	Muy Altos	Bajos

Fuente: (Giraldo, 2014b, p. 2)

Realizado por: Emilys Mosquera. 2018

#### 1.1.7.5 Composición de los lixiviados

La composición de los lixiviados depende del tipo de RSU depositado en la celda, pero los componentes que se han registrado en todo relleno sanitario corresponden a grupos de sustancias descritas en el siguiente cuadro:



**Tabla 7-1:** Composición general de los lixiviados

COMPUESTO	DESCRIPCIÓN	EFEECTO EN LA SALUD
<b>Compuestos orgánicos volátiles</b>	Están formados por carbono e hidrógeno que se evaporan con facilidad. Los compuestos que más se encuentran en los lixiviados son: <i>Benceno, Cloroformo, 1,1- dicloroetano, Etilbenceno, Cloruro demetileno, Tolueno, Tetracloroetileno.</i>	Cancerígeno, daños en el SNC, irritaciones en el sistema respiratorio, piel y mucosas, daños al hígado y riñón, alergias, entre otros.
<b>Metales</b>	Son elementos químicos que al entrar en contacto con el residuo lixiviado se disuelven y disipan en el medio. Entre los más comunes están: <i>Arsénico, Cadmio, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo.</i>	Cancerígeno; teratógenos, daños al corazón y SNC, efectos en el sistema reproductivo, respiratorio y renal. Desórdenes genéticos y celulares, entre otras.
<b>Alcoholes</b>	Los alcoholes son compuestos químicos orgánicos caracterizados por tener un grupo hidroxilo (OH <sup>-</sup> ) en su estructura; se forman mediante las reacciones que se forman en la celda de residuos sólidos.	Malformaciones congénitas, mutagénicas y cancerígenas.

Fuente: (Medina, 2014, p. 10)

Realizado por: Emilys Mosquera. 2018

#### 1.1.7.6 Tratamientos

Actualmente existe una amplia gama de sistemas de tratamientos para lixiviados, entre las que se encuentran:

- ✓ Lagunas de estabilización: anaerobias, facultativas, aerobias, de maduración
- ✓ Lodos activados
- ✓ Procesos de coagulación floculación
- ✓ Biorreactor con membrana (de ultra filtración o micro filtración )
- ✓ Oxidación avanzada con ozono
- ✓ Adsorción con carbón activado
- ✓ Desinfección con cloro u ozono
- ✓ Ósmosis inversa
- ✓ Evaporación con/ sin condensación
- ✓ Tratamiento físico químico, entre otros.

Para poder aplicar los sistemas mencionados en cuanto a su elección, diseño, dimensionamiento y explotación adecuados, es necesario considerar el grado de contaminación del lixiviado, características de lugar y la disponibilidad económica del sector. (Pellón, López, Espinosa, & Gonzáles, 2015)

- *Procesos anaerobios:*

Las tecnologías clásicas para la remoción de materia orgánica, que como en el caso de los lixiviados es predominantemente materia orgánica disuelta, son los procesos biológicos de tratamiento. De hecho existen numerosos reportes de trabajo de todo tipo de tecnologías anaerobias, desde las más simples lagunas anaerobias, hasta complicados sistemas de lecho fluidizado, pasando por filtros anaerobios y reactores UASB. En términos de las reducciones de DBO se reportan muy altas eficiencias a cargas razonables. Las principales ventajas son la mayor simplicidad en el sistema de tratamiento y la menor producción de lodos. (Condorchem Envitech, 2014)

- *Procesos Aerobios:*

Existe experiencia con una gran variedad de tipos de sistemas, desde las tradicionales lagunas aireadas, hasta sofisticados sistemas que acoplan reactores biológicos con procesos de ultrafiltración con membranas. Su rango de aplicación es conocido al igual que los problemas y limitaciones que pueden surgir en su aplicación. Se utilizan cuando se requiere obtener una baja concentración de DBO (remoción 90%) en los efluentes.

Los costos de inversión y de operación y mantenimiento son significativamente superiores a los de los procesos anaerobios cuando los lixiviados son concentrados. (Condorchem Envitech, 2014)

- *Sistemas Naturales:*

Los sistemas naturales, lagunas y humedales artificiales, también se han propuesto como alternativas para el tratamiento de lixiviados. Tienen la ventaja de la simplicidad en su operación, y la posibilidad de lograr diferentes niveles de tratamiento, desde un pretratamiento, hasta un tratamiento terciario en caso de necesitarse. La combinación de las lagunas y los humedales puede manejar adecuadamente muchos de los problemas que en otras tecnologías aparecen como son la acumulación de precipitados, la formación de espumas, la toxicidad a los microorganismos, y las variaciones en cargas hidráulicas y orgánicas. Esto se logra al tener tiempos de retención hidráulica muy altos y volúmenes de procesos igualmente grandes. Los bajos costos de operación y mantenimiento son una de las principales ventajas. (Condorchem Envitech, 2014)

- *Evaporación*

La utilización de la evaporación como sistema de tratamiento de lixiviados es una aplicación nueva, al igual que los humedales. En ella se utiliza la energía que se tiene en el biogás del relleno sanitario en evaporar el lixiviado por calentamiento. Existen varios tipos de tecnologías ya desarrolladas para lograr el objetivo. Las tecnologías existentes permiten lograr el control del total de emisiones de lixiviados del relleno sanitario, quedando un lodo que se dispone nuevamente en el relleno. (Condorchem Envitech, 2014)

- *Recirculación*

La recirculación de los lixiviados se ha propuesto desde hace varios años como una alternativa para su tratamiento. Más recientemente se conoce su uso como la tecnología del relleno biorreactor. Se pretende utilizar el relleno sanitario como un gran reactor anaerobio de tal manera que dentro del mismo relleno se logre la conversión a metano de los ácidos grasos que están presentes en el lixiviado. (Condorchem Envitech, 2014)

- *Sistemas de Membranas*

La tecnología del tratamiento de aguas utilizando membranas es una tecnología de rápido desarrollo en la última década. Con mayor frecuencia se observan más aplicaciones de las membranas en el tratamiento de todo tipo de efluentes, incluyendo obviamente los lixiviados de rellenos sanitarios. Se encuentra en la literatura aplicaciones de la microfiltración, la ultrafiltración, la nanofiltración, la ósmosis inversa, la ósmosis directa e inclusive la pervaporación al tratamiento de los lixiviados, bien sea de manera directa, o acoplada a otro tipo de proceso de tratamiento. (Condorchem Envitech, 2014)

#### *1.1.7.7 Procesos necesarios para el tratamiento de lixiviados*

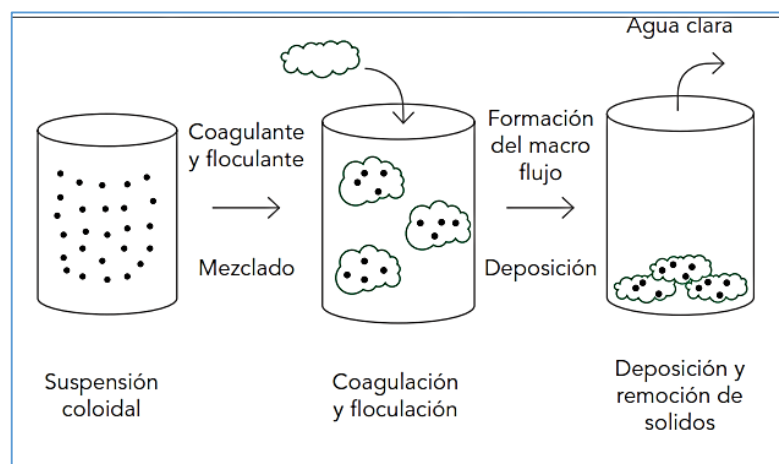
- *Filtración*

La filtración es una operación unitaria que consiste en la separación de las partículas sólidas del fluido mediante un medio permeable y poroso. El medio más utilizado suele ser arena y tiene una capacidad de mejorar la calidad estética del agua y disminuir carga microbiana. Se atribuye que la separación de impurezas tiene lugar específicamente en la capa de película biológica.

El tamaño efectivo de arena suele ser de unos 0,2 mm y con una buena eficiencia en la retención de partículas mayores a 0,02 mm; a parte del tamaño de partícula es indispensable considerar la profundidad de lecho. (Universitat Politècnica de Catalunya, 2009)

- *Coagulación – Floculación*

El proceso se produce mediante una desestabilización de las partículas coloidales, por acción de un coagulante químico o natural (coagulación). Las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al del agua llamadas *floc* (Floculación).



**Figura 4-1:** Coagulación y floculación de una suspensión coloidal  
**Fuente:** (Ramírez & Jaramillo, 2016, pp. 136-153)

El proceso es beneficioso por las siguientes razones:

- ✓ Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no puede sedimentar rápidamente.
- ✓ Remoción de color verdadero y aparente. .
- ✓ Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos, destrucción de algas y plancton en general.
- ✓ Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos o compuestos orgánicos

Se distinguen dos aspectos elementales en este proceso:

- a. La desestabilización de las partículas suspendidas, destrucción de las fuerzas que las mantienen separadas.
- b. El transporte de ellas dentro del líquido para que hagan contacto (formación de puentes entre sí y aparición de malla tridimensional porosa)

La coagulación depende del de la superficie de las partículas, pH, temperatura, velocidad de corte y del agua misma.

Generalmente se lleva a cabo mediante la adición de sales de aluminio y hierro.

La coagulación está fundamentalmente en función de las características del agua y de las partículas presentes, las mismas que definen el valor de los parámetros conocidos como pH, alcalinidad, color verdadero, turbiedad, temperatura, movilidad electroforética, fuerza iónica, sólidos totales disueltos, tamaño y distribución de tamaños de las partículas en estado coloidal y en suspensión, etc. (Ramírez & Jaramillo, 2016, pp. 136-153)

Los fenómenos físicos y químicos que ocurren en este proceso, se describen a continuación:

- a) **químico:** el coagulante reacciona con el agua y se hidrolizan con carga positiva; se debe considerar la concentración del coagulante y el pH final de la mezcla.
- b) **Físico:** las especies hidrolizadas son transportadas y entran en contacto con las impurezas del agua.

#### Clases de floculantes

Los floculantes usados en tratamiento de aguas pueden ser clasificados en tres : (Ramírez & Jaramillo, 2016, pp. 136-153)

- Floculantes inorgánicos como aluminio, también incluyen polielectrolitos catiónicos y aniónicos, polímeros no iónicos, polímeros anfotéricos e hidrofóbicamente modificados y floculantes naturales como *almidón, goma, guar, taninos, alginatos* entre otros.
- Floculantes férricos o policloruro de aluminio
- floculantes orgánicos sintéticos, tales como derivados de poliacrilamida.

#### Clases de coagulantes

Coagulantes inorgánicos y orgánicos que incluyen aditivos minerales como sales de calcio; sales metálicas

Como cloruro férrico o sulfato de aluminio; metales pre-hidrolizados como policloruro de aluminio y polielectrolitos o coagulantes per se.

#### Agentes naturales empleados en la coagulación

Los agentes coagulantes y floculantes naturales, principalmente polisacáridos, son considerados ambientalmente amigables en comparación con los agentes orgánicos e inorgánicos debido a su biodegradabilidad, tienen un valor agregado relacionado con las características de

biodegradabilidad que lo convierten en una alternativa viable desde el punto de vista ambiental. Algunos de los coagulantes de origen natural son almidones y polisacáridos naturales, tales como la celulosa, y el quitosano. (Ramírez & Jaramillo, 2016, pp. 136-153)

Coagulantes utilizados a nivel mundial

Los principales coagulantes utilizados para desestabilizar las partículas y producir el floc son:

- a) Sulfato de Aluminio.
- b) Aluminato de Sodio.
- c) Cloruro de Aluminio.
- d) Cloruro Férrico.
- e) Sulfato Férrico.
- f) Sulfato Ferroso.
- g) Polielectrolitos (Como ayudantes de floculación). Siendo los más utilizados las sales de Aluminio y de Hierro. (Renault, Sancey, Badot, & Crini, 2009)

**Tabla 8-1:** Sustancias químicas coagulantes

COMPUESTO	DESCRIPCIÓN
<b>Sulfato de aluminio: <math>Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O</math></b>	<p>Puede estar en forma sólida o líquida. La sólida se presenta en placas compactas, gránulos de diverso tamaño y polvo. Su concentración se define, en general, por su contenido en alúmina.</p> <p>El sulfato de aluminio es una sal derivada de una base débil (hidróxido de aluminio) y de un ácido fuerte (ácido sulfúrico), por lo que sus soluciones acuosas, son muy ácidas; su pH varía entre 2 y 3,8, según la relación molar sulfato/alúmina.</p> <p>Por esta razón, su almacenamiento debe hacerse en un lugar seco, libre de humedad. Es necesario tener en cuenta esta tendencia ácida para la preparación de las soluciones y los empaques para su distribución, y emplear, por lo general, materiales de plástico.</p>
<b>Cloruro de aluminio <math>AlCl_3</math></b>	<p>Se presenta en forma sólida o líquida y se utiliza preferentemente esta última. Reacción:</p> $2AlCl_3 + 3Ca(HCO_3)_2 \rightarrow 2Al(OH)_3 + 3CaCl_2 + 6CO_2$
<b>Policloruro de aluminio (PAC) <math>[AlO_4Al_{12}(OH)_{24} \cdot (H_2O)_{12}]^{7+}</math></b>	<p>El PACl es una sal básica del cloruro de aluminio, es esencialmente un polímero inorgánico catiónico. Es corrosivo. Tiene algunas ventajas frente al sulfato de aluminio:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bajo ciertas condiciones puede presentar menor gasto de coagulante (especialmente a altas turbiedades).</li> <li>- Disminuye el carbono orgánico total (TOC).</li> <li>- Menor consumo de álcalis.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Efectividad en un amplio rango de pH.</li> <li>- Igual rendimiento con distintas temperaturas.</li> <li>- Remoción de color</li> </ul> <p>Debe considerarse que estas ventajas dependen del tipo de agua a tratar y condiciones de turbiedad presentes.</p> <p><b>PAX 16 y PAX XL 60:</b> Policloruros de aluminio de basicidad media en presentación líquida, densidad 1.33 kg/m<sup>3</sup>, 8.2% de aluminio y 1.31 kg/m<sup>3</sup> 7,5% de aluminio respectivamente.</p>
<b>Cloruro férrico FeCl<sub>3</sub></b>	<p>Se presenta en forma sólida o líquida; esta última es la más utilizada en el tratamiento del agua.</p> <p>La forma sólida es cristalina, de color pardo, delicuescente, FeCl<sub>3</sub>. 6H<sub>2</sub>O. Se funde fácilmente en su agua de cristalización a 34 °C, por lo que es necesario protegerla del calor.</p> <p>La forma líquida comercial tiene un promedio de 40% de FeCl<sub>3</sub>.</p> <p>En presencia de hierro, las soluciones acuosas de cloruro férrico se reducen rápidamente a cloruro ferroso FeCl<sub>2</sub>. Esta reacción explica su gran poder corrosivo frente al acero, y la necesidad de seleccionar adecuadamente el material de los recipientes de almacenamiento.</p>
<b>Sulfato ferroso FeSO<sub>4</sub>.7 H<sub>2</sub>O</b>	<p>Es un polvo de color verde muy soluble y tiene una masa volumétrica aparente próxima a 900 kg/m<sup>3</sup>.</p> <p>Su contenido en hierro es de aproximadamente 19%. Por su naturaleza ácida, el pH de una solución al 10% es de 2,8 aproximadamente. Por esta razón, para su almacenamiento y preparación se usa material plástico.</p>
<b>Sulfato férrico Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub></b>	<p>El sulfato férrico es un polvo blanco verdoso, muy soluble en el agua, su masa volumétrica aparente es 1.000 kg/m<sup>3</sup>. Debido a que en solución acuosa se hidroliza y forma ácido sulfúrico, es necesario prevenir los efectos de su acidez.</p>
<b>Ayudantes de coagulación</b>	<p>Son polímeros aniónicos, catiónicos (de polaridad muy variable) o neutros, los cuales pueden presentar forma sólida (polvo) o líquida. Son sustancias de un alto peso molecular, de origen natural o sintético. Requieren ensayos de coagulación y floculación antes de su elección.</p> <p>Los polímeros en polvo se usan bajo la forma de suspensión, que puede contener entre 2 y 10 g/L; la duración de las suspensiones es inferior a una semana. Por lo general, requieren un tiempo de contacto entre 30 y 60 minutos, se usan dosis pequeñas (0,1 a 1 g/L).</p>
<b>TECHNIFLOC PLUS</b>	<p>Coagulante prepolimerizado de alta basicidad, siendo formulado por una alta concentración de Al. Densidad 1,31 kg/m<sup>3</sup>, 12,7% de aluminio.</p>
<b>FERRIX</b>	<p>Coagulante primario con alto grado de efectividad, basado en Fe<sup>3+</sup></p>
<b>TANFLOC</b>	<p>Polímero orgánico catiónico (Sal cuaternario de amonio tanínico)</p>

Fuente: (Zamora, Moreno, & Martínez, s. f., pp. 1-10)  
Realizado por: Emilys Mosquera. 2018

**Tabla 9-1:** Combinación y dosificación de coagulantes

COAGULANTES	DOSIFICACIÓN TÍPICA Relación de: 1° a 2°
Sulfato de aluminio + soda cáustica	3/1
Sulfato de aluminio + cal hidratada	3/1
Sulfato de aluminio + carbonato de sodio	1/1 -2/1
Sulfato de aluminio + aluminato de sodio	4/3
Sulfato férrico + cal hidratada	5/2
Sulfato ferroso + cal hidratada	4/1
Sulfato ferroso + cloro	8/1
Aluminato de sodio + cloruro férrico	1/1
Sulfato de aluminio +	9/1 -14/1

Fuente: (Zamora et al., s. f., pp. 1-10)

Realizado por: Emilys Mosquera. 2018

#### Cálculo del volumen del reactivo

El volumen de reactivo por dosificar en una planta de tratamiento dependerá de la concentración o pureza del compuesto que se utilice.

*Dosificación en seco:*

$$W = 3.6 \frac{DQ}{P}$$

**Ecuación 2**

**Donde:**

W = Kg/ hora

D = Dosis que se requiere aplicar en g/m = mg/l

P = Pureza del reactivo que se usa en porcentaje

Q = Caudal de la planta en m<sup>3</sup>/s

*Dosificación en húmedo:*

Cuando se dosifica en húmedo, el volumen de solución "q" que se aplique por unidad de tiempo, dependerá también de la concentración C de dicha solución, así:

$$W = \frac{DQ}{PC}$$

**Ecuación 3**



**Donde:**

q = volumen de solución en L/s y C en g/L.

D = Dosis que se requiere aplicar en g/m = mg/l

P = Pureza del reactivo que se usa en porcentaje

Q = Caudal de la planta en m<sup>3</sup>/s

C= concentración

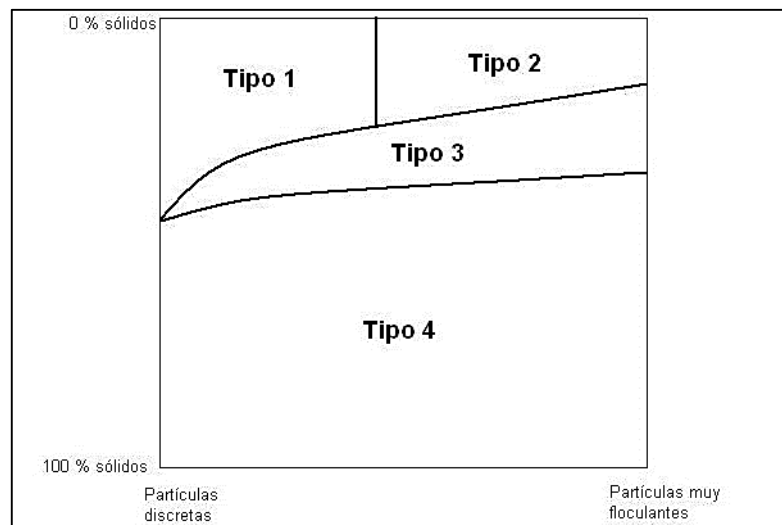
El volumen del tanque de solución requerido dependerá del espacio disponible en la planta, pero no es conveniente por razones prácticas, disponer de menos de dos tanques, cada uno con un período de detención no menor de 12 horas, para no tener que preparar soluciones más de una vez por día. Las concentraciones usadas son del 5 al 20% para el sulfato de aluminio. Concentraciones mayores requieren dilución posterior con más agua antes de su aplicación. (León, 2017)

- *Sedimentación*

La sedimentación comprende la precipitación de sólidos, incluyendo los sólidos debidos a la contaminación y los sólidos generados por los químicos.

Es un proceso por el cual se eliminan las partículas sólidas presentes en el agua por medio de la gravedad. El uso de cualquier otro proceso, como la sedimentación simple, para la remoción de partículas muy finas, resulta antieconómico, si no imposible. (Ramírez & Jaramillo, 2016, pp. 136-153)

Dependiendo de la cantidad de sólidos en suspensión que tengamos presentes en el agua y de su tendencia a formar flóculos, podemos distinguir cuatro tipos diferentes de sedimentación, como se indica en la siguiente gráfica:



**Figura 5-1:** Tipos de sedimentación

Fuente: (IMAGUA Water Technologies S.L., 2018)

### Sedimentación de Tipo 1 o de Partículas Discretas

Existe baja concentración de sólidos, las partículas sedimentan individualmente y no interaccionan entre ellas. Se utiliza para eliminar las arenas en las aguas residuales. (IMAGUA Water Technologies S.L., 2018)

### Sedimentación de Tipo 2 o Floculenta

Hay una baja concentración de sólidos en suspensión en el agua, las partículas interaccionan y forman flóculos. Es una operación muy importante cuando tenemos coloides presentes en el agua. (IMAGUA Water Technologies S.L., 2018)

### Sedimentación de Tipo 3 o Retardada o Zonal

Se dan suspensiones con una elevada concentración de sólidos. Las partículas se adhieren entre sí y la sedimentación se produce en bloque o pistón.

Las interacciones entre las partículas producen una disminución de la velocidad de sedimentación. Hay una capa límite bien definida entre la masa sedimentable y el líquido sobrenadante. (IMAGUA Water Technologies S.L., 2018)

### Sedimentación de Tipo 4 o de Compresión

Tiene lugar en el fondo de los clarificadores en un proceso de lodos activos. Hay una gran concentración de sólidos que han creado una estructura, y la única manera de progresar en la sedimentación es mediante la compresión ejercida por el peso de las nuevas partículas que se van depositando sobre las ya creadas. (IMAGUA Water Technologies S.L., 2018)

- *Pruebas de jarras*

Es un ensayo fundamental realizado a nivel de laboratorio, con el objetivo de determinar las concentraciones óptimas en el momento de dosificar químicos, para el tratamiento de aguas. Se recomienda su uso para determinar la medida precisa a aplicarse, calcular la descarga del químico para todo el caudal de lixiviado y cuadrar equipos dosificadores para la descarga calculada.

#### Beneficios de la prueba de jarras.

Nos ayudan a determinar:

- El coagulante más efectivo.
- La dosis de coagulante que se debe aplicar en cada uno de los tratamientos.
- El pH óptimo de coagulación, el mismo que permite la formación de los flóculos que no es lo mismo para todas las muestras de aguas tratándose.
- La adición más adecuada de los reactivos químicos.
- El tiempo óptimo en la formación de los flóculos. (Medina, 2014, p. 29)

### 1.1.7.8 Normativa vigente

Las descargas de lixiviados está regido principalmente por el Acuerdo Ministerial N° 097-A, Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, donde se establecen los límites permisibles para descargarlos a un cuerpo de agua dulce, la siguiente tabla se detalla a continuación:

**Tabla 10-1:** Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmino	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color real <sup>1</sup>	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200

Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/l	1000
Sulfuros	S <sup>-2</sup>	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
<sup>1</sup> La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida			

Fuente: (MAE, 2015a, p. 16)

Realizado por: Emilys Mosquera. 2018

## 1.1.8 Diseño del Sistema de tratamiento de Lixiviado

### 1.1.8.1 Tanque de almacenamiento

Los sistemas de tanques de almacenamiento son frecuentemente necesarios para cumplir con una gran variedad de aplicaciones exigentes, y esto es especialmente cierto para los tanques de Aguas Residuales Industriales. Los tanques de almacenamiento de forma rectangular, se aprovecha al máximo el espacio, en donde se coloque, que si fuera un recipiente de forma circular, o esférico. (Warren Group, 2015)

#### Dimensionamiento

- *Volumen del tanque, m<sup>3</sup>*

$$Q = V / \text{Trh}$$

$$V = Q * \text{Trh} \quad \text{Ecuación 4}$$

#### **Donde:**

Q= caudal de diseño, m<sup>3</sup>/h

Trh= tiempo de retención hidráulica, h

- *Altura del tanque, m (asumir).*

- *Área del tanque, m<sup>2</sup>*

$$A = V / H \quad \text{Ecuación 5}$$

#### **Donde:**

V= volumen del tanque, m<sup>3</sup>/

H= altura del tanque, m

- *Ancho del tanque, m*

$$L = 1,5 B$$

$$A = L * B$$

$$A = 1,5 B^2$$

$$B = \sqrt{\frac{A}{1,5}} \quad \text{Ecuación 6}$$

#### **Donde:**

A= Área del tanque, m<sup>2</sup>

- *Largo del tanque, m*

$$V = L * B * H$$

$$L = V / (B * H) \quad \text{Ecuación 7}$$

**Donde:**

V= volumen del tanque, m<sup>3</sup>/

B= Ancho del tanque, m

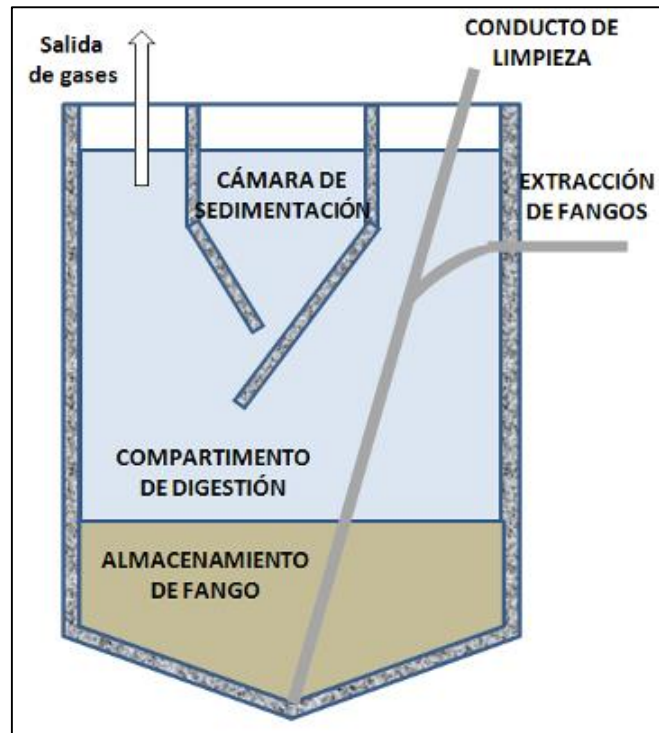
H= altura del tanque, m

### 1.1.8.2 Tanque Imhoff

El tanque imhoff es una unidad de tratamiento primario cuyo propósito es la remoción de sólidos suspendidos y digestión de lodos sedimentados, por esta razón se lo conoce como tanques de doble cámara. Elimina del 40 al 50% de sólidos suspendidos y reduce la DBO de 25 a 35%. (OPS & CEPIS, 2015, p. 11)

El tanque imhoff típico tiene forma rectangular y se divide en tres secciones:

1. Sección superior: Cámara de sedimentación
2. Sección inferior: Cámara de digestión de lodos
3. Área de ventilación y acumulación de natas. (OPS & CEPIS, 2015, p. 11)



**Figura 6-1:** Partes de un tanque Imhoff  
Fuente: (Lozano, 2016)

### **Modo de operación**

Estos tanques poseen una operación muy simple y no requiere de partes mecánicas.

Durante este proceso, las aguas residuales fluyen a través de la cámara sedimentadora que actúa sobre los sólidos sedimentables, estos resbalan por las paredes inclinadas del fondo y pasan a digester de lodos a través de la ranura con traslape. El traslape ayuda a impedir que los gases o partículas afecten la sedimentación.

La cámara de natas y aireación recibe las partículas ascendentes y gases que siempre se producirán en una digestión. (OPS & CEPIS, 2015, p. 11)

**Tabla 11-1:** Ventajas y desventajas de un Tanque imhoff

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- La digestión de lodo produce un líquido residual de buenas características.</li><li>- No descargan lodo en el líquido efluente.</li><li>- El lodo se seca y se evacúa fácilmente.</li><li>- Los lixiviados no necesitan de tratamiento preliminar, salvo algunas excepciones.</li><li>- Menor tiempo de retención a diferencias de las lagunas.</li><li>- Bajo costo de construcción y operación.</li><li>- Ocupan poco espacio en el terreno</li><li>- No es necesaria una atención constante y cuidadosa.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Son estructuras profundas (&gt;6m).</li><li>- Es difícil su construcción en arena fluida o en roca y tener precaución en cuanto al nivel freático.</li><li>- Baja remoción de la DBO y coliformes, por lo que el efluente que sale del tanque es de mala calidad.</li><li>- Malos olores ocasionalmente, a pesar del buen funcionamiento.</li></ul>

Fuente: (OPS & CEPIS, 2015)

Realizado por: Emilys Mosquera. 2018

**Tabla 12-1.** Parámetros de diseño del tanque Imhoff

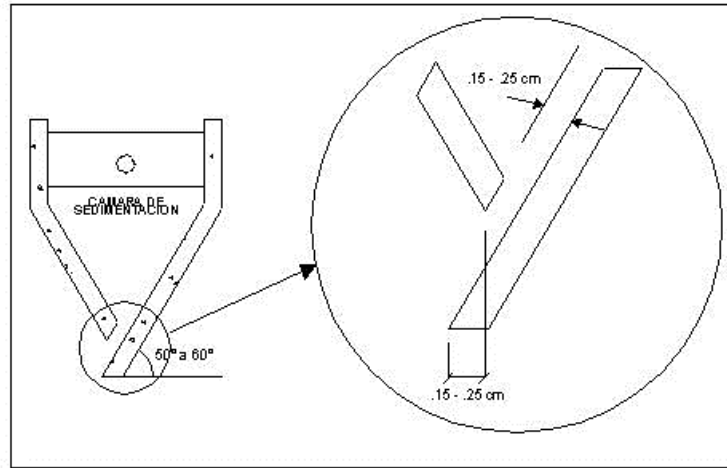
<b>ZONA DEL TANQUE</b>	<b>PARÁMETRO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<i>Sedimentación</i>	Tiempo de retención hidráulica	Entre 1,5 a 2,5 horas; recomendado 2 h
	Fondo del tanque	Sección transversal en forma de V y la pendiente de los lados respecto a la horizontal entre 50° a 60°.
	Arista central	-Dejar una abertura entre 0,15 a 0,20 m para el paso de sólidos removidos al digester.

		-Un lado deberá prolongarse, de 15 a 20 cm, para impedir el paso de gases y sólidos del digestor al sedimentador
	Carga hidráulica sobre el vertedero	Entre 125 a 500 m/(m*día); recomendable 250.
<b>Digestor de lodos</b>	Fondo de la cámara de digestión	Forma de un tronco de pirámide invertida (tolva de lodos).
	Paredes laterales de la tolva	Inclinación de 15° a 30° con respecto a la horizontal.
	Altura máxima de los lodos	Entre 0,50 m por debajo del fondo del sedimentador.
	Tiempo de digestión de lodos.	Varía con la temperatura. Ver <i>Tabla 1-3</i> .
	Frecuencia del retiro de lodos	Deberán retirarse periódicamente, para estimar la frecuencia de retiro ver <i>Tabla 1-4</i> . El intervalo de tiempo entre extracciones sucesivas deberá ser por lo menos el tiempo de digestión a excepción de la primera extracción, en la que se deberá esperar el doble de tiempo de digestión.
	Extracción de lodos	- El diámetro mínimo de la tubería de extracción será de 200 mm y deberá estar 15 cm por encima del fondo del tanque. -La remoción requerirá de una carga hidráulica mínima de 1,80 m.
<b>Área de ventilación y cámara de natas</b>	Superficie libre entre las paredes del digestor y el sedimentador	- El espaciamiento libre será mínimo 1,0 m. - La superficie libre total será por lo menos 30% de la superficie total del tanque. - El borde libre será como mínimo de 0,30 cm.

Fuente: (OPS & CEPIS, 2015)

Realizado por: Emilys Mosquera. 2018



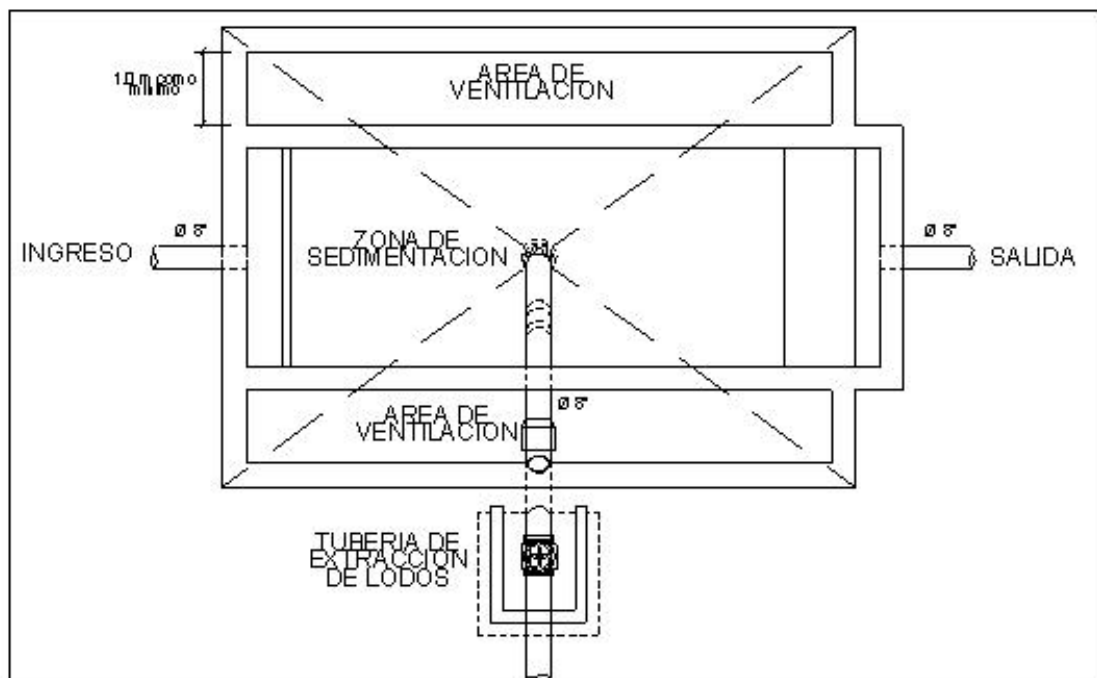


**Figura 7-1:** Detalle de la zona de sedimentación  
 Fuente: (OPS & CEPIS, 2015)

**Tabla 13-1:** Tiempo de digestión de lodos según la temperatura.

Temperatura °C	Tiempo de digestión en días
5	110
10	76
15	55
20	40
>25	30

Fuente: (OPS & CEPIS, 2015)



**Figura 8-1:** Vista Planta de un tanque Imhoff  
 Fuente: (OPS & CEPIS, 2015)

## Dimensionamiento

### **Cámara de sedimentación**

- **Área superficial, m<sup>2</sup>**

$$A_s = \frac{Q}{C_s} \quad \text{Ecuación 8}$$

**Donde:**

Q= caudal diseño (m<sup>3</sup>/d)

C<sub>s</sub> = carga superficial (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d)

- **Largo del sedimentador (m)**

$$L = \frac{A_s}{b} \quad \text{Ecuación 9}$$

**Donde:**

A<sub>s</sub>= área superficial (m<sup>2</sup>)

b= ancho de la cámara de sedimentación

- **Volumen de la cámara (m<sup>3</sup>)**

$$V = \frac{Q}{trh} \quad \text{Ecuación 10}$$

**Donde:**

Q= caudal diseño (m<sup>3</sup>/h)

trh = tiempo de retención hidráulica, (h)

- **Área transversal, (m<sup>2</sup>)**

$$A_t = \frac{V}{L} \quad \text{Ecuación 11}$$

**Donde:**

V= Volumen de la cámara de sedimentación, m<sup>3</sup>

L= longitud de la cámara de sedimentación, m

- **Altura de la arista central, d (m)**

**A partir de la pendiente del fondo del tanque**

$$d = \tan \theta * \frac{b}{2}$$

### ***Ecuación 12***

**Donde:**

$\theta$  = ángulo de inclinación respecto a la horizontal (50-60°)

b = ancho del sedimentador (m)

d = altura de la arista central, (m)

- **Altura del canal de sedimentación, c (m)**

$$c = \frac{At}{b} - \frac{d}{2} \quad \text{Ecuación 12}$$

**Donde:**

b = ancho del sedimentador (m)

d = altura de la arista central, (m)

At = área transversal. (m)

- **Ancho total del tanque (m)**

$$B = 2a + b \quad \text{Ecuación 13}$$

**Donde:**

b = ancho del sedimentador (m)

a = ancho de la zona de ventilación; mínimo 1m, (m)

### **Cámara de digestión de lodos**

- **Altura de la tolva de lodos, g (m)**

$$g = \tan\beta * \frac{B}{2} \quad \text{Ecuación 14}$$

**Donde:**

B = ancho Total del tanque (m)

$\beta$  = ángulo de inclinación de paredes de la tolva ,15° a 30° con respecto a la horizontal

- **Altura de la cámara de digestión, f (m)**

$$f = \frac{\left( V_{dig} - \frac{g * B * L}{3} \right)}{B * L} \quad \text{Ecuación 15}$$

**Donde:**

Vdig= volumen de digestión (asumir)

g = Altura de la tolva de lodos, (m)

B=ancho del sedimentador (m)

L= largo del sedimentador

● **Altura total del tanque**

$$H_T = c + d + e + f + g \quad \text{Ecuación 16}$$

**Donde:**

c= Altura del canal de sedimentación

d= altura de la arista central, (m)

e= altura de seguridad, asumir (0,30 m)

f= Altura de la cámara de digestión

g = Altura de la tolva de lodos, (m)

*1.1.8.3 Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)*

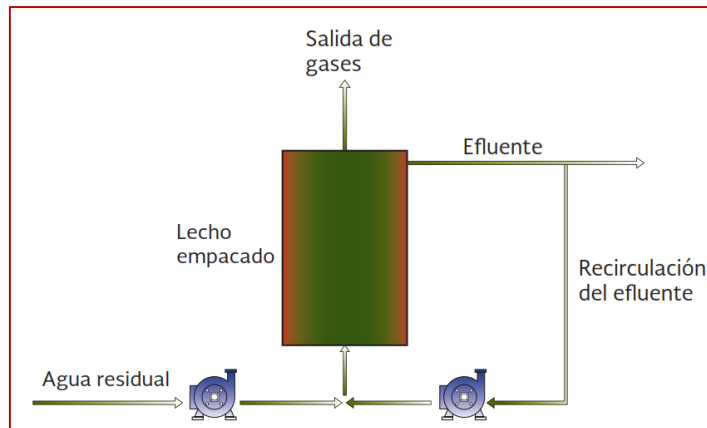
El filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) es un sistema de tratamiento de aguas residuales con biopelícula fija para la remoción de materia orgánica en condiciones anaerobias.

Los reactores anaerobios de crecimiento adherido con flujo ascendente se diferencian entre sí por el tipo de empaque usado y por el grado de expansión de la cama o lecho.

El efluente no se recircula en la mayoría de casos, excepto cuando se tratan aguas residuales con concentraciones altas. (SEMARNAT & CONAGUA, 2015, p. 2)

En el FAFA se dan procesos de óxido-reducción a través de microorganismos que se encuentran formando películas en la superficie sólida. La alimentación de este filtro es por la parte inferior por lo que opera inundado.

La limitación que presentan se debe a los riesgos de obstrucción en la cama y al relativo volumen que ocupa el material inerte empacado.



**Figura 9-1:** Esquema de un Filtro anaerobio de flujo ascendente  
**Fuente:** (SEMARNAT & CONAGUA, 2015, p. 2)

Características:

- ✓ Forma cilíndrica o rectangular, con un diámetro de 2 a 8 metros y una altura de 3 a 13 metros
- ✓ El material de empaque puede estar en su entera profundidad o por diseño híbrido (50-70% altura útil del reactor)
- ✓ Los materiales de empaque más comunes son: plástico corrugado, módulos tubulares y anillos de plástico.
- ✓ El área superficial de empaque es de  $100\text{m}^2/\text{m}^3$ .
- ✓ Aguas residuales: empaques tubulares,  $T^\circ = 37^\circ\text{C}$ , COV de  $0.2 - 0.7 \text{ kg}/\text{m}^3\text{d}$ , TRH= 25 - 37 días, sin recirculación, remoción de 90 a 96% de DQO.
- ✓ Material filtrante: grava o piedra bola de río o rellenos sintéticos.
- ✓ Material para el medio de empaque: cuarzo, bloques de cerámica, ostras y caparzones de mejillones, piedra caliza, anillos de plástico, cilindros huecos, blocks modulares de PVC, granito, pelotas de polietileno, bambú, etc; para el flujo ascendente lo más común es piedra y piedra triturada.
- ✓ El tamaño del material del filtro con mejores resultados, varía entre 2.5 y 7.5 cm, con tamaño uniforme desde la parte superior hasta el fondo. (SEMARNAT & CONAGUA, 2015, pp. 3-6)

**Tabla 14-1:** Ventajas y desventajas de un FAFA

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trata altas cargas de DQO</li> <li>• Operación simple</li> <li>• Volúmenes relativamente pequeños del reactor</li> <li>• Producción de energía: Biogás</li> <li>• El exceso de gas metano puede emplearse como combustible.</li> <li>• Bajos requerimientos de terreno</li> <li>• Costo bajos de construcción y operación</li> <li>• Bajo consumo de energía</li> <li>• Eficiencias de remoción del 65-75%</li> <li>• Alta concentración de SS en el lodo</li> <li>• Buenas características de desaguado de lodo.</li> <li>• Baja producción de lodos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo de material de empaque</li> <li>• Mantenimiento y operación (acumulación de sólidos)</li> <li>• Estricto mantenimiento</li> <li>• EL gas producido causa problemas en el mantenimiento.</li> <li>• Baja tolerancia a los tóxicos por parte del sistema</li> <li>• Tiempo de arranque y estabilización lentos.</li> <li>• El efluente requiere postratamiento.</li> </ul>

**Fuente:** (SEMARNAT & CONAGUA, 2015, p. 2)

**Realizado por:** Emilys Mosquera. 2018

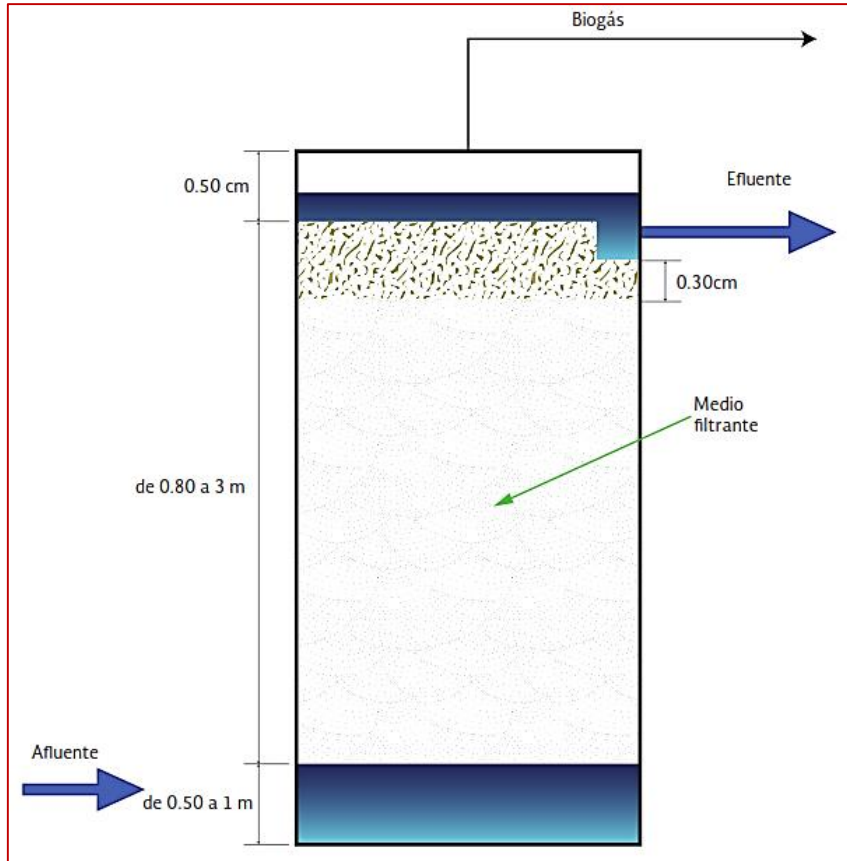
**Tabla 15-1:** Criterios de diseño

CRITERIO	DESCRIPCIÓN	ECUACIÓN
Tiempo de residencia hidráulica (TRH)	Se refiere al tiempo promedio de residencia del líquido dentro del filtro.  TRH óptimo 4 a 10 horas.	$THR = \frac{V}{Q}$ <b>Donde:</b> TRH = tiempo de residencia hidráulica (días) V= volumen del filtro (m <sup>3</sup> ) Q= Caudal en el afluente (m <sup>3</sup> /d)
Carga orgánica volumétrica (COV)	Carga de la materia orgánica aplicada por unidad de volumen del filtro o medio empacado.  Buenos resultados con un COV= 0.15 a 0.50 kg DBO/m <sup>3</sup> d (tomando en cuenta el volumen total del filtro)	$COV = \frac{Q \cdot S_0}{V}$ <b>Donde:</b> COV = Carga orgánica volumétrica (Kg DBO/ m <sup>3</sup> d) V= volumen del filtro o volumen ocupado por el medio empacado (m <sup>3</sup> )

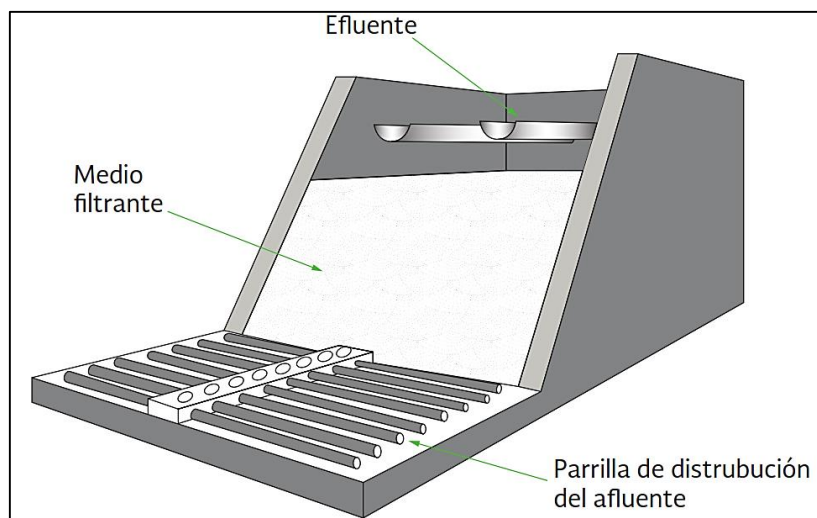
	De 0.25 a 0,75 Kg DBO/ m <sup>3</sup> d (tomando en cuenta el volumen del filtro empacado)	Q= Caudal en el afluente (m <sup>3</sup> /d) So= concentración total de DBO en el afluente (mg/L)
Volumen del reactor	Se obtienen despejando la ecuación anterior	$V = \frac{Q \cdot S_o}{COV}$
Carga hidráulica superficial (CHS)	Volumen del agua residual aplicada diariamente por unidad de superficie del medio empacado del filtro.  las cargas hidráulicas más utilizadas están entre 6 y 15 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> d)	$THR = \frac{Q}{A}$  <b>Donde:</b> CHS = carga hidráulica superficial, en m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> d) Q = gasto, en m <sup>3</sup> /d A = área superficial del medio empacado, en m <sup>2</sup>
Remoción	Este parámetro se puede alcanzar mediante la siguiente ecuación:	$E = 100(1 - 0.87 TRH^{-0.5})$  <b>Donde:</b> E = eficiencia de un filtro anaerobio (%) TRH = tiempo de residencia hidráulica (h) 0.87 = coeficiente empírico del sistema 0.50 = coeficiente empírico del medio filtrante
Concentración de DBO esperada en el Efluente	Este parámetro se puede alcanzar mediante la siguiente ecuación:	$DBO_{ef} = S_o - \frac{E S_o}{100}$  <b>Donde:</b> DBO <sub>ef</sub> = concentración total de DBO en el efluente (mg/L) S <sub>o</sub> = concentración total de DBO en el afluente, (mg/L) E = remoción (%)
Altura del medio de Empaque	Materiales de empaque: Orgánicos como: trozos de bambú o madera. Por durabilidad, se recomienda más roca basáltica, trozos de PVC o de polietileno de alta densidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altura de empaque recomendado: 0.8 y 0.3 m.</li> <li>• Si hay poco riesgo de obstrucción se utiliza un límite superior de 3 m.</li> <li>• El valor más usado es aproximadamente 1.5 m.</li> </ul>
Dispositivos de Entrada	Para una distribución uniforme se usa un emparrillado formado por tuberías perforadas.	Para este caso se recomienda usar un tubo de distribución del flujo por cada 2 a 4 metros del área del fondo del filtro.
Salida del efluente Tratado	Es necesaria una distribución uniforme ya que puede operar en condiciones de saturación.	En filtros rectangulares se recomienda un canal recolector de salida a una distancia mínima de 30 cm del medio empacado.
Muestreo y recolección del lodo producido	Para el monitoreo del crecimiento y calidad de la biomasa; permite tomar acciones de control sobre los sólidos.	Para lograr una salida libre de obstrucciones, el lecho filtrante se acomoda sobre un fondo

	Recomendable uno al final del fondo y otro inmediatamente debajo de la cama empacada.	perforado, con un bajo dren, de espesor mínimo de 50 cm para coleccionar y extraer lodos.
--	---	---

Fuente: (SEMARNAT & CONAGUA, 2015, p. 2)  
 Realizado por: Emilys Mosquera. 2018

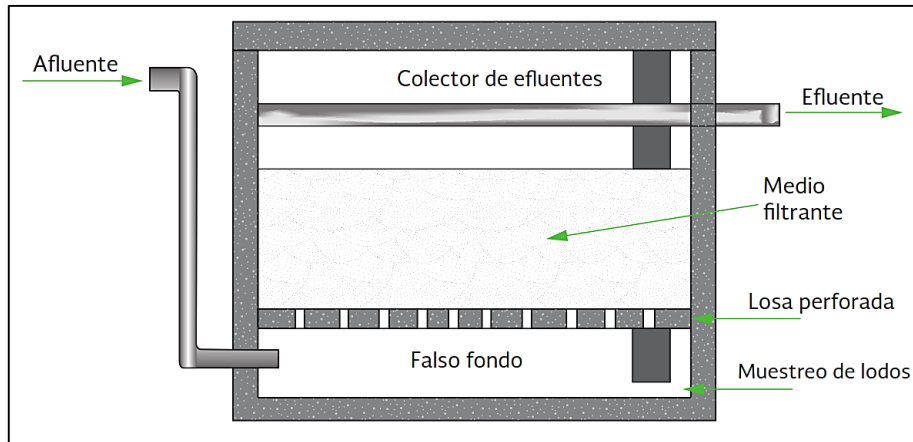


**Figura 10-1:** Criterios de dimensionamiento en un FAFA  
 Fuente: (SEMARNAT & CONAGUA, 2015, p. 2)



**Figura 11-1:** Componentes principales de un FAFA  
 Fuente: (SEMARNAT & CONAGUA, 2015, p. 2)





**Figura 12-1:** Corte transversal de un FFAA con falso fondo  
Fuente: (SEMARNAT & CONAGUA, 2015, p. 2)

**Tabla 16-1.** Criterios de diseño para filtros anaerobios

Parámetros de diseño	Rango de valores como una función del caudal		
	Q promedio	Q máximo diario	Q máximo horario
Medio de empaque	Piedra	Piedra	Piedra
Altura del medio filtrante (m)	0.8 a 0.3	0.8 a 0.3	0.8 a 0.3
Tiempo de residencia hidráulica (horas)	5 a 10	4 a 8	3 a 6
Carga hidráulica superficial (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d)	6 a 10	8 a 12	10 a 15
Carga orgánica volumétrica (kg DBO/m <sup>3</sup> d)	0.15 a 0.50	0.15 a 0.50	0.15 a 0.50
Carga orgánica medio filtrante (kg DBO/m <sup>3</sup> d)	0.25 a 0.75	0.25 a 0.75	0.25 a 0.75

Fuente: (SEMARNAT & CONAGUA, 2015, p. 2)  
Realizado por: Emilys Mosquera. 2018

### Dimensionamiento

- Cálculo del área superficial del filtro (m<sup>2</sup>)

$$A = \frac{Q}{CHS} \quad \text{Ecuación 17}$$

**Donde:**

Q= caudal de diseño, en m<sup>3</sup>/d

CHS= Carga hidráulica superficial, m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>d)

- Obtener el lado para un filtro cuadrado (m)

$$L = A^{1/2} \quad \text{Ecuación 18}$$

**Donde:**

A = área superficial del medio

- Cálculo del volumen del lecho filtrante (m<sup>3</sup>)

$$V = \frac{Q \cdot S_o}{COV} \quad \text{Ecuación 19}$$

**Donde:**

Q= caudal de diseño, en m<sup>3</sup>/d

S<sub>o</sub>= concentración total de DBO en el afluente, (mg/L)

COV= Carga orgánica volumétrica (Kg DBO/ m<sup>3</sup>d)

- Cálculo de la altura del lecho filtrante (m)

$$hm = \frac{V}{A} \quad \text{Ecuación 20}$$

**Donde:**

V= volumen del lecho filtrante (m<sup>3</sup>)

A = área superficial del medio

- Cálculo de la altura total del filtro (m)

$$H = hm + b + d \quad \text{Ecuación 21}$$

**Donde:**

hm= altura del lecho filtrante

b = altura del bordo libre, en m

d = altura del bajo dren, en m

- Cálculo del volumen total del filtro (m<sup>3</sup>)

$$V_t = A \cdot H \quad \text{Ecuación 22}$$

**Donde:**

A = área superficial del medio m<sup>2</sup>

H= altura total del filtro (m)

- Revisión de la carga orgánica volumétrica (kg DBO/m<sup>3</sup>d)

$$COV_t = \frac{Q \cdot S_o}{V_t} \quad \text{Ecuación 23}$$

**Donde:**

Q= Caudal en el afluente (m<sup>3</sup>/d)

S<sub>o</sub>= concentración total de DBO en el afluente, (mg/L)

V<sub>t</sub>= volumen total del filtro (m<sup>3</sup>)

- Cálculo del tiempo de residencia hidráulica (días)

$$TRH = \frac{V}{Q} \quad \text{Ecuación 24}$$

**Donde:**

V= volumen del filtro (m<sup>3</sup>)

Q= Caudal en el afluente (m<sup>3</sup>/d)

- Cálculo de la eficiencia de remoción del filtro anaerobio (%)

$$E = 100(1 - 0.87 TRH^{-0.5}) \quad \text{Ecuación 25}$$

**Donde:**

E = eficiencia de un filtro anaerobio (%)

TRH = tiempo de residencia hidráulica (h)

0.87 = coeficiente empírico del sistema

0.50 = coeficiente empírico del medio filtrante

- Concentración de DBO esperada en el efluente,

$$DBO_{ef} = S_o - \frac{E \cdot S_o}{100} \quad \text{Ecuación 26}$$

**Donde:**

$DBO_{ef}$  = concentración total de DBO en el efluente (mg/L)

$S_o$  = concentración total de DBO en el afluente, (mg/L)

$E$  = remoción (%)

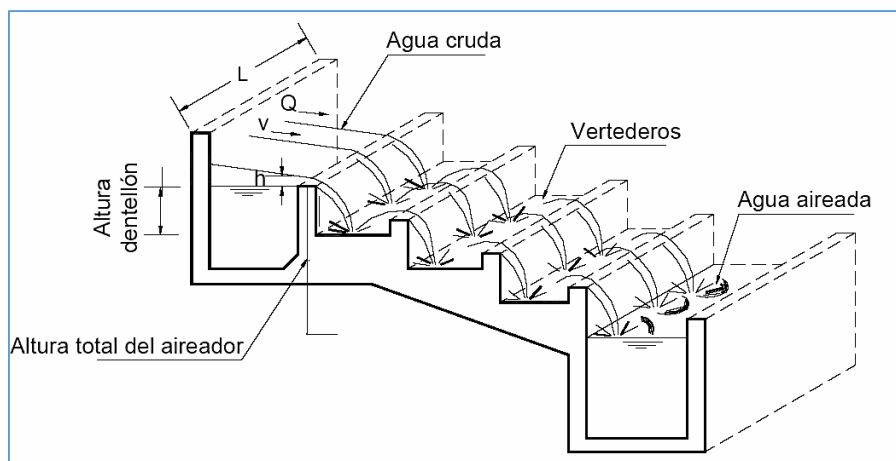
#### 1.1.8.4 Aireadores en cascadas

Su mecanismo de funcionamiento consiste en dejar caer el agua, en láminas o capas delgadas, sobre uno o más escalones de concreto. Se provoca una gran pérdida de energía.

Algunos autores como Overman señalan que con una cascada y 40 cm de profundidad de suministro se pueden airear 9.000 m<sup>3</sup>/d de agua con eficiencias de remoción del 50 - 60%.

Cuanto más grande sea el área horizontal, más completa es la aireación; por ello se acostumbra colocar salientes, bloques o vertederos en los extremos de los escalones.

Nakasonc sugiere que un sistema de cascadas múltiples con caídas menores de 1,2 m es mejor que uno con una sola caída con altura mayor de 1,2 m. (León, 2016)



**Figura 13-1.** Aireador de cascadas, TIPO A.

Fuente: (León, 2016)

**Tabla 17-1:** Parámetros para el diseño de un sistema de aireación

Parámetro	Valor	Valor típico
Carga hidráulica para cauda medio	1200 – 6200 m <sup>3</sup> /m.d	3000 m <sup>3</sup> /m.d
Altura del escalón	15 – 30 cm	20 cm
Longitud del escalón	30 – 60 cm	45 cm
Altura de cascada	1,8 – 5 m	-

Fuente: (León, 2016)

Realizado por: Emilys Mosquera. 2018

### Dimensionamiento

- *Longitud del aireador*

$$L = \frac{Q}{Cs} \quad \text{Ecuación 27}$$

Donde:

L = Longitud total del aireador de cascadas en m

Q = Caudal de diseño en m<sup>3</sup>/s

Cs = Carga Lineal del aireador en m<sup>3</sup>/m.s

- *Déficit de oxígeno*

$$R = \frac{Cs' - Co}{Cs' - C} \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde:

R = relación deficitaria de oxígeno

Cs' = concentración de saturación de oxígeno disuelto a la temperatura T, mg/L

Co = concentración de oxígeno disuelto en agua, antes del vertedero o cascada, mg/L

C = concentración de oxígeno disuelto en agua, después del vertedero o cascada, mg/L

- *Altura del aireador*

$$H = \frac{R - 1}{0,361 * a * b (1 + 0,046T)} \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde:

H = altura de caída del agua, m

T = temperatura del agua, °C

a = 1,25 agua limpia de río

1,0 para agua poluta de río

0,8 efluentes de aguas residuales

b = 1,0 vertedero de caída libre

1,1 escalones

1,3 vertedero escalonado

- *Número de escalones*

$$Ne = \frac{H}{h_e} \quad \text{Ecuación 30}$$

Donde:

L= longitud del aireador, m

h= Altura del escalón, m

- *Oxígeno absorbido*

$$Ce = Co + K*(Cs' - Co) \quad \text{Ecuación 31}$$

Donde:

Ce= concentración de oxígeno al final de la caída, mg/L

Cs'= concentración de saturación de oxígeno disuelto, mg/L

Co= concentración de oxígeno inicial en el agua, mg/L

K= coeficiente de eficiencia de un escalón para una altura de 30cm

$$K = \frac{Ce_i - Co_i}{Cs - Co_i} \quad \text{Ecuación 32}$$

Donde:

$$Co_i = m * Cs$$

$$Ce_i = n * Cs$$

Para *m* entre 0,2 y 0,4 y *n* 0,1 a 0,4 (escalones de 30 cm de altura)

- *Altura de la lámina de agua*

$$h = \frac{Q}{L * v} \quad \text{Ecuación 33}$$

Donde:

h= Altura de la lámina de agua, m (máximo 0,05m)

Q= caudal de diseño, m<sup>3</sup>/s

L= longitud del aireador, m

v= velocidad de aproximación, m/s (1,0 a 1,2 m/s)

## 1.2 Línea Base

### 1.2.1 Cantón Pastaza

#### 1.2.1.1 Localización geográfica

El Proyecto se desarrollara en el Cantón Pastaza, ciudad Puyo

**Tabla 18-1:** Información geográfica del Cantón Pastaza

<b>Provincia</b>	Pastaza
<b>Parroquia</b>	Puyo (cabecera cantonal y capital provincial)
<b>Población</b>	62016 habitantes (CENSO 2010)
<b>Extensión territorial</b>	19.452 Km <sup>2</sup>
<b>Altitud</b>	Las parroquias ubicadas a lo largo de todo el cantón se encuentran entre altitudes de 200 a 1800 metros sobre el nivel del mar, su cabecera cantonal y capital de provincia, Puyo, está ubicada a 950 m.s.n.m.
<b>Coordenadas geográficas</b>	Longitud: 75° 35' - 78°5' 0 Latitud: 1°20'-2°35' Sur (suroeste de la provincia)
<b>Límites provinciales</b>	<i>Norte:</i> con los cantones de Santa Clara, Arajuno y Mera. <i>Sur:</i> Perú y la provincia de Morona Santiago. <i>Este:</i> Perú. <i>Oeste:</i> provincia de Morona Santiago.

Fuente: GADMP, 2018

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018.

### **CIUDAD DE PUYO**

La ciudad es de tamaño mediano, en este momento ocupa una superficie de aproximadamente 1007.39 Ha en total lo que ocupa la parte urbana de la ciudad.

La altura promedio en el centro de la ciudad es de 950 msnm. Presentándose un desnivel de aproximadamente 60 m entre los extremos de la población.

Las coordenadas geográficas de la ciudad del Puyo en la zona central de la ciudad son: Latitud Sur 1° 35' y 2° 40', Longitud Oeste 75° 40' y 78° 10'.

El área urbana de la ciudad del Puyo tiene un relieve ligeramente ondulado, con pendientes moderadas hacia los esteros y ríos que lo atraviesan. Por encontrarse en las estribaciones de la cordillera oriental al sur del río Pastaza, en el cantón se forman microcuencas en los cauces de los ríos que forman parte de la red hídrica del Pastaza. En la cabecera cantonal, se produce el mismo fenómeno de microcuencas con el Río Puyo, que atraviesa la ciudad.

Por ser la parte baja de las estribaciones de la cordillera, existe una gran red fluvial tanto en la provincia como en el cantón; el principal río que cruza la ciudad del Puyo es el Río Puyo, que en el vocablo Kichwa significa nublado.

La red hídrica se complementa con los ríos: Shi-ripuno, Tiguiño, ambos tributarios del Cononaco; la cuenca del Pastaza, ríos Pindoyacu y Conamo, afluentes del Tigre, río Bobonaza entre otros.

Al interior del cantón son importantes las cuencas de los ríos Arajuno, Curaray, Villano Corrientes y Copataza. (Guzmán, 2017)

#### *1.2.1.2 Descripción Física del Cantón*

- *Clima*

El Cantón Pastaza ubicado en las estribaciones de la cordillera central y por la influencia de la llanura oriental, tiene un clima tropical húmedo con un alto nivel de pluviosidad.

- *Temperatura*

Las temperaturas máximas registradas alcanzan los 31.0 °C y las mínimas 8,6 °C, registrándose un promedio de 20,3 °C. La evapotranspiración potencial es menor que la precipitación por lo cual no existen meses secos, teniendo una humedad atmosférica promedio anual del 89%.

Por las condiciones climáticas existe una gran presencia de nubes por lo que la heliofanía promedio es del 23%. (INAMHI, 2018)

- *Pluviosidad*

Es una zona de gran precipitación pluvial y humedad presente a lo largo de todo el año, la precipitación varía entre los 2.000 mm al occidente, en la parte de las estribaciones de la cordillera oriental y, alrededor de los 4.700 mm en la llanura amazónica, con un promedio de 4538 mm anuales. Los meses húmedos, en los que se registra lluvias frecuentes, son diciembre, enero, febrero, marzo, abril y hasta los primeros días del mes de mayo. (GADMP, 2010, p. 219)



- *Humedad relativa*

Con relación a la humedad atmosférica relativa, en las partes altas esta se acerca al 100%, mientras que en las partes más bajas es del orden del 85%, a la vez que la mínima absoluta es del 41%, según registros del Puyo. (GADMP, 2010, p. 219)

- *Hidrogeología*

Por ser la parte baja de las estribaciones de la cordillera, existe una gran red fluvial tanto en la provincia como en el cantón; el principal río que cruza la ciudad del Puyo es el Río Puyo.

La red hídrica se complementa con los ríos: Shi- ripuno, Tiguiño, ambos tributarios del Cononaco; la cuenca del Pastaza, ríos Pindoyacu y Conamo, afluentes del Tigre, río Bobonaza entre otros. Al interior del cantón son importantes las cuencas de los ríos Arajuno, Curaray, Villano Corrientes y Copataza. (GADMP, 2010, p. 219)

### 1.2.1.3 Demografía

La población total del Cantón Pastaza según el censo 2010 es de 62.016 habitantes. (INEC, 2017)

**Tabla 19-1.** Distribución de la población del Cantón Pastaza por Parroquias

PARROQUIA	HOMBRES	MUJERES	TOTAL
Puyo	17 979	18 680	36 659
Canelos	1 096	1 077	2 173
Diez de Agosto	606	538	1 144
Fátima	447	416	863
Montalvo (Andoas)	2 019	1 830	3 849
Pomona	131	106	237
Río Corrientes	111	124	235
Río Tigre	339	317	656
Sarayacu	1 271	1.285	2 556
Simón Bolívar	2 817	2 865	5 682
Tarqui	1 963	1 868	3 831
Teniente Hugo Ortiz	553	495	1 048
Veracruz (Indillama)	906	852	1 758
El Triunfo	685	640	1 325
<b>TOTAL:</b>	<b>30 923</b>	<b>31 093</b>	<b>62 016</b>

Fuente: INEC, Censo 2010

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018.

#### *1.2.1.4 Etnias y organizaciones sociales*

De acuerdo a la información del SIISE, para el cantón Pastaza, el porcentaje de población indígena es el 33% y el porcentaje de población negra es el 1%, siendo la población mestiza la de mayor incidencia en la ciudad con un 60%.

Como se puede apreciar, se registra un porcentaje considerable de población indígena; la población es una mezcla de razas originadas desde el inicio de la república, en el siguiente cuadro se puede observar los resultados del último censo.

El porcentaje de comunidades indígenas es importante ya que en la zona de estudio se cuenta con las siguientes nacionalidades indígenas:(Guzmán, 2017)

- Kichwa
- Shuar
- Achuar
- Shiwiar
- Zarapa
- Huaorani
- Andoa

#### *1.2.1.5 Descripción socioeconómica*

Las actividades socioeconómicas influyen en la posterior producción de residuos, tanto por que pueden aumentar su cantidad como modificar su composición. Núcleos con predominancia económica agrícola suelen producir mayor cantidad de residuos orgánicos.

- *Áreas de actividad y ocupación*

Entre las actividades económicas del cantón Pastaza tenemos que un tercio de la población económicamente activa se dedica a actividades agrícolas, el sector de comercio, restaurantes y hoteles, por lo que la región del Puyo constituye uno de los centros de referencia turística de la Amazonía ecuatoriana.

La PEA rural del cantón está relacionada con actividades agropecuarias. En esta área existe otro sector importante en la generación de empleo que es el de servicios comunales, sociales y personales, una predominancia de la agricultura y la ganadería, en menor medida el comercio y la manufactura. Los servicios públicos y nuevos yacimientos de empleo en las áreas de la telefonía, computación han experimentado un importante auge en los últimos años.

Las principales actividades económicas del Cantón son la agricultura, la ganadería la producción de madera contrachapada, té, caña de azúcar, naranjilla, café, yuca licores y artesanías. (Guzmán, 2017)

- *Turismo*

El turismo ecológico y de aventura son fuentes de ingreso para el cantón; según información de la oficina de Turismo del Municipio, se estima que en cada feriado vacacional ingresan a la ciudad más de 830 vehículos y el número de turistas puede superar los 5.000 en ese mismo período. (GADMP, 2010)

### ***1.2.2 Relleno Sanitario de Puyo***

El relleno Sanitario propiedad del Municipio de Pastaza ha venido funcionando como botadero controlado por más de 18 años llegando a ocupar un superficie de 2,5 Ha, en el cual además se encuentra construidas otras instalaciones que facilitan el manejo integral de residuos sólidos.

Está a cargo del Departamento de Higiene y Salubridad del GADM Pastaza conjuntamente con el Departamento de Gestión Ambiental; estos departamentos se encargan de dar seguimiento y control al servicio de recolección, transporte y disposición final de desechos sólidos peligrosos y no peligrosos. (Guzmán, 2017)

En cuanto a las características topográficas el terreno es ondulado con desniveles que promedian los 5 metros desde la cota 980 msnm hasta la cota 975 msnm en promedio. La pendiente del terreno es moderada. (Guzmán, 2017)

El área ocupada en el relleno es de 15 hectáreas aproximadamente sin incluir caminos e infraestructura. El tiempo útil de vida del sitio no pasa de 30 años. (Guzmán, 2017)

#### ***1.2.2.1 Descripción general del área de estudio.***

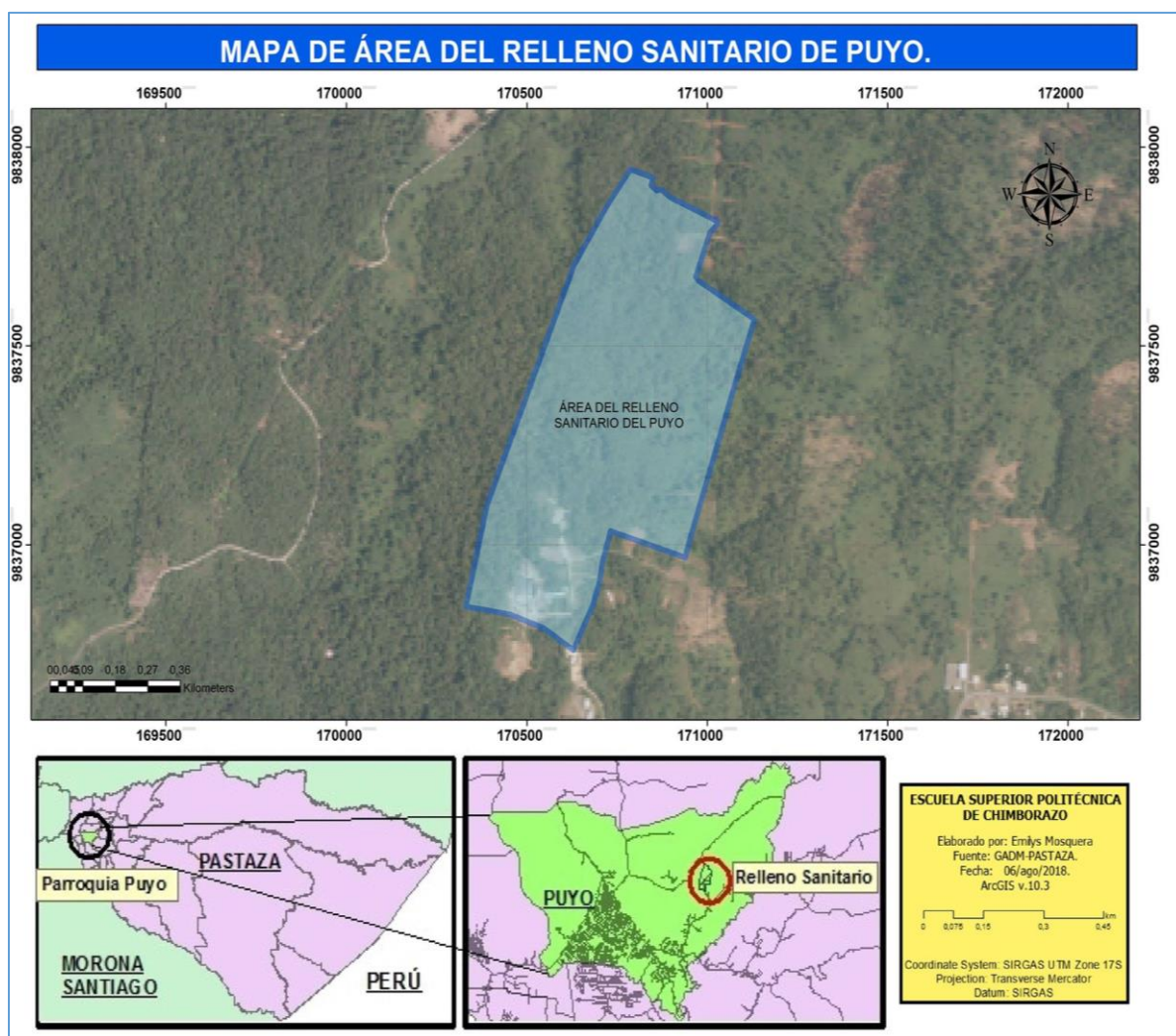
El relleno Sanitario del Cantón Pastaza se encuentra ubicado al Este de la Ciudad de Puyo, dentro de un lote de aproximadamente 46 ha, perteneciente al Municipio de Pastaza, se localiza en el km 7 de la vía Puyo -10 de agosto, Sector de la “10 de Agosto”,

Las coordenadas geográficas se presentan en la siguiente Tabla.

**Tabla 20-1:** Coordenadas Geográficas del Relleno Sanitario del Cantón Pastaza

PUNTO	ESTE	NORTE
1	838555	9837944
2	838796	9837867
3	838761	9837714
4	838943	9837644
5	838894	9837025
6	838659	9837073
7	838636	9836810
8	838618	9836758
9	838358	9836804
10	838339	9837000
11	838434	9837531

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018.



**Figura 14-1:** Mapa de ubicación del Relleno Sanitario de Puyo  
Realizado por: Emilys Mosquera, 2018

### 1.2.2.2 Análisis de la Demanda del servicio

El Relleno Sanitario del Cantón Pastaza presta los servicios de recolección a la población urbana del mismo, la cual está conformada por las Cabeceras parroquiales Urbanas: Puyo, Fátima, Tarqui, Veracruz, Pomona, Simón Bolívar, Canelos, 10 de Agosto, El Triunfo, Teniente Hugo Ortiz. A partir de los datos del último censo realizado en el país el relleno sanitario sirve a una población de 37.938 habitantes (INEC 2010). La población base beneficiaria del servicio de recolección de residuos sólidos es de 58.814 y el servicio de recolección cubre aproximadamente el 96% de la población. (Guzmán, 2017)

### 1.2.2.3 Rutas de recolección.

El Municipio de Pastaza actualmente se encuentra trabajando con las siguientes rutas de recolección, mencionada en la siguiente tabla.

**Tabla 21-1:** Rutas de Recolección de basura del Cantón Pastaza

<b>RUTAS</b>
RUTA 1 OBRERO
RUTA 2 CUMANDÁ
RUTA 3 EL RECREO
RUTA 4 LA MERCED
RUTA 5 PARROQUIAS
RUTA 6 CENTRO (NOCTURNA)
RUTA 7 CENTRO AGRÍCOLA

**Fuente:** Departamento de Higiene y Salubridad del GADM de Pastaza, 2016.

**Realizado por:** Emilys Mosquera, 2018.

**Tabla 22-1.** Horarios y Rutas de Recolección en barrios y sectores de la ciudad de Puyo

<b>RUTAS</b>	<b>BARRIOS/SECTORES</b>	<b>DÍAS</b>	<b>HORA</b>
Todas	Mariscal, La Isla, Obrero, Nuevos horizontes, Terminal, Libertad, Las Palmas.	Lunes a Domingo	06H30
Todas	Ciudadela Chofer, El Recreo, Picolino, Camal, Parque Acuático, Cumanda, Intipungo, El Dorado Sector Instituto Orellana.	Lunes a Domingo	07H30
Todas	Sto Domingo, Coop. Eloy Alfaro 1, Coop. Sucre, Coop. Galo Plaza, Miraflores, El Dorado Sector Hospital Militar, Vasconez Sevilla.	Lunes a Domingo	08H30




Todas	El Dorado Sector Arboriente, Av. Alberto Zambrano Picolino - Redondel, La Merced, Coop. Eloy Alfaro 2, los Angeles, La Union, Juan Montalvo, Hospital Puyo, vía Tarqui.	Lunes a Domingo	09H30
Todas	México, 12 de mayo, Calle Ceslao Marín, Calle Atahualpa	Lunes a Domingo	18H15

Fuente: Departamento de Higiene y Salubridad del GADM de Pastaza, 2016.

Elaborado por: Emilys Mosquera, 2018.

#### 1.2.2.4 Instalaciones del Relleno Sanitario

**Tabla 23-1:** Áreas del Relleno Sanitario

ÁREA	DESCRIPCIÓN	FOTOGRAFÍA Realizado por: Emilys Mosquera, 2018.
<b>Hangares para acumulación de material no reciclable y/o tecnológico</b>	En este sitio se almacenan residuos inorgánicos que no pueden ser reciclados.	 <p><b>Fotografía 1-1:</b> Hangares</p>
<b>Garita de guardianía</b>	Control de seguridad y registros de entradas y salidas de vehículos. Control de procesos de pesaje de desechos sólidos peligrosos y no peligrosos	 <p><b>Fotografía 2-1:</b> Garita</p>
<b>Oficinas</b>	Sirve para llevar el registro, bitácoras, control de residuos .No presenta las condiciones para desarrollar las actividades con normalidad, ingreso de agentes infecciosos como moscas, sancudos roedores con facilidad.	 <p><b>Fotografía 3-1:</b> Oficinas.</p>

<p><b>Mecánica</b></p>	<p>Lugar en el cual los obreros municipales elaboran basureros metálicos, canastillas para recolección de botellas plásticas.</p> <p>Mal estado, necesita mayor espacio, la ubicación pone en riesgo laboral al personal de oficinas por salud con respecto a ruido.</p>	 <p><b>Fotografía 4-1: Mecánica</b></p>
<p><b>Espacio para alojamiento de Perros exiliados o callejeros</b></p>	<p>Sitio en donde se acogen animales caninos que no tienen propietarios, de acuerdo a la actual ordenanza del GADMP</p> <p>En buen estado, presta las condiciones para asilar animales por periodos determinados</p>	 <p><b>Fotografía 5-1: Perrera</b></p>
<p><b>Área de descanso y consumo de alimentos</b></p>	<p>Sitio en donde los mineros preparan sus alimentos para servirse y descanso. Condiciones regulares, necesita restauración y para su ingreso se necesita llaves para lavado de Calzado y cal en un recipiente para controlar vectores infecciosos</p>	 <p><b>Fotografía 6-1: área de descanso</b></p>
<p><b>Área de descanso de personal jornalero como minero</b></p>	<p>Lugar donde los trabajadores pueden descansar en momentos libres.</p> <p>No presta las condiciones, está demasiado cerca de la celda, malos olores y exceso de moscas, no apto para su uso.</p>	 <p><b>Fotografía 7-1: área de jornaleros</b></p>

<p><b>Área de separación de residuos - Mineros- Clasificadores</b></p>	<p>Lugar en donde se realiza la separación de los materiales reciclajes para su posterior venta. Los trabajadores pertenecientes al GAD almacenan los materiales reciclados a pesar de que el lugar no presta las condiciones de vida favorables para el desarrollo de estas actividades, alto riesgo de infecciones virales como bacterianas.</p>	 <p><b>Fotografía 8-1:</b> Separación de residuos</p>
<p><b>Área de pesaje (Báscula)</b></p>	<p>Utilizada para pesar los camiones recolectores tanto de residuos no peligrosos como peligrosos. En buen estado suficiente espacio para pesar los vehículos.</p>	 <p><b>Fotografía 9-1:</b> Báscula</p>
<p><b>Área de Compostaje</b></p>	<p>Lugar donde se elabora abono orgánico con personal municipal capacitado, trabajo que se lo realiza con herramientas manuales. El abono es destinado para las comunidades o para proyectos de siembra de cultivos realizados por el municipio.</p>	 <p><b>Fotografía 10-1:</b> Área de compostaje</p>

Fuente: Relleno Sanitario de Puyo, 2018  
Elaborado por: Emilys Mosquera, 2018.



#### 1.2.2.5 Descripción del Medio físico

- **Geología:** No se presenta accidentes geográficos de importancia, por lo general el área de intervención es relativamente plana, con pendientes menores a los 30°C, que pueden ser controlados, y aprovechar el material de cobertura o utilizados para minimizar costos en la excavación de nuevas celdas. Además de esto se debe mencionar que la topografía en el sector es regular con pendientes no mayores a los 30°. (Guzmán, 2017)
- **Topografía:** El suelo es plano, se encuentra localizado en la parte sur occidental de la provincia de Pastaza entre las poblaciones de 10 de Agosto y Puyo en el margen izquierda de donde se van implantar las estructuras existe una quebrada que no afecta en dichas construcciones. (Guzmán, 2017)
- **Estratigrafía:** El suelo está conformado por arcilla color amarillento cuya compresibilidad varía con la profundidad de media a alta. (Guzmán, 2017)
- **Sismicidad:** El lugar de estudio tiene un Riesgo Sísmico 3B y corresponde a un Riesgo *Moderado*. (Guzmán, 2017)
- **Volcanismo:** En el área del proyecto se tiene la influencia directa del volcán Tungurahua con un riesgo bajo de afectación al lugar, principalmente por caída de ceniza; y del volcán Sangay en la Cordillera Oriental, con un riesgo de afección muy bajo. (Guzmán, 2017)
- **Geotecnia:** En el área de estudio se tiene la presencia de suelos finos blandos a poco consistentes, predominante cohesivo y desleznables; presentan desprendimientos y caída de bloques sueltos. El área de influencia directa tiene una calidad geotécnica de Regular a Buena.

Las características principales de esta zona son las siguientes: Los taludes se presentan estables (taludes naturales) y medianamente estables (taludes producto del corte para trincheras y accesos).

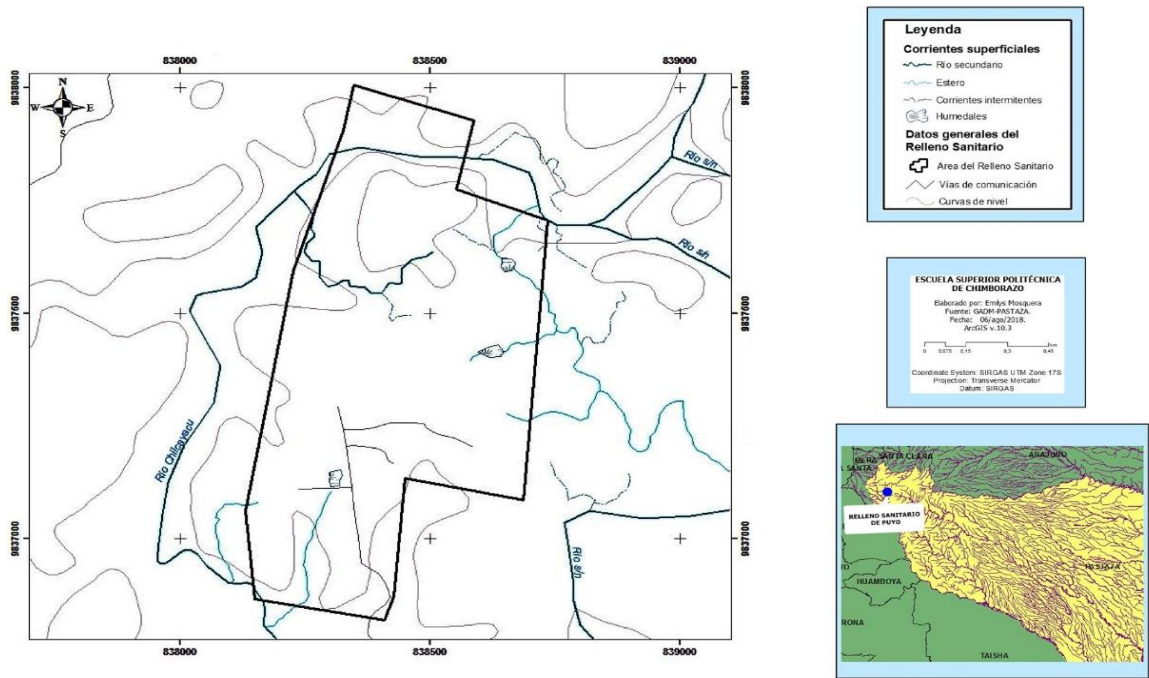
En este tipo de terrenos se presentan básicamente fenómenos erosivos de mediana a baja intensidad que pueden ser mitigados con métodos de revegetación y control de drenaje. (Guzmán, 2017)

- **Geomorfología:** La zona en estudio corresponde a la denominada Amazonía Periandina. La unidad geomorfológica se denomina Piedemontes, se presenta como pequeñas colinas convexas o en ondulaciones suaves según la profundidad de la meteorización; las zonas menos disectadas sufren de un drenaje insuficiente. (Guzmán, 2017)
- **Suelos:** Los suelos desarrollados sobre cenizas meteorizadas son andosoles hidratados profundos.

En zonas en donde los colonos han ocupado las partes bajas y planas y han cambiado el uso del suelo de bosque a pastoral casi ha desaparecido el horizonte orgánico y sus potencialidades de intercambio indispensables en la reconversión de los nutrientes. (Guzmán, 2017)

- **Subsuelo:** Se caracteriza por ser de baja compresibilidad en sus dos primeros metros de profundidad para ir aumentando hasta llegar a los 6,50 m y que se lo conoce en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), como limo arenoso (ML) de mediana compresibilidad color amarillento. (Guzmán, 2017)
- **Hidrología:** No se encuentran indicios de fuentes naturales de agua, a excepción del estero Chilcayacu que pasa cerca al área de estudio. (Guzmán, 2017)

## HIDROLOGÍA DEL RELLENO SANITARIO DE PUYO



**Figura 15-1:** Mapa hidrológico del relleno sanitario de Puyo  
 Realizado por: Emilsy Mosquera, 2018.

### 1.2.2.6 Medio Biótico

La zona de estudio se encuentran en el piso zoogeográfico Tropical Oriental que incluye dos formaciones ecológicas: el Bosque Húmedo Tropical y el Bosque Muy Húmedo Tropical (Albuja et al., 1997). Según Cañadas (1983), la zona de estudio pertenece al Bosque Húmedo Tropical.

Según Sierra (1999) la formación vegetal de la zona de estudio se encuentra representado por una transición entre Bosque siempreverde de tierras bajas colinados y Bosque siempreverde piemontano.

Es importante mencionar que la zona de estudio se encuentra alterada casi en su totalidad (pastizales), presentando pequeños parches de bosque intervenido secundario.

Ninguna de las especies registradas se encuentra amenazadas.

- *Fauna*

Las especies más representativas registradas en el área se presentan a continuación, donde se describe: los nombres comunes, familias y el grado de abundancia.

**Tabla 24-1:** Especies de mamíferos registradas en Relleno Sanitario de Puyo

ORDEN	FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	GRADO DE ABUNDANCIA
Chiroptera	Phyllostomidae	<i>Artibeus litaratus</i>	Murciélago tuta pishcu	Poco común
Chiroptera	Phyllostomidae	<i>Artibeus sp.</i>	Murciélago tuta pishcu	Común
Chiroptera	Phyllostomidae	<i>Carollia sp.</i>	Murciélago frutero	Común
Chiroptera	Phyllostomidae	<i>Anoura caudifer</i>	Murciélago longirostro	Común
Rodentia	Sciuridae	<i>Sciurus sp.</i>	Ardilla	Poco común
Rodentia	Dasyproctidae	<i>Dasyprocta fuliginosa</i>	Guatusa	Poco común
Rodentia	Muridae	<i>Oryzomys sp.</i>	Ratón arrozalero	Poco común
Edentata	Dasypodidae	<i>Dasybus novemcinctus</i>	Armadillo	Común
Lagomorpha	Leporidae	<i>Sylvilagus brasiliensis</i>	Conejo	Abundante

**NOTA:** Ninguna de las especies de mamíferos registradas fue rara.

Los pobladores de zonas aledañas, realizan cacería de determinados mamíferos, los mismos que son utilizados como fuente de alimentación, así por ejemplo, guatusas, conejos, etc.

**Fuente:** GADMP, 2018

**Realizado por:** Emilys Mosquera, 2018.

**Tabla 25-1:** Especies de aves registradas en Relleno Sanitario de Puyo

ORDEN	FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	GRADO DE ABUNDANCIA
Ciconiformes	Cathartidae	<i>Cathartes aura</i>		Abundante
Falconiformes	Falconidae	<i>buteo magnirostris</i>	Gavilán	Rara
Psittaciformes	Psittacidae	<i>Pionus sp.</i>	Loro cabeciazul	Abundante
Apodiformes	Trochilidae	<i>Thalurania furcata</i>		Común
Cuculiformes	Cuculidae	<i>Crotophaga ani</i>	Garrapatero	Abundante
Passeriformes	Formicariidae	<i>Formicarius analis</i>	Formicario carinegro	Común
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Elaenia flavogaster</i>	Elenia penachuda	Poco común
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Mionectes sp.</i>	Mosquerito	Común
Passeriformes	Thraupidae	<i>euphonia xanthogaster</i>	Sigcha tigrilla	Poco común
Passeriformes	Thraupidae	<i>Tangara punctata</i>	Tangara punteada	Común
Passeriformes	Cardinalidae	<i>Saltator maximus</i>	Saltador	Común
Passeriformes	Icteridae	<i>Psarocolius sp.</i>		Poco común
Passeriformes	Icteridae	<i>Psarocolius decumanus</i>		Abundante
Passeriformes	Icteridae	<i>Cacicus cela</i>		Abundante
Piciformes	Picidae	<i>campephilus sp.</i>	Carpintero	Rara

**NOTA:** En la zona de estudio y áreas circundantes se registró especies colonizadoras de ambientes alterados, como el garrapatero, que es indicador de ambientes perturbados.

Los pobladores de zonas aledañas, realizan cacerías esporádicas de subsistencia, teniendo preferencia por especies medianas y grandes.

Fuente: GADMP, 2018

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018.

**Tabla 26-1:** Especies de anfibios y reptiles registradas en Relleno Sanitario de Puyo

ORDEN	FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	G.DE ABUNDANCIA
Anura	Bufo	<i>Bufo marinus</i>	Sapo	Abundante
Anura	Bufo	<i>Bufo margaritifera</i>	Sapo	Abundante
Anura	Bufo	<i>Rhizophryne festae</i>	Sapo	Poco común
Anura	Hyla	<i>Hyla granosa</i>	Sapo	Común
Anura	Hyla	<i>Hyla triangulum</i>	Sapo	Común
Anura	Hyla	<i>Scinax sp.</i>	Sapo	Común
Anura	Leptodactylidae	<i>Eleutherodactylus sp.</i>	Sapo	Poco común
Anura	Leptodactylidae	<i>Eleutherodactylus sp.</i>	Sapo	Poco común
Sauria	Gymnophthalmidae	<i>Leoposoma apriétale</i>	Lagartija	Poco común
Sauria	Polychrotidae	<i>Anolis sp.</i>	Lagartija	Poco común
Serpentes	Colubridae	<i>Oeyrhopus sp.</i>	Culebra	Rara
Serpentes	Viperidae	<i>Bothrops sp.</i>	Equis	Rara

**NOTA:** solo 2 especies fueron registradas como raras la culebra *Oeyrhopus sp.* y la equis *Bothrops sp.*

Fuente: GADMP, 2018

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018.

**Tabla 27-1** Especies de peces registradas en Relleno Sanitario de Puyo

Familia	Nombre científico	Nombre común	Grado de abundancia
Characidae	<i>Astyanax sp.</i>	Sardinita	Abundante
Characidae	<i>Brycon sp.</i>	Sardina	Abundante
Loricariidae	<i>Ancistrus sp.</i>	Raspabalsa	Rara

**Nota:** 2 especies de la familia *Characidae* fueron registradas como Abundante y el raspabalsa *Ancistrus sp.*, como especie rara.

La pesca de subsistencia es el principal uso que las comunidades locales realizan sobre la ictiofauna

Fuente: GADMP, 2018

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018.

- *Flora*

En la zona de estudio se registró 23 especies, de 17 géneros, pertenecientes a 14 familias, siendo las familias más representativas Euphorbiaceae y Heliconiaceae.

**Tabla 28-1:** Especies vegetales registradas en Relleno Sanitario de Puyo

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE LOCAL	USO
Euphorbiaceae	<i>Acalypha salicifolia</i>	Yacu cuillis	
Euphorbiaceae	<i>Acalypha stachyura</i>	Shicshi coliche	Leña
Euphorbiaceae	<i>Alchornea triplinervia</i>	Punci yurac	
Bromeliaceae	<i>Aechmea tessmannii</i>	Sacha chivilla	
Lauraceae	<i>Aniba muca</i>	Quilla ishpingo	Maderable
Poaceae	<i>Pennisetum purpureum</i>	Pasto	Alimento
Flacourtiaceae	<i>Casearia combaymensis</i>	Chichico caspi	
Mimosaceae	<i>Calliandra trinervia</i>	Panga vaca	
Rubiaceae	<i>Coussarea pilosiflora</i>	Pava muyo	
Rubiaceae	<i>Palicourea lasiantha</i>	Mendal roya	
Orchidaceae	<i>Sobralia rosea</i>	Rumi sisa	
Heliconiaceae	<i>Heliconia obscura</i>	Cachu	Ornamental
Heliconiaceae	<i>Heliconia rostrata</i>	Ñachi	Ornamental
Heliconiaceae	<i>Heliconia sp.</i>	Pari	
Araceae	<i>Anthurium lancea</i>	Urdu	
Araceae	<i>Anthurium mindense</i>	Urcu lalo	
Marantaceae	<i>Stromanthe stromanthoides</i>	Llaqui	
Marantaceae	<i>Calathea nodosa</i>	Rumi	
Cecropiaceae	<i>Cecropia montana</i>	Urcu dundo	Maderable
Cyatheaceae	<i>Cyathea pungena</i>		
Cyatheaceae	<i>Cyathea tortuosa</i>		
Arecaceae	<i>Ceonoma sp.</i>	Urcu chunda	Maderable
Arecaceae	<i>Iriarte sp.</i>	Pushihua	Maderable

Fuente: GADMP, 2018

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018.

### 1.2.2.7 Actividad de reciclaje y compostaje

En el lugar existe una asociación de recicladores llamada “El Sol sale para todos”. Estas personas se dedican al reciclaje principalmente de productos como: cartón, plástico, chatarra entre otros. En el sitio de disposición final trabajan 16 personas en labores de reciclaje y laboran de lunes a sábado.

En cuanto a la basura orgánica, esta es utilizada para la realización de compostaje en un área destinada para este uso dentro del mismo relleno sanitario. Las personas que se dedican a esta actividad cuentan con el asesoramiento técnico del Municipio para llevar a cabo este proceso y obtener un compost de buena calidad.



**Fotografía 11-1:** Pilas de compostaje  
Realizado por: Emilys Mosquera, 2018.



**Fotografía 12-1:** empacado y almacenamiento de compost  
Realizado por: Emilys Mosquera, 2018.

### 1.2.2.8 Situación ambiental actual.

El relleno sanitario no presenta un manejo ambiental adecuado debido a las situaciones expuestas a continuación:

- A simple vista se observa una gran cantidad de gallinazos y moscas que son vectores de contaminación y transmisión de enfermedades para las personas que laboran en el lugar. Esto se debe a que no existe un buen manejo de las celdas, pues la basura no se cubre en su totalidad y se desborda provocando la diseminación de la misma por parte de los gallinazos.



**Fotografía 13-1:** Vectores de contaminación en el Relleno Sanitario de Puyo  
**Realizado por:** Emilys Mosquera, 2018.

- Mal olor en las celdas y sus alrededores a causa de la basura mal cubierta y diseminada por los vectores.
- Uno de los problemas también identificados en el vertedero de desechos sólidos, es el abandono de ciertas áreas, y no se evidencia el tratamiento ni recuperación de áreas verdes, lo que contribuye a un mayor proceso de erosión de las celdas en temporadas de precipitaciones altas.
- Contaminación del estero Chilcayacu debido al mal tratamiento de los lixiviados en la planta de tratamiento actual. Los lixiviados se vierten al estero sin cumplir los parámetros permisibles para la descarga a un cuerpo de agua dulce. Se puede afirmar esta situación debido a que el olor de las plantas de tratamiento de lixiviados son fuertes y el color del efluente es casi similar a su condición inicial.



**Fotografía 14-1:** Descarga de lixiviados al Río Chilcayacu  
**Realizado por:** Emilys Mosquera, 2018.

- La planta de tratamiento de lixiviados actual no presenta un diseño adecuado para tratar todo el caudal, aparte de que se evidencia un mal mantenimiento de sus instalaciones. En épocas de precipitaciones altas los lixiviados se desbordan y contaminan directamente el agua y el suelo.



**Fotografía 15-1:** Almacenamiento de lixiviado crudo  
Realizado por: Emilys Mosquera, 2018.

#### 1.2.2.9 Área de influencia del relleno sanitario de la ciudad del Puyo

- *Área de Influencia Directa*

El área de influencia directa constituye todo es el espacio físico, en cuya superficie se produce una alteración por la acción directa del proyecto. En este caso el radio de influencia directa viene a constituirse por las 45 ha. de terreno del Relleno Sanitario de Puyo.

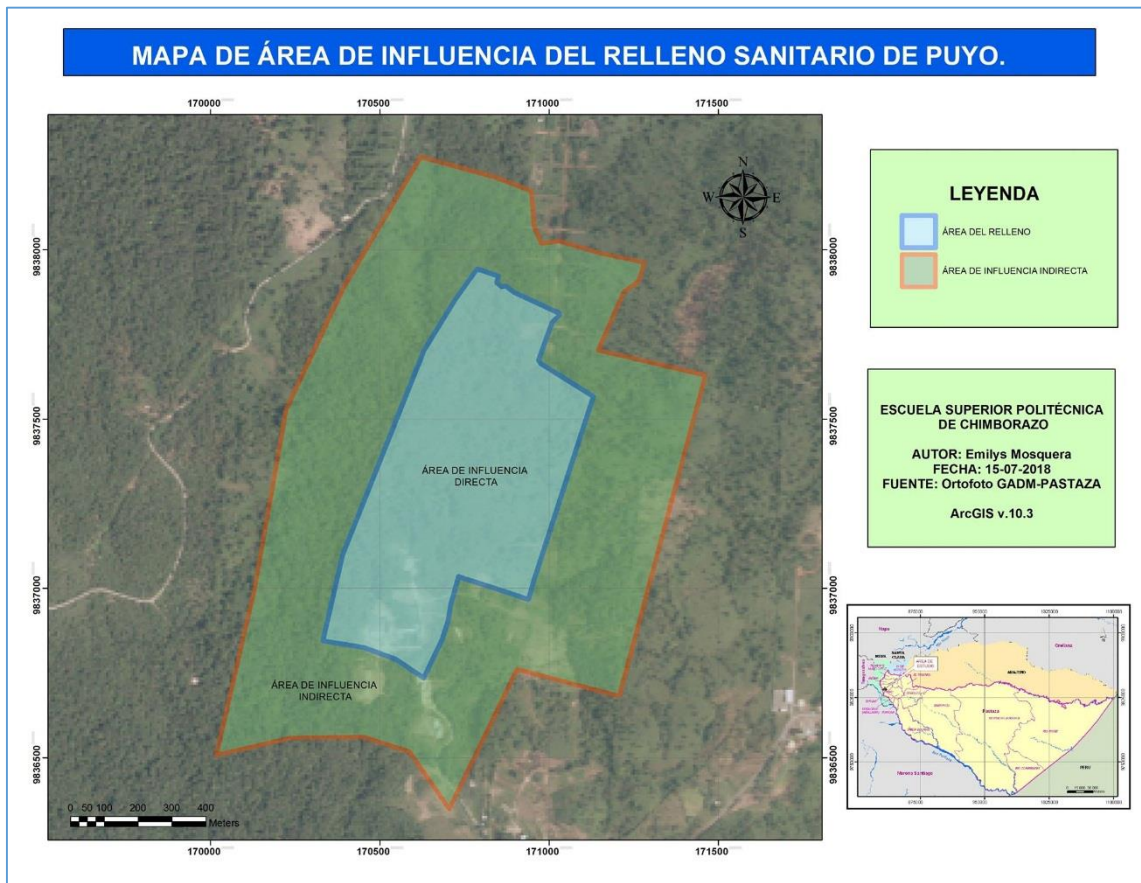
- *Área de Influencia Indirecta*

El área de influencia indirecta se refiere a los sitios adyacentes a la zona de influencia directa, considera una distancia de 500 m a la redonda. Esta área se la ha determinado tomando en cuenta la dinámica de las poblaciones de vectores propagadores de infecciones como son aves, ratas y mosquitos presentes en la basura mal manejada y el resultado es que las partes más afectadas son las fincas presentes en la periferia del relleno y por ende influye en las actividades agropecuarias que se realizan en el sector, así como en la calidad de vida de sus pobladores.

- *Áreas Ambientales Sensibles*

El conjunto y estado actual de los componentes ambientales inmersos en el radio de influencia y analizados en la línea base, han permitido determinar como elementos sensibles al suelo, componente socio económico y principalmente al agua.





**Figura 16-1:** Área de influencia directa e indirecta del relleno sanitario de Puyo  
**Realizado por:** Emilys Mosquera, 2018

## CAPITULO II

### 2. PARTE EXPERIMENTAL

#### 2.1 Muestreo

##### 2.1.1 Localización del proyecto

La investigación acerca del Diseño del sistema de tratamiento de lixiviados para la celda emergente del Relleno Sanitario del Municipio de Pastaza se desarrolla en el Sector de la “Diez de Agosto”, ciudad de Puyo, en las Instalaciones del Relleno Sanitario.

##### 2.1.2 Métodos y técnicas

**Tabla 1-2:** Metodología de trabajo

PARÁMETRO	FUNDAMENTO	TÉCNICA
<i>Obtención de información bibliográfica</i>	La información bibliográfica es necesaria para conocer y evaluar la situación actual del medio en que se va a desarrollar alguna idea o proyecto.	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>Observación en campo:</b> Se recurre a la observación directa del área de investigación, en este caso se verifica el estado del relleno sanitario, las operaciones, potenciales impactos y hallazgos ambientales.</li> <li><b>Investigación documental:</b> Referida a la consulta de documentos como libros, periódicos, revistas, estudios previos, normas ambientales, ordenanzas, etc. Su objetivo es recopilar y analizar documentos para luego comparar. Recurrir al Departamento de Higiene y salubridad del GADMP. Solicitar información al INANHI.</li> </ol>
<i>Caracterización de los Residuos sólidos</i>	Este parámetro es fundamental para la toma de decisiones en lo que se refiere a proyección y diseño	<p><b>Según el método de composición física en base húmeda CEPIS/OPS.</b></p> <p>Tiempo de muestreo: 8 días consecutivos.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Se toma una muestra aproximada de 1 m<sup>3</sup> y se la coloca en un lugar despejado.</li> </ol>

	de los sistemas de manejo y disposición final de los desechos sólidos.	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. Se abren las fundas y se trocea la basura hasta conseguir un tamaño de 15x15 cm o menos.</li> <li>3. Se homogeniza toda la muestra.</li> <li>4. El montón se divide en cuatro partes y se toma dos opuestas para formar otro montón pequeño representativo de muestro. La muestra menor se vuelve a mezclar y se divide en cuatro partes, se eligen dos partes opuestas y se forma otra muestra más pequeña. Esta acción se repite hasta alcanzar una muestra de 50 Kg de basura o menos.</li> </ol>
<b>Densidad de los residuos sólidos</b>	<p>Habitualmente, la composición, cantidad y densidad de la basura depositadas en relleno son incomparables a las de la basura generada debido a la activa recuperación de materiales y a la compactación y esponjamiento que se da en el transcurso de la gestión de basura. Por ejemplo, la densidad de basura se altera en cada fase de manejo. (CEPIS &amp; OPS, 2000) Ver tabla 1-2.</p>	<p>Tiempo de muestreo: 1 semana consecutiva; se siguió la metodología establecida por la (CEPIS &amp; OPS, 2000) para una etapa A, B o C:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se prepara un recipiente de alrededor de 100 litros que servirá para el muestreo y una balanza.</li> <li>2. Se pesa el recipiente y se mide su volumen.</li> <li>3. Se coloca la basura en el recipiente sin hacer presión y se remece de tal forma que se ocupen todos los espacios vacíos del tanque</li> <li>4. Nota: Para la densidad compacta se realiza el mismo procedimiento antes mencionado con la diferencia que se aplasta la basura y se mide su altura.</li> <li>5. Una vez lleno pesamos y por diferencia se obtiene el peso de la basura</li> <li>6. Se calcula la densidad de la basura al dividir su peso entre el volumen del recipiente, como lo indica la siguiente ecuación:</li> </ol> $\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso basura (kg)}}{\text{Volumen recipiente (m}^3\text{)}} \text{ Ecuacion 34}$ <p><i>Características del tanque de metal</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso del tanque = 12.5 kg</li> <li>• Diámetro= 0,56 m</li> <li>• Radio= 0,28 m</li> <li>• Altura tanque= 0,9 m</li> <li>• Volumen tanque= 0,22 m<sup>3</sup></li> </ul>
<b>Producción per cápita</b>	Es un cálculo que se realiza para determinar el promedio de generación de	<p>Tiempo de muestreo: 1 semana consecutiva.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fuente de datos: Ruta de recolección planificada por el Departamento de Residuos Sólidos del GADMP.</li> <li>2. Registrar el peso de los camiones recolectores marcado por la báscula en área de pesaje.</li> </ol>

	residuos de un lugar específico.	<p>3. Repetir el procedimiento anterior para cada una de las rutas de recolección.</p> <p>4. Emplear la fórmula expresada por (Jaramillo, 2017): <i>Ecuación 35</i>.</p> $PPC = \frac{DSr \text{ en una semana}}{Pob \times 7 \times Cob}$ <p><b>Donde:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>PPC</b>= Producción per cápita (kg/hab.día)</li> <li>• <b>DSr</b>= Cantidad de Residuos Sólidos recolectados en una semana (kg/sem)</li> <li>• <b>Pob</b>= Población actual (hab.)</li> <li>• <b>7</b>= días de la semana (día)</li> <li>• <b>Cob</b>= cobertura del servicio de recolección (%)</li> </ul>
<i>Caracterización de Lixiviados</i>		<p>Tiempo: 2 meses</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identificar el punto de entrada y de salida del lixiviado antes de la descarga al cuerpo hídrico.</li> <li>2. Tomar muestras compuestas del lixiviado por 2 meses y una muestra por semana.</li> <li>3. Realizar el análisis microbiológico: separar 100 ml de lixiviados en frascos estériles y conservar a 4 °C.</li> <li>4. Analizar cada muestra por triplicado, en base al Acuerdo Ministerial 097-A, Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.</li> <li>5. La composición de las muestras en proporción al caudal medido se realizará tomando alícuotas de volumen (Vi), utilizando la siguiente ecuación: <i>Ecuación 36</i></li> </ol> $Vi = \frac{Qt * Vtotal}{Qm * N^{\circ} muestras}$ <p><b>Donde:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Vi</b> = volumen individual de cada una de las alícuotas, en ml.</li> <li>• <b>Vt</b>= es el volumen de la muestra compuesta, ml (generalmente 3500 ml)</li> <li>• <b>Qt</b>= caudal medido al momento del muestreo de cada una de las alícuotas, l/s.</li> <li>• <b>N</b>= es el número de alícuotas individuales de que se compone la muestra.</li> <li>• <b>Qm</b>= es el caudal medio en el período de muestreo, L/s</li> </ul>
<i>Caudal de lixiviados</i>		<p style="text-align: center;"><b>Según el Método Volumétrico</b></p> <p>Tiempo: Durante una semana</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tomar un recipiente con medida.</li> <li>2. Llenar el recipiente con el lixiviado.</li> <li>3. Tomar el tiempo que tardó en llenarse el recipiente con el lixiviado.</li> <li>4. Tabular los resultados en una hoja de cálculo de Excel.</li> </ol>

		El caudal se determina mediante la fórmula establecida por la FAO: <i>Ecuación 37</i>
		$Q = \frac{\text{Volumen (m3)}}{\text{tiempo (s)}}$

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018

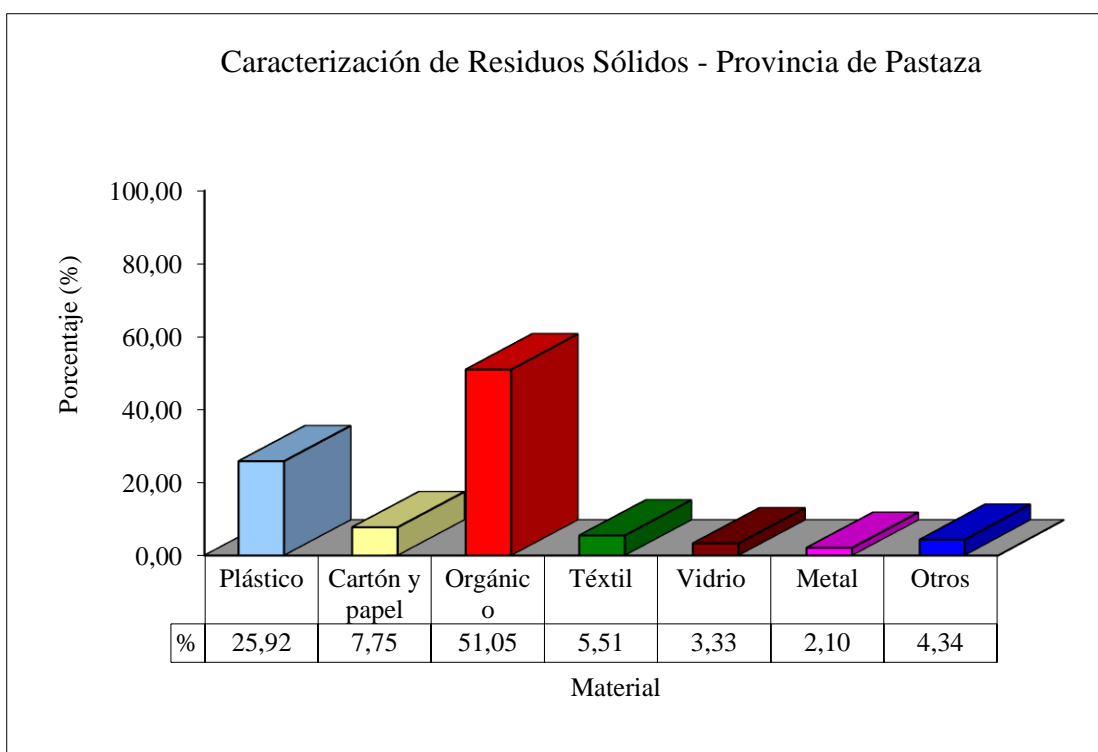
## 2.2 Datos experimentales obtenidos.

### 2.2.2 Caracterización de los RSU.

**Tabla 2-1:** Caracterización de residuos sólidos del Relleno Sanitario de la Provincia Pastaza

FECHA	19/5/2018	20/5/2018	21/5/2018	22/5/2018	23/5/2018		
MATERIAL	PESO (Kg)					PROMEDIO	PORCENTAJE (%)
Plástico	10	19	10,5	15,8	13,9	13,8	25,92
Cartón y papel	3,9	5,8	3	4,2	3,8	4,1	7,75
Orgánico	18	33,9	28,7	25,3	30,4	27,3	51,05
Téxtil	0,7	3,9	4	1,9	4,2	2,9	5,51
Vidrio	2,1	1,4	1,6	1,8	2,0	1,8	3,33
Metal	1	0,7	1,4	0,9	1,6	1,1	2,10
Otros	2,4	1,2	3	1,8	3,2	2,3	4,34
<b>TOTAL</b>	<b>38,1</b>	<b>65,9</b>	<b>52,2</b>	<b>0,9</b>	<b>0,7</b>	<b>53,4</b>	<b>100,00</b>

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018



**Gráfico 1-2:** Caracterización de residuos sólidos del Relleno Sanitario de la Provincia de Pastaza.

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018



**Fotografía: 1-2:** Aplicación del método de cuarteo en el Relleno Sanitario de Puyo  
**Realizado por:** Emilys Mosquera, 2018.



**Fotografía: 2-2:** Pesaje de cada componente encontrado en los residuos sólidos del Relleno Sanitario de Puyo  
**Realizado por:** Emilys Mosquera, 2018.

### 2.2.3 Determinación de la densidad normal y compactada

**Tabla 3-2:** Datos tomados en campo para el cálculo de la densidad normal y compactada

Día de muestreo	Peso Basura (kg)	Altura sin compactar (m)	Altura compactada (m)	Vol sin compactar (m <sup>3</sup> )	Vol compactado (m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad compactada (kg/m <sup>3</sup> )
Sábado 19/05/2018	45	0,45	0,33	0,11	0,08	406,01	553,65
Domin. 20/20/2018	66	0,67	0,44	0,17	0,11	399,95	609,01
Lunes 21/05/2018	52	0,6	0,45	0,15	0,11	351,87	469,16
Martes 22/05/2018	49	0,52	0,35	0,13	0,09	382,58	568,41
Miércoles 23/05/2018	43	0,45	0,34	0,11	0,08	387,96	513,48
Jueves 24/05/2018	64	0,62	0,5	0,15	0,12	419,10	519,69
Viernes 25/05/2018	58	0,59	0,45	0,15	0,11	399,13	523,30
Sábado 26/05/2018	54	0,53	0,4	0,13	0,10	413,67	548,11
<b>PROMEDIO</b>						<b>395,03</b>	<b>538,10</b>

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018



**Fotografía 3-2:** Determinación de la densidad compactada

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018.

## 2.2.4 Determinación de la producción per cápita PPC

**Tabla 4-2:** Datos de pesajes diarios de los RS tomados durante 1 semana

ABRIL 2018.	kg RS de cada ruta diaria							kg total RS
	RUTA 01 BARRIO OBRERO	RUTA 02 BARRIO CUMANDA	RUTA 03 BARRIO EL RECREO	RUTA 04 BARRIO LA MERCED	RUTA 05 PARROQUIAS	RUTA 06 CENTRO NOCTURNO	RUTA 07 CENTRO AGRICOLA	
DOMINGO 01	7990	5480	5890	4820	0	10270	0	34450
LUNES 02	7160	8580	8000	7960	6040	5700	3580	47020
MARTES 03	6820	5710	5210	6610	3710	6880	0	34940
MIERCOLES 04	6500	5470	5270	6250	3380	8210	0	35080
JUEVES 05	5440	7100	5170	5720	4690	7610	850	36580
VIERNES 06	7840	5760	7970	5770	4510	8820	0	40670
SABADO 07	6840	5240	4820	5320	0	8530	0	30750
DOMINGO 08	7000	5340	5600	7420	0	9490	0	34850
						<b>TOTAL (kg/semana)</b>		<b>294340</b>

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018

**Cálculo de la PPC.** Ver ecuación 35

$$PPC = \frac{DSr \text{ en una semana}}{Pob \times 7 \times Cob}$$

$$PPC = \frac{294340 \text{ kg}}{80974 \text{ hab} \times 7 \text{ días} \times 96\%}$$

$$PPC = 0.54 \text{ kg/hab.día}$$

## 2.2.5 Determinación del caudal

**Tabla 5-2:** Muestreo de caudal de lixiviados

Muestra	Volumen (m3)	Tiempo (s)	Caudal (m3/s)	Caudal (L/s)
1	0,022	53,35	0,000412	0,412
2	0,022	56,75	0,000388	0,388
3	0,022	57,69	0,000381	0,381
4	0,022	54,35	0,000405	0,405
5	0,022	52,41	0,000420	0,420
6	0,022	45,11	0,000488	0,488
7	0,022	53,15	0,000414	0,414
8	0,022	48,01	0,000458	0,458
<b>PROMEDIO</b>				0,42

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018



### 2.2.6 Caracterización físico- química y microbiológica del lixiviado

Las muestras se analizaron en el Laboratorio de Aguas de la Facultad de ciencias de la ESPOCH y posteriormente se comparó con los límites permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial No. 097 – A, Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

**Tabla 6-2:** Análisis físico químico y microbiológico del lixiviado crudo.

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO					VALOR LÍMITE PERMISIBLE
		SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	PROMEDIO	
Potencial hidrógeno	Unidades de pH	7,09	7,74	7,81	7,63	7,6	6-9
Demanda Química de oxígeno	mg/L	7580	5850	5230	4987	5911,8	200
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	3800	2170	3460	2021	2862,8	100
Coliformes fecales	NMP/100ml	92000	100000	56000000	26600000	20698000	2000
Coliformes totales	NMP/100ml	1600000	11000000	67200000	3000000	20700000	-
Sólidos totales	mg/L	6300	5440	7220	5164	6031,0	1600
Aceites y grasas	mg/L	3,1	8,38	72,04	31,64	28,8	30.1
Oxígeno disuelto	mg/L	0,2	0,82	1,1	0,87	0,7	-
Tensoactivos	mg/L	0,064	0,35	0,19	0,42	0,3	0,5
Amoníaco	mg/L	793	452,5	152	156	388,4	-
Hidrocarburos totales de Petróleo	mg/L	6,65	2,36	1,3	0,59	2,725	20.0
plomo	mg/L	0,013	<0,01	<0,01	<0,02	<0,03	0.2
Selenio	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,06	0.1
Níquel	mg/L	0,12	0,08	<0,05	0,12	0,12	2.0
Cadmio	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	0,002
Arsénico	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0.1
Mercurio	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,005
Temperatura	°C	27,1	25	21.3	20,2	24,1	Condición natural ±3

Fuente: Laboratorio de Aguas ESPOCH, 2018

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018



**Fotografía: 4-2:** Toma de muestras de lixiviado tratado.

**Realizado por:** Emilys Mosquera, 2018.



**Fotografía: 5-2:** Muestreo de lixiviado crudo.

**Realizado por:** Emilys Mosquera, 2018.

**Tabla 7-2:** Análisis físico químico y microbiológico del lixiviado tratado.

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO					VALOR LÍMITE PERMISIBLE
		SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	PROMEDIO	
Potencial hidrógeno	Unidades de pH	7,96	7,44	8,44	8,1	7,99	6-9
Demanda Química de oxígeno	mg/L	821	1940	600	1285	1161,50	200
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	450	800	490	629	592,25	100
Coliformes fecales	NMP/100ml	4300	63000	400000	1200000	416825	2000
Coliformes totales	NMP/100ml	78000	84000	460000	158000	195000	-
Sólidos totales	mg/L	4620	4400	2764	4204	3997,00	1600
Aceites y grasas	mg/L	<2	16,3	7,2	72,8	32,10	30.1
Oxígeno disuelto	mg/L	0,6	0,6	1,8	0,96	0,72	-
Tensoactivos	mg/L	0,016	0,094	0,054	0,18	0,10	0,5
Amoniaco	mg/L	725	235,8		48	336,27	-
Hidrocarburos totales de Petróleo	mg/L	<0,25	0,34	0,45	0,23	0,34	20.0
plomo	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,03	0.2
Selenio	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,06	0,1
Níquel	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	0,12	0,12	2,00
Cadmio	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	0,002
Arsénico	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,1
Mercurio	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,005
Temperatura	°C	27,1	25	21,3	20,2	24,1	Condición natural ±3

**Fuente:** Laboratorio de Aguas ESPOCH, 2018

**Realizado por:** Emilys Mosquera, 2018



**Fotografía: 6-2:** Muestras para análisis microbiológico.

**Realizado por:** Emilys Mosquera, 2018.



**Fotografía: 7-2:** Muestras para análisis físico-químico.

**Realizado por:** Emilys Mosquera, 2018.

### 2.2.7 Prueba de jarras

Se realizó en el Laboratorio de Aguas de la Facultad de ciencias de la ESPOCH.

Se utilizaron 3 floculantes diferentes, con muestras de 1000 ml, tiempo de floculación de 5 minutos y 200 rpm.

Los floculantes elegidos fueron: Sulfato de aluminio, policloruro y Cloruro férrico.

Según bibliografía las sales de aluminio son las más utilizadas para procesos de coagulación-floculación de aguas residuales.



**Fotografía: 8-2** Muestras para la prueba de jarras.

**Realizado por:** Emilys Mosquera, 2018.



**Fotografía: 9-2:** Coagulantes para la prueba de jarras.  
Realizado por: Emils Mosquera, 2018.



**Fotografía: 10-2:** Realización de la prueba de jarras.  
Realizado por: Emils Mosquera, 2018.



**Fotografía: 11-2:** Resultados de la prueba de jarras.  
Realizado por: Emils Mosquera, 2018.

## CAPITULO III

### 3. DISEÑO

Según los análisis realizados a los lixiviados, tanto en la entrada como salida de los mismos, se observa que los principales parámetros que se encuentran en elevadas concentraciones y que no se logran disminuir en la planta de tratamiento son: DBO5, DQO, CT, CF y Sólidos Totales como se puede observar en las tablas *Tabla 6-2.* y *Tabla 7.2.* Por este motivo es necesario realizar el Diseño de un sistema de tratamiento de Lixiviados que contribuirá a mejorar los parámetros de descarga hacia el Río Chilcayacu y por consiguiente ayudar a la conservación del Ambiente.

#### 3.1 Cálculo de la población

##### 3.1.2 Población inicial

Es la población donde se va a ejecutar el proyecto. En este caso la población para el Cantón Pastaza, según el CENSO 2010, es de 62016 habitantes; para el año 2018 se cuenta con 80974 habitantes según la proyección respectiva, cabe recalcar que se toma de 2 a 3 años de gracia para la aprobación del proyecto y por lo tanto se utiliza la población proyectada para el año 2020, que en este caso corresponde a 85701 habitantes. (INEC, 2017.)

**Tabla 1-3.** Proyección de la Población del Cantón Pastaza

N°	AÑO	POBLACIÓN (hab) M.ARITMÉTICO	POBLACIÓN (hab.) M. GEOMÉTRICO	POBLACIÓN (hab.) M. EXPONENCIAL	PROMEDIO (hab.)
0	2018	78934	81097	81467	80499
1	2019	81049	83862	84292	83068
2	2020	83163	86722	87216	85701

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018

##### 3.1.3 Población futura

Para estimar la población futura para la que funcionará la planta de tratamiento de lixiviados, existen distintos métodos entre los cuales tenemos: aritmético, geométrico, logarítmico, entre otros.

Según la SENAGUA, para realizar la proyección poblacional se emplea mínimo 3 métodos, de los cuales se obtendrá un promedio poblacional.

**Tabla 2-3:** Métodos de para calcular la población futura

MÉTODO ARITMÉTICO	MÉTODO GEOMÉTRICO	MÉTODO EXPONENCIAL O LOGARÍTMICO
<b>Ecuación 38</b> $Pob_f = Pob_o (1 + rt)$	<b>Ecuación 39</b> $Pob_f = Pob_o (1 + r)^{\Delta t}$	<b>Ecuación 40</b> $Pob_f = Pob_o (e)^{r(t)}$
<p><b>Donde:</b></p> <p><b>Pob<sub>f</sub></b> = Población futura  <b>Pob<sub>o</sub></b> = Población inicial  <b>r</b> = tasa de crecimiento poblacional  <b>t</b> = número de años a proyectar  <b>e</b> = Número de Euler (2,71828...)</p>		

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018

- *Cálculos de la Población futura*

**DATOS:**

**P<sub>o</sub>** = 80974 hab.

**Tasa de crecimiento anual (r)** = 3,41%

**Tiempo** = 10 años

- **Método aritmético.** Ver ecuación 38

$$Pob_f = Pob_o (1 + rt)$$

$$Pob_f = 85701 \text{ hab}(1 + 0,034(10))$$

$$Pob_{f1} = 114925 \text{ hab.}$$

- **Método geométrico.** Ver ecuación 39

$$Pob_f = Pob_o (1 + r)^{\Delta t}$$

$$Pob_f = 85701 \text{ hab} (1 + 0,0341)^{10}$$

$$Pob_{f2} = 119842 \text{ hab.}$$

- **Método logarítmico.** Ver ecuación 40

$$Pob_f = Pob_o (e)^{r(t)}$$

$$Pob_f = 85701 \text{ hab } (e)^{(0,0341)(10)}$$

$$Pob_{f3} = 120525 \text{ hab.}$$

- **Promedio de la población futura**

$$Pob_f = \frac{Pobf\ 1 + Pobf\ 2 + Pobf\ 3}{3} \quad \text{Ecuación 41}$$

$$Pob_f = 118431 \text{ hab.}$$

### 3.2 Cálculo del Caudal de diseño

El método Suizo fue elegido para determinar el caudal de diseño, ya que es el más completo, rápido, sencillo y engloba la mayoría de variables que afectan la cantidad de lixiviado que se puede producirse en una celda emergente.

La información meteorológica fue solicitada al INAMHI, mediante la página de Unidad de atención al Usuario [servicio@inamhi.gob.ec](mailto:servicio@inamhi.gob.ec)

El método Suizo se describe en la siguiente ecuación: **Ecuación 42**

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

**Donde:**

Q= Caudal medio de lixiviado (m<sup>3</sup>/s)

P = Precipitación media anual (mm/año)

A = Área superficial del relleno (m<sup>2</sup>)

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

K = Coeficiente que depende del grado de compactación de la basura; se recomienda los siguientes valores:

- 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. (Jaramillo, 2000)
- 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. (Jaramillo, 2000)

**Datos:**

**Tabla 3-3.** Precipitación total mensual del año 2017

MES	PRECIPITACIÓN (mm)
ENERO	721,6
FEBRERO	351,6
MARZO	575,9
ABRIL	417,1
MAYO	374,6
JUNIO	533,9
JULIO	308,6
AGOSTO	310,2
SEPTIEMBRE	386,0
OCTUBRE	376,2
NOVIEMBRE	445,2
DICIEMBRE	454,2
<b>SUMA</b>	<b>5255,1</b>
<b>MEDIA</b>	<b>437,93</b>
<b>PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL</b>	<b>5255,1</b>

Fuente: INHAMI, 2018

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018

$$P = 5255,1 \text{ mm/año}$$

A = 18 000 m<sup>2</sup> (Información obtenida del Departamento de Residuos Sólidos del GADMP)

$$t = 31\,536\,000 \text{ s/año}$$

K = 0,40 (según el grado de densidad compactada de la basura)

$$Q_{lix} = \frac{1}{t} P \times A \times K \quad \text{Ver ecuación 42}$$

$$Q_{lix} = \frac{1}{31.536.000} 5.2551 \times 18000 \times 0,40$$



$$Q_{lix} = 1,20 \text{ L/s}$$

$$Q_{lix} = 0.0012 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{lix} = 4.32 \text{ m}^3/\text{h}$$

### 3.3 Cálculos de la Planta de Tratamiento de lixiviados

#### 3.3.1 *Tanque de almacenamiento*

$$Trh = 1 \text{ hora (asumido)}$$

##### 3.3.1.1 *Volumen del tanque*

**Ver Ecuación 8**

$$Q = V/Trh$$

$$V = Q * Trh$$

$$V = 7.668 \text{ m}^3/\text{h} * 1\text{h}$$

$$V = 7,68 \text{ m}^3$$

##### 3.3.1.2 *Altura del tanque.*

**Ver Ecuación 5**

$$H = 1,00 \text{ m (asumido)}$$

$$V = A * H$$

$$A = V/H$$

$$A = 7,68 \text{ m}^3/1\text{m}$$

$$A = 7,68 \text{ m}^2$$

##### 3.3.1.3 *Ancho del tanque:*

**Ver Ecuación 6**

$$L = 1,5 B$$

$$A = L * B$$

$$A = 1,5 B^2$$

$$B = \sqrt{\frac{A}{1,5}}$$

$$B = \sqrt{\frac{7,68}{1,5}}$$

$$B = 2,26 \text{ m}$$

3.3.1.4 *Largo del tanque.*

**Ver Ecuación 7**

$$V = L * B * H$$

$$L = V / (B * H)$$

$$L = \frac{7,68}{(2,26 * 1)}$$

$$L = 3,40 \text{ m}$$

3.3.2 *Tanque Imhoff*

3.3.2.1 *Cámara de sedimentación*

**Asumo**

- CHS=30 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d
- b= 1m
- trh= 2h
- a= 1m
- Hs=e= 0,3m

- **Área superficial, m<sup>2</sup>**

$$A_s = \frac{Q}{C_s} \quad \text{Ver ecuación 8}$$

$$A_s = (103,66 \text{ m}^3/\text{d}) / (30 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d})$$

$$A_s = 3,46 \text{ m}^2$$

- **Largo del sedimentador (m)**

$$L = \frac{A_s}{b} \quad \text{Ver Ecuación 9}$$

$$L = 3,46 \text{ m}^2 / 1\text{m}$$

$$L = 3,46 \text{ m}$$

- **Volumen de la cámara (m<sup>3</sup>)**

$$V = \frac{Q}{trh} \quad \text{Ver ecuación 10}$$

$$V = (4,32\text{m}^3/\text{h})/2\text{h}$$

$$V = 2,26 \text{ m}^3$$

- **Área transversal, (m<sup>2</sup>)**

$$A_t = \frac{V}{L} \quad \text{Ver ecuación 11}$$

$$A_t = 2,26 \text{ m}^3 / 3,46\text{m}$$

$$A_t = 0,63 \text{ m}^2$$

- **Altura de la arista central, d (m)**

**A partir de la pendiente del fondo del tanque**

$$d = \text{Tan } \theta * \frac{b}{2} \quad \text{Ver ecuación 12}$$

$$\theta = 50^\circ$$

$$\text{Tan } \theta = 1,2$$

$$d = 1,2 * (1/2)$$

$$d = 0,6 \text{ m}$$

- **Altura del canal de sedimentación, c (m)**

$$c = \frac{A_t}{b} - \frac{d}{2} \quad \text{Ver ecuación 12}$$

$$c = \frac{0,63\text{m}^2}{1\text{m}} - \frac{0,6\text{m}}{2}$$

$$c = 0,33 \text{ m}$$

- **Ancho total del tanque (m)**

$$B = 2a + b \quad \text{Ver ecuación 13}$$

$$B = 2(1\text{m}) + 1\text{m}$$

$$B = 3 \text{ m}$$

### 3.3.2.2 Cámara de digestión de lodos

- **Altura de la tolva de lodos, g (m)**

$$g = \tan \beta * \frac{B}{2} \quad \text{Ver ecuación 14}$$

$$\tan \beta = 0,5$$

$$g = (0,5) * (3\text{m}/2)$$

$$g = 0,75 \text{ m}$$

- **Altura de la cámara de digestión, f (m)**

$$f = \frac{\left( V_{dig} - \frac{g * B * L}{3} \right)}{B * L} \quad \text{Ver ecuación 15}$$

$$f = \frac{\left( 50\text{m}^3 - \frac{0,75\text{m} * 3\text{m} * 3,56\text{m}}{3} \right)}{3\text{m} * 3,46\text{m}}$$

$$f = 4,57 \text{ m}$$

- **Altura total del tanque**

$$H_T = c + d + e + f + g \quad \text{Ver ecuación 16}$$

$$H_T = (0,33 + 0,6 + 0,30 + 4,57 + 0,75) \text{ m}$$

$$H_T = 6,60 \text{ m}$$

### 3.3.3 Filtro anaerobio de flujo ascendente "FAFA"

#### 3.3.3.1 Cálculo del área superficial del filtro Ver ecuación 17

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

$$A = 103,66/20$$

$$A = 5,18 \text{ m}^2$$

#### 3.3.3.2 Lado del filtro (m) Ver ecuación 18

$$L = A^{1/2}$$

$$L = 2,30 \text{ m}$$

$$B = 2,30 \text{ m}$$

3.3.3.3 Cálculo del volumen del lecho filtrante *Ver ecuación 19*

$$V = \frac{Q \cdot S_0}{COV}$$

$$S_0 = 65 \text{ mg/l} = 0,065 \text{ kg/m}^3$$

$$COV = 0,5 \text{ Kg DBO/ m}^3 \text{d}$$

$$V = 13,48 \text{ m}^3$$

3.3.3.4 Cálculo de la altura del lecho filtrante *Ver ecuación 20*

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

$$hm = \frac{13,48}{5,18}$$

$$hm = 2,6 \text{ m}$$

3.3.3.5 Cálculo de la altura total del filtro *Ver ecuación 21*

$$H = hm + b + d$$

$$b = \text{altura del bordo libre} = 0,2 \text{ m}$$

$$d = \text{altura del bajo dren} = 0,7 \text{ m}$$

$$H = 2,6 + 0,2 + 0,7$$

$$H = 3,5 \text{ m}$$

3.3.3.6 Cálculo del volumen total del filtro *Ver ecuación 22*

$$V_t = A \cdot H$$

$$V_t = 5,18 \cdot 3,5$$

$$V_t = 18,14 \text{ m}^3$$

3.3.3.7 Revisión de la carga orgánica volumétrica *Ver ecuación 23*

$$COV_t = \frac{Q \cdot S_0}{V_t}$$

$$COV_t = 0,371 \text{ kg DBO/m}^3 \text{d}$$

3.3.3.8 Cálculo del tiempo de residencia hidráulica *Ver ecuación 24*

$$TRH = \frac{V}{Q}$$

$$TRH = \frac{18,14}{4,32}$$

$$TRH = 4,2 \text{ h}$$

3.3.3.9 *Cálculo de la eficiencia de remoción del filtro anaerobio Ver ecuación 25*

$$E = 100(1 - 0.87 \text{ TRH}^{-0.5})$$

$$E = 57,54 \%$$

3.3.3.10 *Concentración de DBO esperada en el efluente Ver ecuación 26*

$$\text{DBO}_{\text{ef}} = S_0 - \frac{E \cdot S_0}{100}$$

$$\text{DBO}_{\text{ef}} = 27,59 \text{ mg/L}$$

3.3.4 *Aireador de cascada*

3.3.4.1 *Longitud del aireador*

$$C_s = 20 \text{ m}^3/\text{m.d (asumido)}$$

$$L = \frac{Q}{C_s} \quad \text{Ver ecuación 27}$$

$$L = 103,66/20$$

$$L = 5,18 \text{ m}$$

3.3.4.2 *Déficit de oxígeno*

$$R = \frac{C_s' - C_0}{C_s' - C} \quad \text{Ver ecuación 28}$$

$$C_s' = 8,68 \text{ mg/L}$$

$$C_0 = 0,6 \text{ mg/L}$$

$$C = 7 \text{ mg/L}$$

$$R = 4,81$$

3.3.4.3 *Altura del aireador*

$$H = \frac{R - 1}{0,361 \cdot a \cdot b (1 + 0,046T)} \quad \text{Ver ecuación 29}$$

$$T= 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

a= 0,8 efluentes de aguas residuales

b= 1,1 escalones

$$\mathbf{H= 5,96 \text{ m}}$$

#### 3.3.4.4 Número de escalones

$$\mathbf{Ne= \frac{L}{h_e}} \quad \text{Ver ecuación 30}$$

$h_e= 0,7 \text{ m}$  (asumido)

$$\mathbf{Ne= \frac{5,18}{0,7}}$$

**Ne= 5,51 = 6 para construcción**

#### 3.3.4.5 Oxígeno absorbido

$$\mathbf{Ce= Co + K*(Cs'-Co)} \quad \text{Ver ecuación 31}$$

$$\mathbf{K= \frac{Ce_i - Co_i}{Cs - Co_i}} \quad \text{Ver ecuación 32}$$

Donde:

$$Co_i = m * Cs$$

$$\mathbf{Co_i = 0,4 * 7 = 2,8}$$

$$Ce_i = n * Cs$$

$$\mathbf{Ce_i = 0,1 * 7 = 0,7}$$

$$\mathbf{K= 0,035}$$

$$\mathbf{Ce= Co + K*(Cs'-Co)}$$

$$\mathbf{Ce= 0,6 + 0,035*(8,68-0,6)}$$

$$\mathbf{Ce= 3,39 \text{ mg/L}}$$

### 3.3.4.6 Altura de la lámina de agua

$$h = \frac{Q}{L \cdot v} \quad \text{Ver ecuación 33}$$

$$v = 1,1 \text{ m/s}$$

$$L_e = \text{longitud del escalón} = 0,3 \text{ m}$$

$$L = N_e \cdot L_e = 2,55 \text{ m} = \mathbf{2,6 \text{ m}}$$

$$h = \frac{0,0012}{2,6 \cdot 0,3}$$

$$h = \mathbf{0,00043 \text{ m}}$$

## 3.4 Resultados

### 3.4.1 Proyección de la población

**Tabla 4-3:** Resultados de la proyección de la población a 10 años

Método aritmético	Método geométrico	Método logarítmico
109233 hab.	114111 hab.	114792 hab.
<b>Pob<sub>f</sub> = 112712 hab.</b>		

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018

### 3.4.2 Caudal de diseño

**Tabla 5-3:** Resultados del caudal de diseño

Caudal de lixiviado	
<b>m<sup>3</sup>/s</b>	0,0012
<b>L/s</b>	1,20
<b>L/h</b>	4319,26
<b>m<sup>3</sup>/h</b>	4,32
<b>m<sup>3</sup>/d</b>	103,66

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018



### 3.4.3 Dimensionamiento del Sistema de tratamiento de lixiviados

**Tabla 6-3:** Dimensiones del tanque de almacenamiento

Tanque de almacenamiento		
PARÁMETRO	SÍMBOLO	DIMENSIÓN
Volumen del tanque	V	7,68 m <sup>3</sup>
Área del tanque	A	7,68 m <sup>2</sup>
Ancho del tanque	B	2,30 m
Altura del tanque	H	1,00 m
Largo del tanque	L	3,40 m

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018

**Tabla 7-3:** Dimensiones del tanque Imhoff

Tanque imhoff		
PARÁMETRO	SÍMBOLO	DIMENSIÓN
Ancho de la zona de ventilación	a	1,00 m
Ancho de la cámara sedimentadora	b	1,00 m
Área superficial de la cámara de sedimentación	As	3,46 m <sup>2</sup>
Largo de la cámara de sedimentación	L	3,50 m
Ancho del tanque	B	3,00 m
Altura de la arista central	d	0,6 m
Altura del canal de sedimentación	c	0,35 m
Altura de la tolva de lodos	g	0,75 m
Altura de la cámara de digestión	f	4,60 m
Altura de seguridad	e	0,30 m
Altura total del tanque	H <sub>T</sub>	6,60 m

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018

**Tabla 8-3:** Dimensiones del FAFA

Filtro anaerobio de flujo ascendente		
PARÁMETRO	SÍMBOLO	DIMENSIÓN
Área superficial	A	5,18 m <sup>2</sup>
Lado del filtro	L	2,30 m
Ancho del filtro	B	2,30 m
Volumen del lecho filtrante	V	13,50 m <sup>3</sup>
Altura del lecho filtrante	hm	2,6 m
Altura total del filtro	H	3,5 m
Volumen total del filtro	V <sub>t</sub>	18,15 m <sup>3</sup>
Tiempo de residencia hidráulica	TRH	4,2 h
Eficiencia de remoción del filtro	E	57,54 %
Concentración de DBO esperada en el efluente	DBO <sub>ef</sub>	27,59 mg/L

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018

**Tabla 9-3:** Dimensiones del Aireador de cascadas

Aireador de cascadas		
PARÁMETRO	SÍMBOLO	DIMENSIÓN
Longitud del aireador	L	5,18 m
Altura del aireador	H	5,95 m
Oxígeno absorbido	C <sub>e</sub>	3,39 mg/L
Altura del escalón	h <sub>e</sub>	0,7 m
Largo del escalón	L <sub>e</sub>	0,7 m
Ancho del escalón	b	0,5 m

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018

### 3.4.4 Prueba de jarras

**Tabla 10-3:** Resultados de la prueba de jarras con varios coagulantes.

Muestra	PARÁMETROS INICIALES			REACTIVOS				RESULTADOS	
	pH	color (Pt-Co)	turbiedad (NTU)	pH modificado NaOH, 1N	floculante	Concentración	Volumen (ml)	turbiedad (NTU)	velocidad reacción
1	7,77	2890	290	no	Sulfato de aluminio	10%	10	108,9	con agitación
2	7,77	2890	290	10	Sulfato de aluminio	10%	10	<b>42,1</b>	rápido
3	7,77	2890	290	no	policloruro	10%	10	140,7	lento
4	7,77	2890	290	no	Cloruro férrico	10%	10	138,2	lento

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018

Fuente: Laboratorio de Calidad e Aguas de la ESPOCH, 2018

**Tabla 11-3:** Prueba de jarras con sulfato de aluminio

Sulfato de Aluminio al 10% , pH= 10					
Muestra	turbiedad inicial (NTU)	color inicial (Pt-Co)	Volumen floculante (ml)	Turbiedad final (NTU)	Color final (Pt-Co)
1	290	2890	4	90,9	95,6
2	290	2890	8	76,7	80,4
3	290	2890	12	49,1	55,8
4	290	2890	16	<b>45,9</b>	<b>50,1</b>

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018

Fuente: Laboratorio de Calidad e Aguas de la ESPOCH, 2018

**Tabla 12-3:** Prueba de jarras utilizando Poli electrolito como coayudante

Muestra	PARÁMETROS INICIALES			REACTIVOS				RESULTADOS		
	Ph	color (Pt-Co)	turbiedad (NTU)	pH modificado	Coayudante	floculante	Conce ntrac ión	Volumen (ml)	turbie dad (NTU)	color (Pt-Co)
1	7,77	2890	290	10, NaOH	Poli electrolito volumen de adición de 0.5 ml	Sulfato de aluminio	10%	10	54,3	153
2	7,77	2890	290	8, Cal (15 ml)		Sulfato de aluminio	10%	10	66,9	312
3	7,77	2890	290	10, NaOH		policloruro	10%	5	102,6	188

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018

Fuente: Laboratorio de Calidad e Aguas de la ESPOCH, 2018

### 3.4.5 Caracterización de lixiviados

**Tabla 13-3:** Resultados de los parámetros fuera de norma.

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO					VALOR LÍMITE PERMISIBLE
		SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	PROMEDIO	
Potencial hidrógeno	Unidades de pH	7,09	7,74	7,81	7,63	7,6	6-9
Demanda Química de oxígeno	mg/L	7580	5850	5230	4987	5911,8	200
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	3800	2170	3460	2021	2862,8	100
Coliformes fecales	NMP/100ml	92000	100000	56000000	26600000	20698000	2000
Coliformes totales	NMP/100ml	1600000	11000000	67200000	3000000	20700000	-
Sólidos totales	mg/L	6300	5440	7220	5164	6031,0	1600

**Realizado por:** Emilys Mosquera, 2018

**Fuente:** Laboratorio de Calidad e Aguas de la ESPOCH, 2018

**Tabla 14-3:** Resultados de los parámetros fuera de norma en el punto de salida de lixiviados

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO					VALOR LÍMITE PERMISIBLE
		SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	PROMEDIO	
Potencial hidrógeno	Unidades de pH	7,96	7,44	8,44	8,1	7,99	6-9
Demanda Química de oxígeno	mg/L	821	1940	600	1285	1161,50	200
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	450	800	490	629	592,25	100
Coliformes fecales	NMP/100ml	4300	63000	400000	1200000	416825	2000
Coliformes totales	NMP/100ml	78000	84000	460000	158000	195000	-
Sólidos totales	mg/L	4620	4400	2764	4204	3997,00	1600

**Realizado por:** Emilys Mosquera, 2018

**Fuente:** Laboratorio de Calidad e Aguas de la ESPOCH, 2018

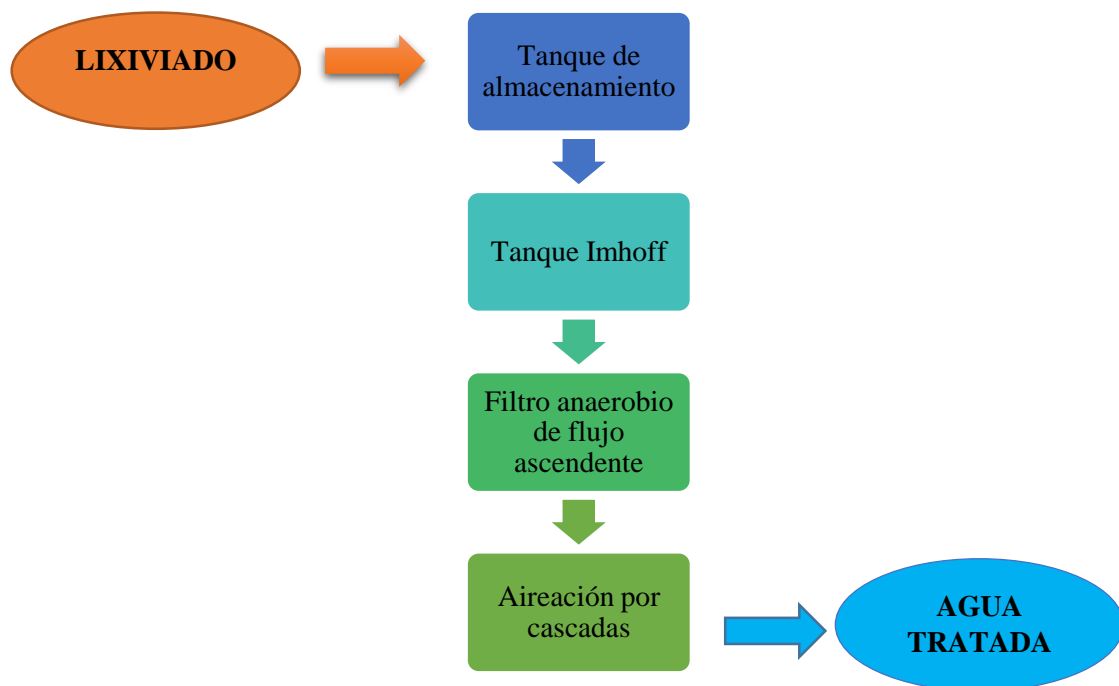
**Tabla 15-3:** Resultados de los parámetros fuera de norma en el punto de salida de lixiviados

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS INICIALES	RESULTADOS FINALES	LÍMITE PERMISIBLE
Turbiedad	NTU	290	45,9	-
Color	Pt Co	2890	50,1	Inapreciable en dilución 1/20
Potencial hidrógeno	Unidades de pH	7,6	8,4	6-9
Demanda Química de oxígeno	mg/L	5911,75	198,58	200
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	2862,75	97,75	100
Coliformes fecales	NMP/100ml	20698000	1876	2000
Sólidos totales	mg/L	6031	552	1600

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018

Fuente: Laboratorio de Calidad e Aguas de la ESPOCH, 2018

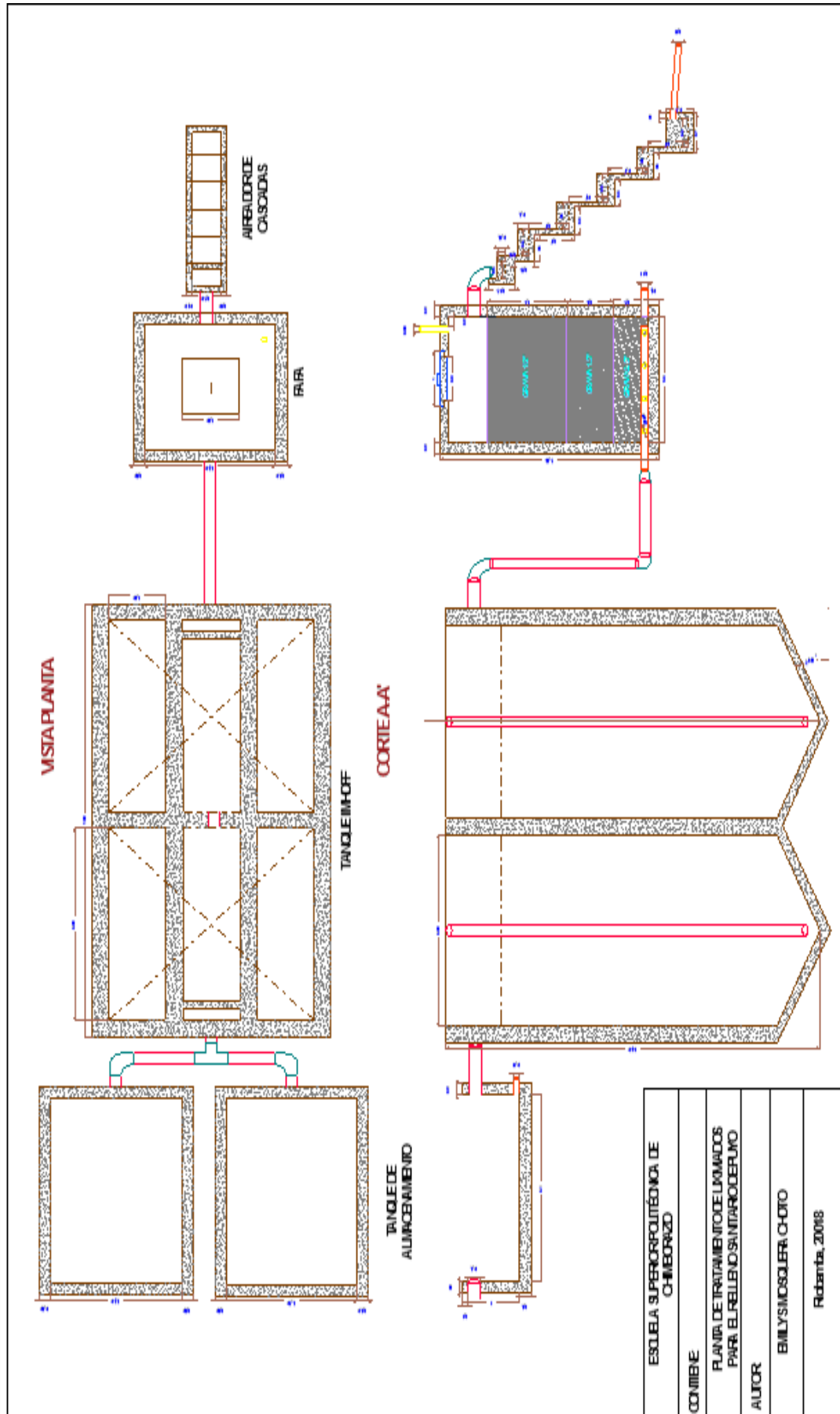
### 3.4.6 Propuesta de tratamiento



**Gráfico 1-3:** Diagrama del sistema de tratamiento de lixiviados

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018

3.4.7 Planos del sistema de tratamiento de lixiviados



### 3.5 Análisis costo beneficio del sistema de tratamiento de lixiviados

**Tabla 16-3:** Análisis de costo de la planta de tratamiento de lixiviados.

DESCRIPCIÓN DEL RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	TOTAL
<b>TANQUE DE ALMACENAMIENTO (2 UNIDADES)</b>				
Limpieza y desbroce	m <sup>2</sup>	14,52	0,5	7,26
Replanteo y nivelación	m <sup>2</sup>	7,82	1,8	14,08
Excavación del suelo	m <sup>3</sup>	5,9	2,75	16,23
Hormigón simple f'c=210 kg/cm2	m <sup>3</sup>	3,38	191,41	646,97
Encofrado	m <sup>2</sup>	21,2	12,85	272,42
Replanteo H.S. 140 kg/cm2	m <sup>3</sup>	0,782	114,48	89,52
Enlucido	m <sup>2</sup>	29,02	9,25	268,44
Relleno compactado	m <sup>3</sup>	6,26	9	56,34
			<b>Subtotal</b>	<b>2742,49</b>
<b>TANQUE IMHOFF (2 UNIDADES)</b>				
Limpieza y desbroce	m <sup>2</sup>	18	0,5	9,0
Replanteo y nivelación	m <sup>2</sup>	10,5	1,8	18,9
Excavación del suelo	m <sup>3</sup>	9,45	2,75	26,0
Hormigón simple f'c=210 kg/cm2	m <sup>3</sup>	16,4385	191,41	3146,5
Encofrado	m <sup>2</sup>	106,48	12,85	1368,3
Replanteo H.S. 140 kg/cm2	m <sup>3</sup>	3,15	114,48	360,6
Enlucido	m <sup>2</sup>	92,45	9,25	855,2
Relleno compactado	m <sup>3</sup>	8,4	9	75,6
			<b>Subtotal</b>	<b>11720,05</b>
<b>FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE</b>				
Limpieza y desbroce	m <sup>2</sup>	10,89	0,5	5,4
Replanteo y nivelación	m <sup>2</sup>	7,29	1,8	13,1
Excavación del suelo	m <sup>3</sup>	6,561	2,75	18,0
Hormigón simple f'c=210 kg/cm2	m <sup>3</sup>	11,374	191,41	2177,1
Encofrado	m <sup>2</sup>	84,74	12,85	1088,9
Replanteo H.S. 140 kg/cm2	m <sup>3</sup>	0,729	114,48	83,5
Enlucido	m <sup>2</sup>	90,03	9,25	832,8
Grava	m <sup>3</sup>	13,754	16	220,1
Relleno compactado	m <sup>3</sup>	5,832	9	52,49
			<b>Subtotal</b>	<b>4491,40</b>

<b>AIREADOR DE CASCADAS</b>				
Limpieza y desbroce	m <sup>2</sup>	9,3	0,5	4,7
Replanteo y nivelación	m <sup>2</sup>	2,6	1,8	4,7
Excavación del suelo	m <sup>3</sup>	2,34	2,75	6,4
Hormigón simple f'c=210 kg/cm2	m <sup>3</sup>	0,7	191,41	134,0
Encofrado	m <sup>2</sup>	4,5	12,85	57,8
Replanteo H.S. 140 kg/cm2	m <sup>3</sup>	0,26	114,48	29,8
Enlucido	m <sup>2</sup>	3	9,25	27,8
Relleno compactado	m <sup>3</sup>	2,08	9	18,72
			<b>Subtotal</b>	<b>283,81</b>
			<b>TOTAL</b>	<b>19237,75</b>

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018

**Tabla 17-3:** Análisis de costo de materiales y accesorios.

<b>ACCESORIOS y MATERIALES</b>				
<b>DESCRIPCIÓN DEL RUBRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO (USD)</b>	<b>TOTAL</b>
Caja de revisión de 60x60x60, tapa de H.A	U	4	57,97	231,88
Válvula de compuerta 110mm	U	4	175	700,00
Tubería PVC 110mm Desagüe	ML	12	5,23	62,76
Tubería PVC 200mm	ML	16,6	15,84	262,94
Codos de 90, 200mm	U	2	11,45	22,9
Tubos de presión, 110mm	ML	2,2	6,9	15,18
Tubos de presión, 90mm	ML	15,2	5,24	79,648
Cruz PVC	U	8	6,9	55,2
Tapón de PVC, 90mm	U	8	2	16
Tapón de PVC, 110mm	U	1	2,23	2,23
Malla electrosoldada	m <sup>2</sup>	15,87	4,72	74,91
			<b>Total</b>	<b>1523,65</b>

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018

**Tabla 18-3:** Análisis de costo de mano de obra.

<b>MANO DE OBRA</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>SALARIO REAL POR HORA</b>	<b>HORA-HOMBRE</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Maestro de obra	3,93	800	3144
Albañil	3,55	720	2556
Ayudante de Albañil	3,51	640	2246,4
Plomero	3,55	170	603,5
		<b>Total</b>	<b>8549,90</b>

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018



**Tabla 19-3:** Inversión total

<b>INVERSIÓN</b>	<b>COSTO (USD)</b>
Implementación de la planta de tratamiento de lixiviados	19237,75
Accesorios y materiales	1523,65
Mano de obra	8549,90
<b>SUBTOTAL</b>	<b>29311,30</b>
<b>IMPREVISTOS (15%)</b>	<b>4396,69479</b>
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>33707,99</b>

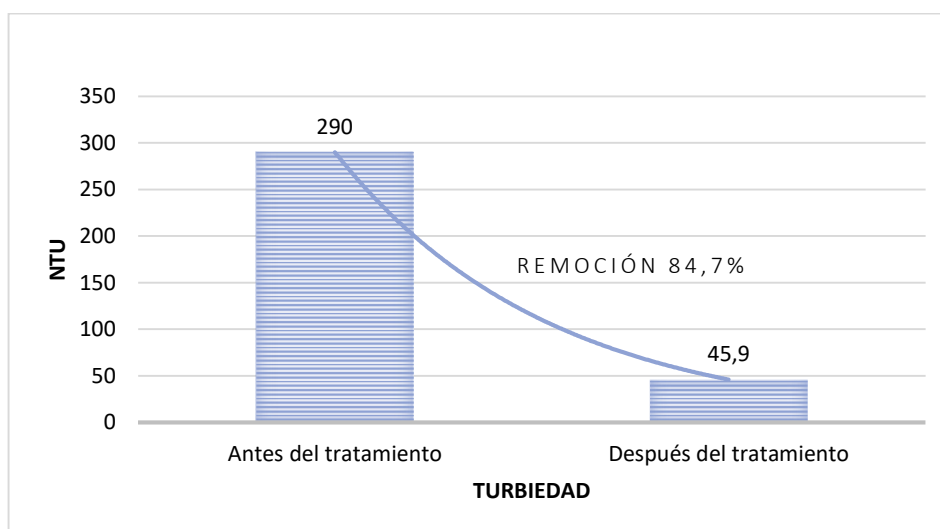
Realizado por: Emilys Mosquera, 2018

### 3.6 Análisis de resultados

Una vez realizados los análisis de lixiviados del relleno sanitario de Puyo, tanto en el punto de entrada que corresponde al lixiviado crudo, como en el punto de salida hacia el río Chilcayacu, se pudo corroborar que el agua supuestamente tratada incumple con los límites establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A para la descarga a un cuerpo de agua dulce.

Los parámetros que necesitan ser tratados son color, turbiedad, DBO, DQO, coliformes fecales y sólidos totales, como se muestra en la *Tabla 3-15*; esta situación se presenta debido a que los lixiviados no reciben el correcto tratamiento antes de ser descargados al cuerpo de agua.

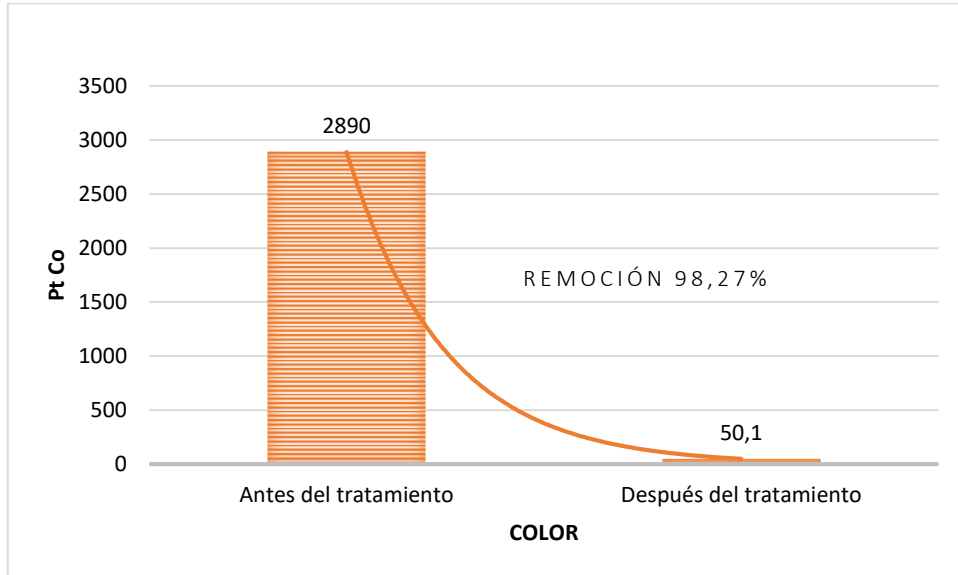
Mediante la prueba de jarras se estudió los procesos de coagulación, floculación y sedimentación; se realizaron distintos ensayos con diferentes coagulantes y diferentes dosis, empleando finalmente el sulfato de aluminio al 10% y en un volumen de 16 mL, debido a que presentó un tiempo de reacción inmediato en la floculación y coagulación. Una vez determinada la dosis óptima se realizan los análisis físicos, químicos y microbiológicos de las muestras tratadas, dándonos como resultado lo siguiente:



**Gráfico 2-3:** Resultado final de turbiedad

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018

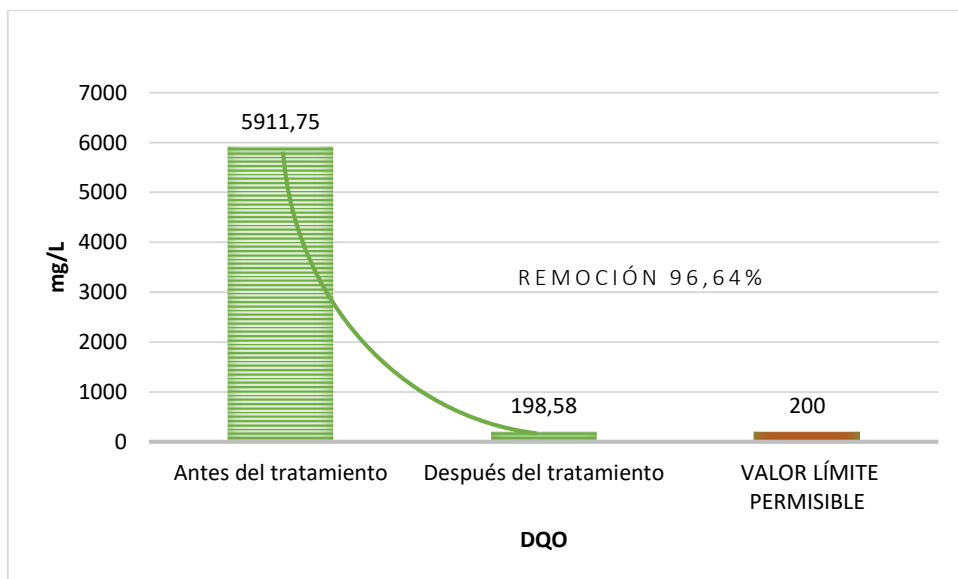
La turbiedad se logró reducir de 290 a 45,9 NTU, dándonos una remoción del 84,7 %, la cual es muy favorable pues se reducen gran cantidad de sólidos suspendidos.



**Gráfico 3-3:** Resultado final de color

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018

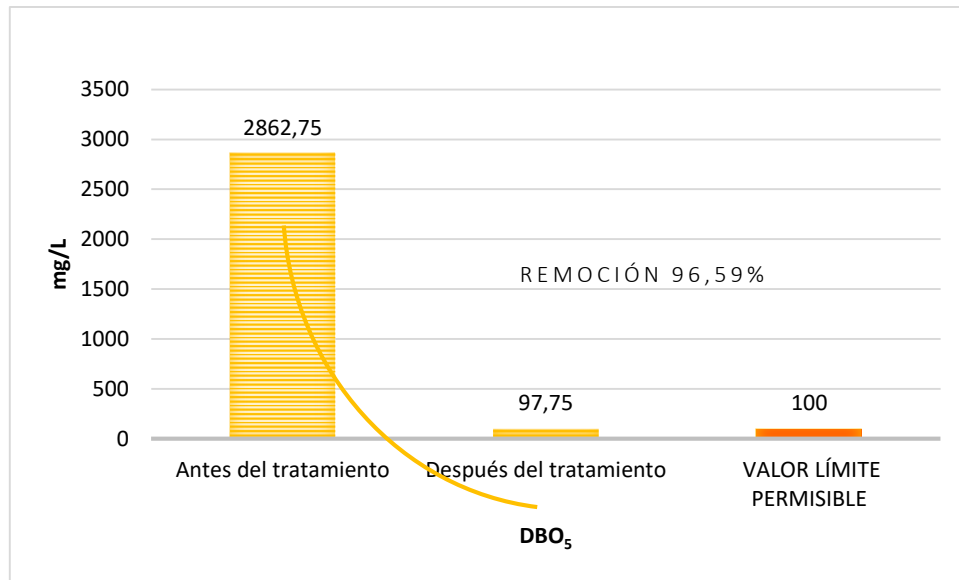
El color es un parámetro importante que nos ayuda a determinar a simple vista las condiciones del agua; con el tratamiento realizado se logra remover un 98,27% de color de la muestras de lixiviado, siendo una cantidad alta y por ende favorable para que el efluente no contamine.



**Gráfico 4-3:** Resultado final de DQO

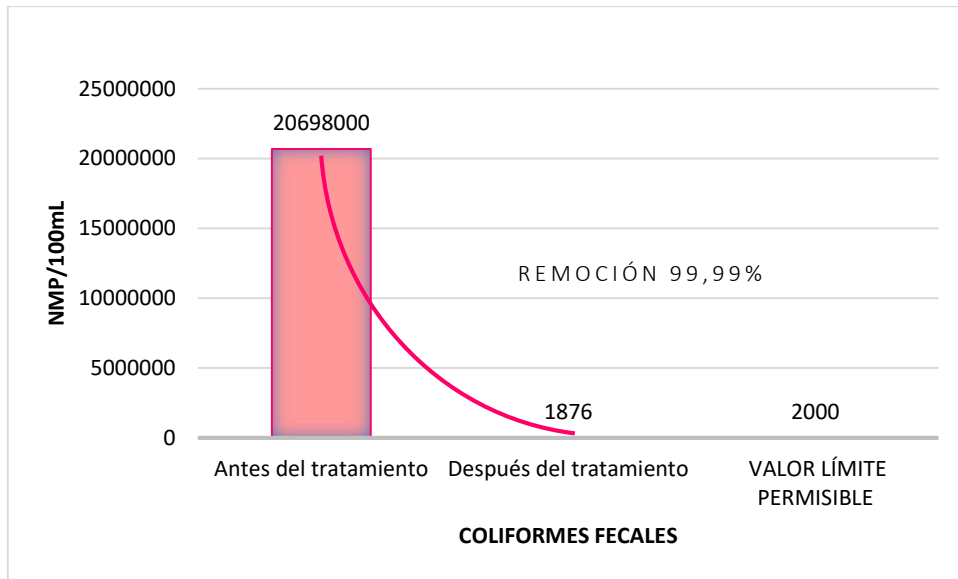
Realizado por: Emilys Mosquera, 2018

En cuanto a la DQO, inicialmente se tenía una cantidad de 5911,75 mg/L, y al final de tratamiento propuesto se obtuvo 198,58 mg/L; si bien está muy cerca del valor permisible para su descarga, es importante considerar que el porcentaje de remoción es 96,64%, un valor muy alto que logra una gran disminución del parámetro con relación al valor inicial.



**Gráfico 5-3:** Resultado final de DBO5  
Realizado por: Emilys Mosquera, 2018

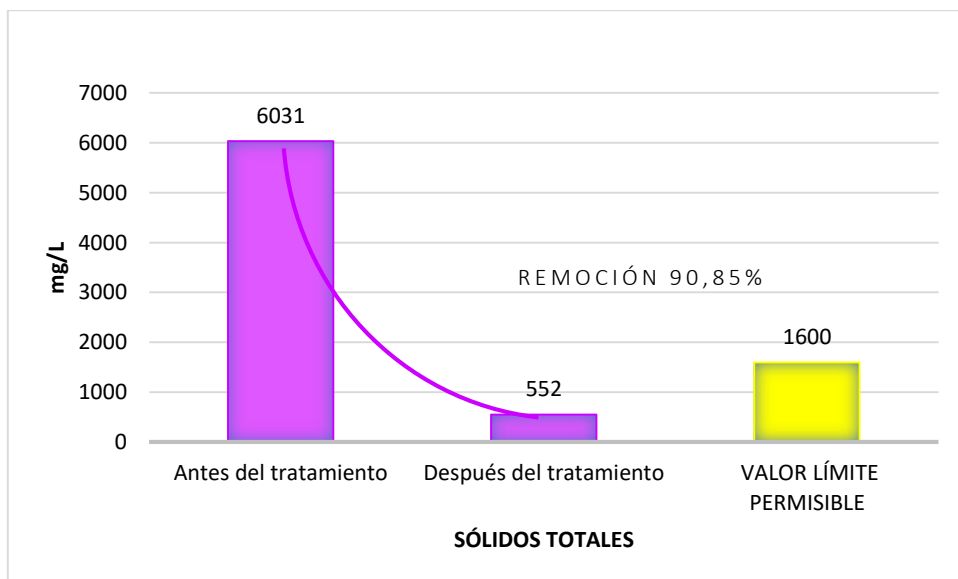
La DBO<sub>5</sub> inicial presenta un valor de 2862,75 mg/L, lo que indica una alta contaminación por materia orgánica, pero en el proceso se puede obtener un porcentaje de remoción del 96,59%, que al igual que la DQO, es un valor muy significativo que indica que puede existir una buena remoción y que el efluente presente buenas características en cuanto a contaminación orgánica.



**Gráfico 6-3:** Resultado final de Coliformes fecales

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018

La contaminación microbiológica es un parámetro importante que debe ser tratado; en este caso se observa que la caracterización del lixiviado presenta una alta carga de Coliformes fecales, que pudo ser removida en un porcentaje del 99,9 %. Aunque el valor final esté muy cerca del valor permitido para la descarga que en este caso es 2000 NMP/100 mL, el tratamiento realizado es muy favorable para tratar este parámetro fuera de norma



**Gráfico 7-3:** Resultado final de Sólidos totales

Realizado por: Emilys Mosquera, 2018

Los sólidos totales han disminuido de 6031 mg/L a 552 mg/L, presentando una remoción del 90,85%. Los valores obtenidos reflejan que el tratamiento aplicado tiene buenos resultados y el efluente tendrá las características idóneas para su descarga.

Como se puede observar en los gráficos anteriores, los porcentajes de remoción son muy favorables y de esta manera se puede decir que los parámetros físicos- químicos y microbiológicos de los lixiviados que necesitaban tratarse, están dentro del rango permisible establecido en el Acuerdo Ministerial No. 097 – A, Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, Tabla 9: Limites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

La propuesta final del sistema de tratamiento de lixiviados está diseñada de la siguiente manera: se iniciará con 2 tanques de almacenamiento, subsiguiente 2 tanques Imhoff de donde el lixiviado pasará a un filtro anaerobio de flujo ascendente y terminará en un aireador de cascadas, cuyo efluente estará listo para descargarse.

Es importante recalcar que los tanques se han duplicado por motivo de mantenimiento, ya que para que la planta tenga un correcto funcionamiento se debe limpiar y revisar periódicamente, evitando futuras complicaciones en el sistema.

## CONCLUSIONES

Una vez finalizadas todas las pruebas en campo y en laboratorio se llega a las siguientes conclusiones respecto al tratamiento de lixiviados del Relleno Sanitario de Puyo:

- Se caracterizó física, química y microbiológicamente los lixiviados del Relleno Sanitario de Puyo, tanto en el punto de entrada como en el punto de descarga hacia el Río Chilcayacu.
- Se identificó los residuos sólidos, siendo la materia orgánica el componente más abundante con un 51,05%, seguido del plástico con un 25,94%.
- El caudal de lixiviados se determinó en base a la precipitación de la zona, el cual dio como resultado 1.20 L/s.
- Se determinó el costo-beneficio del sistema de tratamiento de lixiviados, con una inversión de \$ 33707,99, cuyos beneficiarios serán los habitantes aledaños al sector del Relleno Sanitario de Puyo.
- .
- Se planteó el diseño del Sistema de tratamiento de lixiviados el mismo que consta de los siguientes componentes: dos tanques de almacenamiento, dos tanques Imhoff, un filtro anaerobio de flujo ascendente y por último un aireador de cascadas.
- El sistema de tratamiento de lixiviados propuesto resultó una opción válida, debido a que logró reducir los valores fuera de norma con un porcentaje de remoción de: Turbiedad 84,17%, Color 98,27%, DQO 96,64%, DBO<sub>5</sub> 96,59%, Coliformes fecales 99,99% y Sólidos totales 90,85%.

## **RECOMENDACIONES**

- Debido a la gran contaminación que representan los lixiviados se recomienda implementar una planta de tratamiento de lixiviados de la manera más pronta, que permita descargar un agua que no repercuta negativamente en los habitantes del sector ni en el ecosistema.
- Analizar semestralmente los parámetros físicos-químicos y microbiológicos del agua descargada por la planta de tratamiento de lixiviados.
- Realizar el mantenimiento respectivo de las instalaciones del sistema de tratamiento de lixiviados, previo a la capacitación correspondiente y periodos establecido.
- El personal que opere en la planta de tratamiento de lixiviados debe utilizar el equipo de protección personal, para evitar cualquier accidente o enfermedad.
- Los lodos generados por la planta pueden ser utilizados en el centro de compostaje o como una fuente de nutrientes en cultivos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aldás, A.** *GAD Municipal del cantón Patata*. 2017. Disponible en: <http://puyo.gob.ec/anterior/servicios/online/documentos/departamentos/ambiental/648-gesti%C3%B3n-integral-de-desechos-peligrosos-en-el-relleno-sanitario-de-la-ciudad-de-puyo,-provincia-de-pastaza.html>
- Alvarado, N.** *Tratamiento de lixiviados del relleno sanitario del cantón Tena Provincia de Napo mediante reacción Fenton y Microorganismos eficientes* (Tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 11-15
- Álvarez, A., & Suárez, J.** Tratamiento biológico del lixiviado generado en el relleno sanitario “El Guayabal” de la ciudad San José de Cúcuta. *REDALYC* [En línea], 2006, pp. 95-105. [Consulta: 26 de julio de 2018]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85202007>
- Brito, H., Chariguamán, N., & Mora, A.** *Cierre técnico de botaderos de basura* (Tesis), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2017, pp. 5
- Brito, H., & Vitri, J.** (2016). *Diseño de una celda diaria de confinamiento de residuos sólidos para el actual relleno sanitario del Tena*. (Tesis), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Disponible en: <https://doi.org/10.13140/rg.2.2.26577.94565>
- Canepa, L., Ramón, J., Arévalo, G., Alberto, J., Schroeder, A., Howard, R., & Camacho, W.** "Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario". *Scielo* [En línea], 2008, 33(1), pp. 22-28. [Consulta: 23 de julio de 2018]. Disponible en: [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442008000100006](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442008000100006)
- CEPIS, & OPS.** *HDT 17: Método sencillo del análisis de residuos sólidos*. 2000. [Consulta: 31 de julio de 2018], Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt017.html>
- CONDORCHEM ENVITECH.** *Tratamiento de lixiviados de vertedero* [Blog], 2014. [Consulta: 27 de julio de 2018], Disponible en: <https://blog.condorchem.com/tratamiento-de-lixiviados-de-vertedero/>
- Cungachi, S.** *Análisis comparativo de sistemas de tratamiento de lixiviados «Recirculación y campo de infiltración» Yurak Casha 2014*. (Tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2015. pp. 89-91.



- GADMP.** *Estudios de factibilidad y diseños definitivos del sistema de manejo integral de desechos sólidos del cantón Pastaza, provincia de Pastaza estudio de impacto ambiental.* 2010. pp.105
- Gálvez, A.** *Aplicabilidad de procesos de coagulación-floculación y de sistema de biopelícula en el tratamiento de lixiviados de vertederos de residuos urbanos* [En línea]. (Doctoral) Universidad de Granada, Granada, 2008. [Consulta: 03 de julio de 2018], Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=70413>
- Gavilanes, I.** *Rellenos sanitarios*, 2017. Riobamba. [Consulta: 08 de julio de 2018]
- Giraldo, E.** *Tratamiento De Lixiviados De Rellenos Sanitarios: Avances Recientes.* Revista de Ingeniería [En línea]. 2014, 2(14), 44. [Consulta: 13 de junio de 2018] Disponible en: <https://doi.org/10.16924/riua.v0i14.538>
- Guzmán, D.** *Consultoría del diseño y aprovechamiento del espacio físico del relleno sanitario para la gestión integral del manejo de los residuos sólidos de la ciudad de Puyo.* 2017. [Consulta: 8 de julio de 2018]
- IMAGUA WATER TECHNOLOGIES S.L.** *Sedimentación.* 2018. [En línea]. 2018 [Consulta: 02 de agosto de 2018] Disponible en: <http://www.imagua.es/pages/index/sedimentacion>
- INAMHI.** *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – Ecuador.* [En línea]. 2018 [Consulta: 13 de agosto de 2018] Disponible en: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>
- INEC. (2017).** *Población y Demografía.* [En línea] 2017. [Consulta: 30 de julio de 2018,] Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- INEC & AME.** *Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales. Gestión de Residuos Sólidos 2016.* [En línea] 2016. [Consulta: 16 de mayo de 2018,] Disponible en: [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas\\_Ambientales/Gestion\\_Integral\\_de\\_Residuos\\_Solidos/2016/Presentacion%20Residuos%20Solidos%202016%20F.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Gestion_Integral_de_Residuos_Solidos/2016/Presentacion%20Residuos%20Solidos%202016%20F.pdf)
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS.** *Los ecuatorianos producen 0,57 kilogramos de residuos sólidos diario.* [En línea] 2015. [Consulta: 16 de julio de 2018]. Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/los-ecuatorianos-producen-057-kilogramos-de-residuos-solidos-diario/>
- Jaramillo, J.** CEPIS/OPS - *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales.* 2010. [Consulta: 16 de julio de 2018]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/eswww/fulltext/curso/relleno/capitulo2.html>
- Jaramillo, J.** *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales,* 2017, pp. 303.

- Jaramillo, J.** *Gestión de Residuos - Guía para el diseño. 05 Diseño de un relleno sanitario manual. Parte 1*, 2017. [Consulta: 31 de julio de 2018]. Disponible en: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=1955>
- León, G.** Aireación, 2016 (Presentación). Riobamba. [Consulta: 31 de julio de 2018].
- León, G.** Coagulación- Floculación, 2017. Académica, Riobamba. [Consulta: 11 de julio de 2018].
- López, L.** (2011). Diagnóstico, caracterización y propuesta de tratamiento de los lixiviados generados en el relleno sanitario de la ciudad de Ambato (Tesis). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2011. pp. 18-23.
- Lozano, E.** *Guía práctica para la depuración de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. 2016. [Consulta: 04 de octubre de 2018]. Disponible en: <https://docplayer.es/2126615-Guia-practica-para-la-depuracion-de-aguas-residuales-en-pequenas-poblaciones.html>
- MAE.** *Reforma Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio ambiente, libro VI, Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua* [En línea]. 2015. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf>
- MAE.** *Hitos en la gestión integral de los residuos sólidos en Ecuador* [En línea]. 2015. [Consulta: 17 de julio de 2018]. Disponible en <http://www.ambiente.gob.ec/hitos-en-la-gestion-integral-de-los-residuos-solidos-en-ecuador/>
- MAE, & PNGIDS.** Diagnóstico de la Cadena de Gestión Integral de Desechos Sólidos-Reciclaje [En línea]. 2015. Disponible en: <https://docs.google.com/viewer?url=https%3A%2F%2Fwww.vicepresidencia.gob.ec%2Fwp-content%2Fuploads%2F2015%2F08%2FResumen-Cadena-de-Gestion-de-Residuos-S%25C3%25B3lidos.pdf>
- Medina, A.** Diseño de un sistema de tratamiento de lixiviados generados en el Relleno Sanitario de la Ciudad de Chunchi (Tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2014. pp. 12-54
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA.** Guía para el Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de Rellenos Sanitarios. Bolivia, 2012.
- OPS, BID, & AIDIS.** *Informe de la Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe 2010* (En línea). 2010. pp. 164. Disponible en: <https://docs.google.com/viewer?url=https%3A%2F%2Fpublications.iadb.org%2Fbitstream/am%2Fhandle%2F11319%2F3286%2FInforme%2520de%2520la%2520Evaluaci%25c3%25b3n%2520Regional%2520del%2520Manejo%2520de%2520Residuos%2520S%25c3%25b3lidos%2520Urbanos%2520en%2520Am%25c3%25a9rica%2520Latina%2520y%2520el%2520Caribe%25202010.pdf%3Fsequence%3D2%26isAllowed%3Dy>

- OPS, & CEPIS.** *Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización* [En línea]. 2015 Disponible en: [http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d24/053\\_Dise%C3%B1o\\_tanques\\_s%C3%A9pticos\\_Imhoff\\_lag/Dise%C3%B1o\\_tanques\\_s%C3%A9pticos\\_Imhoff\\_lagunas\\_estabilizaci%C3%B3n.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d24/053_Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lag/Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lagunas_estabilizaci%C3%B3n.pdf)
- Pellón, A., López, M., Espinosa, C. & Gonzáles, O.** "Propuesta para tratamiento de lixiviados en un vertedero de residuos sólidos urbanos". *Sielo*, 2015. pp. 8-10. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1680-03382015000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1680-03382015000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Ramírez, H., & Jaramillo, J.** "Agentes Naturales como Alternativa para el Tratamiento del Agua." *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11(2), 2016, pp. 136. Disponible en: <https://doi.org/10.18359/rfcb.1303>
- Renault, F., Sancey, B., Badot, P., & Crini, G.** "Chitosan for coagulation/flocculation processes – An eco-friendly approach." *European Polymer Journal*, 45(5), 2009, pp. 1337-1348.
- Ríos, A.** Gestión integral de residuos sólidos urbanos [En línea] (Tesis). Instituto Politécnico Nacional, México. 2009. [Consulta: 17 de julio de 2018] Disponible en: <http://www.ceamse.gov.ar/gestion-integral-de-residuos-solidos-urbanos/>
- Rodríguez, G., Londoño, B., & Herrera, G.** *Ciudades ambientalmente sostenibles*. Universidad del Rosario. 2008. pp. 12.
- SEMARNAT & CONAGUA.** *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente* [En línea]. 2015 Disponible en: <http://www.mapasconagua.net/libros/SGAPDS-1-15-Libro29.pdf>
- UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA.** *Técnicas básicas de laboratorio: filtración*. 2009. [Consulta: 2 de agosto de 2018]. Disponible en: <https://tv.upc.edu/contenidos/filtracion>
- WARREN GROUP.** *Tanques de Almacenamiento de Agua* [En línea]. 2015. [Consulta: 2 de agosto de 2018]. Disponible en: <http://www.tfwarren.com/sp/tarsco-sp/aplicaciones/tanques-almacenamiento-aguas-residuales>
- Zamora, R., Moreno, A. & Martínez, A.** *Proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de aguas residuales: desarrollo y utilización de nuevos compuestos para la reducción de lodos*, (s.f) pp. 10.
- Zanello.** Disposición final de residuos sólidos municipales (RSM), (s. f.) pp. 8.

