



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LODOS
RECOLECTADOS POR EL VEHÍCULO HIDROSUCCIONADOR
DE LA EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y
ALCANTARILLADO DE GUARANDA**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: IBETH STEFANÍA BUCHELI CÁRDENAS

DIRECTOR: Dr. JOSÉ GERARDO LEÓN CHIMBOLEMA MSc.

Riobamba – Ecuador

2022

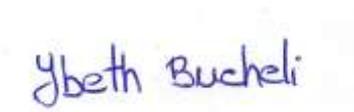
© 2022, **Ibeth Stefanía Bucheli Cárdenas**

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

Yo, IBETH STEFANÍA BUCHELI CÁRDENAS, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 27 de mayo del 2022

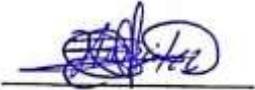
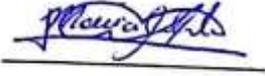
A handwritten signature in blue ink that reads "Ibeth Bucheli". The signature is written in a cursive style and is centered within a light gray rectangular box.

Ibeth Stefanía Bucheli Cárdenas

020176765-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LODOS RECOLECTADOS POR EL VEHÍCULO HIDROSUCCIONADOR DE LA EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE GUARANDA**, realizado por la señorita: **IBETH STEFANÍA BUCHELI CÁRDENAS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Juan Carlos González García. Ph.D. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-05-27
Dr. José Gerardo León Chimbolema. MSc. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN		2022-05-27
Ing. Mónica Lilian Andrade Avalos, Mag MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-05-27

DEDICATORIA

A mi Familia, quienes con su amor incondicional me han dado fortaleza para seguir adelante, ante cualquier situación y con amor incondicional a mi abuela María, quien descansa en paz.

Ibeth

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por darme salud y vida, además de sentir a diario su amor constante para seguir adelante cada día.

A mi familia por darme su apoyo incondicional para poder superarme cada día y que con su amor siempre han tenido palabras de aliento para seguir adelante. En especial, a mi mami Rocío quien siempre ha sido el mayor apoyo que he tenido y a mi tío Iván, el cual más que un tío ha sido mi mejor amigo. A mi abuelita María, quien con sabiduría siempre me dijo que estamos aquí para hacer de este un mundo mejor. A mi único hermano, Cristhian quien me ha acompañado en los mejores y sobre todo en los peores momentos de mi vida. Gracias, por tanto, no me alcanzaría la vida, para devolverles algo de lo que dan.

A la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, quienes me han brindado su apoyo para culminar este trabajo de titulación, con el único propósito de mejorar la calidad de vida de nuestro querido cantón Guaranda.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a quienes han sido mis docentes, los cuales me han impartido conocimientos en cada semestre, para que seamos profesionales enfocados en el bien común. A mi director de tesis el Dr. Gerardo León quien gracias a su paciencia y apoyo ha sido posible culminar este trabajo de titulación, a mis miembros de tribunal la Ing. Mónica Andrade e Ing. Juan Carlos González, quienes han contribuido para la culminación de este proyecto técnico.

A los amigos que he obtenido a lo largo de estudiar en mi querida ESPOCH, quienes se han convertido en más que amigos una familia y quienes han estado en los buenos y malos momentos.

Ibeth

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	9
ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
ÍNDICE DE ECUACIONES	12
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xvi
RESUMEN.....	17
SUMMARY.....	17i
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	20
1.1.	Identificación del problema.....	20
1.2.	Justificación del proyecto	21
1.3.	Línea base del proyecto	21
1.3.1.	<i>Beneficiarios directos e indirectos</i>	<i>21</i>
1.3.2.	<i>Delimitación geográfica del trabajo de titulación</i>	<i>22</i>
1.4.	Objetivos	23
1.4.1.	<i>Objetivo general.....</i>	<i>23</i>
1.4.2.	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>23</i>

CAPÍTULO II

2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	24
2.1.	Aguas residuales	24
2.1.1.	<i>Sistemas de alcantarillado</i>	<i>24</i>
2.1.1.1.	<i>Sistemas convenciones</i>	<i>24</i>
2.1.1.2.	<i>Sistemas no convencionales</i>	<i>24</i>
2.2.	Características físico-químicas de las aguas residuales	25
2.2.1.	<i>Características físicas.....</i>	<i>25</i>
2.2.2.	<i>Características químicas</i>	<i>26</i>
2.3.	Tratamiento de las aguas residuales.....	28
2.3.1.	<i>Tratamiento preliminar.....</i>	<i>28</i>
2.3.2.	<i>Tratamiento primario</i>	<i>28</i>
2.3.3.	<i>Tratamiento secundario</i>	<i>29</i>

2.3.4.	<i>Tratamiento terciario/ avanzado</i>	30
2.4.	Lodos	31
2.4.1.	<i>Definición de lodo</i>	31
2.4.2.	<i>Tipos de lodos</i>	31
2.4.3.	<i>Características de los lodos</i>	32
2.5.	Tratamiento de lodos	32
2.5.1.	<i>Acondicionamiento</i>	33
2.5.2.	<i>Espesamiento</i>	33
2.5.2.1.	<i>Espesador por gravedad</i>	34
2.5.3.	<i>Estabilización</i>	35
2.5.3.1.	<i>Estabilización con cal</i>	35
2.5.3.2.	<i>Tratamiento térmico</i>	35
2.5.3.3.	<i>Digestión anaerobia</i>	36
2.5.3.4.	<i>Digestión aerobia</i>	37
2.5.3.5.	<i>Compostaje</i>	38
2.5.4.	<i>Acondicionamiento</i>	40
2.5.4.1.	<i>Acondicionamiento químico</i>	40
2.5.4.2.	<i>Acondicionamiento térmico</i>	41
2.5.5.	<i>Desinfección</i>	41
2.5.5.1.	<i>Pasteurización</i>	41
2.5.5.2.	<i>Almacenamiento a largo plazo</i>	41
2.5.6.	<i>Deshidratación</i>	42
2.5.6.1.	<i>Filtración al vacío</i>	42
2.5.6.2.	<i>Centrifugación</i>	42
2.5.6.3.	<i>Filtros banda</i>	42
2.5.6.4.	<i>Filtros prensa</i>	44
2.5.6.5.	<i>Eras de secado</i>	44
2.5.6.6.	<i>Lagunaje</i>	44
2.5.7.	<i>Secado térmico</i>	44
2.5.7.1.	<i>Sistema de secado instantáneo</i>	45
2.5.7.2.	<i>Sistema de secado por pulverización</i>	45
2.5.7.3.	<i>Sistemas de secado rotativos</i>	45
2.5.7.4.	<i>Sistemas de secado de pisos múltiples</i>	45
2.5.8.	<i>Reducción térmica</i>	45
2.5.9.	<i>Disposición de lodo en el suelo</i>	46
2.5.10.	<i>Otros usos beneficiosos del lodo</i>	47
2.5.11.	<i>Evacuación final</i>	47

CAPÍTULO III

3.	METODOLOGÍA	48
3.1.	Tipo de estudio	48
3.2.	Localización del estudio	48
3.3.	Métodos y técnicas	48
3.3.1.	<i>Técnicas de muestreo</i>	48
3.3.2.	<i>Equipos y reactivos</i>	50
3.3.3.	<i>Pruebas de tratabilidad</i>	51
3.3.3.1.	<i>Test de jarras</i>	51
3.3.4.	<i>Métodos de caracterización</i>	53
3.4.	Caracterización físico química del lodo	53
3.5.	Diseño del sistema del tratamiento de lodos	60
3.5.1.	<i>Metodología de las técnicas de dimensionado</i>	60
3.5.2.	<i>Cálculos de ingeniería</i>	61
3.5.3.	<i>Diseño del sistema de tratamiento de lodos</i>	72
3.6.	Requerimiento de equipos	74
3.7.	Costos	74

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	76
4.1.	Caracterización final de los lodos	76
4.2.	Porcentaje de remoción de contaminantes	79

CONCLUSIONES.....67

RECOMENDACIONES.....68

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Índice de biodegradabilidad	27
Tabla 2-2:	Procesos de Pre-Tratamiento de las Aguas Residuales	28
Tabla 3-2:	Tratamiento Primario de las Aguas Residuales.....	29
Tabla 4-2:	Tratamiento Secundario de las Aguas Residuales.....	29
Tabla 5-2:	Tratamiento terciario de las Aguas Residuales	30
Tabla 6-2:	Tipos de lodos	31
Tabla 7-2:	Características de los lodos	32
Tabla 8-2:	Tratamientos aplicados para Lodos.....	32
Tabla 9-2:	Acondicionamiento del lodo	33
Tabla 10-2:	Métodos de espesamiento	33
Tabla 11-2:	Carga de sólidos para diferentes tipos de lodos	34
Tabla 12-2:	Tipos de digestión anaerobia.....	36
Tabla 13-2:	Criterios de diseño para digestores aerobios	38
Tabla 14-2:	Diseño de procesos de compostaje del lodo vía aerobia	39
Tabla 15-2:	Dosis típicas de polímeros para tipos de lodos y sistemas de deshidratación	40
Tabla 16-2:	Criterios de diseño y rendimientos típicos con filtros banda	43
Tabla 17-2:	Aspectos a tomar en cuenta en la disposición de lodo en el suelo	46
Tabla 1-3:	Preservación y almacenamiento de la muestra.....	49
Tabla 2-3:	Equipos y reactivos usados para los análisis.....	50
Tabla 3-3:	Mezcla rápida para el acondicionamiento químico.....	52
Tabla 4-3:	Características del Policloruro de Aluminio líquido, PAC	52
Tabla 5-3:	Métodos de caracterización.....	53
Tabla 6-3:	Caracterización inicial de los lodos.....	53
Tabla 7-3:	Segunda caracterización de los lodos.....	54
Tabla 8-3:	Tercera caracterización de los lodos	54
Tabla 9-3:	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	55
Tabla 10-3:	Tabla comparativa de los resultados obtenidos, con los límites permisibles	56
Tabla 11-3:	Límites máximos permisibles para metales pesados en lodos / biosólidos	58
Tabla 12-3:	Tabla comparativa de resultados para metales pesados con la Norma Oficial Mexicana N04-004-SERMANAT-2002	58
Tabla 13-3:	Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos / biosólidos	58
Tabla 14-3:	Tabla comparativa de resultados bacteriológicos.....	59
Tabla 15-3:	Aprovechamiento de lodos / biosólidos	59
Tabla 16-3:	Cálculo del caudal de lodos a tratar	61

Tabla 17-3:	Dimensiones del sistema de tratamiento de lodos.....	72
Tabla 18-3:	Presupuesto de la implantación del sistema de tratamiento de lodos.....	74
Tabla 19-3:	Presupuesto para el acondicionamiento químico del lodo.....	75
Tabla 1-4:	Primera caracterización final de los lodos.....	76
Tabla 2-4:	Segunda caracterización final de los lodos.....	76
Tabla 3-4:	Comparación de los resultados obtenidos con el Anexo I del libro XI del TULSMA	77
Tabla 4-4:	Comparación de los resultados obtenidos con la Norma Oficial Mexicana N04- 004-SERMANAT-2002.....	78
Tabla 5-4:	Tabla comparativa de resultados bacteriológicos.....	78
Tabla 6-4:	Aprovechamiento de los lodos y biosólidos.....	78
Tabla 7-4:	Eficiencia remocional de los procesos de tratamiento.....	79
Tabla 8-4:	Porcentaje de remoción de metales pesados.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Zona de Estudio PTAR EP- EMAPA-G	22
Figura 1-2:	Esquema de un filtro banda.....	43
Figura 1-3:	Test de jarras	52

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-3:	Carga superficial de sólidos	61
Ecuación 2-3:	Área superficial del espesador	61
Ecuación 3-3:	Diámetro del espesador circular	62
Ecuación 4-3:	Volumen del espesador	62
Ecuación 5-3:	Altura útil del espesador	62
Ecuación 6-3:	Altura de la zona de lodos	63
Ecuación 7-3:	Altura total del espesador	63
Ecuación 8-3:	Diámetro de la cámara de reparto	63
Ecuación 9-3:	Altura de la cámara de reparto	63
Ecuación 10-3:	Área superficial del medio filtrante (FAFA)	64
Ecuación 11-3:	Longitud del filtro anaerobio	64
Ecuación 12-3:	Volumen del lecho filtrante	64
Ecuación 13-3:	Altura del lecho filtrante	65
Ecuación 14-3:	Altura total del filtro anaerobio	65
Ecuación 15-3:	Volumen total del filtro anaerobio	66
Ecuación 16-3:	Carga orgánica volumetrica	66
Ecuación 17-3:	Tiempo de residencia hidráulica	66
Ecuación 18-3:	Eficiencia del filtro anaerobio	66
Ecuación 19-3:	Concentración total del DBO en el efluente	67
Ecuación 20-3:	Volumen de la cámara de mezcla	67
Ecuación 21-3:	Diámetro de la cámara de mezcla	68
Ecuación 22-3:	Profundidad de la cámara de mezcla	68
Ecuación 23-3:	Potencia aplicada al agua	68
Ecuación 24-3:	Diámetro de la turbina	69
Ecuación 25-3:	Dimensiones de las paletas	69
Ecuación 26-3:	Dimensiones de las paletas	69
Ecuación 27-3:	Velocidad de rotación	69
Ecuación 28-3:	Cantidad de lodo húmedo	70
Ecuación 29-3:	Cantidad de sólidos secos	70
Ecuación 30-3:	Tasa diaria de sólidos	70
Ecuación 31-3:	Tasa horaria de sólidos	71
Ecuación 32-3:	Anchura de banda	71
Ecuación 33-3:	Cantidad de sólidos retenidos	71
Ecuación 34-3:	Caudal diario de lodo	71

Ecuación 35-3: Caudal de agua de lavado a contracorriente	71
Ecuación 36-3: Cantidad de sólidos en la alimentación.....	71
Ecuación 37-3: Porcentaje de sólidos scapturados.....	71
Ecuación 38-3: Cantidad de sólidos secos	72
Ecuación 39-3: Tiempo de funcionamiento del filtro banda.....	72

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Grupo de bacterias que intervienen en la digestión anaerobia	37
Gráfico 2-2:	Sistemas de Compostaje.....	39
Gráfico 1-4:	Caracterizaciones iniciales y finales de la DQO	80
Gráfico 2-4:	Remoción de la demanda química de oxígeno.....	80
Gráfico 3-4:	Secuencia de procesos para el sistema de tratamiento de lodos.....	81
Gráfico 4-4:	Caracterizaciones iniciales y finales de la DBO	81
Gráfico 5-4:	Remoción de la demanda bioquímica de oxígeno.....	81
Gráfico 6-4:	Caracterizaciones iniciales y finales de los metales pesados	82
Gráfico 7-4:	Porcentaje de remoción de metales pesados	82
Gráfico 8-4:	Porcentaje de remoción del indicador biológico	83

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: FICHA TÉCNICA DEL PRODUCTO QUÍMICO

ANEXO B: IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE
LODOS

ANEXO C: CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

E.P. EMAPA-G Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado del cantón Guaranda

m³ Metros cúbicos

l/s Litros por segundo

m.s.n.m Metros sobre el nivel del mar

PTAR Planta de tratamiento de agua residual

EPS Entidades prestadoras de servicio de agua potable y alcantarillado

NMP Número más probable

AAN Autoridad Ambiental Nacional

SNDGA Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental

SUMA Sistema único de manejo ambiental

GAD Gobiernos Autónomos Descentralizados

TULSMA Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente

LORUyA Ley Orgánica de Recursos Hídricos, usos y aprovechamiento del agua

USEPA Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos

ARCA Agencia de Regulación y Control del Agua

OD Oxígeno Disuelto

DBO Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO Demanda Química de Oxígeno

RESUMEN

El objetivo del trabajo de titulación fue diseñar un sistema de tratamiento para los residuos recolectados por el vehículo hidrosuccionador de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, para su diseño se realizaron caracterizaciones de los lodos, pruebas de tratabilidad, como la prueba de jarras, usada para obtener la dosificación necesaria de productos químicos para el acondicionamiento del lodo, la determinación de los parámetros analizados se basaron en procedimientos HACH, aprobados por el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, realizados en el laboratorio de control de calidad del agua perteneciente al E.P. EMAPA-G, y LABCESTTA S.A. El sistema de tratamiento de lodos está diseñado para tratar un caudal de 405,216 m³/d, consta de un sistema de espesado por gravedad de 34 m³; un proceso de estabilización del lodo, en el cual se usa dos unidades de filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) que para fines de construcción son de 372 m³, con una área superficial del medio filtrante de 39 m²; seguida del acondicionamiento químico con el uso del Policloruro de aluminio líquido con una dosis de 3,9 mg/l, mediante un tanque mezclador mecánico de turbina radial con una velocidad de rotación de 306 rpm, para pasar a la unidad de deshidratación tipo filtro banda, el cual nos permite obtener una torta de lodo lista para su evacuación final, que fue la aplicación al terreno en un almacenamiento a largo plazo que permitirá aprovechar sus características para un proceso de vermicompostaje, usándolo como abono o enmienda orgánica en sectores aledaños a la planta. Por lo que se recomienda realizar caracterizaciones frecuentes a los parámetros relevantes del lodo y brindar información a la sociedad del proceso de depuración de lodos y su impacto en el medio, así como los usos que se les puede dar.

Palabras clave: <LODOS>, <PRUEBAS DE TRATABILIDAD>, <REMOCIÓN>, <ABONO>, <APLICACIÓN AL TERRENO>, <VERMICOMPOSTAJE>, <APROVECHAMIENTO>.



ABSTRACT

The aim of this graduation work was to design a treatment system for the waste collected by the Tracked Hydrovacuum vehicle of the Municipal Sewage and Drinking Water Company from Guaranda. For its design, sludge characterizations and treatability tests, such as the jar test were performed to obtain the right dose of chemical products. The determination of the parameters analyzed was based on HACH procedures, approved by the Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater carried out in the water quality control laboratory belonging to E. P. EMAPA-G, and LABCESTTA S.A. The sludge treatment system is designed to treat a flow of 405,216 m³/d and consisted on a 34 m³ gravity thickening system; a sludge stabilization process with two upflow anaerobic filter units (UAF) and a building area of 372 m³ with a filter media surface area of 39 m²; followed by the chemical conditioning with the use of liquid aluminum polychloride in a dose of 3.9 mg/l, using a mechanical radial turbine mixer tank which rotates at 306 rpm, to pass to the belt-type filter dehydration unit, this allows obtaining a sludge cake ready for its final disposal, which consisted on the application of the sludge to the land in a long-term storage in order to take advantage of its characteristics for a vermicomposting process, using it as fertilizer or organic amendment in surrounding areas of the plant. Therefore, it is recommended to carry out permanent characterizations of relevant parameters found in the sludge and provide information to the society about the sludge treatment process and its impact on the environment, as well as its uses.

Keywords: <SLUDGE>, <TREATABILITY TESTS>, <POLLUTANTS REMOVAL>, <FERTILIZERS>, <LAND APPLICATION>, <VERMICOMPOST>, <UTILIZATION>.



Lic. Paul Rolando Armas Pesantes Mg.
C.I. 0603289877

INTRODUCCIÓN

Según de la Peña (2013, p.10) lograr que todos los cuerpos de agua superficiales y subterráneas del país recuperen su salud es indispensable, ya que estos contribuyen a la calidad de vida de la población, sin descargas de aguas residuales urbanas, industriales, agrícolas que lo contaminen y afecten más allá de su capacidad natural de depuración; debido a que esta inadecuada eliminación de las aguas se convierte en un potencial vehículo de enfermedades de origen hídrico, como es la fiebre tifoidea, disentería, cólera, causadas por bacterias del grupo entérico; otras causadas por virus presentes en las aguas residuales como es la poliomielitis, hepatitis infecciosa, entre otras, estas producen malos olores causados por el desdoblamiento de complejos orgánicos que generan gases resultado de la descomposición, una acción toxica, potencialidad infectiva, modificación estética en áreas donde se descargan los efluentes contaminados y polución térmica; por lo cual estas deben recibir un tratamiento adecuado, capaz de modificar sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas para evitar que su disposición cause los problemas anteriormente mencionados, con el fin de evitar la contaminación o usar el agua tratada con distintos usos, como por ejemplo en la agricultura con fines de riego, lo que aumenta considerablemente la sostenibilidad del uso del agua. Para resumir, esto se ha provocado por la falta de coordinación entre usuarios y autoridades, aunado a la falta de un adecuado tratamiento y rehúso de las aguas residuales generadas lo que conlleva a la sobreexplotación del recurso agua, contaminación de ecosistemas, degradación de suelos, en general, ocasionando un impacto ambiental, ante lo cual se debe buscar la forma más adecuada y en la medida en que se quiera pagar un precio razonable para tratar el agua residual y lodo generado, en consideración a ciertos factores como la cantidad y composición de los residuos, factibilidad técnica y económica, las bases fundamentales para tratar las aguas residuales están sujetas a tres tipos de tratamientos, el tratamiento primario que es usado para la eliminación de material flotante y sólidos suspendidos con límites permisibles para el medio receptor tanto como para el efluente, debido a que esto se pasa a un segundo tipo de tratamiento denominado tratamiento secundario directamente o pasado por procesos de homogenización o neutralización en el cual se aplican tratamientos biológicos convencionales , en cuanto al tratamiento terciario hace referencia a los procesos que tienen por finalidad la eliminación de contaminantes que no se han eliminado mediante los tratamientos descritos anteriormente.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

La Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, cuya abreviatura es E.P. EMAPA-G, creada mediante una ordenanza municipal en el año 2003, cuenta con autonomía administrativa y económica para la consecución de sus objetivos y la prestación de servicios acorde a las necesidades actuales y futuras del cantón.

EMAPA-G, tiene a su disposición un vehículo hidrosuccionador marca Vaccon, modelo V310, dotado con un sistema succionador y un sistema hidráulico a presión para la realización de labores de limpieza del sistema de alcantarillado, pozos sépticos, tuberías, mantenimiento de sumideros, con la finalidad de evitar taponamientos y desbordes de estas instalaciones.

El origen del problema radica en que los residuos líquidos o líquidos semisólidos, conocidos como lodos, que forman parte del agua residual recolectada por el vehículo hidrosuccionador son depositados en uno de los compartimentos de la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), ubicada en la ciudadela Marcopamba, de la ciudad Guaranda, la cual no se encuentra en funcionamiento hace varios años.

Por lo cual, dichos residuos no reciben ningún tipo de tratamiento previo para su disposición final, afectando a la calidad del suelo donde son depositados y al recurso agua, debido a que por infiltración, los lixiviados de estos residuos se dirigen hacia el cauce del río chimbo, que se encuentra a lo largo de la provincia Bolívar hasta llegar a la hoya con su mismo nombre, lo que con el pasar el tiempo se ha convertido en un problema reiterativo que ha venido afectando a la ciudadanía aledaña al sector, debido a que estos residuos provocan la generación de malos olores, y más aún, ponen en riesgo la salud humana por la presencia de vectores, que no solo afectan a este sector en específico sino más bien a todo nuestro ambiente.

1.2. Justificación del proyecto

En la actualidad E.P. EMAPA-G carece de un sistema de tratamiento de lodos, por lo cual ha visto de la necesidad de brindarles una disposición final, comprometidos con garantizar el derecho ineludible de la población hacia un buen vivir, además de hacer validos los derechos reconocidos en nuestra constitución hacia la naturaleza propiciando un ambiente sano ecológicamente equilibrado y libre de contaminación precisando que es conveniente controlar las actividades que causan la degradación del agua y suelo.

Inclusive en el numeral 3.2 de la Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, nos menciona que conforme al art 264.4 de la Constitución, las municipalidades dentro de su límite de actuación y a través de las Entidades Prestadoras de Servicios de agua potable y alcantarillado (EPS) de carácter público o delegadas al sector privado, serán las responsables por la solución de los problemas de contaminación del agua, ocasionados por el abastecimiento, uso y deterioro de la calidad del agua, para lo cual deberán realizar los respectivos planes maestros de intercepción y tratamiento de las descargas (Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua , 2014, p.7).

En consecuencia, a lo mencionado anteriormente la Municipalidad de Guaranda, mediante la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado, es la responsable en brindarle un tratamiento a estos residuos acorde a sus características y a que se pretende llegar a obtener con esta intervención, debido a la magnitud e incidencia del problema, corroborado en el 2020 mediante caracterizaciones al lodo y agua residual recolectado que han sido realizadas por la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA), por lo cual ha llevado a la administración actual a involucrarse en dicho proceso obteniendo de esa manera una conciencia y responsabilidad ambiental, comprometida con el cambio que se quiere realizar para las actuales generaciones al verse comprometidos los recursos renovables y no renovables que disfrutamos y debemos preservar para garantizar su uso y disfrute para futuras generaciones.

1.3. Línea base del proyecto

1.3.1. Beneficiarios directos e indirectos

El beneficiario directo del presente trabajo de titulación, tipo proyecto técnico, es la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, la cual obtendrá el diseño de un sistema de tratamiento de lodos, la cual estará enmarcada en la consecución de sus objetivos, de esa manera satisfaciendo las necesidades de la entidad.

De igual manera, la ciudadanía del cantón Guaranda, en especial el sector aledaño a donde son depositados los residuos sin tratamiento alguno, son los beneficiarios indirectos, ya que contara

con la solución a la problemática que han venido causando estos residuos, en cuanto a la aparición de vectores de insalubridad, lo cual es la mayor preocupación vista desde el punto de salud humana, además de la recuperación del espacio destinado para el tratamiento de residuos que permitirá esta propuesta y la disposición final de los mismos, contribuyendo al ambiente.

1.3.2. Delimitación geográfica del trabajo de titulación

El proyecto técnico que se propone se va a ubicar en la ciudad San pedro de Guaranda capital de la provincia Bolívar, ubicada a 2668 m.s.n.m conocida como la "ciudad de las 7 colinas", por estar rodeada por las mismas: San Jacinto, San Bartolo, Cruz Loma, Tililag, Talalag y el Mirador, específicamente ubicada en la ciudadela Marcopamba, como se muestra en el gráfico presentado a continuación:

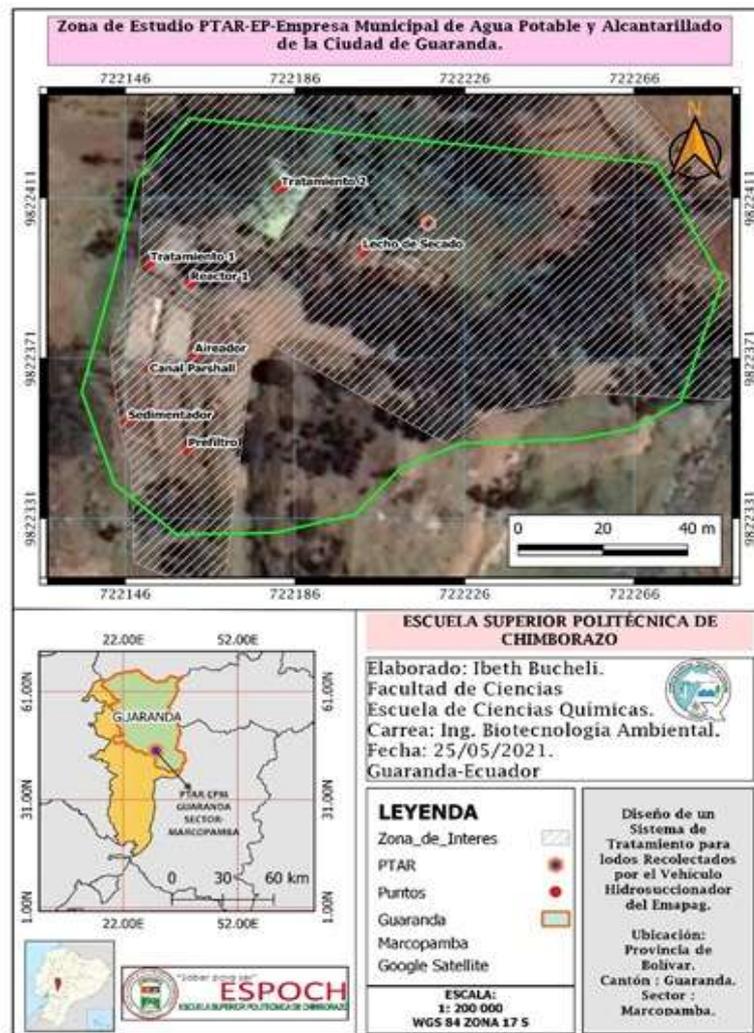


Figura 1-1: Zona de Estudio PTAR EP- EMAPA-G

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2021.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Diseñar un sistema de tratamiento para los residuos recolectados por el vehículo hidrosuccionador de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda.

1.4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar el agua y lodos residuales recolectados por el vehículo hidrosuccionador de la E.P. EMAPA-G.
- Proponer los procesos adecuados con pruebas de tratabilidad para el diseño del sistema de tratamiento para los residuos.
- Dimensionar el sistema de tratamiento de los residuos recolectados por el vehículo hidrosuccionador de la E.P. EMAPA-G mediante la herramienta informática AutoCAD.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Aguas residuales

De acuerdo con Trapote (2002 , p.24), el agua residual es aquella aglomeración procedente de las actividades humanas, comerciales, industriales y agrarias, en algunos casos integrados a las aguas lluvia.

2.1.1. *Sistemas de alcantarillado*

Es aquel que incluye todas las estructuras físicas requeridas para la recolección, tratamiento y disposición final de las aguas residuales y/o pluviales.

2.1.1.1. *Sistemas Convencionales*

También son conocidos como tradicionales, usados para la recolección y transporte del agua residual o pluvial hasta su disposición final, están conformados por dos tipos, el primero que se trata de un sistema de alcantarillado sanitario separado, el cual recolecta y transporta agua residual en sistemas independientes, y el sistema de alcantarillado combinado que es el mediante un tubo recolecta y transporta conjuntamente el agua residual y pluvial.

2.1.1.2. *Sistemas No Convencionales*

Son sistemas de menor costo basados en consideraciones de diseño adicionales y en una tecnología disponible para su operación y mantenimiento, dentro de los cuales se encuentra los sistemas de alcantarillado sanitario condominiales (SASC) que son aquellos que se encargan de la recolección de un conjunto de viviendas en un área inferior a 1 hectárea, los alcantarillados sin arrastre de sólidos (ASAS) que permiten trasladar aguas residuales domésticas que han sido sedimentadas en un tanque séptico sirven para uso doméstico en pequeñas comunidades que vistas del punto de vista ambiental pueden tener un costo y un impacto mucho más reducido, los sistemas de alcantarillado simplificado (SAS) que tienen la función como la de un alcantarillado sanitario convencional provisto de un conjunto de colectores principales, secundarios, emisarios, interceptores, cámaras de inspección, sistema de bombeo, que recogen y transportan el agua residual hasta su disposición final, los sistemas de alcantarillados modulares 100% de material plástico (SAM) que son sistemas definidos en bloques aliados a una creativa disposición física y

por último los sistemas aislados de disposición como letrinas, cámaras sépticas, campos de infiltración y baños ecológicos, los cuales son de bajo costo apropiados para áreas urbanas y rurales, sobre todo con una población dispersa.

2.2. Características fisicoquímicas de las Aguas Residuales

2.2.1. Características Físicas

Sólidos totales: Se encuentran en el agua debido a la acción de la erosión del agua sobre el medio, como también sólidos en suspensión de carácter orgánico, lo que proporciona un aspecto desagradable al agua, favoreciendo a la formación de incrustaciones además de condiciones anaeróbicas en el medio. Existen distintos tipos de sólidos como son:

- **Sólidos volátiles:** En su mayoría están compuestos por contenido orgánico que se oxida de 105°C- 550 °C y sale en forma de gas.
- **Sólidos sedimentables:** Son los que se sedimentan en el fondo de un recipiente llamado cono de Imhoff aproximadamente en 1 hora.
- **Sólidos fijos:** Son de carácter inorgánico, los cuales quedan reducidos a cenizas a 550°C.
- **Sólidos filtrables:** Son un conjunto de sólidos en disolución y coloidales menor 1 μm .
- **Sólidos suspendidos:** Constituidos por partículas de diámetro mayores a 1 μm con tendencia a sedimentar, difícilmente de conseguir debido a las velocidades y turbulencias del agua.

Color: Es una característica fácil de observar, este parámetro puede ser verdadero causado por materia coloidal y sustancias en solución, en cambio el color aparente es causado por la presencia de sólidos suspendidos, siendo los colores más comunes el gris, café, café claro, negro, lo que permite predecir en qué etapa de degradación se encuentra el agua residual doméstica, un ejemplo de esto es el color negro que es un indicativo de que se encuentra en un grado alto de biodegradación, como es el caso de la limpieza de los sistemas de alcantarillado.

Sabor: Las sustancias inorgánicas suelen dar sabor al agua, pero no olor, los materiales alcalinos dan un sabor amargo, en tanto a las sales metalizas le brindan un sabor salado, causando efectos en los distintos usos del agua como por ejemplo no pueden ser usadas para uso domésticos o industrias alimentarias.

Olor: El olor del agua residual se genera por la presencia de compuestos orgánicos durante la biodegradación de la materia orgánica, se mide por métodos sensoriales e instrumentales basados en determinar la concentración mínima permisible hacia el olfato expresada en ppb.

Temperatura: Varía en función de una región a otra, por lo cual, en la ciudad debido a ser una región fría, esta varía de 7-18 °C, sin embargo este parámetro es difícil de controlar en el cuerpo

receptor debido a dos razones, la primera es que cambia durante el año, por lo cual se recurriría a múltiples pruebas para definir su valor y la segunda es la labor para compararlas, por estas razones las pruebas a nivel de laboratorio se realizan a 20 °C de manera estándar; como sabemos este factor regula la actividad biológica, es decir afecta a un gran número de reacciones que se producen en el agua, influye en la solubilidad de las sustancias en el agua.

Conductividad eléctrica: Es un parámetro que nos sirve para ver si el agua residual contiene minerales y es usado también como un indicador de la concentración de sólidos disueltos, este es una característica que debe ser medida in situ, debido a que varía de un lugar a otro.

Turbidez: Es un parámetro que refleja una aproximación del contenido de materia coloidal, minerales u orgánicas, por lo cual es un indicio de contaminación, para determinar su medida es usado un turbidímetro, obteniendo una lectura correspondiente a su valor en medidas de Unidades de Turbidez Nefelométricas (NTU).

2.2.2. Características Químicas

El agua residual doméstica, en su mayoría está formada por materia orgánica procedente de las actividades humanas, están formados generalmente por una combinación de carbono, hidrógeno y oxígeno, en algunos casos, nitrógeno, grasas y aceites, así como también agentes tensoactivos, fenoles y pesticidas. Además, contienen una parte de fracciones inorgánicas de gran importancia para el control de la calidad del agua como son el pH, cloruros, alcalinidad, nitrógeno, fosforo, azufre, compuestos tóxicos y los metales pesados; y gases procedentes de la descomposición de materia orgánica presente en el agua residual, todas estas características son presentados a continuación:

Proteínas: Tienen una estructura química compleja, sometida a muchas formas de descomposición, debido a que en su estructura contienen carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno, en muchos casos también son componentes el azufre, fosforo y hierro.

Carbohidratos: El principal constituyente es el carbono, hidrógeno y oxígeno, se incluyen azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera; siendo los azúcares los que tienen predisposición a la descomposición y fermentación.

Grasas animales y aceites: Son uno de los compuestos orgánicos más estables y de difícil descomposición por bacterias, están formados por ésteres de alcohol o glicerina y ácidos grasos, estos a temperatura ambiente son líquidos y se denominan aceites y los sólidos se denominan grasas, los que llegan en mayor cantidad hacia la alcantarilla son los derivados de petróleo y alquitrán provocando inconvenientes, dichos problemas se solventan con la inducción de sistemas de desengrasado en las PTAR.

Pesticidas y productos químicos agrícolas: No son constituyentes comunes del agua residual, se incorporan a consecuencia de las escorrentías de parques, campos agrícolas, y tierras

abandonadas, se encuentran a nivel de trazas tales como herbicidas, pesticidas y otros productos químicos usados para la agricultura.

Para la medición del contenido orgánico en el agua residual se incluye la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), y de carbono orgánico (COT) que se amplía a continuación:

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅): Es una forma indirecta de medir los microorganismos, ya que es la cantidad de oxígeno que requieren las bacterias durante la estabilización de la materia orgánica susceptible de descomposición en condiciones aerobias, por lo cual, representa la cantidad de materia orgánica que se puede degradar durante 5 días a 20° C, ya que en este tiempo se degrada hasta el 70% de la materia orgánica presente en el agua residual. Esta prueba tiene la finalidad de determinar la contaminación del agua, es expresada en mg/L, es necesaria para establecer criterios de regulación, y sobre todo para dimensionar la instalación del tratamiento de aguas residuales.

Demanda química de oxígeno (DQO): Este parámetro determina la cantidad de oxígeno consumido por la oxidación química de sustancias orgánicas e inorgánicas contenidas en el agua.

Índice de biodegradabilidad: La relación entre la DQO y DBO₅ nos da una idea de que tan biodegradable es el agua residual a tratar, generalmente cuando esta relación es $DQO > DBO_5$, es decir 1:2 es potencialmente degradable, a continuación, se presenta una tabla de guía:

Tabla 1-2: Índice de biodegradabilidad

Índice de biodegradabilidad de la relación entre DQO Y DBO ₅	
Tratamiento Físico	0,2
Tratamiento Químico	0,4
Tratamiento Biológico	0,7

Fuente: (Muñoz Tobar, 2017)

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

Carbono orgánico total (COT): Es un parámetro que se obtiene cuantificando el dióxido de carbono generado en la oxidación térmica de las sustancias orgánicas de una muestra de agua.

Demanda total de oxígeno (DTO): Es la cantidad de oxígeno teóricamente necesario para la oxidación de todas las sustancias oxidables en el agua.

Potencial hidrógeno: Es conocido como pH, nos indica este parámetro es la acidez o basicidad del agua, definiendo el ácido como la sustancia que se disocia en el agua para producir iones hidronio, mientras que una base se disocia en iones hidróxido.

Alcalinidad: Es la cantidad de iones presentes en el agua que reaccionan para neutralizar iones hidronio es decir la capacidad del agua para neutralizar ácidos, se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos, es importante para el desarrollo de tratamiento químicos e influye sobre la eliminación biológica de nutrientes.

Nitrógeno: Nutriente esencial en pequeñas cantidades para el crecimiento de las plantas y organismos, en el agua residual representa un inconveniente ya que genera eutrofización.

Fósforo: Al igual que el nitrógeno es un nutriente esencial, por lo cual los microorganismos se alimentan de él, comúnmente se encuentran en forma de ortofosfatos, polifosfatos y fosfato orgánico.

Azufre: Se presenta como ión sulfato en la mayoría de agua, este se requiere en la síntesis de las proteínas y se libera en su degradación.

Metales pesados: La existencia de metales pesados como: Cobre (Cu), Cromo total (Cr), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Zinc (Zn), Cadmio (Cd), Hierro (Fe), etc., afectan a la biomasa encargada de la estabilización de la materia orgánica.

2.3. Tratamiento de las Aguas Residuales

Por motivo de practicidad y costumbre en Latinoamérica, en el presente proyecto técnico se definirán de manera breve las etapas de tratamiento, en cuanto se refiere a las aguas residuales:

2.3.1. Tratamiento preliminar

El objetivo de este tipo de tratamiento, es el acondicionamiento de las aguas residuales a tratar para proteger los procesos unitarios posteriores y reducir condiciones indeseables, principalmente estéticas.

Tabla 2-2: Procesos de Pre-Tratamiento de las Aguas Residuales

Proceso	Objetivo
Rejillas	Retención de cuerpos voluminosos
Trituradores	Desmenuzado de sólidos
Desarenadores	Eliminación de arena
Desengrasadores	Eliminación de aceites y grasas
Pre-aireación	Mejoramiento de compartimentos hidráulicos y control de olor

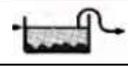
Fuente: (Eddy, 1996)

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

2.3.2. Tratamiento primario

Este tratamiento tiene por objetivo la remoción de carga orgánica y sólidos suspendidos por medios físicos y complementaria con medios químicos:

Tabla 3-2: Tratamiento Primario de las Aguas Residuales

Proceso Unitario					
Rejas gruesas					
Rejas finas Tamices					
Desarenador					
Decantación					
Flotación					
Partícula típica eliminada	Cuerpos flotantes	Partículas discretas	Sólidos sedimentables inorgánicos	Sólidos sedimentables orgánicos	Sólidos flotantes orgánicos

Fuente: (Eddy, 1996)

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

2.3.3. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario, tiene como objetivo la eliminación de la materia orgánica biodegradable disuelta mediante el crecimiento de microorganismos que asimilan, por lo cual es llamado también tratamiento biológico, están compuestos por tratamientos biológicos de tipo natural, que son aquellos que necesitan mínimamente instalaciones mecánicas y los tratamientos que conllevan equipos de operación y que requieren instalaciones adecuadas. Otra subdivisión de estos es en función del oxígeno, clasificándolos en sistemas aerobios donde los microorganismos obtienen la energía oxidando las sustancias orgánicas, en cambio en los sistemas anaerobios se desarrolla en ausencia de oxígeno generando biogás y lodo residual.

Tabla 4-2: Tratamiento Secundario de las Aguas Residuales

SEGÚN EL TIPO DE INSTALACIÓN	
TRATAMIENTO DE TIPO NATURAL	TRATAMIENTO DE INSTALACIÓN
Lagunas aireadas	Sistemas de Biomasa Suspendida
Estanques de estabilización	Fangos activos
Sistemas de estabilización	Reactores de tanque agitado (ANIFLOW)
	Reactores de contacto (ANCONT)
	Reactores de lecho de lodos anaerobios (UASB)
	Sistemas de Biomasa Fija
	Filtros percoladores o biológicos
	Biodiscos
	Filtros Biológicos (ANBIOF)
	Reactor de lecho biológico fluidizado (FANBIOF)
SEGÚN LA UTILIZACIÓN DEL OXÍGENO	

AEROBIOS	ANAEROBIOS
Lagunas aireadas	Estanques de estabilización anaerobios
Estanques de estabilización aerobios	Reactores de tanque agitado
Fangos activos	Reactores de contacto
Filtros percoladores o biológicos	Filtros biológicos
Biodiscos o contactores biológicos rotativos	Reactor de lecho biológico fluidizado
	Reactor de lecho de lodos anaerobios

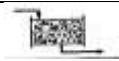
Fuente: (Muñoz Tobar, 2017).

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

2.3.4. Tratamiento terciario/ avanzado

Este tratamiento es un complemento a los procesos anteriores para obtener un efluente más puro, orientado a eliminar los contaminantes orgánicos biodegradables y nutrientes minerales, están formados por procesos físicos, químicos y biológicos, los compuestos que son removidos son: fosfatos, nitratos, parásitos, tensoactivos, sólidos totales y sólidos volátiles, etc. Está enfocado generalmente en los siguientes procesos:

Tabla 5-2: Tratamiento terciario de las Aguas Residuales

Proceso Unitario				
Aireación				
Aireación por carbón				
Filtración				
Cambio iónico				
Separación por membrana				
Desinfección				
Partícula típica eliminada	Gases disueltos	Materia orgánica disuelta	Materia mineral disuelta (iones)	Microrganismos, bacterias y virus

Fuente: (Eddy, 1996)

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

2.4. Lodos

2.4.1. Definición de lodo

Los lodos son un tipo de líquido o líquido semisólido, con un contenido entre 0,25 – 12 % en peso de los sólidos, según Muñoz (2017, p. 55-72) , formado por un conjunto de sustancias que son responsables del carácter desagradable de las aguas residuales no tratadas, estos tienen una gran cantidad de materia orgánica que son sujetas a procesos de descomposición no deseable por tal motivo los procesos de tratamiento están enfocados a la reducción de agua, materia orgánica y por último la reducción del volumen total de éstos. Estos generan tres problemas esenciales:

1. En el caso de aguas residuales urbanas, se ha calculado que por cada habitante se produce 0,36 kg/hab*día en forma de fango, lo que genera problemas de espacio, en cuanto se refiere a su recolección y disposición.
2. Problemas ambientales debido a que algunos tienen una procedencia industrial que en su mayoría está formada por metales pesados, que dificultan su tratamiento y la presencia de nitratos que origina contaminación en aguas subterráneas, que en algunos sectores se usan para la potabilización del líquido vital.
3. Problemas higiénicos-sanitarios ya que no se asegura la eliminación de organismos patógenos que pudieran contener.

2.4.2. Tipos de Lodos

Los lodos pueden ser de distintos tipos como se explica a continuación:

Tabla 6-2: Tipos de lodos

Tipo de sólidos o lodos	Características
Sólidos gruesos	La basura incluye todo tipo de materiales inorgánicos y orgánicos relativamente grande
Arenas y espumas	Las arenas están constituidas, por sólidos inorgánicos más pesados normalmente
Arenas y espumas	La espuma está constituida por materiales flotante
Lodos primarios y espuma	Los de carácter orgánico producen un olor molesto
Lodos químicos	El olor del fango puede ser molesto si es de carácter orgánico, pero menos ofensivo que el primario, dependerá del compuesto químico usado en el proceso
Sólidos suspendidos	El lodo en buenas condiciones tiene un olor a tierra pero tiende a convertirse en séptico rápidamente
Lodos secundarios y espumas	Sus características varían en función del tratamiento biológico
Lodos compostaje y cenizas	Material estabilizado y de relativo menor volumen

Fuente: (Ramalho, 1983).

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

2.4.3. Características de los lodos

Los lodos pueden tener distintas características en cuanto a su aspecto, composición, color, olor, concentración de humedad, acorde con su procedencia y tipo, por lo cual se presenta una breve descripción a continuación:

Tabla 7-2: Características de los lodos

Tipos de lodos	Aspecto	Olor	Secado	Humedad
Primario	Pardo y pegajoso	Fuerte	Difícil	95-97,5
Secundario				
Filtro Biológico	Ceniciento flocculentos	Medio	Medio	52-95
Lodo activado	Marrón flocculentos	Suave	Difícil	98,5-99,5
Precipitación química	Ceniciento gelatinoso	Fuerte	Difícil	93-95
Lodo séptico	Negro	Fuerte		
Lodo digerido	Negro granular	Suave	Fácil	Sedimentación primaria 87 Filtro biológico 90 Lodo activado 93 Precipitación química 90

Fuente: (Muñoz Tobar, 2017).

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

2.5. Tratamiento de lodos

Para el tratamiento de lodos, se debe tener en consideración algunos aspectos, como la finalidad a la que se pretende llegar con brindarles un tratamiento, el caudal que se va a tratar, características químicas- físicas y bacteriológicas y las operaciones unitarias que son aplicables para este tipo de residuos, como se menciona en la tabla presentada a continuación:

Tabla 8-2: Tratamientos aplicados para Lodos

	Mejora y homogenización	Concentración de materia sólida	Eliminación del agua (parcial)	Reducción biológica de materia orgánica	Destrucción de la materia orgánica	Reducción de patógenos - virus
Acondicionamiento						
Espesamiento						
Deshidratación						

Digestión a) Aeróbica b) anaeróbica						
Incineración						
Desinfección						

Fuente: (Eddy, 1996).

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

2.5.1. Acondicionamiento

Este proceso se lo usa para conseguir la mejora y/o homogenización de lodos o fangos cuando amerite el caso debido a que en algunas situaciones se hace necesario contar con algunos de los procesos que se describen en la siguiente tabla:

Tabla 9-2: Acondicionamiento del lodo

Operación	Finalidad
Dilaceración del fango	Los sólidos de gran tamaño son cortados en partículas más pequeñas para evitar obstrucciones
Desarenado del fango	De acuerdo a las características de procedencia del fango se hace necesario desarenar el fango antes de proceder a su tratamiento, dependiendo de la presión y de la concentración de materia orgánica del fango
Mezclado del fango	Conseguir que la alimentación sea un material uniforme, con características favorables para el funcionamiento y rendimiento de las plantas
Almacenamiento del fango	Se lo realiza para conseguir laminar fluctuaciones de producción de fango y de esa manera permitir la acumulación de los mismos

Fuente: (Eddy, 1996).

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

2.5.2. Espesamiento

Es un proceso que se emplea para aumentar el contenido de sólidos por eliminación de la humedad, por ende, el volumen, este proceso es beneficioso debido a que se necesitan tanques y equipamiento de menor dimensión, una reducción de requerimientos químicos para el acondicionamiento de los lodos.

Tabla 10-2: Métodos de espesamiento

Método	Tipo de lodo	Frecuencia de uso y éxito obtenido
Gravedad	Primario crudo	Utilizado a menudo con excelentes resultados
Gravedad	Primario crudo y lodo activado en exceso	Utilizado a menudo especialmente en plantas

		pequeñas con resultados satisfactorios con concentraciones de lodos variables entre 4 y 6 %
Gravedad	Lodo activado en exceso	Utilizado en pocas ocasiones, pobres concentraciones de sólidos (2-3 %)
Flotación por aire disuelto	Primario crudo y lodo activado en exceso	Uso limitado resultados similares a los espesadores por gravedad
Flotación por aire disuelto	Lodo activado en exceso	Usado bastante extendido , buenos resultados (concentraciones de sólidos entre 3,5-5%)
Centrifugación	Lodo activado en exceso	Uso limitado, pero con buenos resultados (entre 4-8 %)
Filtro de banda por gravedad	Lodo activado en exceso	Uso en extensión, buenos resultados (concentraciones de sólidos entre 3-6%)
Espesador de tambor rotatorio	Lodo activado en exceso	Uso limitado , resultados excelentes(concentración de sólidos entre 5 y 9%)

Fuente: (Eddy, 1996).

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

2.5.2.1. Espesador por gravedad

Su diseño es parecido al de un sedimentador convencional, su principio de funcionamiento está basado en que el fango una vez sedimentado y compactado es recogido por la parte inferior del mismo; así mismo para mejorar la concentración de los lodos se debe tener un manto de lodos que puede variar entre 0,6 y 2,4 metros, otra variable de funcionamiento es la relación de volumen de lodos extraídos diariamente, estos se diseñan en función de la carga de sólidos que se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 11-2: Carga de sólidos para diferentes tipos de lodos

Tipo de lodos	Concentración de sólidos (%)		Carga de sólidos (kg/m ² .d)
	Sin espesar	Espesado	
Por separado:			
Lodo primario	2-7	5-10	88-136
Lodo de filtro percolador	1-4	3-6	34-49
Lodo activado con aire	0,5-1,5	2-3	12-34
Lodo activado digerido por vía anaerobia	8	12	122
Conjuntamente:			

Lodo primario y filtro percolador	2-6	4-9	58-98
Lodo primario y activado por aire	2-5	3-8	25-49
Lodo activado y lodo primario digerido por vía anaerobia	4	8	68
Lodos acondicionados térmicamente:			
Lodo primario	3-6	12-15	195-245
Lodo primario y exceso de lodo activado	3-6	8-15	136-195
Exceso de lodo activado	0,5-1,5	6-10	98-136

Fuente: (Eddy, 1996).

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

2.5.3. *Estabilización*

Con la estabilización del lodo, este pierde sus características iniciales de putrefacción, con lo cual se reduce la presencia de patógenos y se eliminan malos olores, esto se pueden lograr mediante la reducción biológica de volátiles, oxidación química de la materia volátil, adición al fango de compuestos químicos que impiden la supervivencia de microorganismos y aplicación de calor para desinfectar el fango.

Las tecnologías aplicadas incluyen la estabilización con cal, tratamiento térmico, digestión anaeróbica / aeróbica o mediante compostaje, que se amplían a continuación:

2.5.3.1. *Estabilización con cal*

Este proceso de estabilización se lo realiza añadiendo cal al lodo, para de esa manera elevar su pH por encima de 12, lo que no favorece a la supervivencia de microorganismos, lo que produce que el lodo o fango no se pudra, este tratamiento se puede efectuar de dos maneras, la primera adicionando la cal antes del proceso de deshidratación y la segunda adicionando la cal luego del proceso de deshidratación.

2.5.3.2. *Tratamiento térmico*

Es un proceso continuo en el cual se usan temperaturas que bordean los 260 °C, y presiones altas durante corto tiempo que sirve de acondicionamiento permitiendo que los sólidos sean aptos para la deshidratación sin necesidad de emplear químicos, ya que al inducirlos a grandes temperaturas y presiones inicia la liberación de aguas asociada a los sólidos, provocando la coagulación e hidrólisis de la materia proteica.

2.5.3.3. Digestión anaerobia

Este proceso data de 1850, es el proceso más utilizado para la estabilización de lodos, se puede realizar mediante una o varias fases como se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 12-2: Tipos de digestión anaerobia

Tipos	Proceso
Digestión Convencional	Se suele llevar a cabo en una única fase, donde se introduce el lodo para ser digerido activamente por medio de un intercambiador de calor externo, liberando gas hacia la superficie, formando una capa de espumas a manera de sobrenadante por encima del fango ya digerido.
Digestión de una sola fase y alta carga	La carga de sólidos es mucho mayor y no se produce un sobrenadante, obteniéndose una mezcla del fango mediante recirculación de gas con una velocidad de digestión optimizada, el fango ya digerido suele tener una concentración de la mitad del fango que ingresa.
Digestión en dos fases	Se usan dos tanques idénticos en el cual, el primer tanque se utiliza para el mezclado y digestión, mientras que el segundo para almacenamiento y concentración del fango digerido y el sobrenadante clarificado.
Digestores independientes	Se usan tanques convencionales para la digestión, teniendo en cuenta que se usan porque mantienen excelentes características de deshidratación del fango, óptimas condiciones para el control del proceso, sin embargo, sus criterios de diseño son limitados.

Fuente: (Eddy, 1996).

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

Dentro de los procesos de digestión anaerobia más utilizados se encuentra el Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), los cuales en su mayoría presentan la forma de un tanque cilíndrico o rectangular, con diámetros que van de 2 a 8 metros y con una altura de 3 a 13 metros, el material de empaque útil varía del 50 al 70% de la altura total, ya que no se ha observado mayor rendimiento a densidades de empaque mayores de considera que el área superficial promedio sea de $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$, teniendo como propósito retener los sólidos dentro del reactor.

Dentro de los factores que influyen en el proceso se encuentran:

- **Temperatura:** Estos equipos al operar a bajas temperaturas (10-20 °C) requieren mayor tiempo de retención de los sólidos y aplicación de cargas orgánicas más bajas.
- **Potencial hidrógeno:** Es deseable que oscile entre 6,6, y 7,6 el pH debido a que a un pH menor se inhiben las bacterias formadoras de metano, se pueden usar sustancias para estabilizar el proceso como la cal, bicarbonato de sodio e hidróxido de sólido.

- **Nutrientes:** Son requeridos en cantidades bajas como son de nitrógeno y fosforo, sin embargo, en este proceso se da la estabilización del proceso en especial de compuestos orgánicos.
- **Alcalinidad total:** Siendo esta la capacidad de amortiguamiento del proceso, por lo cual debe estar entre 1500 y 2000 mg/l, para de esa manera reducir la producción de acidez.

El grupo de bacterias que se involucran en la digestión anaerobio se presentan en la gráfica mostrada a continuación:

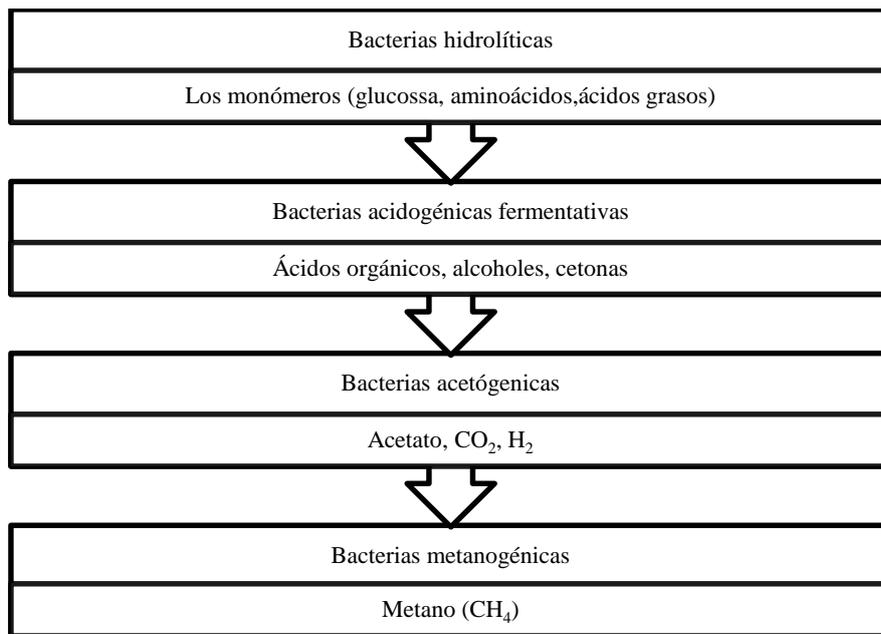


Gráfico 1-2: Grupo de bacterias que intervienen en la digestión anaerobia

Fuente: (Eddy, 1996).

2.5.3.4. Digestión aerobia

Esta operación unitaria es empleada para el tratamiento de lodos en pequeña cantidad ya que produce lodo de características pobres para la deshidratación mecánica además que presenta ciertas limitaciones como un gasto energético elevado y no se puede emplear para digerir lodos primarios.

En lo cual no existe la recuperación de un producto útil, como metano, los factores que hay que tener en cuenta para el diseño de estos son la temperatura, reducción de sólidos, volumen del tanque, tiempo de detención, necesidades de oxígeno, necesidades energéticas para su mezclado y la operación del proceso.

Tabla 13-2: Criterios de diseño para digestores aerobios

Parámetro	Valor
Tiempo de detención hidráulico, días 20 °C	
Fango activado en exceso únicamente	10-15
Fango activado de plantas sin decantación primaria	12-18
Fango primario más activado o de filtro percolador	15-20
Carga de sólidos , Kg de sólidos volátiles, m ³ / día	1,60-4,80
Necesidades de oxígeno, kg por Kg destruido	
Tejido celular	2,3
DBO en el fango primario	1,6-1,9
Necesidades energéticas para el mezclado	
Aireadores mecánicos, Kw.103 m ³	19,75-39,50
Mezclado con aire, m ³ por 1103 m ³ .min	0,02-0,04
Nivel de oxígeno disuelto en el líquido, mg/ l	1-2
Reducción de sólidos suspendidos volátiles,%	40-50

Fuente: (Eddy, 1996).

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

2.5.3.5. Compostaje

El compostaje implica la destrucción de la materia orgánica presente en el fango para producir un producto final estable, como lo es el ácido húmico, libre de características indeseables, que se lo usa como acondicionador de suelos en distintos usos, esta destrucción de la materia orgánica se puede dar bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas, en su mayoría aeróbicas debido a que se acelera el proceso de descomposición debido al aumento de la temperatura para la destrucción de patógenos entéricos y se minimiza el olor, como tal.

En este proceso se observan 3 fases de actividad en función de la temperatura:

1. Mesofílica, en la primera fase se obtiene hasta una temperatura de 40 °C, los microorganismos que aparecen son los hongos y bacterias productoras de ácidos.
2. Termofílica, conforme aumenta la temperatura (40-70 °C) de la masa compostada, aparecen bacterias y hongos termofílicos, actinomicetos, en esta fase se produce la máxima degradación de la materia orgánica.
3. Enfriamiento, en esta fase se reduce la actividad microbiana y los microorganismos termofílicos se sustituyen por mesofílicos, se estabiliza la materia orgánica y pH, formando el producto final estable conocido como ácido húmico.

Las operaciones de compostaje son básicamente el mezclado del fango deshidratado con un material de enmienda que es materia orgánica como aserrín, paja, cáscara de arroz, con la finalidad de obtener menor peso, pero mayor volumen de espacios que favorezcan a que ingrese el aire, brindándole también así un material de soporte estructural, con lo cual elimina la humedad y permite también controlar la temperatura.

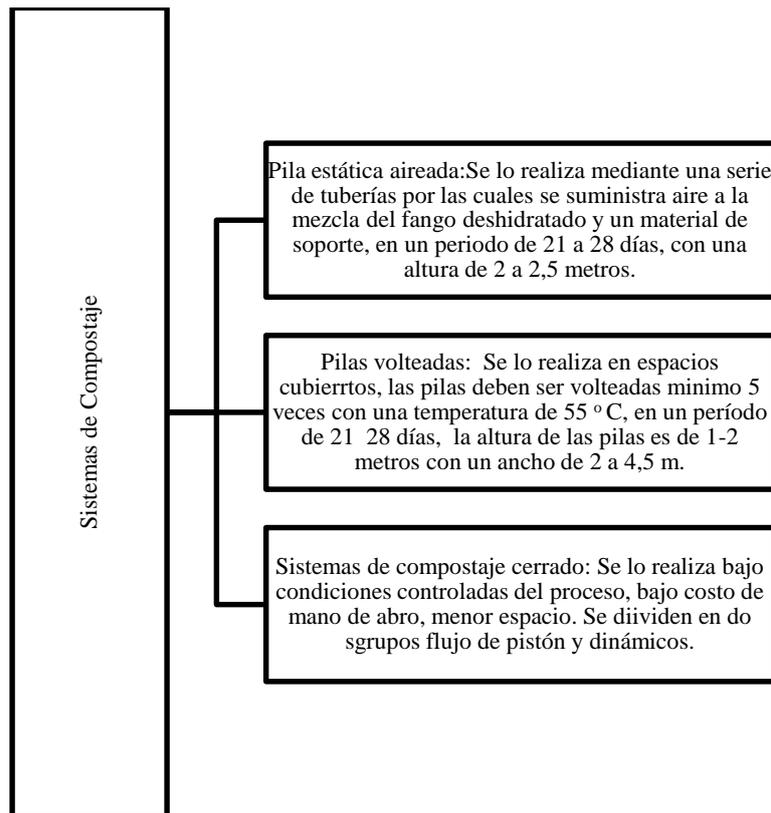


Gráfico 2-2: Sistemas de Compostaje

Fuente: (Eddy, 1996).

Algunos de los aspectos más relevantes a la hora de llevar a cabo el proceso de compostaje de los lodos son presentados en la tabla a continuación:

Tabla 14-2: Diseño de procesos de compostaje del lodo vía aerobia

Elemento	Comentario
Tipo de fango	Satisfactoriamente se puede compostar tanto fango crudo como fango digerido, con única diferencia que el fango crudo se degrada a mayor velocidad y presente mayor energía.
Materiales de enmienda	El proceso y la calidad del producto final viene afectado por el contenido de humedad, tamaño de las partículas y carbono disponible.
Relación carbono/Nitrógeno	Esta relación debe estar dentro de un intervalo de 25:1 y 35:1.
Sólidos volátiles	El contenido de SV de la mezcla debe ser superior al 50%
Necesidades de aire	Para obtener buenos resultados el contenido de aire debe ser al menos del 50%
Contenido de humedad	El contenido de humedad no debe ser superior al 60% en pilas estáticas y pilas volteadas, y en caso de reactores cerrados menor al 65%
pH	El pH de la mezcla debe estar entre 6 y 9
Temperatura	La óptima temperatura debe estar entre 50-55°C durante los primeros días, y menor a 60°C, ya que se reduce la actividad biológica.

Mezclado y volteo	Depende del tipo de operación, pero siempre de forma periódica o según sea necesario
Metales pesados y compuestos orgánicos de trazas	Se debe asegurar que no exceda las limitaciones aplicables a los usos del producto final.
Limitaciones del emplazamiento	Se debe tener en consideración la superficie disponible, usos de terreno, condiciones climáticas, entre otras

Fuente: (Eddy, 1996).

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

2.5.4. Acondicionamiento

El acondicionamiento de lodo, se lo realiza con la finalidad de reducir el contenido de humedad, para obtener así un producto de fácil manejo, con lo cual se lo puede incinerar o compostar, esta deshidratación se lo puede hacer mediante dos vías:

2.5.4.1. Acondicionamiento químico

Este proceso da lugar a la coagulación de los sólidos, usando productos químicos como la alúmina, cal y el cloruro férrico, que se administran de forma líquida debido a que la dosificación y aplicación es mucho más sencilla, la dosificación de estos se realiza en función del peso molecular, grado de oxidación y nivel de actividad del polímero usado, se debe tener en consideración que los tanques de disolución y bombas dosificadores deben resistir a la corrosión. Existen algunos valores típicos de dosificación de polímeros usados asociados a diferentes tipos de deshidratación, sin embargo, se tiene que tener en cuenta que algunos valores pueden variar notablemente, en la práctica, además de que depende del tipo de estabilización usado.

Tabla 15-2: Dosis típicas de polímeros para tipos de lodos y sistemas de deshidratación

Tipo de lodo	Kg de polímero seco/ton de sólidos secos		
	Filtración al vacío	Filtro banda	Centrífuga de camisa maciza
Primario	1-5	1-4	0,5-2,5
Primario + exceso de lodo activado	5-10	2-8	2-5
Primario* exceso filtro percoladores	1,25-2,50	2-8	-
Exceso de lodo activado	7,50- 15	4-10	5-6
Lodo primario digerido por vía anaerobia	3,5- 7,0	2-5	3-5
Lodo primario + exceso de lodo activado digerido por vía anaerobia	1,5-33,5	1,5-8,5	2-5
Lodo primario + exceso de lodo activado digerido por vía aerobia	7,5-10	2-8	-

Fuente: (Eddy, 1996).

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

Como se menciona en algunos libros de tratamiento de aguas residuales, el mezclado de los productos químicos con el lodo debe ser de tal manera que se reduzca el tiempo de mezclado de modo que el lodo luego de su acondicionamiento llegue a la unidad de deshidratación en el menor tiempo posible. Según, (1996, p. 815-975), dice que se dispone de tanques de mezcla y floculación independientes antes de filtros de vacío o filtros prensa, pero en el caso de filtros banda el reactivo se puede añadir directamente a la tubería de alimentación del filtro o si se requiere un tanque de mezcla, por lo cual se debe tener en consideración este punto.

2.5.4.2. Acondicionamiento térmico

Es un proceso mediante el cual los lodos se calientan bajo presión durante cortos periodos de tiempo, sin embargo, este proceso tiene un elevado costo de inversión, necesita operadores especializados, arduo mantenimiento, generación de gases, incrustaciones en los intercambiadores de calor, conducciones y reactor, aparte genera subproductos con elevada temperatura, color y materia orgánica.

2.5.5. Desinfección

Este proceso es un paso adicional aplicarse al lodo, que con el transcurso del tiempo ha adquirido gran importancia, ya que si bien es cierto la estabilización reduce la presencia de agentes patógenos, pero no desinfectan en su totalidad el lodo, como lo hacen los procesos de pasteurización y almacenamiento a largo plazo.

2.5.5.1. Pasteurización

Este proceso emplea el calor para la inactivación de parásitos, es una tecnología beneficiosa vista desde algunos puntos, sin embargo requiere conocimiento acerca de la mecánica del proceso a altas temperaturas y presiones, además que requiere altos costos de inversión.

Los dos métodos más usados para la pasteurización de lodo líquido son el de inyección directa de vapor y el intercambio directo de calor.

2.5.5.2. Almacenamiento a largo plazo

El lodo digerido se lo dispone en un terreno suficiente amplio para almacenarse durante cierto período de tiempo, cuando este no se puede aplicar a terreno, el tiempo de detención del lodo puede variar de 2 a 4 meses dependiente de la temperatura del lugar, teniendo en consideración que se puede desarrollar olores y lixiviación del mismo.

2.5.6. Deshidratación

La deshidratación es útil por varias razones dentro de las cuales cabe mencionar que se reducen costos de transporte, mejoría en la manipulación y se vuelve necesaria antes de la incineración y si se aplica para el compostaje, genera la disminución de olores y su descomposición no controlada. Para la deshidratación se usa equipos mecánicos que usan medios físicos como la filtración, prensado, extracción por vacío, separación y compactación por centrifugación y el uso de procesos naturales como la evaporación y percolación; la elección de unos de estos procesos de deshidratación se basa en el tipo de lodo a tratar y el espacio disponible. Como en el caso de este proyecto técnico he tomado en consideración los filtros de banda por su practicidad.

2.5.6.1. Filtración al vacío

En años anteriores su uso ha sido variado, pero en los últimos años ha bajado debido a la necesidad de reactivos para su acondicionamiento, elevados costo de operación y mantenimiento, lo cual repercute en la complejidad del sistema como tal, por lo cual no ha sido bien percibido durante los últimos años y esta vez no será la excepción.

2.5.6.2. Centrifugación

Este proceso es usado mayoritariamente en la industria ya que permite la separación de líquidos de diferente densidad, por lo cual se lo puede usar para el espesamiento de fangos y por supuesto para la deshidratación de los mismos, existen dos tipos de centrifugas empleadas:

- Centrifuga de camisa maciza
- Centrifuga de cesta

Una de las principales limitaciones de este tipo de filtrado es la evacuación del concentrado debido a que presenta altas cargas de solidos suspendidos no sedimentables, para lo cual se debe aumentar el tiempo de detención o acondicionar químicamente con cal lo que también facilita el control de olor, además de que el diseño depende de la capacidad nominal y rendimiento suministrado por los fabricantes a medida de unidades piloto.

2.5.6.3. Filtros banda

En su mayoría, el lodo acondicionado, es introducido en una zona de drenaje por gravedad donde la mayor parte del agua se elimina, a continuación, pasa a una zona de baja presión donde es comprimido entre dos telas porosas opuestas, luego pasa por una zona de alta presión donde el lodo se somete a esfuerzos tangenciales, a medida que las bandas pasan a través de rodillos

favoreciendo la liberación de cantidades adicionales de agua del lodo, finalmente la torta generada de lodo deshidratado se separa de las bandas mediante rascadores como se muestra en la figura presentada a continuación:

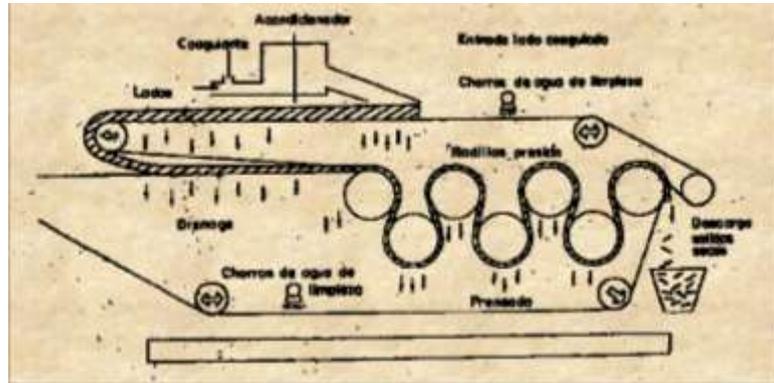


Figura 2-2: Esquema de un filtro banda

Fuente: (Eddy, 1996).

Este sistema de filtros de banda está conformado por las siguientes partes:

- Bombas de alimentación del lodo
- Equipos de dosificación de polímero
- Cámara de acondicionamiento del lodo (floculador)
- Filtro banda
- Cinta transportadora

Las medidas de seguridad que se deben contemplar en el diseño incluyen una ventilación para la eliminación de gases como el sulfuro de hidrógeno, entre otros, para el diseño de los filtros de banda se usan algunos criterios de diseño que se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 16-2: Criterios de diseño y rendimientos típicos con filtros banda

Anchuras de banda	0,5 – 3,5 m	2 m (comúnmente usadas para el tratamiento de lodos municipales)
Cargas de sólidos	90- 680 kg/m .h	
Extracción de agua	1,6-6,3 l/m s	
Rendimientos típicos con filtros de banda		
Tipo de lodo	% de sólidos en el lodo alimentado	% de sólidos en la torta de lodo
Primario	3-7	28-44
Primario + exceso de lodo activado	3-6	20-35
Primario + lodo de filtro percolador	3-6	20-35
Exceso de lodo activado	1-4	12-20
Lodo primario digerido por vía anaerobia	3-7	25-35
Lodo primario + exceso de lodo activado por vía anaerobia	3-6	20-25

Lodo primario + exceso de lodo activado por vía aerobia	1-3	12-20
Lodo primario acondicionado térmicamente + exceso de fango+ exceso de fango activado	4-8	25-50

Fuente: (Eddy, 1996).

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

2.5.6.4. *Filtros prensa*

La deshidratación es llevada a cabo por la aplicación de una presión elevada del agua presente en el fango, presenta algunas ventajas como la obtención de un filtrado muy clarificado, altas concentraciones de sólidos, sin embargo, presenta varios problemas operacionales y de mantenimiento, los aspectos a tener en cuenta en su diseño son que deben tener una ventilación adecuada, sistemas de lavado a presiones elevadas, equipos para facilitar la extracción del fango y mantenimiento del mismo.

2.5.6.5. *Eras de secado*

Se suelen utilizar normalmente para los fangos digeridos, una vez seco se lo retira hacia un vertedero controlado o se usa como acondicionador de suelos, es un método muy usado debido a su bajo coste y mantenimiento. Pueden ser de distinto tipo:

- Eras de secado convencionales de arena
- Eras de secado pavimentadas
- Eras de secado de medio artificial
- Eras de secado por vacío

2.5.6.6. *Lagunaje*

Este tipo de tratamiento no es recomendable para lodo crudo, ni lodo estabilizado con cal, su rendimiento depende del clima, su uso es apto cuando existen elevadas tasas de evaporación, su descarga se puede realizar en excavaciones con una profundidad de 0,75-1,25 metros, su tiempo de detención puede ser hasta de 18 meses.

2.5.7. *Secado térmico*

El objetivo del secado térmico es la eliminación de la humedad de forma que el lodo pueda ser incinerado con eficacia y esta operación se hace necesaria cuando se piensa que su uso será para

la fabricación de fertilizantes como menciona (Eddy, 1996, p. 815-975), ya que es necesario para la trituración del lodo con el fin de reducir su peso y prevenir la acción biológica.

Se encuentran descritos algunos procesos de secado térmico que se describen a continuación:

2.5.7.1. Sistema de secado instantáneo

Este tipo de secado térmico usa temperaturas alrededor de 400 °C donde se da la pulverización de lodo en presencia de gases dirigidos hacia un ciclón donde se da la separación de los lodos alcanzando humedades alrededor del 8%.

2.5.7.2. Sistema de secado por pulverización

En este sistema se usan centrifugas de alta velocidad, donde se pulveriza el lodo en partículas finas, con la transferencia constante de humedad a los gases calientes.

2.5.7.3. Sistemas de secado rotativos

En este sistema se aplica como combustible carbón, gas, o el propio fango seco, en el cual los gases calientes rodean una placa central que contiene el material a secar, para luego pasar mediante la placa cuando se haya reducido la temperatura.

2.5.7.4. Sistemas de secado de pisos múltiples

Como su nombre mismo lo indica, este sistema usa un horno de varios pisos, donde se hace pasar aire caliente a través del lodo pulverizado, de manera continua para renovar las superficies de exposición.

2.5.8. Reducción térmica

Este proceso se lo realiza con la finalidad de obtener productos finales oxidados, principalmente dióxido de carbono y agua, obteniendo una máxima reducción de volumen, destrucción de patógenos, y posible recuperación de energía, sin embargo, tiene elevado costos de inversión y explotación, personales cualificados, emisiones de aire y ceniza, lo cual resultaría perjudicial y costosos, por lo cual su uso se limita cuando existan opciones de evacuación limitadas.

Entre sus procesos podemos mencionar:

- Combustión completa
- Combustión incompleta

- Combustión por vía húmeda

2.5.9. Disposición de lodo en el suelo

La disposición del lodo al suelo, ha surgido de la necesidad de nuevas disposiciones finales para este, ya que el lodo puede actuar como acondicionador del suelo, debido a que, por acción de la luz solar, microorganismos presentes en el terreno y la desecación actúan de manera conjunta para destruir organismos patógenos y sustancias tóxicas presentes en el lodo. Además, como menciona (Eddy, 1996, p. 815-975), los lodos en el suelo permiten que se retenga con mayor facilidad el agua, que exista mejora en el transporte de nutrientes, con ellos mejorando la aptitud del suelo, estos se lo pueden aplicar en terrenos agrícolas, forestales, marginales, sirviendo como sustituto a fertilizantes químicos ya que resultan costosos.

Sin embargo, si se desea adoptar este diseño se debe tomar en cuenta algunos aspectos que se describen a continuación:

Tabla 17-2: Aspectos a tomar en cuenta en la disposición de lodo en el suelo

Contenido orgánico y de patógenos	El contenido en materia orgánica y patógenos se debe reducir considerablemente antes de la aplicación del suelo, mediante procesos de tratamiento previo.
Nutrientes: Nitrógeno, Fósforo y Potasio	El nitrógeno es el nutriente de mayor interés debido al riesgo que presenta por la contaminación de aguas subterráneas, en cuanto al fosforo y potasio, estos son consumidos por las plantas presentes en el suelo, por lo cual se debería determinar tasas de aplicación.
Metales y materia orgánica	Generan posibles riesgos tóxicos para plantas, animales y el hombre, por lo cual se deben establecer tablas con valores límites de su concentración, acorde al uso de suelo que se le dará.
Emplazamiento	Se debe tener en consideración la superficie del terreno donde se lo va aplicar, topografía, permeabilidad del suelo, cercanía a zonas críticas, accesibilidad al lugar,

Fuente: (Eddy, 1996).

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

2.5.10. Otros usos beneficiosos del lodo

Dentro de los usos beneficiosos del lodo subsiguientemente a la reducción de espacios disponibles y controlados donde se pueda verterlo, con el transcurso de los años como menciona (Eddy, 1996, p. 815-975), se ha ido acogiendo distintas ideas para obtener un fin beneficioso de alguna manera, como es el caso de la distribución y comercialización del lodo a manera de un sustituto de turbas y capas superficiales de abono para disponerlas en suelo destinado para césped, usarlo en parque botánicos y parques ornamentales para de esa manera aprovechar sus propiedades nutritivas, aplicando un control en cuanto a sus características finales.

Otro uso beneficioso de estos lodos, es la fijación química, en la cual se realiza una mezcla de distintos tipos de lodos, como son el lodo crudo, lodo tratado, y deshidratado, con agentes estabilizadores, como cemento, silicato de sólido y cal, que permitan que se den reacciones químicas, generando un producto de elevado pH, el cual inactiva agentes patógenos presentes en el cuándo entran en contacto.

2.5.11. Evacuación final

Al no existir otra manera de brindarle una evacuación final al lodo, con algún fin beneficioso como menciona Eddy (1996, p. 815-975), se recurre a vertederos controlados, en función de normativas vigentes, una vez tratado el lodo, este es depositado en una zona determinada previamente donde son compactados y cubiertos con una capa de suelo limpio mínimo de 30 cm, para que se mezcle en función del tiempo.

Otro método de evacuación final, son las técnicas de Lagunaje, en las cuales, se descarga el lodo crudo o digerido, sin embargo, estas generan olores por el proceso de descomposición que se lleva a cabo, por lo cual se deberían situar lejos de sectores poblados y ser manejadas por personas calificadas.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de estudio

De acuerdo al método de investigación es mixta, según el objeto de estudio es aplicada, según el nivel de profundización de estudio es exploratoria descriptiva, según la manipulación de variables es cuasi- experimental, según el tipo de inferencia es deductivo y según el periodo temporal es longitudinal.

3.2. Localización del estudio

El trabajo de titulación "DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LODOS RECOLECTADOS POR EL VEHÍCULO HIDROSUCCIONADOR DE LA EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE GUARANDA" se encontrará localizado en la ciudadela Marcopamba ubicada en la vía Guaranda- Babahoyo, cuyas coordenadas geográficas son UTM WGS 84 17S, latitud -1.59263 y longitud -79.00098.

De igual manera, las caracterizaciones se realizaron en las instalaciones del Laboratorio de control de la calidad del agua, de la E.P. EMAPAG, ubicado en el sector Chaquishca, vía Guaranda-Las cochas, y de igual manera se enviaron muestras al laboratorio LABCESTTA S.A., ubicado en la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas.

3.3. Métodos y Técnicas

3.3.1. Técnicas de muestreo

El muestreo de los lodos comenzó en el mes de julio de 2021, hasta obtener los resultados finales de los análisis el 21 de febrero del presente año, como menciona la (Norma Oficial Mexicana N04-004-SERMANAT-2002, 2003, p. 6-25) el muestreo constituye una parte integral y fundamental para evaluar la calidad de los lodos y/o biosólidos para su depósito final, es importante considerar la selección del sitio del muestreo, su homogeneidad y representatividad de la muestra, su grado de degradación, volumen, tipo de análisis y accesibilidad al sitio seleccionado para el muestreo.

Existen varios tipos de muestreo desde el muestreo simple o instantáneo, en el cual se determinan parámetros que tienden a variar dentro de un transcurso de tiempo, por lo cual se los cuantifica en el mismo lugar como es el cloro, pH, oxígeno disuelto, entre otros. Otro tipo de muestreo, es el muestreo compuesto el cual se usa para obtener concentraciones promedio de muestras simples, con la ayuda de una relación matemática se obtiene el volumen de cada porción de muestra. El

muestreo integrado, por otra parte, se forma por la mezcla de muestras puntuales tomadas de diferentes puntos simultáneamente, por lo cual se usó este tipo de muestreo debido a que los lodos son recolectados de esta manera, las distintas muestras se obtuvieron directamente del vehículo hidrosuccionador en un recipiente de vidrio, hasta obtener el doble del volumen para cada uno de los análisis por realizar como mínimo.

Bajo los lineamientos establecidos en la Norma Oficial Mexicana, que se ha tomado en consideración, debido a que en nuestro país aún no se encuentra vigente una normativa específica para lodos y biosólidos, se presentan algunas consideraciones para la preservación y almacenamiento de la muestra para varios parámetros, que se presenta a continuación, además que nos dice que la muestra se deberá tomar en frascos de boca ancha previamente esterilizados, para luego ser colocadas en coolers con hielo inmediatamente luego de su toma, con la finalidad de que los tiempos de conservación y transporte sean reducidos al mínimo para conservar de la manera más óptima las muestras sin producir alteraciones de las mismas.

Tabla 18-3: Preservación y almacenamiento de la muestra

Parámetros	Preservación	Tiempo máximo de análisis
Coliformes fecales y <i>salmonella</i> spp.	4°C 0.008 % Na ₂ S ₂ O ₃	6 horas
Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Níquel, Hierro, Plomo, Zinc	Filtrar 5 mL de HNO ₃ conc/L	28 días
Mercurio	4°C	130 días (plástico) 30 días (vidrio)
Sólidos Totales (ST)	4°C	24 horas
Sólidos Volátiles (SV)	4°C	24 horas
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	4°C H ₂ SO ₄ hasta pH < 2	28 días
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	4°C	6 horas
Fosfatos	4°C	48 horas
Acidez	4°C	1 día
Amoniaco	4°C H ₂ SO ₄ hasta pH < 2	Tan pronto como sea posible
Carbono orgánico	4°C HCl hasta pH < 2	48 horas
Cloro residual	Ningún tratamiento	Analizar inmediatamente
Cianuro	4°C NaOH a pH >12	1 día
Temperatura	Ningún tratamiento	Analizar inmediatamente
Nitrato	Ningún tratamiento	48 horas
Nitrito	Ningún tratamiento	48 horas
Nitrógeno orgánico	4°C	7 días

	H ₂ SO ₄ hasta pH < 2	
Nitrato + Nitrito	4°C H ₂ SO ₄ hasta pH < 2	48 horas

Fuente: (Norma Oficial Mexicana N04-004-SERMANAT-2002, 2003).

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

Los frascos de vidrio donde se toman las muestras deben tener un sistema de control de calidad, por lo cual el responsable debe tener la siguiente información:

- Identificación de la muestra
- Cantidad de la muestra necesitada/ utilizada
- Tipo de muestra
- Tipo de análisis a realizar
- Información complementaria

3.3.2. Equipos y reactivos

A continuación, se presenta una tabla resumen de los equipos y reactivos usados para la caracterización de los lodos provenientes del vehículo hidrosuccionador:

Tabla 19-3: Equipos y reactivos usados para los análisis

Materiales	Equipos	Reactivos
Equipos de protección personal	Destilador de agua	Sobres de CuVer 1 en polvo
Balones de aforo	Test de Jarras FP4	Ampollas AccuVac de reactivo cobre Cuver 2
Pizeta	Cronómetro	
Vasos de precipitación, 50 ml	Balanza analítica	Agua destilada/ desionizada
Toallas reusables	Espectrofotómetro	Alcohol antiséptico (70°)
Cubeta de análisis circular, 10, 20,25 ml con tapas roscadas	Baño de agua / Baño María	Policloruro de aluminio (PAC-08)
Cubeta de análisis cuadrada de 1 pulgada, 10 ml	Batidora	Coagulante (Chemfloc N-100)
Placa caliente	Vaso	Sobres de reactivo ácido en polvo
Gradilla	Turbidímetro	Sobres de reactivo Cromo Chromaver 3 en polvo
Cuentagotas de plástico	pHmetro	Sobres de reactivo Cromo 1 en polvo
Tijeras		Sobres de reactivo Cromo 2 en polvo
Tubo mezclador graduado 50 mL		Sobres de reactivo hierro FerroVer en polvo

Embudo 500 ml, decantación		Sobres de reactivo de EDTA en polvo
Cuchara de medición 1 gramo		Sobres de reactivo de phthalate-fosfato en polvo
Anillo y pie de soporte		Solución del indicador PAN 0,3%
Archivador de pipetas		Sobres de reactivo nitrato NitraVer 5 en polvo
Cilindro		Sobres de reactivo nitrito NitriVer 3 en polvo
Mezcladora		Sobres de reactivo en polvo de metales DithiVer
Reactor DRB200 con perforación de 13 mm		Conjunto de reactivos de plomo
Protector de luz		Cianuro de potasio
Pipeteador para muestra de 2,0 ml		Solución de hidróxido sódico 5,0 N
Puntas de pipeteador		Ciclohexanona
		Sobres de reactivo ZincoVer 5 en polvo
		Células de muestra
		Sobres de reactivo de fosfato PhosVer 3 en polvo
		Conjunto de reactivos TNT820 DQO ULR
		Policloruro de aluminio (Aluminol) líquido
		Labinfloc I 4110

Fuente: Laboratorio de control de calidad E.P. EMAPA-G.

Realizado por: Bucheli Cárdenas, Ibeth.2022

3.3.3. Pruebas de tratabilidad

3.3.3.1. Test de jarras

Esta prueba de tratabilidad denominada test de jarras es usada para obtener la dosificación del coagulante usado en el acondicionamiento químico, la cual se la realiza mediante el uso de un equipo denominado floculador portátil FP4, el cual dispone de 4 paletas:



Figura 3-3: Test de jarras

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

Mediante la utilización del floculador, se obtienen un proceso de mezclado rápido y mezclado lento donde se es fácil observar la coagulación de los sólidos y su compactación, para la adición del coagulante se usa el mezclado rápido obtenido a continuación:

Tabla 20-3: Mezcla rápida para el acondicionamiento químico

Mezcla Rápida		
Parámetro	Unidad	Valor
Gradiente	S ⁻¹	1000
Velocidad	RPM	306
Tiempo	s	7

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

El producto químico administrado en el proceso de mezcla rápida para desestabilizar los sólidos presentes en el lodo, previo al proceso de deshidratación, es el Policloruro de aluminio líquido, PAC el cual presenta características propias que se presentan a continuación:

Tabla 21-3: Características del Policloruro de Aluminio líquido, PAC

Parámetros	Unidad	Valor
Al ₂ O ₃	%	15
Hierro	%	Menor a 0,01
Basicidad	%	60-70
Densidad	Adimensional 15-25°C	1,20
pH	Adimensional 15-25°C	3,0
Turbiedad	NTU	< 10

Fuente: (Solis Carranza, 2022).

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

Con base a los test de jarras realizados en el laboratorio de control de calidad se pudo obtener la dosis óptima a administrar en el tanque de mezcla rápida que es de 3,9 mg/l de Policloruro de aluminio líquido, PAC, donde se considera el concepto de gradiente de velocidad obtenido,

aunque se reconoce por varios autores que este concepto no es completamente adecuado para el diseño de un tanque de mezclado rápido de tipo mecánico de turbina radial.

3.3.4. Métodos de caracterización

Para la caracterización del lodo, se utilizaron procedimientos HACH, aprobados por el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, en el laboratorio de control de calidad del agua perteneciente al E.P. EMAPA-G, y algunos fueron analizados por LABCESTTA S.A, los cuales se resumen a continuación:

Tabla 22-3: Métodos de caracterización

Parámetro	Método
Cobre	8506
Cromo	Oxidación alcalina método 8024
Hierro	808
Níquel	8150
Nitrato	8039
Nitrito	8507
Plomo	8033
Zinc	8009
Sólidos suspendidos	Fotométrico 8006
Demanda Bioquímica de oxígeno	Espectrofotométrico
Demanda Química de oxígeno	10211
Coliformes fecales	Fermentación en tubos múltiples

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

3.4. Caracterización fisicoquímica del lodo

Los resultados obtenidos de los análisis realizados a los lodos se presentan a continuación:

Tabla 23-3: Caracterización inicial de los lodos

Ensayo	Unidad	Resultado	Método/Norma	Valor límite permisible
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	7200	Espectrofotométrico	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	3200	Espectrofotométrico	-
Sólidos suspendidos totales	mg/L	3752	Gravimétrico	-
Sólidos suspendidos volátiles	mg/L	3650	Gravimétrico	-

Coliformes fecales	NMP/ g	>1600000	Fermentación en tubos múltiples	-
Arsénico	mg/L	2,32	AN-EMAPAG-10	-
Cadmio	mg/L	7,32	AN-EMAPAG-15	-
Cobre	mg/L	8,06	AN-EMAPAG-08	-
Cromo total	mg/L	15,00	AN-EMAPAG-13	-
Fosfatos	mg/L	16,27	AN-EMAPAG-17	-
Hierro total	mg/L	8,97	AN-EMAPAG-18	-
Níquel	mg/L	26,78	AN-EMAPAG-21	-
Nitratos	mg/L	62,94	AN-EMAPAG-22	-
Nitritos	mg/L	18,31	AN-EMAPAG-23	-
Plomo	mg/L	< 30	AN-EMAPAG-28	-
Zinc	mg/L	50,61	AN-EMAPAG-34	-

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

Tabla 24-3: Segunda caracterización de los lodos

Ensayo	Unidad	Resultado	Método/Norma	Valor límite permisible
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	6100	Espectrofotométrico	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	4300	Espectrofotométrico	-
Sólidos suspendidos totales	mg/L	2710	Gravimétrico	-
Sólidos suspendidos volátiles	mg/L	2510	Gravimétrico	-
Coliformes fecales	NMP/ g	>110000	Fermentación en tubos múltiples	-
Arsénico	mg/L	1,32	AN-EMAPAG-10	-
Cadmio	mg/L	4,23	AN-EMAPAG-15	-
Cobre	mg/L	7,05	AN-EMAPAG-08	-
Cromo total	mg/L	12,00	AN-EMAPAG-13	-
Fosfatos	mg/L	10,27	AN-EMAPAG-17	-
Hierro total	mg/L	7,71	AN-EMAPAG-18	-
Níquel	mg/L	22,82	AN-EMAPAG-21	-
Nitratos	mg/L	58,65	AN-EMAPAG-22	-
Nitritos	mg/L	17,19	AN-EMAPAG-23	-
Plomo	mg/L	< 26	AN-EMAPAG-28	-
Zinc	mg/L	43,15	AN-EMAPAG-34	-

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

Tabla 25-3: Tercera caracterización de los lodos

Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	Límite máximo permisible	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Cobre (Cu)	mg/L	AN-EMAPAG- 08	-	9,14	± 20
Cromo Total (Cr)	mg/L	AN-EMAPAG-13	-	16,00	± 10

Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	AN-EMAPAG-44	-	5990	± 10
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	AN-EMAPAG-45	-	3682	± 28
Fosfatos (P-PO ₄)	mg/L	AN-EMAPAG-17	-	18,49	± 35
Hierro total (Fe)	mg/L	AN-EMAPAG-18	-	10,37	± 20
Níquel (Ni)	mg/L	AN-EMAPAG-21	-	28,82	± 26
Nitratos (N-NO ₃)	mg/L	AN-EMAPAG-22	-	63,76	± 25
Nitritos (N-NO ₂)	mg/L	AN-EMAPAG-23	-	22,13	± 12
Plomo (Pb)	mg/L	AN-EMAPAG-28	-	<30	± 27
Zinc (Zn)	mg/L	AN-EMAPAG-34	-	52,69	± 17
Coliformes fecales	NMP/ g	Fermentación en tubos múltiples	-	< 1000	-

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

Acorde con los resultados obtenidos, se realiza una comparación con los valores límites permisibles en virtud a las normativas a las que se encuentran sujetas, en primera instancia la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de efluentes, publicada el 4 de noviembre de 2015, como el Anexo I del libro XI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del ambiente, agua y transición ecológica, donde se establecen principios básicos para el control de la contaminación del agua, además de límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para sus descargas, por lo cual se expone a continuación:

Tabla 26-3: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	30,0
Alquil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0

Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0.02
Cianuro total	CN	mg/l	0,1
Zinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extensión carbón-cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes fecales	NMP	NMP/ 100 ml	2000
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁶⁺	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de oxígeno	DBO ₅	mg/l	100
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fosforo 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	mg/l	Ausencia
Mercurio	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
Compuestos organoclorados	Compuestos organoclorados	mg/l	0,05
Compuestos organofosforados	Compuestos organofosforados	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial hidrógeno	pH	mg/l	6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l	1000
Sulfuros	S ²⁻	mg/l	0,5
Temperatura	° C	mg/l	Condición natural +- 3
Tensoactivo	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

Fuente: (TULSMA, 2015)

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

Tabla 27-3: Tabla comparativa de los resultados obtenidos, con los límites permisibles

Parámetros	Límite máximo permisible	Resultado de análisis	Unidad
Comparación de límites permisibles de la primera caracterización			
Arsénico total	0,1	2,32	mg/l
Cadmio	0.02	7,32	mg/l
Zinc	5,0	50,61	mg/l
Cobre	1,0	8,06	mg/l
Coliformes fecales	2000	< 1600000	NMP/ 100 ml
Cromo total	0,5	15,00	mg/l
Demanda Bioquímica de oxígeno	100	3200	mg/l

Demanda química de oxígeno	200	7200	mg/l
Níquel	2,0	26,78	mg/l
Plomo	0,2	< 30	mg/l
Potencial hidrógeno	6-9	6,37	
Sólidos suspendidos totales	130	3752	mg/l
Sólidos totales	1600	-	mg/l
Temperatura	Condición natural +- 3	13	°C
Comparación de límites permisibles de la segunda caracterización			
Arsénico total	0,1	1,32	mg/l
Cadmio	0.02	4,23	mg/l
Zinc	5,0	43,15	mg/l
Cobre	1,0	7,05	mg/l
Coliformes fecales	2000	< 11000	NMP/ 100 ml
Cromo total	0,5	12,00	mg/l
Demanda Bioquímica de oxígeno	100	4300	mg/l
Demanda química de oxígeno	200	6100	mg/l
Níquel	2,0	22,82	mg/l
Plomo	0,2	< 26	mg/l
Potencial hidrógeno	6-9	6,29	
Sólidos suspendidos totales	130	2710	mg/l
Sólidos totales	1600	-	mg/l
Temperatura	Condición natural +- 3	15	°C
Comparación de límites permisibles de la tercera caracterización			
Zinc	5,0	52,69	mg/l
Cobre	1,0	9,14	mg/l
Coliformes fecales	2000	< 10000	NMP/ 100 ml
Cromo total	0,5	16,00	mg/l
Demanda Bioquímica de oxígeno	100	3682	mg/l
Demanda química de oxígeno	200	5990	mg/l
Plomo	0,2	< 30	mg/l
Potencial hidrógeno	6-9	6,47	
Temperatura	Condición natural +- 3	14	°C

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

En referencia a la tabla comparativa 10-3, podemos observar que la mayoría de parámetros exceden los límites permisibles aceptados para un cuerpo receptor de agua dulce como sucede en este caso por el proceso de lixiviación que sufren los residuos, hacia el cauce del río Chimbo, debido a que encuentra junto al lugar donde son desalojados, exceptuando el pH y temperatura, los parámetros representan una contaminación a causa de los lodos vertidos, ya que en sus características se encuentran metales pesados y materia orgánica, los cuales podrían ser tratados y utilizados en otro fin brindándoles de esa manera un fin beneficioso por la cantidad de nutrientes que tienen los mismos.

Del mismo modo, se ha tomado en consideración la Norma Oficial Mexicana N04-004-SERMANAT-2002, debido a que esta establece especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final, publicada el 15 de agosto de 2003, debido a que los lodos por características propias o adquiridas después de un proceso de estabilización pueden ser susceptibles a su aprovechamiento (Norma Oficial Mexicana

N04-004-SERMANAT-2002, 2003, p. 6-25), por sus características en cuanto al contenido orgánico, nutrientes y sobre todo la posibilidad de la reducción de agentes patógenos, lo cual es la finalidad de este proyecto técnico.

Tabla 28-3: Límites máximos permisibles para metales pesados en lodos / biosólidos

Contaminante	Excelente (mg/Kg)	Bueno (mg/Kg)
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	410	420
Zinc	2800	7500

Fuente: (Norma Oficial Mexicana N04-004-SERMANAT-2002, 2003).

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

A continuación, se presenta una tabla comparativa en cuanto de los resultados obtenidos de las primeras caracterizaciones para metales pesados, con la norma mexicana, anteriormente descrita:

Tabla 29-3: Tabla comparativa de resultados para metales pesados con la Norma Oficial Mexicana N04-004-SERMANAT-2002

Contaminante	Excelente (mg/Kg)	Bueno (mg/Kg)	Resultado		
Arsénico	41	75	2,32	1,32	-
Cadmio	39	85	7,32	4,23	-
Cromo	1200	3000	15	12	16
Cobre	1500	4300	8,06	7,05	9,14
Plomo	300	840	< 30	< 26	< 30
Mercurio	17	57	-	-	-
Níquel	410	420	26,78	22,82	28,82
Zinc	2800	7500	50,61	43,15	52,69

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

En referencia a la tabla 12-3 se puede decir que el lodo no cuenta con características peligrosas en cuanto a contaminación por metales pesados, ya que sus rangos son inferiores a los establecidos por la Norma Oficial Mexicana N04-004-SERMANAT-2002, sin embargo, necesitan un proceso de estabilización que permitan su uso y aprovechamiento.

Tabla 30-3: Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos / biosólidos

Clases	Indicador Bacteriológico de contaminación	Patógenos	Parásitos
	Coliformes fecales NMP/g	<i>Salmonella spp.</i> NMP/g	Huevos de helmitos/g
A	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 1

B	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

Fuente: (Norma Oficial Mexicana N04-004-SERMANAT-2002, 2003)

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

Tabla 31-3: Tabla comparativa de resultados bacteriológicos

Clases	Indicador Bacteriológico de contaminación	Primera caracterización	Segunda caracterización	Tercera caracterización
	Coliformes fecales NMP/g			
A	Menor de 1000			
B	Menor de 1000			
C	Menor de 2 000 000	< 1 600 000	< 11 000	< 10 000

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

Se puede observar en la tabla 14-3, que la cantidad de coliformes fecales es alta, por lo cual se debe prestar atención a este parámetro para que el fin del sistema de tratamiento sea reducir los agentes patógenos presentes, y que no representen un riesgo hacia la salud humana.

Tabla 32-3: Aprovechamiento de lodos / biosólidos

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación Los establecidos para la clase B y C
Excelente o Bueno	B	Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación Los establecidos para la clase C
Excelente o Bueno	C	Usos forestales Mejoramiento de suelo Usos agrícolas

Fuente: (Norma Oficial Mexicana N04-004-SERMANAT-2002, 2003)

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

En cuanto al aprovechamiento del lodo, basada en sus características iniciales, se encuentra en clase C, el cual se lo destina para usos forestales, mejoramiento del suelo, sin contacto directo, por lo cual el sistema de tratamiento estará enfocado en la estabilización de la materia orgánica presente en el lodo y la reducción de patógenos, para que tenga un uso beneficioso.

3.5. Diseño del sistema del tratamiento de lodos

3.5.1. Metodología de las técnicas de dimensionado

Los tratamientos existentes para lodos son varios, se pueden aplicar en función de los requerimientos técnicos y económicos de lo que se necesite, en este caso la finalidad del proyecto técnico es usarlo con un fin beneficioso que permita aprovechar sus características en cuanto a su contenido de materia orgánica, eliminando los agentes patógenos presentes.

Debido a lo anteriormente mencionado, el primer proceso propuesto para el sistema de tratamiento de lodos es el espesado de los mismos para aumentar su contenido de sólidos por eliminación de la humedad presente, el diseño del espesador por gravedad es similar al de un sedimentador primario, por lo cual requiere determinar el caudal de lodos a tratar, asumir la carga superficial de sólidos en función de los parámetros de diseño, tiempo de residencia hidráulica, pendiente de fondo del tanque que será de forma circular, diámetro de la cámara de reparto del espesador; una vez el fango sedimentado y compactado es recogido por la parte inferior del mismo; pasando de esta manera al segundo proceso propuesto que es la parte de estabilización del lodo en el cual se usa un proceso de digestión anaerobia mediante una unidad de filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) usado con la finalidad de remover la cantidad de materia orgánica hasta un 75%, para lo cual se hace imprescindible tener un medio filtrante estructuralmente resistente de alta porosidad, con la finalidad de minimizar los efectos de taponamiento, y tener un control sobre los parámetros que influyen como son la temperatura, pH, coliformes fecales, presencia de metales, entre otros, dentro de sus parámetros de diseño se encuentran el tiempo de residencia hidráulico calculado en función del caudal y volumen del filtro, la carga hidráulica superficial para producir un efluente de buena calidad, y la carga orgánica volumétrica, el tercer proceso propuesto es el acondicionamiento químico que si bien es cierto no es necesario, permite una mejora en las condiciones del lodo para el proceso de deshidratación, para este se usa un mezclador mecánico de turbina radial el cual nos permitirá la adición del coagulante Policloruro de aluminio líquido para la aglomeración de sólidos presentes obteniendo de esta manera un más fácil manejo del lodo, consecuentemente a su acondicionamiento pasan a la unidad de deshidratación tipo filtro banda la cual nos permite obtener una torta de lodo lista para evacuación final, que sería la aplicación al terreno en un almacenamiento a largo plazo que permite adecuarlo a un proceso de vermicompostaje usado como abono o enmienda orgánica en sectores aledaños a la planta, usado o comercializado por las entidades competentes.

3.5.2. Cálculos de ingeniería

Tabla 33-3: Cálculo del caudal de lodos a tratar

Lodos provenientes del vehículo hidrosuccionador		
Área de almacenamiento	2,64	m ²
Longitud del almacenamiento	3,2	m
Volumen	8,45	m ³
Tiempo	30	min
Caudal	4,69	L/s
Caudal de lodos a tratar	0,00469	m ³ /s

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

Datos de Diseño del Espesador por Gravedad:

Caudal: 0,00469 m³/s

Concentración del sólido: 2,855 kg/m³

Carga superficial de sólidos: 112 kg/m²d

Pendiente del fondo del espesador: 80 mm/m

Diámetro de la cámara de reparto: 20% D

Tiempo de retención hidráulica: 2 horas

$$Cs = \frac{Q}{As} \quad \text{Ecuación 1-3}$$

$$As = \frac{Q}{Cs} \quad \text{Ecuación 2-3}$$

Donde:

As: área superficial, m²

Cs: carga superficial de sólidos, kg/ m²d

Q: caudal del lodo, m³/s

$$As = \frac{0,00469 \frac{m^3}{s} (2,855 \frac{Kg}{m^3})}{112 \frac{Kg}{m^2d} (\frac{1 d}{86400 s})}$$

$$As = 10 m^2$$

$$As = \frac{\pi D^2}{4}$$

Donde:

As: área superficial, m²

D: diámetro del espesador circular, m

$$D = \sqrt{\frac{4 A_s}{\pi}}$$

Ecuación 3-3

$$D = \sqrt{\frac{4 (10 \text{ m}^2)}{\pi}}$$

$$D = 3,63 \text{ m}$$

$$V = Q * t_{rh}$$

Ecuación 4-3

Donde:

V: volumen del espesador, m³

C: caudal de lodo, m³/s

T_{rh}: tiempo de residencia hidráulica, s

$$V = 0,00469 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} (7200 \text{ s})$$

$$V = 34 \text{ m}^3$$

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

Ecuación 5-3

Donde:

H: altura útil del espesador circular, m

V: volumen del espesador, m³

A_s: área superficial, m²

$$H = \frac{34 \text{ m}^3}{10 \text{ m}^2}$$

$$H = 3,4 \text{ m}$$

$$Hl = \frac{D}{2}$$

Ecuación 6-3

Donde:

Hl: altura de la zona de lodos, m

S: pendiente de fondo, mm/m

D: diámetro del espesador circular, m

$$Hl = 80 \frac{\text{mm}}{\text{m}} \left(\frac{3,63\text{m}}{2} \right)$$

$$Hl = 145,2 \text{ mm} \cong 0,15 \text{ m}$$

$$H_T = H + Hl + H_s$$

Ecuación 7-3

Donde:

H_T: altura total del espesador, m

H: altura, m

Hl: altura de la zona de lodos, m

H_s: altura de seguridad, m

$$H_T = 3 \text{ m} + 0,15 \text{ m} + 0,35 \text{ m} = 3,76 \text{ m} \cong 4 \text{ m}$$

$$D_c = 20 \% D$$

Ecuación 8-3

Donde:

D_c: diámetro de la cámara de reparto, m

D: diámetro del espesador circular, m

$$D_c = 0,20 (4 \text{ m}) = 0,7 \text{ m}$$

$$H_c = \frac{1}{5} H_T$$

Ecuación 9-3

Donde:

Hc: altura de la cámara de reparto, m

Ht: altura total del espesador, m

$$Hc = \frac{1}{5}(4 \text{ m}) = 0,80 \text{ m}$$

Datos de Diseño del Filtro Anaerobio de flujo ascendente (FAFA):

Caudal: 0,00469 m³/s o 405,216 m³/d

Carga hidráulica superficial: 10,5 m³/m² d

Carga orgánica volumétrica: 0,5 kg DBO m³/ d

$$A = \frac{Q}{CHS} \quad \text{Ecuación 10-3}$$

Donde:

A: área superficial del medio filtrante, m²

Q: caudal de lodos a tratar, m³/d

CHS: carga hidráulica superficial, m³/ m²d

$$A = \frac{405,216 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{10,5 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{d}}}$$

$$A = 39 \text{ m}^2$$

$$L = \sqrt{A} \quad \text{Ecuación 11-3}$$

Donde:

L: longitud del filtro, m

A: área superficial del medio filtrante, m²

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

$$V = \frac{Q * S_0}{COV} \quad \text{Ecuación 12-3}$$

Donde:

V: volumen del lecho filtrante, m³

Q: caudal de lodos a tratar, m³/d

COV: carga orgánica volumétrica en el lecho filtrante, kg DBO m³/d

S₀: DBO máxima, media y mínima, kg DBO/ m³

DBO máxima

$$V = \frac{405,216 \frac{m^3}{d} (3,752 \frac{kg DBO}{m^3})}{0,5 \frac{kg DBO}{m^3 d}}$$

$$V = 3041 m^3$$

DBO media

$$V = \frac{405,216 \frac{m^3}{d} (2,71 \frac{kg DBO}{m^3})}{0,5 \frac{kg DBO}{m^3 d}}$$

$$V = 2196 m^3$$

DBO mínima

$$V = \frac{405,216 \frac{m^3}{d} (2,103 \frac{kg DBO}{m^3})}{0,5 \frac{kg DBO}{m^3 d}}$$

$$V = 1704 m^3$$

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

Ecuación 13-3

Donde:

Hm: altura del lecho filtrante, m

V: volumen del empaque, m³

A: área superficial del filtro, m²

$$hm = 7,9 m \cong 8 m$$

$$H = hm + b + d$$

Ecuación 14-3

Donde:

H: altura total del filtro, m

Hm: altura del lecho filtrante, m

b: altura del borde libre, m

d: altura del bajo dren, m

$$H = 7,9 m + 0,75 + 1 = 9,6 m$$

$$V_t = A \cdot H$$

Ecuación 15-3

Donde:

V_t : volumen total del filtro, m^3

A : área superficial del filtro, m^2

H : altura total del filtro, m

$$V_t = 39 \text{ m}^2 * 9,6 \text{ m} = 372 \text{ m}^3$$

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

Ecuación 16-3

Donde:

COV_t : carga orgánica volumétrica, $kg \text{ DBO}/m^3/d$

Q : caudal del lodo a tratar, m^3/d

S_0 : $DBO_{\text{máxima}}$, $kg \text{ DBO}/m^3$

V_t : volumen total del filtro, m^3

$$COV_t = \frac{405,216 \frac{m^3}{d} (0,44 \frac{kg \text{ DBO}}{m^3})}{372 \text{ m}^3}$$

$$COV_t = 0,49 \cong 0,50 \frac{kg \text{ DBO}}{m^3 d}$$

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

Ecuación 17-3

Donde:

TRH : tiempo de residencia hidráulica, d

V : volumen del medio filtrante, m^3

Q : caudal de lodos a tratar, m^3/d

$$TRH = 7,5 \text{ d}$$

$$E = 100 [1 - 0,87 (TRH^{-0,5})]$$

Ecuación 18-3

Donde:

E: eficiencia del filtro anaerobio, en porcentaje

TRH: tiempo de residencia hidráulica, d

0,87: coeficiente empírico del sistema

0,50: coeficiente empírico del medio filtrante

$$E = 100 [1 - 0,87 (7,5^{-0,5})]$$

$$E = 94 \%$$

$$DBO_{ef} = S_0 - \frac{E S_0}{100}$$

Ecuación 19-3

Donde:

DBO_{ef} : concentración total de DBO en el efluente, mg/l

S_0 : concentración total de DBO en el efluente, mg/l

E: eficiencia de remoción, en porcentaje

$$DBO_{ef} = 3041 - \frac{94 (3041)}{100} = 197 \frac{mg}{l}$$

$$DBO_{ef} = 2196 - \frac{94 (2196)}{100} = 142 \frac{mg}{l}$$

$$DBO_{ef} = 1704 - \frac{94 (1704)}{100} = 110 \frac{mg}{l}$$

Datos de Diseño del Acondicionamiento químico:

Caudal: 0,00469 m³/s

a (Dt/D): 3

b (H/D): 3,5

Tiempo de mezcla: 7 s

$$V = Q * t$$

Ecuación 20-3

Donde:

V: volumen de la cámara de mezcla, m³

Q: caudal de lodos a tratar, m³/s

T: tiempo de mezcla, s

$$V = 0,00469 \frac{m^3}{s} (7 s)$$

$$V = 0,03 m^3$$

$$D_T = 1,08 \sqrt[3]{aV/b}$$

Ecuación 21-3

Donde:

D_T: diámetro de la cámara de mezcla, m

a y b: * asumidos para el diseño

$$D_T = 1,08 \left[\left(\frac{3}{3,5} \right) (0,03) \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_T = 0,01 m$$

$$H = D_T b/a$$

Ecuación 22-3

Donde:

H: profundidad de la cámara de mezcla, m

a y b: * asumidos para el diseño

$$H = 0,01 m \left(\frac{3,5}{3} \right)$$

$$H = 0,012 m$$

$$P = \mu V G^2$$

Ecuación 23-3

Donde:

P: potencia aplicada al agua, kg m / s

μ: viscosidad del lodo, kg s / m²

V: volumen de la cámara de mezcla, m³

G: gradiente de velocidad, s⁻¹

$$P = 0,0001167 \frac{kg s}{m^2} (0,03 m^3) (1000 s^{-1})$$

$$P = 3,83 \frac{kg m}{s}$$

$$D = \frac{D_T}{3}$$

Ecuación 24-3

Donde:

D: diámetro de la turbina, m

D_t: diámetro de la cámara de mezcla, m

$$D = \frac{0,01 \text{ m}}{3}$$

$$D = 0,003 \text{ m}$$

$$B = \frac{D}{4}$$

Ecuación 25-3

Donde:

B: dimensiones de las paletas, m

D: diámetro de la turbina, m

$$B = \frac{0,003 \text{ m}}{4}$$
$$B = 0,00084 \text{ m}$$

$$W = \frac{D}{4}$$

Ecuación 26-3

Donde:

W: dimensiones de las paletas, m

D: diámetro de la turbina, m

$$W = \frac{0,003 \text{ m}}{4}$$

$$W = 0,00084 \text{ m}$$

$$n = \sqrt[3]{\frac{gP}{K\rho D^5}}$$

Ecuación 27-3

Donde:

n: velocidad de rotación, rpm

g: coeficiente gravedad, m²/s

P: potencia aplicada al agua, kg m / s

K: constante del impulsor

$$n = [9,81 (3,83)/5(1000)(0,003)]^{\frac{1}{3}}$$

$$n = 5,10 \text{ rps} \approx 306 \text{ rpm}$$

Datos de Diseño del Filtro Banda:

Caudal: 405,216 m³/d

Ciclo operativo: 5 y 7 d/semana

Peso específico del lodo: 2,76

Peso específico de la torta: 1,86

Peso específico del líquido filtrado: 1,01

Contenido total de sólidos: 0,25

Sólidos Suspendidos: 0,09

Caudal de agua de lavado: 96 l/min

Carga de aplicación: 100 kg/m.h

Carga punta correspondiente a 3d: 810,432 m³/ d

$$\text{Fango húmedo} = Q (\text{Ciclo})(\text{densidad})(\text{peso del lodo})$$

Ecuación 28-3

Donde:

Q: caudal de lodos a tratar, m³/d

Ciclo operativo: d/sem

Peso específico del lodo: 2,76

$$\text{Fango húmedo} = 405,216 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \left(7 \frac{\text{d}}{\text{sem}} \right) \left(1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) (2,76)$$

$$\text{Fango húmedo} = 7829 \frac{\text{kg}}{\text{semana}}$$

$$\text{Sólidos seco} = \text{Fango h. (contenido de solidos)}$$

Ecuación 29-3

$$\text{Sólidos secos} = 7829 (0,03)$$

$$\text{Sólidos secos} = 235 \frac{\text{kg}}{\text{semana}}$$

$$\text{Tasa diaria} = \text{solidos secos (ciclo operativo)}$$

Ecuación 30-3

$$\text{Tasa diaria} = 235 \frac{\text{kg}}{\text{sem}} \left(5 \frac{\text{d}}{\text{sem}} \right)$$

$$Tasa\ diaria = 47 \frac{kg}{d}$$

$$Tasa\ horaria = \frac{tasa\ diaria}{horas\ diarias} \quad \text{Ecuación 31-3}$$

$$Tasa\ horaria = 6 \frac{kg}{h}$$

$$Anchura\ de\ banda = \frac{tasa\ horaria}{carga\ de\ aplicacion} \quad \text{Ecuación 32-3}$$

$$Anchura\ de\ banda = \frac{6 \frac{kg}{h}}{100 \frac{kg}{m\ h}}$$

$$Anchura\ de\ banda = 0,06\ m$$

$$\text{Sólidos} = S.\text{ en la torta} + S.\text{ en el líquido filtrado} \quad \text{Ecuación 33-3}$$

$$47 \frac{kg}{d} = \left(S \frac{m^3}{d} \right) \left(1000 \frac{kg}{d} \right) (1,7)(0,25) + \left(F \frac{m^3}{d} \right) \left(1000 \frac{kg}{m^3} \right) (1,86)(0,009)$$

$$47 = 425 * S + 16,74 * F$$

$$\text{Caudal diario de fango} = 405,216 \frac{m^3}{d} * \frac{7}{5} \quad \text{Ecuación 34-3}$$

$$\text{Caudal diario de fango} = 567 \frac{m^3}{d}$$

$$Q = 0,09 \frac{m^3}{min\ m} * 0,06\ m * 60 \frac{min}{h} * 8 \frac{h}{d} \quad \text{Ecuación 35-3}$$

$$\text{Caudal de agua de lavado a contracorriente} = 3 \frac{m^3}{d}$$

$$\text{Caudal total} = 567 + 3 = 570 \frac{m^3}{d}$$

$$F = 290\ m^3 \quad \text{Ecuación 36-3}$$

$$\% \text{ solidos} = \frac{S.\text{ en la alimentación} - S.\text{ en el líquido filtrado}}{\text{Sólidos en la alimentación}} \times 100 \quad \text{Ecuación 37-3}$$

Captura de sólidos = 53 %

$$\text{Sólidos secos /d} = \left(810,4 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right) \left(1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) (1,01)(0,03) \quad \text{Ecuación 38-3}$$

$$\text{Sólidos secos} = 25 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

$$\text{Tiempo de funcionamiento} = \frac{25 \frac{\text{Kg}}{\text{d}}}{100 \frac{\text{kg}}{\text{d}}} \quad \text{Ecuación 39-3}$$

$$\text{Tiempo de funcionamiento} = 0,25 \text{ d} \cong 6 \text{ h}$$

3.5.3. Diseño del sistema de tratamiento de lodos

El sistema de tratamiento propuesto para tratar los lodos provenientes del vehículo hidrosuccionador del E.P. EMAPA-G se resumen en la siguiente tabla de operaciones con sus dimensiones:

Tabla 34-3: Dimensiones del sistema de tratamiento de lodos 1

Espesador por gravedad		
Área sección transversal	10	m ²
Diámetro del tanque espesador circular	4	m
Volumen	34	m ³
Altura útil del espesador circular	3	m
Altura de la zona de lodos	145	mm
	0,15	m
Altura de seguridad	0,35	*m
Altura total	4	m
Cámara de reparto	0,7	m
Altura de la cámara de reparto	0,8	m
Velocidad asumiendo una sección rectangular	0,11	m/min
	0,0018	m/s
Ancho de la separación del espesador	1,6	m
Altura de seguridad	0,4	m
Ancho total	2,0	m

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

FAFA			
Área superficial del medio filtrante	39		m ²
Longitud del filtro	6,2		m
Volumen del lecho filtrante	DBO máx	3041	m ³

	DBO media	2196	m ³
	DBO min	1704	m ³
Altura del lecho filtrante	7,9		m
Altura total del filtro	9,6		m
Volumen total del filtro	372		m ³
Revisión de la carga orgánica volumétrica	0,5		kg DBO / m ³ d
Tiempo de residencia hidráulica	7,5		d
Estimación de la remoción del filtro anaerobio	94		%
Concentración de DBO esperada en el efluente	197		mg/l
	142		mg/l
	110		mg/l

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

Tabla 35-3: Dimensiones del sistema de tratamiento de lodos 2

Mezclador mecánico de turbina radial		
Volumen de la cámara de mezcla	0,03	m ³
Diámetro de la cámara de mezcla	0,01	m
Profundidad de la cámara de mezcla	0,012	m
Potencia aplicada al agua	3,83	kg m/s
Diámetro de la turbina	0,003	m
Dimensiones de las paletas	0,00084	m
Velocidad de rotación	5,10	rps
	306	rpm

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

Tabla 36-3: Dimensiones del sistema de tratamiento de lodos 3

Filtro banda			
Fango húmedo	7829		kg/sem
Sólidos secos	235		kg/sem
Tasa diaria	47		kg/d
Tasa horaria	6		kg/ h
Anchura de banda	0,06		m
Caudal diario de fango	567		m ³ /d
Caudal de agua de lavado a contracorriente	3		m ³ /d
Caudal total	570		m ³ /d
Volumen del líquido filtrado	290		m ³
% de captura de solidos	53		%
Sólidos secos/d	25		kg/d
Tiempo de funcionamiento	0,25		d
	6		h

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

3.6. Requerimiento de equipos

El sistema de tratamiento propuesto para los lodos recolectados por el vehículo hidrosuccionador del E.P. EMAPA-G, cuenta con cuatro unidades de tratamiento y su evacuación final que fueron diseñadas conforme a las necesidades de la empresa y características del lodo recolectado, sin embargo, una de estas unidades por motivos de facilidad en cuanto a su adquisición de acuerdo con las características de diseño, antes que su fabricación, se propone la compra del equipo usado para la deshidratación que en este caso es el filtro banda, existente en el mercado elegido acorde a las necesidades de funcionamiento que tenemos, por lo cual se recomienda la adquisición de un filtro de banda DT1000-Q, el cual trabaja con un ancho de tela de 1000 mm, velocidad de banda 0,6-5.5. m/min, caudal de lodos hasta de 30 m³/h, que se los puede obtener dentro del país, en la ciudad de Quito mediante la empresa de ingeniería y servicios ambientales ISA.

3.7. Costos

Tabla 37-3: Presupuesto de la implantación del sistema de tratamiento de lodos

Presupuesto del Diseño del Sistema de Tratamiento de Lodos Recolectados por el Vehículo Hidrosuccionador E.P EMAPA-G					
TABLA DE DESCRIPCION DE RUBROS, UNIDADES, CANTIDADES Y PRECIOS					
No.	Rubro/Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Global
1	Replanteo y nivelación	m2	154	1,32	203
2	Excavación a máquina	m3	231	3,24	748
Gastos para adecuación del terreno			952		
Espesador por gravedad, FAFA, Mezclador mecánico de flujo radial					

3	Tubería PVC E/C DN 110 mm 1.00 MPA U. Sellado ELASTOM. + Prueba	m	36,68	7,04	258
4	Codo 45° PVC/P DN 110 mm	U	5	5,4	27
5	Codo 90° PVC/P DN 110 mm	U	2	14,18	28
6	S.C. Válvula de compuerta HF D= 110 MM (4") L/L	U	2	248,6	497
7	Enlucido interior + impermeabilizante	m2	154	10,99	1692
8	Enlucido exterior, paleteado fino e= 1,5 cm2	m2	154	13,03	2007
9	Hormigón simple 210 kg/cm2	m3	406	162,76	66081
10	Bandeja de lodos tool perforada	U	1	105,67	105,67
11	Colocación material granular	m3	372	26,23	9757,56
12	Encofrado especial pared circular	m2	39	17,3	674,7
Gastos de implantación del sistema de tratamiento			80454		
Filtros banda					
13	Adquisición del filtro banda				2500
Gastos totales de implantación del sistema de tratamiento de lodos					83905

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

Tabla 38-3: Presupuesto para el acondicionamiento químico del lodo

Presupuesto del acondicionamiento químico de los lodos recolectados por el vehículo hidrosuctionador E.P EMAPA-G					
TABLA DE DESCRIPCION DE RUBROS, UNIDADES, CANTIDADES Y PRECIOS					
No.	Rubro/Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Global
1	Policloruro de aluminio	mg/l	3,9	1,2	4,68
				Costo semanal	23,4
				Costo mensual	93,6

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

El costo de la implantación del sistema de tratamiento de lodos llega a ser de \$ 83 999, teniendo en consideración que se requiere de equipos mecánicos y productos químicos.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Caracterización final de los lodos

Una vez concluidas las pruebas de tratabilidad se realizaron los análisis finales del lodo para saber sus características, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 1-4: Primera caracterización final de los lodos

Ensayo	Unidad	Resultado	Método/Norma	Valor límite permisible
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5175	Espectrofotométrico	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	2281	Espectrofotométrico	-
Coliformes fecales	NMP/ g	< 1500	Fermentación en tubos múltiples	-
Arsénico	mg/L	0,92	AN-EMAPAG-10	-
Cadmio	mg/L	4,78	AN-EMAPAG-15	-
Cobre	mg/L	6,35	AN-EMAPAG-08	-
Cromo total	mg/L	8,00	AN-EMAPAG-13	-
Fosfatos	mg/L	9,75	AN-EMAPAG-17	-
Hierro total	mg/L	6,43	AN-EMAPAG-18	-
Níquel	mg/L	20,52	AN-EMAPAG-21	-
Nitratos	mg/L	39,43	AN-EMAPAG-22	-
Nitritos	mg/L	17,24	AN-EMAPAG-23	-
Plomo	mg/L	< 21	AN-EMAPAG-28	-
Zinc	mg/L	36,51	AN-EMAPAG-34	-
Sólidos totales	mg/L	730	AN-EMAPAG-33	-

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

Tabla 2-4: Segunda caracterización final de los lodos

Ensayo	Unidad	Resultado	Método/Norma	Valor límite permisible
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	3045	Espectrofotométrico	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	2187	Espectrofotométrico	-
Coliformes fecales	NMP/ g	< 1000	Fermentación en tubos múltiples	-
Arsénico	mg/L	0,92	AN-EMAPAG-10	-
Cadmio	mg/L	4,78	AN-EMAPAG-15	-
Cobre	mg/L	6,35	AN-EMAPAG-08	-
Cromo total	mg/L	8,00	AN-EMAPAG-13	-
Fosfatos	mg/L	9,75	AN-EMAPAG-17	-
Hierro total	mg/L	6,43	AN-EMAPAG-18	-
Níquel	mg/L	20,52	AN-EMAPAG-21	-
Nitratos	mg/L	39,43	AN-EMAPAG-22	-
Nitritos	mg/L	17,24	AN-EMAPAG-23	-
Plomo	mg/L	< 21	AN-EMAPAG-28	-
Zinc	mg/L	36,51	AN-EMAPAG-34	-
Sólidos totales	mg/L	900	AN-EMAPAG-33	-

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

Tabla 339-4: Comparación de los resultados obtenidos con el Anexo I del libro XI del TULSMA

Parámetros	Límite máximo permisible	Resultado de análisis	Unidad
Comparación de límites permisibles de la primera caracterización			
Arsénico total	0,1	0,92	mg/l
Cadmio	0,02	4,78	mg/l
Zinc	5,0	36,51	mg/l
Cobre	1,0	6,35	mg/l
Coliformes fecales	2000	< 1500	NMP/ 100 ml
Cromo total	0,5	8,00	mg/l
Demanda Bioquímica de oxígeno	100	2281	mg/l
Demanda química de oxígeno	200	5175	mg/l
Níquel	2,0	20,52	mg/l
Plomo	0,2	39,43	mg/l
Potencial hidrógeno	6-9	6,42	
Sólidos suspendidos totales	130	-	mg/l
Sólidos totales	1600	730	mg/l
Temperatura	Condición natural +- 3	14	°C
Comparación de límites permisibles de la segunda caracterización			
Arsénico total	0,1	0,92	mg/l
Cadmio	0,02	4,78	mg/l
Zinc	5,0	36,51	mg/l
Cobre	1,0	6,35	mg/l
Coliformes fecales	2000	< 1000	NMP/ 100 ml
Cromo total	0,5	8,00	mg/l
Demanda Bioquímica de oxígeno	100	2187	mg/l
Demanda química de oxígeno	200	3045	mg/l
Níquel	2,0	20,52	mg/l
Plomo	0,2	< 21	mg/l
Potencial hidrógeno	6-9	6,54	
Sólidos suspendidos totales	130	-	mg/l
Sólidos totales	1600	900	mg/l
Temperatura	Condición natural +- 3	13	°C

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

En referencia a la tabla 3-4, podemos concluir que algunos parámetros se redujeron en sus concentraciones, otros se mantuvieron en concentraciones altas en comparación con los límites permisibles, la mayoría de estos son de carácter orgánico por lo cual se aprovecharán sus características para la generación de un subproducto de carácter orgánico, luego de haber sido estabilizados, ya que no representan un riesgo de carácter biológico debido a la reducción de agentes patógenos en el lodo, y su índice de biodegradabilidad confirma que son altamente biodegradable usando procesos químicos y biológicos, como se plantea en la propuesta de diseño.

Tabla 4-4: Comparación de los resultados obtenidos con la Norma Oficial Mexicana N04-004-SERMANAT-2002

Contaminante	Excelente (mg/Kg)	Bueno (mg/Kg)	Resultado	
Arsénico	41	75	0,92	0,92
Cadmio	39	85	4,78	4,78
Cromo	1200	3000	8,00	8,00
Cobre	1500	4300	6,35	6,35
Plomo	300	840	< 21	< 21
Mercurio	17	57	-	-
Níquel	410	420	20,52	20,52
Zinc	2800	7500	36,51	36,51

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

Acorde con la tabla 4-4, donde se establecen valores de metales pesados presentes en lodos/biosólidos con los resultados obtenidos de las caracterizaciones del lodo, se puede notar que ninguno de los metales presentes representa una contaminación, ya que sus valores son relativamente bajos y con una estabilización de sus otras características podrían disminuir en un periodo de tiempo, sin representar un problema.

Tabla 5-4: Tabla comparativa de resultados bacteriológicos

Clases	Indicador Bacteriológico de contaminación	Primera caracterización	Segunda caracterización
	Coliformes fecales NMP/g		
A	Menor de 1000	< 1500	
B	Menor de 1000		< 1000
C	Menor de 2 000 000		

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

Notablemente se observa una reducción de contaminación bacteriológica en relación a las primeras caracterizaciones realizadas, lo cual representa una mejora en sus características para destinarlo a un uso posterior.

Tabla 6-4: Aprovechamiento de los lodos y biosólidos

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	Usos urbanos con contacto publico directo durante su aplicación Los establecidos para la clase B y C
Excelente o Bueno	B	Usos urbanos sin contacto publico directo durante su aplicación Los establecidos para la clase C
Excelente o Bueno	C	Usos forestales Mejoramiento de suelo Usos agrícolas

Fuente: (Norma Ofical Mexicana N04-004-SERMANAT-2002, 2003).

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

El uso y aprovechamiento de los lodos debido a la mejora en sus características se lo establece en un tipo excelente o bueno clase A o B el cual se lo puede destinar hacia un uso urbano, en contacto directo durante su aplicación, que beneficiara a las características del terreno donde se aplique, debido a sus características ricas en nutrientes y la utilización de lombrices para degradarlo hasta obtener un tipo de abono.

4.2. Porcentaje de remoción de contaminantes

Tabla 7-4: Eficiencia remocional de los procesos de tratamiento

Proceso	Eficiencia remocional							
	SS	DBO	DQO	NH ₃	N _{org}	NO ₃	PO ₄	STD
Asimilación bacteriana	80-50	75-95	60-80	30-40	30-40	30-40	10-20	
Precipitación química	60-80	75-90	60-70	5-15	60-50		90-95	20
Aplicación en suelo	95-98	80-98	80-90	60-80	80-95	5-15	60-90	

Fuente: (Muñoz Tobar, 2017).

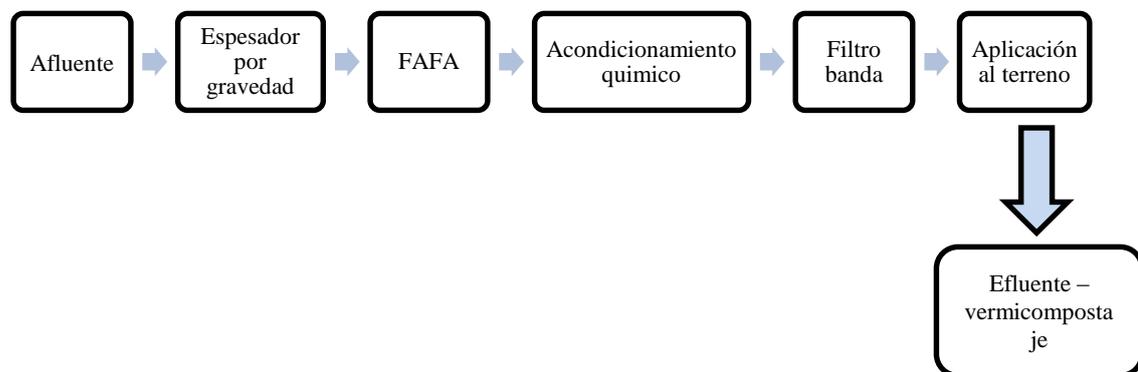


Gráfico 3-4: Secuencia de procesos para el sistema de tratamiento de lodos

Para obtener el valor de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) se aplican los valores de eficiencia remocional de cada proceso, tomados de la tabla 7-4, y el valor más alto obtenido en los análisis realizados, presentado en el siguiente gráfico de barras comparativo de las caracterizaciones iniciales y finales de este parámetro:

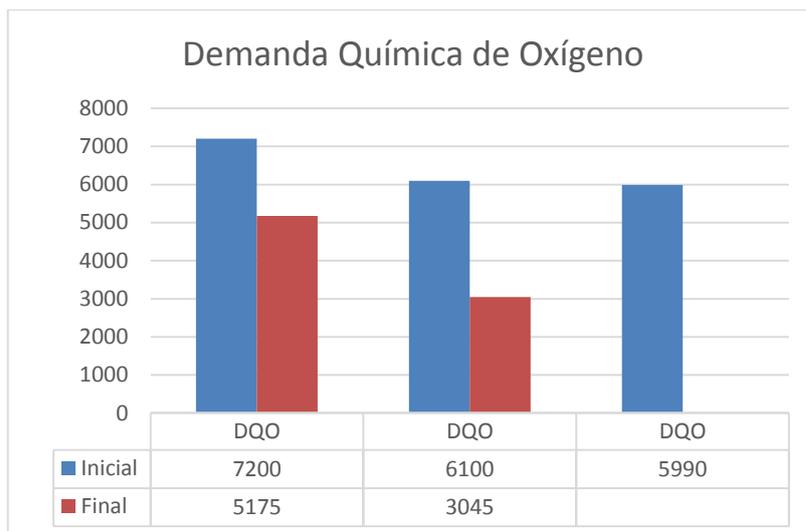


Gráfico 4-4: Caracterizaciones iniciales y finales de la DQO

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

$$7200 \text{ mg/l} - 0,25 (7200 \text{ mg/l}) = 5400 \text{ mg/l}$$

$$5400 \text{ mg/l} - 0,35 (5400 \text{ mg/l}) = 3510 \text{ mg/l}$$

$$3510 \text{ mg/l} - 0,15 (3510 \text{ mg/l}) = 2983,5 \text{ mg/l}$$

$$\frac{\left(7200 \frac{\text{mg}}{\text{l}} - 2983,5 \frac{\text{mg}}{\text{l}}\right)}{7200 \frac{\text{mg}}{\text{l}}} \cdot 100 = 58,5 \%$$

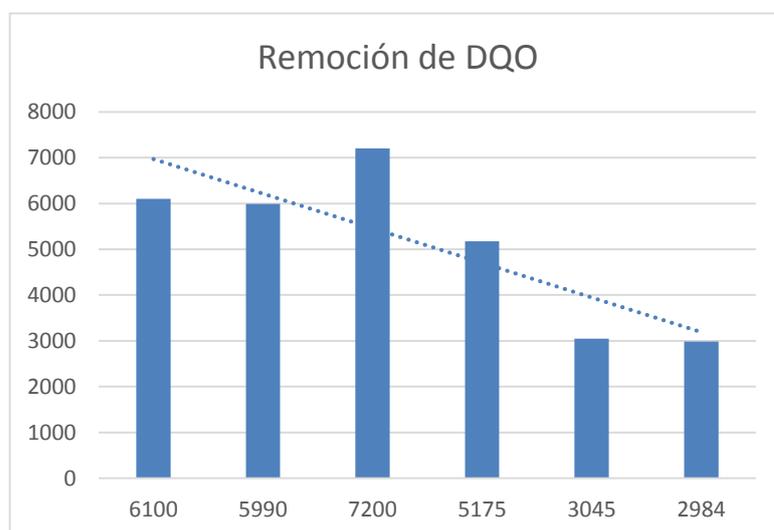


Gráfico 5-4: Remoción de la demanda química de oxígeno

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

Para obtener el valor de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se aplican los valores de eficiencia remocional de cada proceso, tomados de la tabla 7-4, y el valor más alto obtenido de las caracterizaciones iniciales, mostradas en el siguiente gráfico:

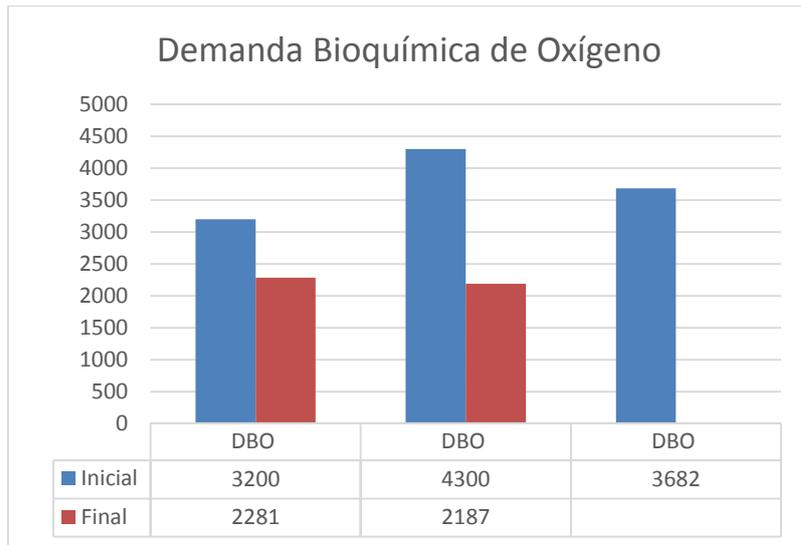


Gráfico 6-4: Caracterizaciones iniciales y finales de la DBO

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

$$4300 \text{ mg/l} - 0,15 (4300 \text{ mg/l}) = 3655 \text{ mg/l}$$

$$3655 \text{ mg/l} - 0,15 (3655 \text{ mg/l}) = 3106,75 \text{ mg/l}$$

$$3106,75 \text{ mg/l} - 0,10 (3106,75 \text{ mg/l}) = 2796 \text{ mg/l}$$

$$\frac{\left(4300 \frac{\text{mg}}{\text{l}} - 2796 \frac{\text{mg}}{\text{l}}\right)}{4300 \frac{\text{mg}}{\text{l}}} \cdot 100 = 34,97 \%$$

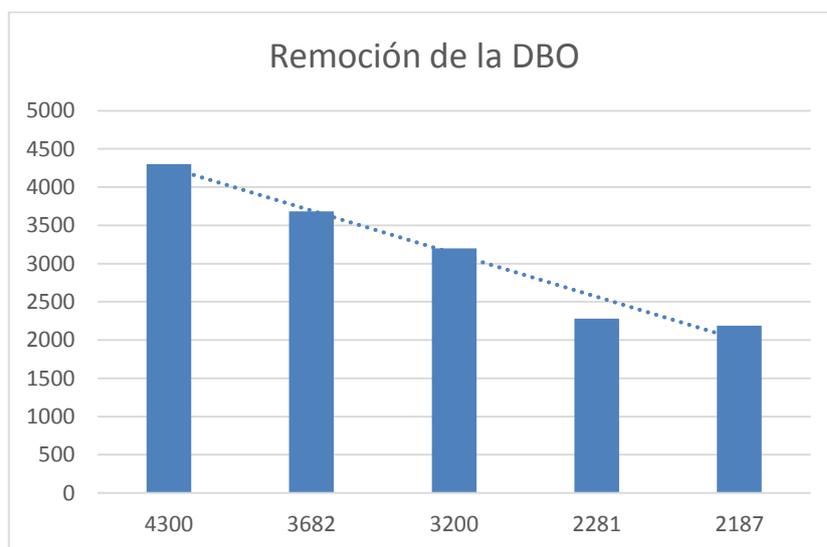


Gráfico 7-4: Remoción de la demanda bioquímica de oxígeno

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

Para determinar el porcentaje de remoción de los metales pesados presentes en los lodos se utilizó la siguiente expresión matemática:

$$\% \text{ remoción} = \frac{C_o - C_f}{C_o} \cdot 100$$

Tabla 40-4: Porcentaje de remoción de metales pesados

Parámetro	Caracterización inicial	Caracterización final	% Remoción
Arsénico	2,32	0,92	60
Cadmio	7,32	4,78	35
Cromo	15	8	47
Cobre	8,06	6,35	21
Plomo	30	21	30
Níquel	26,78	20,52	23
Zinc	50,61	36,51	28

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

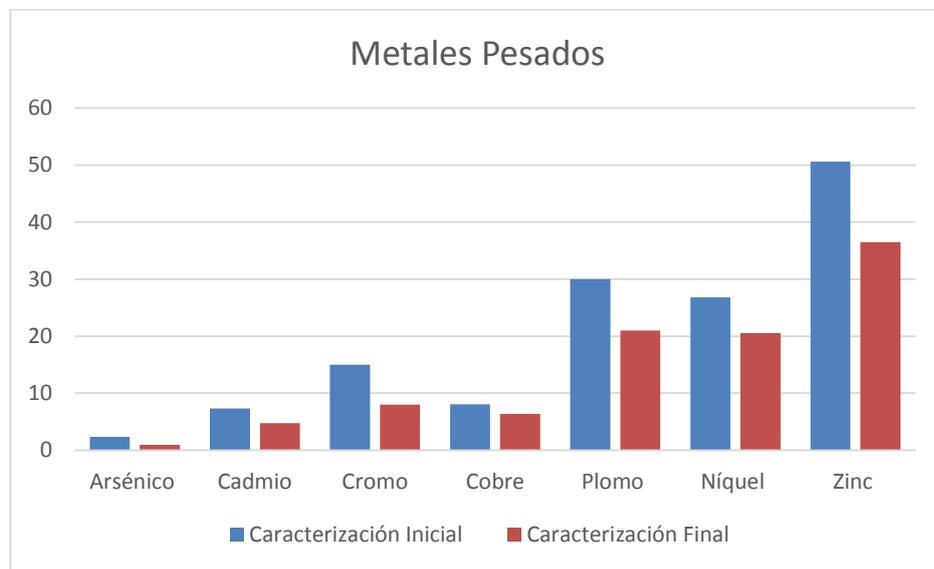


Gráfico 8: Caracterizaciones iniciales y finales de los metales pesados

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

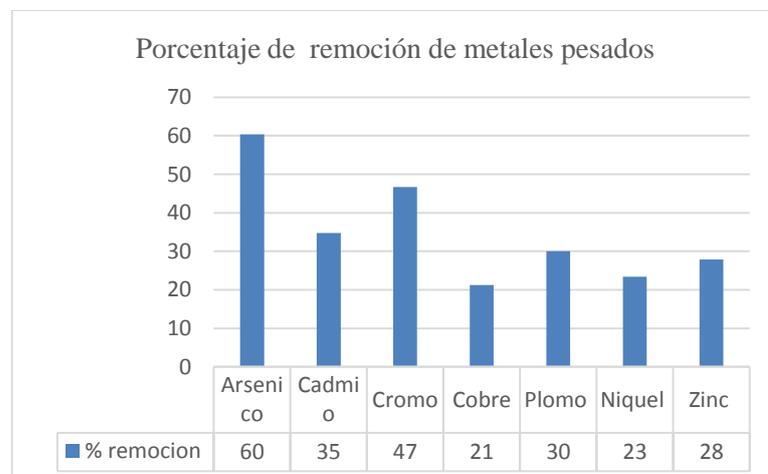


Gráfico 9-4: Porcentaje de remoción de metales pesados

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

En cuanto a la parte biológica, que están representados por la cantidad de coliformes fecales presentes en el lodo se puede decir que desde la primera caracterización hasta la última hubo una remoción hasta del 99% en su contenido total a lo largo del proceso, mediante la dosificación química de cloro gas mediante una válvula dosificadora en el proceso de acondicionamiento químico, como se muestra en la siguiente gráfica que indica sus caracterizaciones y porcentaje de remoción.

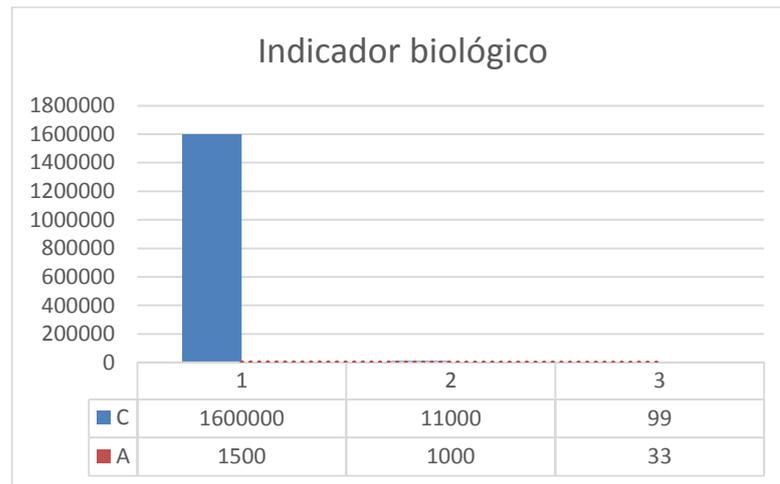


Gráfico 10-4: Porcentaje de remoción del indicador biológico

Realizado por: Bucheli, Ibeth, 2022.

CONCLUSIONES

- Por medio de las caracterizaciones del lodo recolectado por el vehículo hidrosuccionador de la E.P. EMAPA-G, se pudo realizar una comparación con los límites permisibles de descarga agua a receptores de cuerpo de agua dulce, como es el río chimbo, el cual por procesos de lixiviación ha sido afectado, en lo cual podemos comprobar que algunos parámetros como la demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos totales, y metales como el arsénico, cadmio, cobre, zinc, cromo, plomo y coliformes fecales, se encuentran fuera de los límites permisibles establecidos, mientras que el potencial hidrogeno y la temperatura se encuentran en rangos normales; mediante otra comparación de los valores obtenidos con los límites permisibles establecidos en la Norma oficial mexicana en cuanto a metales pesados presentes e indicadores biológicos, se observa que esta es más admisible en cuanto a los valores de metales presentes, ya que ninguno sobrepasa sus límites permisibles, sin embargo se mantiene fuera de rango los coliformes fecales que son el indicador biológico, esta norma evalúa las características del lodo con la finalidad de brindarle un tratamiento para su uso y aprovechamiento, por lo cual se pudo llegar a la conclusión que este lodo una vez tratado se lo puede destinar hacia un uso urbano que beneficiara a las características del terreno donde se aplique, debido a sus características ricas en nutrientes.
- Gracias a las caracterizaciones iniciales se pudo proponer los procesos adecuados a la reducción de contaminantes presentes con sus pruebas de tratabilidad para la implantación del sistema de tratamiento para los lodos diseñado para tratar un caudal de 405,216 m³/d, que son recolectados en su máxima capacidad por el vehículo, el cual consta de un sistema de espesamiento, mediante un espesador por gravedad de 34 m³, un proceso de estabilización mediante digestión anaerobia mediante dos unidades de filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) para fines de construcción de 372 m³ con una estimación de remoción del 94%, seguidamente del acondicionamiento químico con Policloruro de aluminio y cloro gas mediante un tanque mezclador de turbina radial, para pasar a un proceso de deshidratación del lodo usando un filtro banda adquirido el cual nos permite obtener una torta de lodo lista para su evacuación final que es la aplicación al terreno con el uso de este lodo estabilizado y acondicionado para un posterior proceso de aprovechamiento usando técnicas de vermicompostaje para usarlo como abono o enmienda orgánica en sectores aledaños a la planta.
- Una vez obtenidos los cálculos de ingeniería correspondientes a las unidades de tratamiento se dimensiono el sistema de tratamiento de lodos mediante el uso de la herramienta informática AutoCAD.

RECOMENDACIONES

- Implementar el sistema de tratamiento de lodos recolectados por el vehículo hidrosuccionador, por parte de la empresa municipal de agua potable y alcantarillado de Guaranda, con la finalidad de reducir el impacto ambiental causado.
- Realizar caracterizaciones frecuentes a los parámetros relevantes del lodo para saber en qué condiciones se encuentran para realizar procesos de vermicompostaje.
- Brindar información a la sociedad del proceso de depuración de lodos y su impacto en el medio, así como los usos que se les puede dar

BIBLIOGRAFÍA

Ingeniería de aguas residuales Tratamiento, vertido y reutilización. España : Antonio García Brage, 1996. págs. 180-280. ISBN 84-481-1612-7.

MARÍA EUGENIA DE LA PEÑA, JORGE DUCCI, VIVIADO ZAMORA. Banco Interamericano de desarrollo (BID) Sector de infraestructura y medio ambiente . *Banco Interamericano de desarrollo (BID) Sector de infraestructura y medio ambiente* . [En línea] 7 de 05 de 2013. [Citado el: 06 de 06 de 2021.] <http://Banco Interamericano de Desarrollo.com>.

METCALF & EDDY, *Ingeniería de aguas residuales Tratamiento, vertido y reutilización.* España : Antonio García Brage, 1996. ISBN 84-481-1612-7.

MUÑOZ TOBAR, FREDDY PAUL. Diseño de obras complementarias para la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales Brasil de la Ciudad de Tulcán. *Diseño de obras complementarias para la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales Brasil de la Ciudad de Tulcán.* [En línea] 20 de enero de 2017. [Citado el: 2 de junio de 2021.] <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/8939>.

NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA. Cámara de Industrias y producción . *Cámara de Industrias y producción* . [En línea] 11 de agosto de 2014. [Citado el: 31 de mayo de 2021.] <https://www.cip.org.ec/attachments/article/1579/PROPUESTA%20ANEXO%201.pdf>.

NORMA OFICIAL MEXICANA N04-004-SERMANAT-2002. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final. *Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final.* [En línea] 15 de agosto de 2003. [Citado el: 22 de Mayo de 2021.] <http://siga.jalisco.gob.mx/assets/documentos/normatividad/nom004semarnat2002.htm>.

RAMALHO, RUBEN S. *Tratamiento de Aguas Residuales* . New York : Reverté S.A., 1983.

SOLIS CARRANZA, TERRY. *Hoja técnica* . Guayaquil : s.n., 2022.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, *Método de análisis de agua*. s.l. : American Public Health Association, 2012. 8012.

TRAPOTE ARTURO, Universidad Politécnica de Madrid. *Universidad Politécnica de Madrid*. [En línea] 2002. [Citado el: 4 de abril de 2021.] https://oa.upm.es/9869/1/Arturo_Trapote_Jaume_Memoria.pdf.

TULSMA, Reforma al Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, Libro VI, decreto ejecutivo 3516, registro oficial suplemento 2,31/03/2003. *Reforma al Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, Libro VI, decreto ejecutivo 3516, registro oficial suplemento 2,31/03/2003*. [En línea] 04 de noviembre de 2015. [Citado el: 19 de 05 de 2021.] <https://www.ambiente.gob.ec/wp/content/uplowd/downloads/2018/6/acuerdo/097.pdf>.



ANEXOS

ANEXO A: FICHA TÉCNICA DEL PRODUCTO QUÍMICO



POLICLORURO DE ALUMINIO LÍQUIDO COAGULANTE A BASE DE POLICLORURO DE ALUMINIO

Es una sal básica a base de policloruro de aluminio. Sus propiedades físico-químicas son las siguientes:

<u>PARAMETROS</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>VALOR</u>
Al ₂ O ₃	(%)	15
Hierro	(%)	Menor a 0.01
Basicidad	(%)	60 - 70
Densidad	Adimensional (@ 25 °C)	1.20
pH	Adimensional (@ 25 °C)	3.0
Turbiedad	NTU	≤10

NUESTRO POLICLORURO DE ALUMINIO, puede ser usado en todos los casos en donde un coagulante sea requerido. Así, encuentra aplicación en los siguientes sectores industriales, con altos índices de beneficio/costo para el cliente:

- Producción de agua potable
- Tratamientos de efluentes líquidos
- Generación termoeléctrica
- Minería
- Entre otros

NUESTRO POLICLORURO DE ALUMINIO, traerá al Cliente los siguientes beneficios de operación y reducción de costos:

- Mayor poder de coagulación-floculación con menores dosis de producto.
- Producción de flocs más grandes y densos para formar lodos de fácil filtración.

Planta y Oficina: Km. 30 de la Vía Guayaquil - Daule, Sector Petrillo
Telf.: 04 3081393 Cell.: 099 105 2967 - 099 472 4296
E-mail: info@labintef.com.ec



NUESTRO POLICLORURO DE ALUMINIO, traerá al Cliente los siguientes beneficios de operación y reducción de costos:

- Mayor poder de coagulación-floculación con menores dosis de producto.
- Producción de flocs más grandes y densos para formar lodos de fácil filtración.
- Excelente desempeño en aguas muy frías.
- Dosificación ajustable al volumen de agua a tratar, dado que puede ser diluido en varias proporciones sin hidrolizarse.
- No requiere álcalis para neutralizar en agua tratada, aún si existiere una sobre dosificación del producto.
- Remueve un porcentaje importante de sólidos totales disueltos (STD) del agua cruda.
- No introduce absolutamente metales pesados al tratamiento.
- Los lodos generados son altamente biodegradables y sus características de DBO₅ y DQO se ajustarán a los valores permitidos por las regulaciones estatales, por lo cual sus descargas son inocuas al medio ambiente.

Dependerá del nivel de turbiedad del agua cruda a tratar, de las condiciones de diseño de la unidad de clarificación y del punto de alimentación del producto al sistema, cualquiera que fuere el caso, el Equipo Técnico de LABINTEF determinará una dosis inicial aproximada para arrancar el tratamiento.

NUESTRO POLICLORURO DE ALUMINIO, es envasado desde nuestra planta en tanques plásticos retornables de 55 galones, con pesos netos de 250 kilos, o en IBC de 1200 Kg de peso neto.

Su almacenamiento no reviste condiciones exigentes en cuanto a la temperatura, humedad, etc.

NUESTRO POLICLORURO DE ALUMINIO posee un tiempo de vida útil de 2 años una vez fabricado.

Para su dosificación deben emplearse dispositivos de material plástico o teflón.

NUESTRO POLICLORURO DE ALUMINIO, es de naturaleza ácida; sin embargo, no es tóxico ni peligroso.

Como con todo producto químico, se recomienda el uso de guantes durante su manipulación.

NUESTRO POLICLORURO DE ALUMINIO, no contiene metales pesados ni elementos o compuestos químicos de reducida biodegradabilidad, por lo cual se asegura al usuario un producto confiable, aún bajo situaciones eventuales de sobre dosificación.

Rev:07/2020

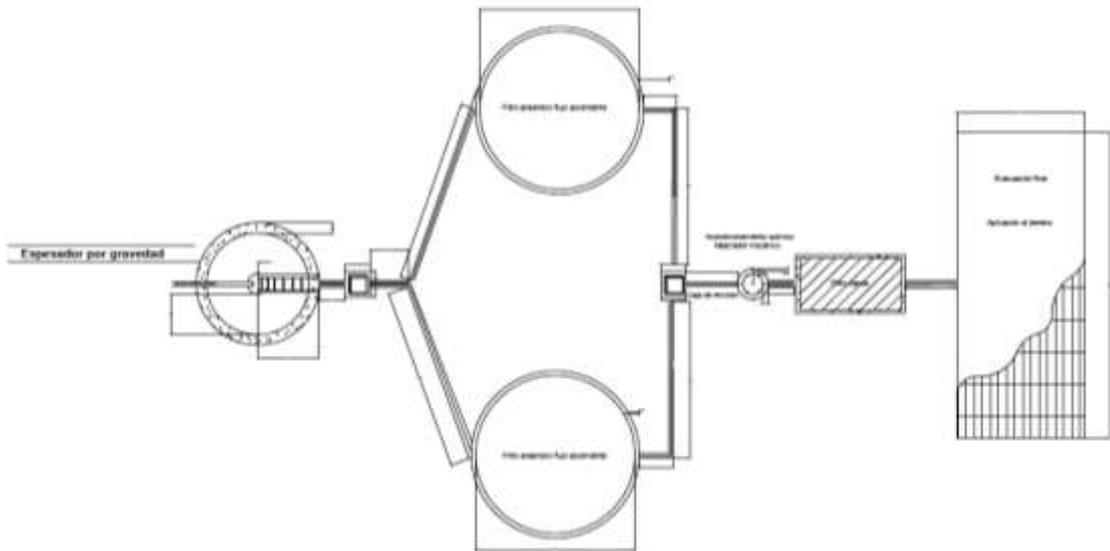
Planta y Oficina: Km. 30 de la Vía Guayaquil - Daule, Sector Petrillo

Tel.: 04 3081393 Cell.: 099 105 2967 - 099 472 4296

E-mail: info@labintef.com.ec

ANEXO B: IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS

Implantación de la Planta de Tratamiento de Lodos



ANEXO C: CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 12 / 05 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Ibeth Stefania Bucheli Cárdenas</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Ingeniería en Biotecnología Ambiental</i>
Título a optar: <i>Ingeniera en Biotecnología Ambiental</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>



TP-2022