



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA
LA ALDEA LLANO DE ÁNIMAS, MUNICIPIO DE AMATILÁN**

Piero Estuardo Sánchez Benini

Asesorado por la Inga. Clara Isabel Quezada Aguilar

Guatemala, julio de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA
LA ALDEA LLANO DE ÁNIMAS, MUNICIPIO DE AMATITLÁN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

PIERO ESTUARDO SÁNCHEZ BENINI

ASESORADO POR LA INGA. CLARA ISABEL QUEZADA AGUILAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, JULIO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Lenny Virginia Gaitán Rivera
EXAMINADOR	Ing. Carlos Alex Olivares Ortiz
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Alvarado de León
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA
LA ALDEA LLANO DE ÁNIMAS, MUNICIPIO DE AMATITLÁN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha noviembre de 2013.



Piero Estuardo Sánchez Benini

Guatemala, 05 de Noviembre de 2014.

Ingeniero:

Cesar Ernesto Urquizu Rodas

Director Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

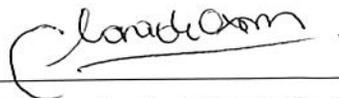
Por este medio me dirijo a usted, para informarle que he llevado a cabo la revisión del trabajo de graduación del estudiante, Piero Estuardo Sánchez Benini. Con No. De carné 9516142. Trabajo que lleva el título de "ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA ALDEA LLANO DE ÁNIMAS, MUNICIPIO DE AMATITLÁN".

Después de haber realizado todas las correcciones necesarias el trabajo cumple con los requisitos exigidos por la facultad de ingeniería por lo que doy mi aprobación para que pueda continuar con los trámites correspondientes.

Agradeciendo su atención me suscribo de usted.

Atentamente,

Clara Isabel Quezada Aguilar
Ingeniera Industrial
Colegiada No. 5778

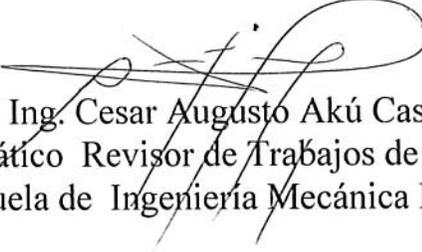


Ing(a). Clara Isabel Quezada Aguilar
Asesora de trabajo de graduación



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA ALDEA LLANO DE ÁNIMAS, MUNICIPIO DE AMATITLÁN**, presentado por el estudiante universitario **Piero Estuardo Sánchez Benini**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Cesar Augusto Akú Castillo
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

César Akú Castillo MSc.
INGENIERO INDUSTRIAL
COLEGIADO No. 4,073

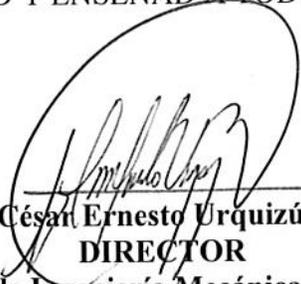
Guatemala, mayo de 2015.

/mgp



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA ALDEA LLANO DE ÁNIMAS, MUNICIPIO DE AMATITLÁN**, presentado por el estudiante universitario **Piero Estuardo Sánchez Benini**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, julio de 2015.

/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA ALDEA LLANO DE ÁNIMAS, MUNICIPIO DE AMATITLÁN**, presentado por el estudiante universitario: **Piero Estuardo Sánchez Benini**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguirre Bolanco
Decano



Guatemala, julio de 2015

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por las bendiciones que me ha dado a cada paso que he dado en la vida.
- Mi madre** Beatriz Benini Ehlert, por amor, paciencia y enseñanza para ser la persona que soy.
- Mi esposa** Verónica Ocaña de Sánchez, por ser parte de mi vida y ser mi apoyo incondicional.
- Mis abuelos** María Gertraude Ehlert y Piero Benini, por haberme enseñado los valores y principios como persona y que todo se logra con esfuerzo y dedicación.
- Mis hermanos** Beatriz y Carlos Sánchez Benini, por estar conmigo a lo largo de mi vida y ser ejemplo de dedicación y esfuerzo para salir adelante.
- Mis amigos** Por su amistad y apoyo en las horas de trabajo y proyectos realizados.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por haber sido mi casa de estudio.

Facultad de Ingeniería

Por ser la facultad que me brindó todos los elementos que necesitaba para desarrollarme como profesional.

**Mis amigos de la
Facultad**

Helmuth Surh, Vanesa Aldana, Mario Flores, María José y Clara Quezada.

Departamento de Física

Por permitirme realizar la tarea de auxiliar de física y mecánica.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. ESTUDIO DE MERCADO DEL SERVICIO DE DRENAJE Y PLANTA DE TRATAMIENTO.....	1
1.1. Aspectos geográficos generales.....	1
1.1.1. Ubicación	1
1.1.2. Acceso	1
1.1.3. Topografía	2
1.1.4. Clima	2
1.1.5. Recursos hídricos	2
1.1.6. Ecosistema	3
1.2. Aspectos socioeconómicos	4
1.2.1. Aspecto social.....	4
1.2.2. Población	4
1.2.2.1. Beneficiarios	5
1.2.3. Condiciones de las aguas residuales	5
1.2.3.1. Cuerpos receptores	6
1.2.4. Urbanización y descripción de servicios requeridos.....	6
1.2.5. Acceso	7
1.2.6. Servicios públicos	8

	1.2.6.1.	Abastecimiento de agua	8
	1.2.6.2.	Drenaje.....	8
	1.2.6.3.	Energía eléctrica	9
	1.2.6.4.	Aspecto económico	9
1.3.		Proceso de investigación	9
	1.3.1.	Plan de investigación	10
	1.3.2.	Diagnóstico de la oferta y la demanda	11
	1.3.2.1.	Demanda potencial	11
	1.3.2.2.	Oferta actual.....	11
1.4.		Tipo de aguas residuales	11
	1.4.1.	Aguas residuales domésticas.....	14
	1.4.2.	Aguas residuales industriales.....	14
	1.4.3.	Aguas pluviales	15
1.5.		Tipos de contaminantes	15
	1.5.1.	Contaminantes orgánicos.....	16
	1.5.2.	Contaminantes inorgánicos.....	17
1.6.		Tipos de procesos para el tratamiento de aguas residuales	17
	1.6.1.	Tratamientos aeróbicos	17
	1.6.1.1.	Lodos activados	18
	1.6.1.2.	Lagunas aireadas.....	19
	1.6.1.3.	Biofiltro dinámico aeróbico	20
	1.6.2.	Tratamientos anaeróbicos	21
	1.6.3.	Humedales artificiales	22
1.7.		Productos generados a partir del agua residual	23
1.8.		Beneficios potenciales para la comunidad	24
2.		ESTUDIO TÉCNICO DE INGENIERÍA	27
	2.1.	Localización de la planta.....	27
	2.1.1.	Criterio de localización	27

2.1.2.	Macrolocalización	28
2.1.3.	Microlocalización	28
2.1.4.	Plano del terreno	29
2.1.5.	Drenajes	29
2.1.5.1.	Drenaje de aguas pluviales.....	29
2.1.5.2.	Drenaje de aguas servidas	30
2.2.	Diseño	30
2.2.1.	Planta de tratamiento Imhoff.....	30
2.2.1.1.	Movimiento de tierras	31
2.2.1.1.1.	Excavación	31
2.2.1.1.2.	Excavación para fosa de tanque Imhoff	32
2.2.1.2.	Tratamiento primario.....	32
2.2.1.2.1.	Desarenadores.....	32
2.2.1.2.2.	Rejas	34
2.2.1.2.3.	Tanque Imhoff	35
2.2.1.3.	Tratamiento secundario	39
2.2.1.3.1.	Laguna de estabilización	40
2.2.1.3.2.	Lodos activados.....	46
2.2.1.4.	Desinfección	48
2.2.1.4.1.	Químicos	48
2.2.1.4.2.	Físicos	49
2.2.1.4.3.	Mecánicos	49
2.2.1.4.4.	Radiación	50
2.2.1.5.	Tratamiento terciario de aguas residuales	50
2.2.1.5.1.	Ósmosis inversa.....	50

	2.2.1.5.2.	Electrodialisis	51
	2.2.1.5.3.	Destilación.....	51
	2.2.1.5.4.	Coagulación	51
	2.2.1.5.5.	Absorción	52
	2.2.1.5.6.	Remoción de espuma ...	52
	2.2.1.5.7.	Filtración.....	52
	2.2.1.5.8.	Extracción por solvente.....	53
	2.2.1.5.9.	Intercambio iónico	53
	2.2.1.5.10.	Oxidación química.....	53
	2.2.1.5.11.	Precipitación.....	54
	2.2.1.5.12.	Nitrificación desnitrificación	54
	2.2.1.6.	Tratamiento de lodos.....	55
2.2.2.		Especificación de descarga.....	56
	2.2.2.1.	Características de los efluentes	57
	2.2.2.2.	Disposición final de los efluentes	57
2.2.3.		Instalaciones	58
	2.2.3.1.	Planos de la planta.....	58
2.3.		Operación y mantenimiento	59
	2.3.1.	Operación.....	59
	2.3.2.	Mantenimiento.....	62
	2.3.2.1.	Mantenimiento preventivo	63
	2.3.2.2.	Capacitación para mantenimiento preventivo.....	64
	2.3.2.3.	Mantenimiento correctivo	73
	2.3.2.4.	Capacitación para mantenimiento correctivo.....	76

3.	ESTUDIO ADMINISTRATIVO LEGAL.....	77
3.1.	Marco legal.....	77
3.1.1.	Orden constitucional.....	77
3.1.1.1.	Constitución Política de la República de Guatemala.....	77
3.1.1.2.	Leyes ordinarias.....	78
3.1.2.	Orden municipal.....	80
3.1.2.1.	Código Municipal.....	80
3.1.3.	Orden comunitario.....	83
3.1.3.1.	Ley de Consejo Comunitario de Desarrollo.....	83
3.2.	Operaciones administrativa.....	84
3.2.1.	Planificación.....	84
3.2.1.1.	Metas.....	85
3.2.1.2.	Objetivos.....	85
3.2.1.3.	Programación de actividades.....	85
3.2.1.4.	Control y seguimiento.....	87
3.2.2.	Estructura organizacional.....	87
3.2.2.1.	Tipo de organización.....	87
3.2.2.1.1.	Estructura informal.....	88
3.2.2.2.	Organigrama.....	88
3.2.2.3.	Requerimiento de personal.....	89
4.	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.....	93
4.1.	Marco legal.....	93
4.1.1.	Normas legales vigentes sobre el tratamiento y uso de aguas residuales.....	95
4.2.	Impacto ambiental.....	108
4.2.1.	Emisiones.....	108

4.2.1.1.	Líquidos.....	108
4.2.1.2.	Barro	109
4.2.1.3.	Arena.....	109
4.2.1.4.	Sólidos.....	109
4.2.1.5.	Aerosoles	109
4.2.1.6.	Gases.....	110
4.2.1.7.	Sonoras	110
4.2.2.	Impactos positivos existentes en el ambiente y la salud.....	110
4.2.2.1.	Mejoramiento de la calidad bacteriológica del agua	110
4.2.2.2.	Reutilización de las aguas residuales tratadas	111
4.2.2.3.	Disminución de riesgos de salubridad.....	111
4.2.2.4.	Cumplimiento de leyes vigentes y normas ambientales	111
4.2.2.5.	Mejora de la calidad del suelo	111
4.2.2.6.	Mejoramiento de la calidad del aire	112
4.2.2.7.	Aumento de fuentes de trabajo	112
4.2.2.8.	Cambios en la calidad de vida.....	112
4.2.3.	Impactos negativos en el ambiente y la comunidad.....	112
4.2.3.1.	Pérdida de hábitat y diversidad de fauna	113
4.2.3.2.	Concentraciones significativas de sales.....	113
4.2.3.3.	Emisión de olores.....	113

4.2.3.4.	Cambios en la calidad y fragilidad del paisaje.....	113
4.2.3.5.	Contaminación por descargas de residuos sólidos o por descargas accidentales.....	114
4.2.3.6.	Generación de residuos.....	114
4.2.3.7.	Alteración del nivel sonoro.....	114
4.2.4.	Medidas para la mitigación de los impactos negativos	115
4.2.4.1.	Fauna	115
4.2.4.2.	Suelo	115
4.2.4.3.	Aire	115
4.2.4.4.	Agua	116
4.2.4.5.	Ornato.....	116
4.2.4.6.	Humano.....	117
4.2.4.7.	Ruido	118
4.2.4.8.	Transporte y acopio de los materiales	118
5.	ESTUDIO ECONÓMICO	121
5.1.	Presupuesto de inversiones	121
5.1.1.	Inversión fija.....	121
5.1.1.1.	Terrenos	121
5.1.1.2.	Construcción y edificación	121
5.1.1.2.1.	Materiales, herramientas y equipo	122
5.1.1.2.2.	Mano de obra	126
5.1.1.3.	Maquinaria y equipo	128

5.1.2.	Inversión diferida	129
5.1.2.1.	Estudios y gastos legales	129
5.1.2.2.	Gastos de organización.....	129
5.1.2.3.	Gastos de arranque.....	130
5.2.	Capital de trabajo	131
5.2.1.	Materiales y suministros	131
5.2.2.	Proveedores	131
5.3.	Costos de operación y mantenimiento	132
5.3.1.	Mano de obra	132
5.3.2.	Servicios.....	133
5.3.3.	Materiales.....	133
5.3.4.	Costos de administración	133
5.4.	Financiamiento	134
5.4.1.	Créditos y costos de financiamiento (intereses)	134
5.5.	Presupuesto de ingresos.....	134
5.6.	Flujo de caja.....	135
6.	ESTUDIO FINANCIERO	137
6.1.	Financiamiento	137
6.1.1.	Aporte municipal y aporte gubernamental de financiamiento (intereses)	139
6.1.2.	Donaciones	139
6.2.	Presupuesto de ingresos.....	140
6.3.	Flujo de caja.....	140
6.4.	Análisis de sensibilidad valuación social	141
6.4.1.	Determinación del análisis de sensibilidad	142
6.4.2.	Interpretación de resultados	143
6.4.3.	Relación beneficio-costo	143
6.4.4.	Determinación de la relación beneficio-costo.....	144

6.4.5.	Interpretación de resultados	144
6.5.	Conclusión de evaluación financiera	145
CONCLUSIONES		147
RECOMENDACIONES		151
BIBLIOGRAFÍA.....		153
APÉNDICES		157

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Planos de la aldea Llano de Ánimas	7
2.	Humedales artificiales	23
3.	Desarenador de flujo horizontal	33
4.	Tanque Imhoff	36
5.	Cuadro de control, inspección de la planta de tratamiento.....	67
6.	Frecuencia de mantenimiento	68
7.	Cronograma de tareas para la construcción de la planta	86
8.	Diagrama de Gantt de la construcción	86
9.	Organigrama para la planta de tratamiento.....	89

TABLAS

I.	Proyección de hogares y habitantes aldea Llano de Ánimas	5
II.	Características del agua y su procedencia.....	12
III.	Factor de capacidad relativa	38
IV.	Tiempo de digestión de lodos	38
V.	Especificaciones de descarga	57
VI.	Límites máximos permisibles para entes generadores nuevos.....	97
VII.	LMP de descargas de aguas residuales al alcantarillado público	98
VIII.	LMP personas nuevas que vierten en alcantarillado público.....	99
IX.	Parámetros y límites máximos permisibles para lodos.....	104
X.	Presupuesto de materiales para el muro de contención	122
XI.	Presupuesto de materiales para la circulación perimetral.....	122

XII.	Presupuesto de materiales para drenaje, cajas y desfogue	123
XIII.	Presupuesto de materiales para sedimentador de rejillas	124
XIV.	Presupuesto de materiales para el tanque sedimentador IMHOFF ...	124
XV.	Presupuesto de materiales para patio secado de lodos	125
XVI.	Presupuesto de materiales para la caseta	125
XVII.	Resumen del presupuesto de materiales.....	126
XVIII.	Trabajo preliminar del sitio	127
XIX.	Movimiento de tierras.....	127
XX.	Construcción de la planta	128
XXI.	Total de mano de obra	128
XXII.	Gastos de organización	129
XXIII.	Gastos de arranque. Insumos.....	130
XXIV.	Gastos de arranque, herramientas	130
XXV.	Presupuesto de materiales y suministros	131
XXVI.	Proveedores	132
XXVII.	Mano de obra.....	132
XXVIII.	Flujo de caja, para implementar la planta de tratamiento	135
XXIX.	Flujo de caja, análisis de sensibilidad	141
XXX.	Crecimiento poblacional.....	142

GLOSARIO

Afluente	Agua captada por un ente generador.
Aguas crudas	Aguas residuales antes de recibir cualquier tratamiento.
Aguas residuales especiales	Las aguas residuales generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios industriales, agrícolas, pecuarios, hospitalarios y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de las mismas.
Aguas residuales ordinarias	Las aguas residuales generadas por la actividad doméstica, tales como servicios sanitarios, pilas, lavamanos y otras similares o la mezcla de las mismas.
Aireación	Proceso de transferencia de oxígeno del aire al agua por medios naturales o artificiales.
Alcalinidad	Representa el contenido de carbono, hidróxidos y ocasionalmente boratos, silicatos y fosfatos.
Alcantarillado pluvial	Red pluvial de tuberías que se utiliza para recolectar y transportar las aguas de lluvia y aguas superficiales

del lavado de las calles y riego de zonas verdes, hasta su punto de vertido.

Alcantarillado público El conjunto de tuberías y obras accesorias utilizadas por la municipalidad para recolectar y conducir las aguas residuales del tipo ordinario y de tipo especial, o combinación de ambas.

Asolvamiento Acumulación de sedimentos provenientes del arrastre de un flujo hidráulico.

Bacterias Organismos microscópicos unicelulares, con cromosoma único, división binaria y que interviene en el proceso de estabilización de la materia orgánica.

Bacterias aerobias Bacterias que requieren oxígeno para su desarrollo.

Bacterias anaerobias Bacterias que se desarrollan en ausencia de oxígeno y que toman oxígeno de las sustancias complejas que descomponen.

Bacterias patógenas Bacterias que causan enfermedades.

Cámara de digestión Unidad del tanque Imhoff donde se almacenan y digieren los lodos.

Caracterización La determinación de características, físicas, químicas y biológicas de las aguas y los lodos.

Cámara de sedimentación	Unidad del tanque Imhoff donde se remueven gran parte de los sólidos sedimentables.
Carga	El resultado de multiplicar el caudal por la concentración en un efluente y se expresa en kg/día.
Caudal	Es el volumen de agua por unidad de tiempo.
Coagulante	Electrolito simple, usualmente sal inorgánica, que se utiliza para desestabilizar las partículas coloidales favoreciendo su aglomeración.
Coliformes fecales	El parámetro que indica la presencia de contaminación fecal en el agua y de bacterias patógenas provenientes del tracto digestivo.
Coloide	Sustancia de alto peso molecular o partícula de líquido o sólido que se encuentran suspendidas en un medio de manera homogénea.
Cuenca	Espacio territorial en el que se desarrolla un sistema de drenaje superficial que concentra sus aguas en un río principal que se integra al mar, lago u otro río.
Cuerpo receptor	Embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	Parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión, se mide transcurridos cinco días de reacción.
Digestión	Descomposición bioquímica de la materia orgánica del lodo que produce una mineralización, licuefacción y gasificación parcial. Puede ser aerobia o anaerobia.
Descarga	Acción de depositar, verter, infiltrar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor.
Efluente	Aguas residuales descargadas por un ente generador.
Emisor	Canal o tubería que recibe las aguas residuales de un sistema de alcantarillado hasta una planta de tratamiento.
Escarificar	Realizar cortaduras o incisiones poco profundas para facilitar la salida de ciertos líquidos.
Eutrofización	Enriquecimiento en nutrientes de un ecosistema, produciendo un aumento en la biomasa y un empobrecimiento de la diversidad.
Infiltración	Efecto de penetración del agua en el suelo.

Lecho de lodo	Lugar en donde se deshidratan los lodos estabilizados provenientes del tanque Imhoff.
Límite máximo permisible	Es el valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en las etapas correspondientes para aguas residuales y en aguas para reúso y lodos.
Manto freático	La capa de roca subterránea, porosa y fisurada que actúa como reservorio de aguas que son utilizables por gravedad o bombeo.
Muestra	Porción de las aguas residuales que se recogen para realizarles análisis.
Oxidación	Proceso químico que involucra el consumo de oxígeno, pérdida de hidrógeno o electrones en los compuestos orgánicos e inorgánicos.
Parámetro	Variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos, asignándole un valor numérico.
pH	Es una medida de acidez o alcalinidad de una solución, el pH indica la concentración de iones de hidronio.
Recurso hídrico	Disponibilidad de agua subterránea o superficial en determinada área geográfica.

Relleno sanitario

Zona designada para depositar la basura, la cual es distribuida en capas para su degradación y compactación.

Tratamiento de aguas residuales

Proceso físico, químico, biológico o combinación de los mismos, utilizado para mejorar las características de las aguas residuales.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación desarrolla el estudio de factibilidad para la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales. Con base en la información proporcionada por el INE se estableció, por proyección, que inicialmente los beneficiarios serán alrededor de 798 personas, distribuidas en 179 hogares que conforman la aldea Llano de Ánimas, la mayoría de las viviendas cuentan con fosa séptica, y se tiene construido un tramo de alcantarillado, el cual está sin uso por no contar con la planta de tratamiento. El proyecto inicia con el reconocimiento del área en la cual se construirá la planta de tratamiento, las condiciones del terreno y su ubicación final. La construcción de la planta de tratamiento inicia con el reconocimiento del área, limpieza y nivelación del terreno, construcción de la planta, en un lapso de tres meses.

La inversión inicial para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales se cuantificó en Q 731 518,10, el cual no es reembolsable por ser un proyecto social. La planta de tratamiento se auto sustentará con los ingresos que se pueden obtener de la venta del agua tratada y del lodo como fertilizante y de la cuota significativa de Q 20,00/mes que se cobrará por hogar, con ello se pagan mano de obra, servicios y herramientas que requiera la planta.

Se incluye los aspectos legales que se requieren para la construcción del proyecto de aguas residuales. Se plantean medidas para mitigar los impactos negativos del proyecto y recomienda establecer un programa de monitoreo continuo. Velando porque todas las actividades de la planta estén dentro del marco legal de protección al medio ambiente, que llegan a la conclusión de que

el presente es viable ambientalmente, pues el beneficio social y económico que representa es mayor que los impactos determinados

OBJETIVOS

General

Elaborar el estudio de factibilidad para el diseño y construcción del drenaje sanitario y planta de tratamiento de aguas residuales para la aldea Llano de Ánimas, Amatitlán.

Específicos

1. Hacer un estudio socioeconómico de las condiciones actuales de la aldea Llano de Ánimas para establecer la población objetivo del proyecto.
2. Mejorar la calidad de vida de la población mediante la introducción del sistema de drenaje e implementación de la planta de tratamiento para las aguas residuales.
3. Mejorar las condiciones ambientales del suelo al reducir la contaminación generada por la deposición de las aguas residuales en el subsuelo.
4. Reducir las enfermedades generadas por la deposición de aguas residuales en el suelo de las residencias.
5. Establecer una organización que administre el proyecto realizando el mantenimiento correspondiente.

6. Plantear un medio de concientización para que la población utilice la planta de tratamiento mostrando los beneficios que esto representa.

INTRODUCCIÓN

Las condiciones ambientales desfavorables en las que se encuentran muchas comunidades, caseríos y aldeas de Guatemala son generados por la misma población, al no contar con los mecanismos para el tratamiento de las aguas residuales. La población va en aumento, agravando la situación con el paso del tiempo, contaminándose el suelo, los mantos freáticos, ríos y lagos del país.

El país cuenta con las leyes y reglamentos que ayudan a tomar las medidas necesarias para que las aguas sean tratadas adecuadamente, por lo que la responsabilidad recae sobre los consejos municipales, quienes son los encargados de velar por el bienestar de la población y promover proyectos que mejoren la calidad de vida. En ocasiones la población se organiza y crea los Consejos Comunitarios de Desarrollo (Cocode), los cuales velan el bienestar de la comunidad, siendo ellos los que pueden promover programas de mejoramiento, que pueden consistir en mejora en agua, salud y vivienda. El Cocode pueden hacer las gestiones necesarias para solicitar fondos para la implementación de proyectos, siempre y cuando la municipalidad no cuente con fondos para ejecutarlos.

El fin del trabajo de graduación es realizar un estudio de factibilidad de beneficio social para la implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales, tomando en cuenta aspectos como condición social y económica de la población, aspectos económicos y financieros que se requieren para la ejecución del proyecto y proporcionar una respuesta, con base en un análisis costo-eficiencia si el proyecto es viable o no.

1. ESTUDIO DE MERCADO DEL SERVICIO DE DRENAJE Y PLANTA DE TRATAMIENTO

1.1. Aspectos geográficos generales

Estos aspectos conocen de forma más específica las condiciones geográficas, topográficas y ambientales de la aldea en estudio.

1.1.1. Ubicación

La aldea Llano de Ánimas se encuentra ubicada al nororiente de la ciudad de Amatitlán, a cuatro kilómetros de distancia. Tiene una extensión de 10 km². Limita al norte con el lago de Amatitlán, al sur con el cerro La Mariposa, caserío Dos Cerros, cerro Lindo y aldea Laguna Seca, y al poniente con el cerro Limón y finca La Capillita.

Según el IGN, la aldea Llano de Ánimas se encuentra a 1 370 msnm, está ubicada en la latitud 14°27'45" y en la longitud 90°35'55".

1.1.2. Acceso

El municipio de Amatitlán tiene varias vías de comunicación, siendo la principal la CA-9 que comunica al municipio de Villa Nueva y la ciudad de Guatemala en dirección norte y al departamento de Escuintla en dirección sur. La ruta departamental 1, que comunica con Boca del Monte y la ciudad de Guatemala, la ruta 2N que comunica Santa Inés Petapa y San Miguel Petapa.

1.1.3. Topografía

El municipio de Amatitlán tiene una topografía, con quebradas en un 65 %, con pequeños valles, el mayor de los cuales es ocupado por la cabecera municipal. Las alturas van desde 1 150 hasta 2 565 msnm. Los suelos de la cuenca y el lago de Amatitlán corresponden a las categorías taxonómicas III, V y VII, de vocación forestal, según la clasificación taxonómica de suelos de Simmons (1959).

1.1.4. Clima

El municipio de Amatitlán se localiza en la zona de bosque subtropical templado húmedo, el clima varía según las estaciones de invierno y verano y depende de la dirección e intensidad del viento. Los vientos predominantes durante el día son los que tienen dirección noreste, por las noches el viento cambia de dirección siendo este de dirección sur.

El clima durante los meses de verano, que comprende de noviembre a abril, es seco, y los meses de invierno, que comprenden de mayo a octubre, son húmedos. Durante la época de invierno se tienen precipitaciones entre los rangos de 650 a 1 500 mm al año.

1.1.5. Recursos hídricos

El departamento de Amatitlán cuenta con diversos recursos hídricos, siendo el principal el lago de Amatitlán, ocupa la parte norte y nororiente del municipio de Amatitlán y en general el sur del departamento de Guatemala, cuenta con una extensión aproximada de 15 km², con una longitud máxima de

11 kms y un ancho máximo de 3,4 kms, está ubicado a 1 186 msnm, su profundidad media es de 18 mts.

El municipio de Amatitlán cuenta con los siguientes ríos, el río Michatoya, el cual se origina en el lago de Amatitlán, recorriendo de norte a sur los municipios de Amatitlán y San Vicente Pacaya, hasta llegar al municipio de Escuintla en donde recibe el nombre de María Linda. El río Mico es una corriente procedente de la zona montañosa occidental del municipio de Amatitlán y la aldea Agua de las Minas colindante con el departamento de Sacatepéquez. El afluente es mínimo en la época de verano, pero en la época de invierno alcanza niveles de regular dimensión, formado por agua, lodo arena y rocas, las cuales han provocado inundaciones en varias aldeas y en la ciudad de Amatitlán en múltiples ocasiones.

Otros ríos de la cuenca del lago de Amatitlán son Platanitos, Pinula, Las Minas, Tujulá, El Bosque, Molino, San Lucas y Parrameño. Hacia el este del lago drenan directamente los ríos Pampumay y Chanquín. El río Villalobos es el principal río de la cuenca del lago de Amatitlán.

1.1.6. Ecosistema

El municipio de Amatitlán cuenta con dos tipos de eco regiones, la primera comprendida por bosques montanos de Centro América en la región oeste del municipio, y la segunda con bosque pino-encho de Centro América. Su ecosistema corresponde al bosque conífero montano inferior y superior y ecosistemas acuáticos. Lo correspondiente ecosistemas de vegetales, tiene sistemas productivos con segmentos significativos en bosques naturales y mixtos.

1.2. Aspectos socioeconómicos

El aspecto socioeconómico permite determinar las condiciones en las que se encuentra la aldea Llano de Ánimas, para ello se tomaron en cuenta factores como son la población, los servicios básicos y el acceso al lugar.

1.2.1. Aspecto social

La implementación de la planta de tratamiento traerá trabajo de forma directa e indirecta a la comunidad, su construcción y su puesta en funcionamiento requerirá de personal capacitado y personal con deseos de aprender un nuevo oficio. Permitirá aprender el funcionamiento de una planta de tratamiento, recibiendo la capacitación adecuada para que su funcionamiento y mantenimiento sea el esperado.

El proyecto enseñará a la comunidad la importancia del manejo de las aguas negras. Promoviendo programas de desarrollo y conciencia ambiental.

1.2.2. Población

El departamento de Amatlán cuenta con una población de 82 870 pobladores, según el censo realizado por el INE en el 2002. La distribución poblacional para la aldea Llano de Ánimas para su extensión de 10 km² está dada de la siguiente manera. Se estima una población de 3 750 personas, de las cuales 2 062 son mujeres y 1 688 son hombres, teniendo un alfabetismo del 88 %. El 1 % de la población es de origen indígena el 99 % corresponde a ladinos.

La distribución por edad está dada de la siguiente manera, el 39 % de la población está entre las edades de 0 a 14, el 56 % de la población corresponde a población entre los 16 y los 64 años y un 4 % corresponde a personas mayores a 65 años. El promedio de personas por hogar se calcula en 4.

1.2.2.1. Beneficiarios

Los hogares a beneficiarse con la implementación de la planta de tratamiento se estiman 175, con una media de 4,46 personas por hogar.

Tabla I. **Proyección de hogares y habitantes aldea Llano de Ánimas**

Año	Hogares	Habitantes
2014	175	782
2015	179	798
2016	182	814
2017	186	830
2018	189	846
2019	193	863
2024	213	951
2029	235	1 048
2034	259	1 156

Fuente: INE.

1.2.3. Condiciones de las aguas residuales

Las aguas residuales son tratadas por medio de fosas sépticas, las cuales están ubicadas en las distintas casas, en la actualidad no todas utilizan este medio para el manejo de las aguas residuales, ya que se ven en los alrededores de muchas casas como el agua corre por las calles de tierra,

contaminando el suelo y el subsuelo y son focos de enfermedades, ante todo por la presencia de moscas y otros insectos que se alimentan de los desechos.

La población cuenta con un tramo de drenaje primario, el cual está incompleto debido a que únicamente abarca la calle principal y no tiene ramificaciones a las diferentes calles que están su recorrido. La población no ha hecho uso de este drenaje debido a que no tiene a donde desembocar, la mala utilización de este drenaje generaría contaminación directa hacia el suelo y dependiendo de las condiciones climáticas, los contaminantes pueden llegar hasta las orillas del lago de Amatitlán, el cual ya está contaminado.

1.2.3.1. Cuerpos receptores

La mayor parte de las aguas servidas del municipio de Amatitlán son vertidas al lago, en algunas aldeas se utilizan las fosas sépticas para evitar la contaminación de los ríos y el lago mismo. En el caso particular de la aldea Llano de Ánimas el cuerpo receptor es el lago.

1.2.4. Urbanización y descripción de servicios requeridos

La aldea Llano de Ánimas, se encuentra ubicada en dirección sureste del municipio de Amatitlán, es una aldea con construcciones de viviendas de nivel bajo y medio, además cuenta con los servicios de centro de salud, una escuela sobre la calle principal y una iglesia, muchos de los terrenos aún se utilizan como área de cultivo.

La aldea cuenta con los servicios de energía eléctrica y agua potable, cuenta con un sistema de drenaje dividido en dos ramales, el principal que se

dirige a la planta de absorción y el secundario que se encuentra concluido en un 50 % que se utilizará para la planta de tratamiento que está en estudio.

Figura 1. Planos de la aldea Llano de Ánimas



Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN).

1.2.5. Acceso

El acceso a la aldea se puede realizar a través de dos carreteras. La principal es a través de la carretera RD-GUA1, que es una carretera de concreto de segunda categoría, la cual comunica el municipio de Amatitlán con

la aldea. La segunda es una carretera de tercera categoría de terracería que proviene de la aldea Laguna Calderas y pasa por la aldea Los Humitos.

1.2.6. Servicios públicos

La aldea Llano de Ánimas cuenta con los servicios básicos de agua potable, drenaje, energía eléctrica y alumbrado público, lo que les permite realizar diferentes actividades comerciales y particulares. El servicio de alcantarillado aun no beneficia al total de la población debido a que el tramo secundario está incompleto y es el que comunicará con la nueva planta de tratamiento que se propone en el presente estudio.

La aldea cuenta con centro de salud ubicado en la calle principal, el cual fue inaugurado en 1958, la cual atiende casos simples y consultas periódicas.

1.2.6.1. Abastecimiento de agua

La aldea Llano de Ánimas cuenta con un pozo de agua potable y un depósito para el abastecimiento de agua de la población, el sistema de distribución de agua aun no abarca el total de la aldea, debido a que aún cuenta con muchos terrenos sin construcciones.

1.2.6.2. Drenaje

El sistema de drenaje en el área rural aún no se ha desarrollado en su totalidad, tal es el caso de la aldea Llano de Ánimas, el cual cuenta con dos sistemas de drenaje, el primero que tiene dirección noroeste el cual está en funcionamiento y va a terminar a una planta de tratamiento, y el otro que está en dirección sureste el cual tiene una construcción al 70 %. Este sistema de

drenaje no se está utilizando debido a que no tiene un desfogue a ningún afluente y no cuenta con planta de tratamiento, por el momento la parte de la población que se ve afectada utiliza fosas sépticas o vierte las aguas residuales directamente a la tierra.

1.2.6.3. Energía eléctrica

La aldea Llano de Ánimas está interconectada al punto denominado El León, a 69 Kv perteneciente a Electro Generación Sociedad Anónima, se estima que unos 457 hogares cuente con el servicio de energía eléctrica, y 53 aun utilicen candelas u otro medio para generar luz.

1.2.6.4. Aspecto económico

La implementación de la planta de tratamiento generará empleos temporales y permanentes para la población de Llano de Ánimas en la medida que el proyecto se vaya ejecutando. El aspecto de más relevancia en cuanto la planta esté en funcionamiento, será la reducción gastos por enfermedades causadas por la contaminación de la tierra, lo cual representa menos utilización de insumos de salud y medicamentos.

La economía se verá beneficiada con la venta de agua tratada para riego y la venta del lodo seco como fertilizando, aspecto que ayudará al Cocode a aplicar esos recursos a mejorar las condiciones de la aldea.

1.3. Proceso de investigación

Determinando el servicio que se va a prestar y considerando que es un proyecto de carácter social, el proceso de investigación se basa en la

determinación de la oferta y la demanda potencial del producto y el beneficio que a largo plazo representará para la población.

1.3.1. Plan de investigación

Todo buen proyecto requiere de un proceso de investigación. Para ello es necesario recabar toda la información posible que tenga relación directa con el objetivo del proyecto.

Se iniciará identificando cual es la necesidad real del servicio que se quiere prestar y a que área de la población beneficiará, se evaluará la infraestructura existente, esto determinará cuál es el alcance del proyecto que se quiere implementar, si es necesario realizar ampliación de un proyecto ya existente o se implementará un proyecto completo.

Se realizará la cuantificación de la demanda actual del servicio y cuál es la oferta estimada a ofrecer.

Se evaluará el terreno en el cual se construirá el proyecto, tomando en cuenta factores como la topografía del lugar, la ubicación geográfica, la hidrología, el clima y los recursos naturales.

Se estudiará el mercado para buscar la mejor opción en materiales de construcción, mano de obra, diseño y obra civil.

Se establecerán las acciones a seguir para el control y mitigación de riesgos, la sostenibilidad del proyecto y la administración del mismo.

Finalmente se evaluará si se comercializará el proyecto, y cobrar una tarifa mínima a los pobladores para su mantenimiento.

1.3.2. Diagnóstico de la oferta y la demanda

Identificar cual es la demanda potencial con relación al proyecto y la oferta actual.

1.3.2.1. Demanda potencial

La demanda potencial la constituyen todas las casas, locales para cualquier actividad comercial, el centro de salud y escuela que utilizarán el sistema de drenaje que se implementará para llegar a la planta de tratamiento que se construirá.

1.3.2.2. Oferta actual

No existe una oferta, la aldea Llano de Ánimas cuenta con una planta de tratamiento para aguas residuales, pero cubre únicamente una parte de la aldea, la otra sección del sistema de alcantarillado esta conclusa en un 60 % aproximadamente, las residencias que están en el tramo no han conectado sus desagües a la alcantarilla debido a que no tienen por donde desechar las aguas residuales, por lo que la población continua utilizando sus fosas sépticas o siguen vertiendo las aguas a la calle.

1.4. Tipo de aguas residuales

Las aguas residuales están relacionadas al uso que se les dé, se llaman residuales debido a que presentan alteración en su composición, ya que se ve

afectada de forma química, física y biológica, producto de las actividades humanas e industriales.

Las aguas residuales dependiendo de su composición química, física o biológica tienen una procedencia determinada, la cual se ilustra tabla II.

Tabla II. **Características del agua y su procedencia**

Características	Procedencia
Propiedades físicas:	
Color	Aguas residuales domésticas e industriales, degradación natural de materia orgánica.
Olor	Agua residual en descomposición, residuos industriales.
Sólidos	Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas.
Temperatura	Aguas residuales domésticas e industriales.
Constituyentes químicos:	
Orgánicos:	
Carbohidratos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Grasas animales, aceites y grasas	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Pesticidas	Residuos agrícolas.
Fenoles	Vertidos industriales.
Proteínas	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Agentes tensoactivos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Compuestos orgánicos volátiles	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Otros	Degradación natural de materia orgánica.
Inorgánicos:	
Alcalinidad	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de aguas subterráneas.

Continuación de la tabla II.

Cloruros	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua subterránea.
Metales pesados	Vertidos industriales.
Nitrógeno	Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas
Ph	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Fósforo	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales; aguas de escorrentía.
Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Azufre	Aguas de suministro; aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Gases:	
Sulfuro de hidrógeno	Descomposición de residuos domésticos.
Metano	Descomposición de residuos domésticos.
Oxígeno	Aguas de suministro; infiltración de agua superficial.
Constituyentes biológicos:	
Animales	Cursos de agua y plantas de tratamiento.
Plantas	Cursos de agua y plantas de tratamiento.
Protistas:	
Eubacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial y plantas de tratamiento.
Arqueobacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial y plantas de tratamiento.
Virus	Aguas residuales domésticas.

Fuente: DA CAMARA, Lesly; HERNANDEZ, Mario; PAZ, Luislelena. *Manual de diseño para plantas de tratamiento de aguas residuales alimenticias*. Miniproyecto de Ingeniería Química. http://www.sisman.utm.edu.ec/libros_ Consulta: enero de 2014.

Estas aguas se clasifican de la siguiente manera, de acuerdo a su procedencia, domésticas, industriales o pluviales.

1.4.1. Aguas residuales domésticas

Los diversos usos que le da el hombre al agua genera aguas residuales que se presentan en forma aislada o mezcladas en diferentes concentraciones de contaminantes, las aguas residuales domésticas se generan en las viviendas, en establecimientos comerciales y edificios públicos por:

- La preparación de alimentos, el lavado de platos, limpieza de la casa, lavado de la ropa e higiene personal.
- El uso de inodoro y baños públicos.
- Lavado de los exteriores de la casa y edificios, el lavado de vehículos y superficies pavimentadas.

Estas aguas presentan un color gris-amarillento que es producto de la mezcla de diferentes contaminantes entre los que se mencionan heces fecales, detergentes, sedimentos y residuos orgánicos producto de alimentos. Todos ellos canalizados a través de las alcantarillas y trasladadas para su tratamiento.

1.4.2. Aguas residuales industriales

Las aguas residuales industriales son las provenientes de toda actividad industrial, fábrica o empresa en las que se producen cualquier tipo de material. Estas contienen cualquier tipo de contaminante ya sea metales, aceites, refrigerantes o mezcla de químicos, incluyéndose en estas las aguas residuales domésticas.

Las aguas residuales industriales deben ser tratadas previamente antes de incorporarlas a los drenajes municipales o antes de desecharlas en ríos y lagos ya que estas presentan mayor grado de contaminación que las aguas residuales domésticas.

1.4.3. Aguas pluviales

Las aguas pluviales son las provenientes de la lluvia o del deshielo, las cuales no pueden ser absorbidas por la tierra y se llevan a través de canales y alcantarillas. Estas contienen contaminantes que recogen en su recorrido de calles, parqueos o tejados, por lo que deben ser tratadas antes de incorporarlas a afluentes, ya sea ríos o lagos.

1.5. Tipos de contaminantes

La contaminación del agua se entiende como la acción de introducir algún material en el agua alterando su calidad y su composición química. Según la Organización Mundial de la Salud el agua está contaminada cuando su composición se haya modificado de modo que no reúna las condiciones necesarias para el uso, al que se le hubiera destinado en su estado natural.

Los contaminantes que se presentan normalmente en las aguas residuales se enumeran como:

- **Sólidos suspendidos:** son pequeñas partículas sólidas que están suspendidas en un fluido, estas no se depositan en el fondo debido a la turbulencia del agua, así como al tamaño y forma de la partícula, estas son de diferentes materiales.

- Microorganismos patógenos: estos corresponden a las bacterias y virus presentes en las aguas provenientes de los desechos humanos y de hospitales, estos virus y bacterias no son eliminados con un tratamiento convencional, las aguas deben esterilizarse y además aplicarles un tratamiento mecánico-biológico para verterlas a ríos o lagos.
- Nutrientes en el agua es común ya que son vertidos en las cuencas de manera natural y de forma lenta, el cual se denomina un sistema eutrófico (rico en nutrientes), el humano a acelerado la presencia de nutrientes como, carbono, nitrógeno y fósforo a través del uso de fertilizantes, detergentes y materia orgánica a los ríos y lagos, convirtiéndose en un sistema denominado eutrofización antrópica o de origen humano.

Además los contaminantes se clasifican como:

1.5.1. Contaminantes orgánicos

Los contaminantes orgánicos son producidos por los seres humanos, ganado, productos químicos industriales de origen natural, incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir en proceso con consumo de oxígeno. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno y ya no pueden vivir en estas aguas peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Estos contaminantes son considerados biodegradables por su composición principal de proteínas, grasas y carbohidratos.

1.5.2. Contaminantes inorgánicos

Los contaminantes inorgánicos son diversos productos disueltos o dispersos en el agua que provienen de descargas domésticas, agrícolas e industriales o de la erosión del suelo. Los principales son cloruros, sulfatos, nitratos carbonatos, desechos ácidos, alcalinos gases tóxicos disueltos en el agua como los óxidos de azufre, de nitrógeno, amoníaco, cloro y sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico). Se toman en cuenta también aquellos de origen natural que pero que no son biodegradables como plásticos y gomas.

1.6. Tipos de procesos para el tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales son tratadas para poder ser vertidas a ríos y lagos, para ello se requiere de un proceso para quitar la mayor cantidad de contaminantes del agua.

El proceso que se toma en cuenta depende del tamaño de la población a ser beneficiada, la planta más adecuada para ello es el tanque Imhoff, el cual realiza el tratamiento primario. Pero esta planta no elimina en su totalidad los contaminantes, para ello se requieren de otros tipos de tratamientos que son considerados secundarios al proceso del tratamiento de aguas residuales.

1.6.1. Tratamientos aeróbicos

El proceso de tratamiento aeróbico se lleva a cabo en aireadores superficiales que suministran oxígeno para la biodegradación de la materia orgánica.

La eficiencia de este tratamiento es de un 90 % a 95 % sobre la remoción de contaminantes como DBO (demanda biológica de oxígeno) y sólidos suspendidos.

La oxidación biológica de la materia orgánica se produce en una unidad de reacción denominada aireador o reactor biológico, en este se hace pasar el líquido residual poniéndolo en contacto con el lodo de alta concentración microbiana procedente del sedimentador.

Los sopladores de aire están conectados a los difusores para proporcionar el oxígeno necesario para estabilizar la materia orgánica, en el proceso la materia orgánica se transforma en dióxido de carbono, agua y formas estables de nitrógeno, siendo este último biogás. Esta materia pasa posteriormente por un sedimentador, en el cual se asentarán gran parte de las partículas en suspensión, a este separador se le agrega un coagulante para separar las partículas suspendidas. La masa que se separa es llevada a un tanque de lodo. Este lodo también puede ser recolectado en tolvas y ser utilizado en el reactor para proporcionar lodos activados y el excedente se envía a un digestor aeróbico de lodos, donde completarán el proceso de oxidación mediante la inyección de oxígeno a través de los difusores de aire y posteriormente son enviados a un espesador de lodos y de allí a los lechos de secado, finalmente serán depuestos como desechos sólidos o abono.

1.6.1.1. Lodos activados

Es un proceso que consiste en la agitación y aireación de una mezcla de agua residual y un lodo de microorganismos.

Los microorganismos son utilizados para oxidar la materia orgánica presente en el agua residual y transformarla en una forma más estable, disminuyendo la carga orgánica contaminante. Los microorganismos requieren de un ambiente adecuado para desarrollarse de forma adecuada y multiplicarse rápidamente. Al multiplicarse van creando la biomasa, la cual oxida los diferentes tipos de materias orgánicas que están presentes en las aguas residuales.

La planta de lodos activos recibe las aguas residuales, pasando estas primero por un tanque de sedimentación primario, en el cual se añade lodo activado en relación de 1 parte por 3 de aguas negras, estas son mezcladas y posteriormente pasan a un tanque de aireación. Estando en el tanque se mezcla con aire por medio de agitación mecánica, esto pone en contacto a las aguas residuales con los microorganismos contenidos en el lodo.

En un periodo de 15 a 45 minutos el lodo absorbe los sólidos en suspensión, produciéndose la oxidación biológica en la manera en que se absorbe la materia orgánica.

Los organismos presentes descomponen los compuestos de nitrógeno orgánico y destruyen los carbohidratos.

El proceso decae gradualmente de 2 a 5 horas hasta mantenerse constante. El periodo de aireación dura entre 6 a 8 horas.

1.6.1.2. Lagunas aireadas

Las lagunas aireadas son estanques que están a una profundidad de 2 a 5 metros, su función principal es la de suministra el oxígeno necesario y mezclar

las aguas residuales. Aquí, el oxígeno que se requiere para que los microorganismos realicen la degradación de la materia orgánica la proveen los aireadores mecánicos superficiales, además proveen la mezcla necesaria para establecer un buen contacto entre el gas presente en el agua, los sólidos y los líquidos.

Las lagunas aireadas pueden clasificarse en dos tipos:

- Laguna aireada aeróbica: esta consiste en tener oxígeno disuelto en toda la masa del líquido dentro del agua. Aquí el proceso de degradación biológica tiene una relación directa entre la concentración de la materia orgánica biodegradable y la demanda de oxígeno.
- Laguna aireada facultativa: aquí parte de los sólidos presentes en el líquido se sedimentan y se descomponen de forma anaeróbica, aportando un nuevo material orgánico, el cual es soluble.

1.6.1.3. Biofiltro dinámico aeróbico

Es un sistema de tratamiento de aguas servidas, que utiliza como medio de filtrada viruta de aserrín, piedra bola y lombrices, además de contar con un sistema de ventiladores que permite la aireación del sistema.

El proceso es similar al de una percoladora de café. El aserrín y la piedra forman capas que hacen la función de filtro pero la función principal la tiene las lombrices. En la capa superficial se acumulan los residuos orgánicos, los cuales son consumidos por las lombrices, convirtiéndolos en humus, a esto se le agrega la materia corporal producida por las lombrices, esto produce una rica

flora bacteriana que consume también parte de la materia orgánica. El humus que se obtiene en el proceso es un abono orgánico muy bien cotizado.

El movimiento de las lombrices contribuye a que los filtros estén siempre en buenas condiciones, permitiendo que no se colmen.

Concluido el proceso de filtrado en el que el agua ha perdido la mayor parte de las partículas en suspensión, está en condiciones de ser utilizada para el riego.

1.6.2. Tratamientos anaeróbicos

El proceso anaeróbico consiste en la remoción de la materia orgánica del agua residual, sin la inyección de aire. Este proceso es más lento en relación con el tratamiento aeróbico, debido a que el metabolismo de las bacterias es más lento, por lo que la tasa de crecimiento de células es muy baja. Un alto porcentaje de los residuos son convertidos en metano, el cual es un producto final útil.

El proceso anaeróbico de materia orgánica es complejo y es clasificado en cuatro etapas, hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, la bacteria fermentadora realiza las primeras dos etapas de degradación de la materia orgánica, la etapa acetogénesis sintetiza los productos de la acidogénesis dando lugar al acetato, CO₂ y H₂. La metanogénesis transforma otros compuestos como metanol, monóxido de carbono y metilaminas, que son de menor importancia en la mayoría de procesos de digestión anaeróbica.

1.6.3. Humedales artificiales

Los humedales artificiales son filtros biológicos de grava y piedra volcánica, sembrados con plantas de pantano, a través de las cuales pasan las aguas residuales tratadas previamente. La característica de este tipo de humedales es que son construidos por el hombre y está confinado a un área determinada. Su estructura es básicamente una capa de grava gruesa que es la superior y una capa de grava fina que es la inferior. La base está impermeabilizada para evitar que los contaminantes lleguen al subsuelo.

En la estructura del humedal están ubicadas dos tuberías, la superior la cual es por la que ingresan las aguas residuales, estas están distribuidas a lo largo del humedal para que la distribución sea lo más uniforme posible. La tubería de la parte inferior se encarga de la evacuación del agua ya descontaminada.

La capa de grava gruesa y fina, se encargan de proveer soporte a la vegetación y un hábitat para la población microbiana, la cual ayuda a la eliminación de los contaminantes, las vegetación pertenece a la familia de las micrófilas, las cuales contribuyen a la oxigenación del sustrato y eliminación de nutrientes.

La función de los humedales artificiales es la de: eliminar los sólidos en suspensión mediante la sedimentación y filtración del agua, eliminar la materia orgánica mediante la utilización de microorganismos presentes en el humedal, eliminar nutrientes como el fósforo y el nitrógeno, eliminar metales pesados y eliminación de patógenos mediante la filtración y absorción.

Figura 2. **Humedales artificiales**



Fuente: *Humedales artificiales*.

<http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2013/05/16/131891>. Consulta: abril de 2014.

1.7. **Productos generados a partir del agua residual**

El proceso de tratamiento de aguas residuales, es muy beneficioso para las comunidades en las cuales se implementan, ya que se pueden obtener subproductos de mucha utilidad, entre los que se destacan los siguientes:

- Agua para riego: la utilización de las aguas residuales tratadas para la agricultura, es uno de los beneficios que se tiene, especialmente para aquellos países en los que el acceso al agua para riego es muy limitado.
- Los nutrientes presentes en el agua son de mucha importancia dado que aumenta el rendimiento de los cultivos. Esto se logra mediante el adecuado tratamiento de las aguas residuales, se estas no son tratadas correctamente, puede que ciertos componentes tóxicos como los metales,

químicos o bacterias lleguen a los alimentos y estos al consumidor que es el humano y generar enfermedades.

- **Biogás:** el biogás se produce a través de la descomposición de la materia orgánica por la acción de los microorganismos. El gas es de mucha utilidad si se cuentan con los mecanismos para almacenarlo y distribuirlo. Puede emplearse para diversos usos, entre ellos la generación de energía eléctrica, siendo este combustible para las calderas, se puede utilizar para las estufas, vehículos u otro medio que utilice gas para su funcionamiento.
- **Abono o biosólido:** este se produce a través del proceso de estabilización de lodos orgánicos proveniente del tratamiento de aguas residuales. La estabilización se utiliza para reducir los niveles de patogenicidad y su poder de fermentación, con este proceso el biosólido se utiliza para la agricultura y la forestación y recuperar suelos degradados.

Las normativas regulan los indicadores de contaminación fecal y establecen la necesidad de tratamiento de lodos por los medios de digestión anaeróbica, aeróbica, secado térmico, estabilización química, entre otros. Para que al ser convertido en biosólido sea aplicado al suelo.

1.8. Beneficios potenciales para la comunidad

El principal beneficio es mejorar las condiciones de vida de la comunidad. Obteniéndose una disminución significativa de los contaminantes que se vierten la superficie y que contaminan el suelo y las capas freáticas cercanas.

- Se mejora la salud de la población, reduciéndose la cantidad de focos de contaminación, en los cuales proliferan las moscas y zancudos que son fuente de enfermedades.
- Se reducen los costos de utilización de medicamentos por tratamiento de enfermedades derivadas de la contaminación.
- Se mejora y amplía el sistema de drenaje existente, permitiendo a los habitantes de las casas dejar de utilizar las fosas sépticas y conectarse a los drenajes para el tratamiento de las aguas residuales.

2. ESTUDIO TÉCNICO DE INGENIERÍA

2.1. Localización de la planta

La localización de la planta de tratamiento deber tomar en cuenta dos aspectos, primero la topografía de lugar, esta ayuda a identificar las pendientes del terreno para utilizar la gravedad para transportar las aguas servidas, y un estudio geotécnico para ver las características del terreno y no se dificulte la construcción de la planta.

2.1.1. Criterio de localización

Para el diseño definitivo de la planta de tratamiento deben tomarse en cuenta aspectos básicos para su localización como son:

- Levantamiento topográfico del lugar, en el cual se ubicará la planta de tratamiento y la zona de descarga, así como el diseño del sistema de alcantarillado el cual debe de tener una elevación que permita el flujo por gravedad.
- Los datos geotécnicos y geológicos de lugar son necesario para el diseño estructural de las unidades, incluyendo el nivel freático, esta información indicará las características del suelo como pueden ser cantidad de arcilla, contenido de arena, permeabilidad, presencia de rocas que puedan generar aumento de costo de construcción de la planta de tratamiento.

- Los datos climáticos de la zona indicarán la precipitación y evaporación, las cuales pueden influir en el proceso de tratamiento de las aguas residuales.
- Información hidrológica del cuerpo receptor, así como de la proximidad de la planta al mismo que se vea afectado por inundaciones, y de la proximidad de la zona de descarga con pozos de abastecimiento o reservorios de agua.
- Estudio de desarrollo urbano de la población, considerando que el crecimiento de la población no excederá de la capacidad de la planta de tratamiento.

2.1.2. Macrolocalización

El municipio de Amatlán tiene gran influencia sobre el lago del mismo nombre, las aldeas que rodean al lago son fuentes de contaminantes, lo que ha estado afectando la calidad del agua del lago, de las aguas subterráneas y del suelo. La manera en como las aguas servidas son tratadas demuestra que no se han realizado proyectos de manera más consiente para evitar la contaminación del suelo y del agua. Lo que provoca enfermedades en las diferentes aldeas que colindan con Llano de Ánimas.

2.1.3. Microlocalización

La aldea Llano de Ánimas se encuentra ubicada en el municipio de Amatlán a unos 4 km de distancia, el terreno destinado para la planta de tratamiento se encuentra ubicado en la salida hacia la aldea Los Humitos a unos 500 metros aproximadamente, el terreno requiere de la remoción de

árboles y arbustos para realizar la construcción correspondiente. El terreno tiene una pendiente del 6 % por lo que se requiere la construcción de un muro de contención.

2.1.4. Plano del terreno

Ver anexo (plano del terreno)

2.1.5. Drenajes

Los drenajes son tuberías por las que se transportan aguas servidas o pluviales, su función principal es el desalojo del agua y transportarla a plantas de tratamiento o a ríos o lagos.

2.1.5.1. Drenaje de aguas pluviales

El drenaje de aguas pluviales debe estar separado del drenaje de aguas servidas, esto con el fin de evitar que en periodos de invierno las correntadas de agua saturen los drenajes y generen que se sobrepase la capacidad de la planta de tratamiento Imhoff y provocar que las aguas servidas que están en tratamiento lleguen a los aireadores y contaminen la tierra. La ventaja de los drenajes de aguas pluviales, es que estas se desvian para su posterior utilización, tal es el caso de riego de cultivos.

Los drenajes de aguas pluviales tienen gran capacidad de transporte de agua, su fin principal es evitar las inundaciones en ciertas áreas en las que la acumulación de agua pone en riesgo la vida y viviendas de las personas.

El sistema de drenaje de aguas pluviales se considerará en un proyecto posterior al de la planta de tratamiento, esto debido a que su función es completamente diferente a la de las aguas servidas.

2.1.5.2. Drenaje de aguas servidas

La aldea Llano de Ánimas cuenta con un sistema de drenaje incompleto, la nueva fase que contempla cubrir el lado sur de la aldea tiene una construcción de 150 mts aproximadamente, se requiere de la construcción del tramo final que conectará la calzada principal con la planta de tratamiento. La construcción de este drenaje será de aproximadamente 450 mts, el cual debe concluirse para poner en funcionamiento la planta de tratamiento.

2.2. Diseño

La planta de tratamiento Imhoff tiene muchos aspectos que se deben tomar en cuenta para su funcionamiento, las especificaciones técnicas son fundamentales al momento de poner en marcha la construcción de la planta y su el monitoreo de su funcionamiento posteriormente.

2.2.1. Planta de tratamiento Imhoff

La planta de tratamiento Imhoff, es una unidad de tratamiento primario, su función, es tratar las aguas residuales domésticas, su ejecución está condicionada por la participación de la municipalidad, vecinos o Cocodes. Para llevar a cabo su construcción deben tomarse en cuenta diferentes aspectos importantes para su construcción.

2.2.1.1. Movimiento de tierras

El movimiento de tierras comprende la excavación del terreno en el que se ubicará la planta y la fosa que corresponde al tanque Imhoff.

2.2.1.1.1. Excavación

Para llevarse a cabo la excavación del terreno para la construcción de la planta de tratamiento, en los planos deben estar definidos todos los aspectos que llevará la planta, esto para evitar realizar excavaciones innecesarias, las cuales representan costos adicionales al proyecto.

El área de trabajo debe estar protegida de inundaciones y correntadas, la contratista debe construir las guardas necesarias para evitar que el agua ingrese al área de construcción y no poner en riesgo la vida de los obreros, si el material es muy suelto deberán de protegerse las paredes para evitar desprendimientos dentro de la obra.

En las áreas en las cuales se colocarán las tuberías, el terreno debe ser compactado adecuadamente, teniendo mucho cuidado en no dejar rocas cercanas que las dañen, la compactación ayudará también a que el peso sobre las mismas se distribuya adecuadamente y no dañe la tubería con el tiempo.

2.2.1.1.2. Excavación para fosa de tanque Imhoff

La excavación de la fosa para el tanque Imhoff se realiza utilizando mano de obra o a través de maquinaria pesada, todo dependerá de las condiciones del terreno en la cual se ubique la planta de tratamiento.

2.2.1.2. Tratamiento primario

El objetivo del tratamiento primario es remover todos aquellos sólidos que pueden sedimentar, estos son orgánicos e inorgánicos, esto ayuda a disminuir la carga en el tratamiento biológico. Los sólidos removidos en el proceso tienen que ser procesados antes de su disposición final.

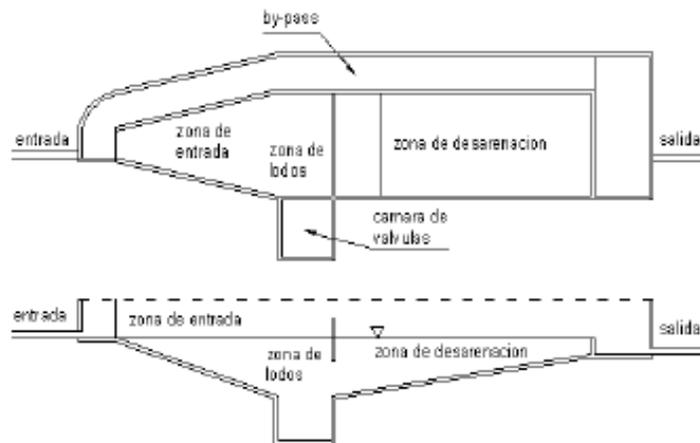
2.2.1.2.1. Desarenadores

Los desarenadores consisten en un proceso continuo de extracción de los sólidos en suspensión fácilmente decantables, como pueden ser grava, arena o partículas minerales. Ayudan a eliminar las sobrecargas y atascamientos, protegiendo contra la abrasión al resto de equipos que compone la planta.

El desarenador de flujo horizontal¹ (ver figura 3) está compuesto de cuatro partes.

¹ MERCADO GUZMÁN, Almaro. *Tratamientos preliminares. Curso 'Tecnologías de tratamiento de aguas residuales para reúso'*. [en línea] <http://www.fch.cl/wp-content/uploads/2013/09/tratamientos_preliminares.pdf>. [Consulta: 28 de agosto de 2014].

Figura 3. **Desarenador de flujo horizontal**



Fuente: MERCADO GUZMÁN, Almaro. *Tratamientos preliminares. Curso Tecnologías de tratamiento de aguas residuales para reúso.* <http://www.fch.cl/wp-content/uploads/2013/09/tratamientos_preliminares.pdf>

Consulta: 28 de agosto de 2014.

- Zona de entrada: la cual une el canal con el desarenador, tiene como función el conseguir una distribución uniforme de las líneas de flujo dentro de la unidad, uniformizando a su vez la velocidad.
- Zona de desarenación: cámara de sedimentación, en la cual las partículas caen al fondo por la acción de la gravedad, debido a la disminución de la velocidad producida por el aumento de la sección.
- Zona de salida: conformado por un vertedero de rebose al final de la cámara sobre el cual para el agua limpia hacia el canal, las capas superiores son las que primero se limpian, es por esto que la salida del agua desde el desarenador se hace por medio de un vertedero, que hasta donde sea posible debe trabajar con descarga libre. Diseñado para

mantener una velocidad que no altere el reposo de la arena sedimentada, la velocidad límite es 1 m/s. para evitar turbulencias.

- Zona de depósito y eliminación de arena sedimentada: constituida por una tolva con un gradiente del 2 al 6 % que permita el deslizamiento de la arena hacia el canal de limpieza de los sedimentos, esta gradiente no se incluye en el tirante de cálculo, sino que el volumen adicional se lo toma como depósito para las arenas sedimentadas.

2.2.1.2.2. Rejas

Las rejas son dispositivos formados por barras metálicas paralelas, se destinan a la remoción de sólidos gruesos en suspensión, tienen la finalidad de proteger los dispositivos de transporte de las aguas residuales contra la obstrucción de cámaras de inspección, bombas, tuberías, piezas especiales, entre otras.

Las rejas deben utilizarse en toda planta de tratamiento y pueden ser de limpieza manual o mecanizada, en el presente caso se utilizarán las de limpieza manual, las cuales cuentan con rejas gruesas y de grandes espacios, debido a que no se esperan grandes volúmenes de sólidos.

Para las rejillas deben de tomarse en cuenta los siguientes aspectos:

- La barra debe tener una inclinación entere 45 y 60 grados, esta se inclina para evitar que el material desprendido del rastillo se desprenda y regrese al canal.
- El espacio entre barras debe estar en entre 20 y 50 mm.

- Las barras son gruesas, medianas o finas y dependiendo de esto, el espaciamiento es de 4 a 10 cm para gruesas, de 2 a 4 cm para medianas y de 1 a 2 cm para las delgadas.
- Para facilitar el mantenimiento y la instalación de las cribas de limpieza, las rejillas deben instalarse en guías laterales con perfiles metálicos en “U”, descansando en el fondo en un perfil “L” o sobre un tope formado por una grada de concreto.

2.2.1.2.3. Tanque Imhoff

El tanque Imhoff tiene una operación muy simple, debido a que no utiliza partes mecánicas para su funcionamiento. El tanque Imhoff ofrece ventajas para el tratamiento de aguas para comunidades menores de 5 000 habitantes, ya que integra la sedimentación del agua y la digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad.

El tanque Imhoff debe instalarse lejos de la población debido a que produce malos olores.

El tanque Imhoff cuenta con varios compartimientos:

- Cámara de sedimentación: en la entrada a la cámara del sedimentador debe colocarse una pantalla que distribuya el caudal uniformemente.

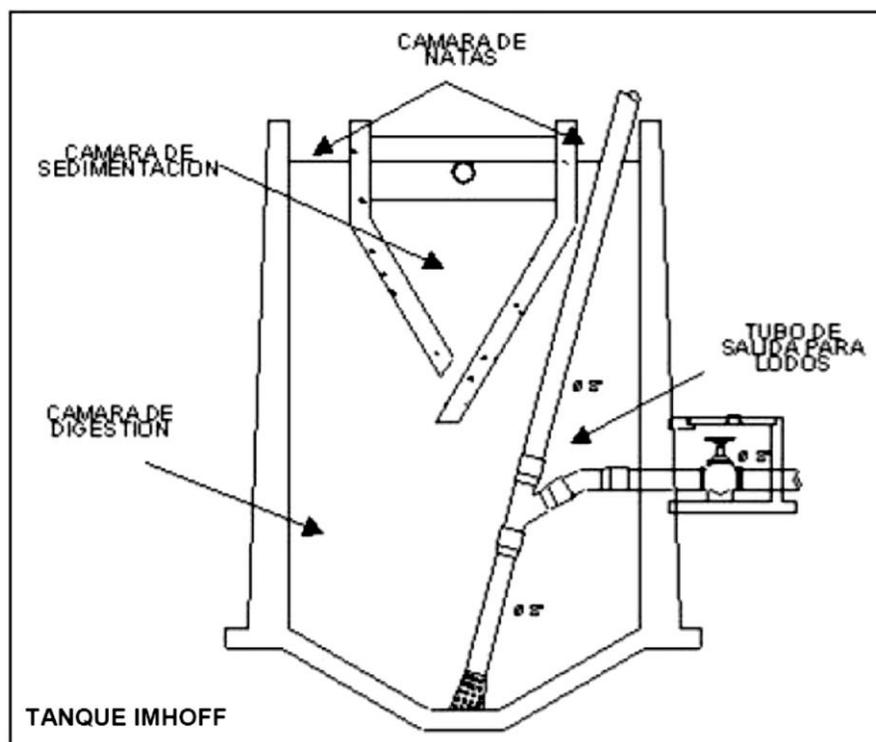
La cámara del sedimentador debe cumplir con ciertos estándares para su buen funcionamiento, como son:

El fondo del tanque debe ser de sección transversal en forma de V y la pendiente de los lados respecto a la horizontal tendrá entre 50 y 60°.

En la arista central se debe dejar una abertura para paso de los sólidos removidos hacia el digestor, esta abertura será de 15 a 20 cms.

Uno de los lados deberá prolongarse, de 15 a 20 centímetros, de modo que impida el paso de gases y sólidos desprendidos del digestor hacia el sedimentador, situación que reducirá la capacidad de remoción de sólidos en suspensión de esta unidad de tratamiento.

Figura 4. **Tanque Imhoff**



Fuente: OPS. *Guía para el diseño de tanque séptico - tanque Imhoff y lagunas de estabilización.* p. 14.

Las paredes de la cámara deben ser lo más lisas posibles, para evitar la retención de sedimentos en la cámara. La profundidad del tanque debe estar de acorde a las capacidades del terreno. La longitud del tanque no debe ser mayor a 30 mts.

En la entra y salida del tanque deben ser colocados deflectores para evitar el movimiento de espumas o su paso al líquido saliente. Estos deflectores deben estar sumergidos entre 30 a 50 cms.

- Cámara de digestión: el fondo de la cámara de digestión tendrá la forma de un tronco de pirámide invertida o tolva de lodos, para facilitar el retiro de los lodos digeridos, las paredes laterales de la tolva deben tener una inclinación entre 15 a 30° con respecto a la horizontal. La altura máxima de los lodos debe ser de 50 cms, por debajo del sedimentador.

El volumen de almacenamiento y digestión $Vd (m)^3$, dependerá de la cantidad de población para el cual se va a diseñar.

$$Vd = \frac{70 * P * fcr}{1\ 000}$$

En donde el factor de capacidad relativa (fcr), P es la población. Para el cálculo del volumen de almacenamiento se toman en cuenta los siguientes cálculos. Ver tabla III.

Tabla III. **Factor de capacidad relativa**

TEMPERATURA °C	FACTOR DE CAPACIDAD RELATIVA (fcr)
5	2,0
10	1,4
15	1,0
20	0,7
>25	0,5

Fuente: OPS. *Guía para el diseño de tanque séptico - tanque Imhoff y lagunas de estabilización.* p.16.

El tiempo de digestión de los lodos varía de acuerdo a la temperatura del proceso.

Tabla IV. **Tiempo de digestión de lodos**

TEMPERATURA °C	TIEMPO DE DIGESTIÓN EN DÍAS
5	110
10	76
15	55
20	40
>25	30

Fuente: OPS. *Guía para el diseño de tanque séptico - tanque Imhoff y lagunas de estabilización.* p.17.

Los lodos digeridos deben ser retirados periódicamente, para estimar la frecuencia de retiro de lodos se consideran los valores de la tabla IV. La frecuencia de remoción se calcula con base en los tiempos referenciales de la tabla, considerando una mezcla entre lodos frescos y lodos digeridos, estos últimos se ubican en el fondo del digestor.

Extracción de lodos: para quitar los lodos e impedir la acumulación de gases se coloca un tubo de hierro fundido de 20 cm de diámetro o tubería PVC de 6" en posición vertical, con su extremo inferior abierto unos 15 cms por encima del fondo del tanque. Para la remoción se requiere una carga hidráulica mínima de 1.80 mts.

Área de ventilación: para el buen funcionamiento de la planta de tratamiento se debe tomar en cuenta el diseño de la superficie entre las paredes del digestor y el sedimentador, el espacio libre debe de ser de 1 metro como mínimo, la superficie total será de al menos 30 % de la superficie del tanque, el borde libre debe ser como mínimo de 30 centímetros. Las partes de la superficie del tanque deben ser accesibles para los trabajos de remoción de espumas y lodos flotantes.

En la parte final de la planta de tratamiento Imhoff, la tubería de salida debe ser de un diámetro de 6" y contar con una válvula del mismo diámetro.

2.2.1.3. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario es un complemento del tratamiento primario, su función es utilizar las aguas residuales que aun conserven solidos orgánicos en suspensión.

El tratamiento secundario es la inclusión de procesos biológicos que tienen como finalidad estabilizar la materia orgánica y coagular y remover los sólidos coloidales que no sedimentan, en este proceso predominan las reacciones bioquímicas generadas por los microorganismos que logran eficientes resultados en la remoción de BDO que puede ser entre un 50 y 95 %.

El tratamiento secundario emplea a su vez procedimientos físico químicos mediante los cuales se llegan a la coagulación, a la oxidación de la materia carbonosa, decantación y arrastre de bacterias.

2.2.1.3.1. Laguna de estabilización

Son estanques diseñados para el tratamiento de las aguas residuales, mediante procesos biológicos naturales de la interacción de la biomasa y la materia orgánica contenida en el agua residual.

Este tratamiento se recomienda cuando se requiere un alto grado de remoción de organismos patógenos, sin emplear métodos de cloración, oxidación o radiación UV. Las lagunas de estabilización se construyen a poca profundidad que va de los 2 a los 4 metros.

Cuando las aguas residuales son descargadas en las lagunas de estabilización se realiza un proceso conocido como autodepuración o estabilización natural en donde ocurren fenómenos de tipo físico, químico, bioquímico y biológico. Este proceso se lleva a cabo en todas las aguas estancadas con alto contenido de materia orgánica putrescible o biodegradable.

Es recomendable que al momento de diseñar la laguna facultativa la temperatura sea de 20 °C para cargas menores de 300 Kg DBO/ha/día.

La laguna facultativa al momento de ser diseñada se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Diseñar dos unidades en paralelo como mínimo, para captar agua en una mientras a la otra se le retiran los lodos. Es importante que el volumen de lodo acumulado no exceda el 50 % de la laguna.
- El tamaño de las unidades dependerá de la topografía del lugar, la forma de la laguna dependerá del tipo de laguna, para las lagunas anaerobias y aireadas se recomiendan formas cuadradas o ligeramente rectangulares, para las facultativas se recomienda de forma alargada.
- La entrada a la laguna debe ser lo más simple posible, y no muy alejada de los taludes, debiendo proyectarse con descarga sobre la superficie, en la salida debe ser instalado un medidor de caudal para evaluar el funcionamiento de la unidad.
- Las lagunas deben estar interconectadas por un canal o una tubería después del vertedero o canal.
- Los bordes de las lagunas deben ser redondeadas para minimizar la acumulación de natas.
- Para el vaciado de las lagunas es recomendable la instalación de sifones de bajo costo u otro mecanismo para la función deseada.
- Se debe calcular la presión en los lados externos de los taludes, para comprobar que la pendiente de los diques es la adecuada. Los taludes internos deben tener una inclinación entre 1:1.5 y 1:2 (vertical: horizontal).

- El sistema de lagunas debe protegerse contra daños por efecto de la escorrentía, diseñándose cunetas para la intercepción de aguas de lluvia, en caso de que la topografía del lugar así lo requiera.
- La impermeabilidad del estanque utiliza arcilla bien compactada, hormigón o geomembrana.
 - Lagunas anaerobias: en las lagunas anaerobias se produce la degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Para lograr la estabilización debe cumplir con tres etapas: “La hidrólisis” que es la conversión de compuestos orgánicos complejos e insolubles en otros compuestos más sencillos y solubles en el agua. Esta etapa suministra los compuestos orgánicos necesarios para la estabilización anaerobia y es fundamental para las fases siguientes, como la “formación de ácidos”, en esta etapa los compuestos orgánicos sencillos son utilizados por las bacterias generadoras de ácidos, produciendo estos ácidos orgánicos volátiles como ácido acético, proiónico y burítico. La última fase “formación de metano”, la cual consiste en un nuevo tipo de bacterias que toman los ácidos y los convierten en metano y óxido de carbón, esta actividad se llama metanogénica.

Un factor que influye en el comportamiento de la laguna anaerobia es la temperatura, la cual debe ser óptima en el rango de 30 a 35 °C, por esa razón las lagunas son más eficientes en época de verano.

Las lagunas anaerobias se construyen de acuerdo con las dos concepciones básicas siguientes a) Las lagunas de gran tamaño, poca profundidad y tiempos de residencia del agua residual medios,

b) las lagunas pequeñas, profundidad media a alta y tiempos cortos de residencia. Los factores que hay que tener en cuenta al proyectar una laguna anaerobia son fundamentalmente los aspectos de conservación del calor, sedimentación de materias en suspensión y almacenamiento de fangos.

El tiempo de residencia recomendado para estas lagunas es de 2 a 5 días, dependiendo de la naturaleza del vertido y del clima

- Lagunas aireadas: a este tipo de lagunas se les incorpora algún tipo de aireación ya sea mecánica o un sistema de aireación difusa, para este tipo de laguna debe considerarse lo siguiente: la profundidad debe ser entre 3 y 6 metros, la capacidad de energía requerida dependerá del tamaño de la laguna y de la potencia de los aireadores.

Las dimensiones de la laguna aireada son importantes para considerar el sistema de aireación a utilizar, para evitar que haya zonas sin actividad biológica. Para este tipo de laguna se debe considerar la modalidad de proceso, como puede ser de mezcla parcial o la mezcla completa.

En la modalidad de mezcla parcial, la turbulencia generada no es lo suficientemente fuerte para mantener los sólidos en suspensión y únicamente se conforma con la presencia de oxígeno en la mezcla, este tipo de laguna presenta acumulación de lodo, el periodo de retención varía entre 7 y 20 días y la profundidad es en promedio de 1,5 m. En climas cálidos se observa la presencia de algas en la superficie.

En la modalidad de mezcla completas, es recomendable la utilización de aireadores de baja velocidad de rotación, la turbulencia es lo suficientemente fuerte para mantener los sólidos en suspensión y proveer de oxígeno a todo el volumen, el tiempo de retención es de 2 a 7 días, la profundidad varía entre 3 y 5 metros.

- Lagunas facultativas: estas lagunas poseen una zona aerobia y una zona anaerobia, la primera es la parte superior de la laguna, mientras que la segunda es la que se ubica en el fondo. En este tipo de laguna contendrá a seres vivos denominados microorganismos facultativos, los cuales sobreviven en condiciones cambiantes de oxígeno.

Este tipo de lagunas tiene poca profundidad, la cual varía de 1 a 2 m. la poca profundidad permite a las algas tener más luz para producir oxígeno y así tener un ambiente más oxigenado. El buen funcionamiento de la laguna facultativa se aprecia con la aparición de un color verde brillante, debido a la presencia de algas. Las bacterias y algas actúan de forma simbiótica, con el resultado global de la degradación de la materia orgánica. Las bacterias utilizan el oxígeno producido por las algas para metabolizar de forma aerobia los compuestos orgánicos. En el proceso se liberan nutrientes solubles como nitratos, fosfatos y dióxido de carbono, en grandes cantidades. Estos nutrientes solubles son utilizados por las algas para su crecimiento. Lo que lleva a tener una relación mutuamente beneficiosa.

Las lagunas facultativas se ven afectadas en su rendimiento por diversos factores climáticos como son: temperatura, radiación solar, viento, evaporación y precipitación (lluvias). Por factores físicos como

son: estratificación, flujo a través de las lagunas y profundidad. Por factores químicos y bioquímicos como son: el pH, oxígeno disuelto, nutrientes y sedimentos.

El proceso en las lagunas facultativas se lleva a cabo en diversas capas como son:

- Zona fótica: el cual es un sistema de aireación en donde ocurre la fotosíntesis y la transferencia de oxígeno al agua por medio del viento. La profundidad es determinada por la concentración de algas, sólidos suspendidos, carga orgánica y la transparencia del agua residual.
- Zona heterótrofa: aquí se realiza la degradación de la materia orgánica disuelta y coloidal. Esta zona se presenta la relación entre algas y bacterias, las bacterias generan el bióxido de carbono que requieren las algas para producir oxígeno.
- Zona anaerobia: su ubicación es en el fondo de la laguna, en esta área se ubica la materia orgánica sedimentada, esta materia orgánica se transforma en ácidos grasos y posteriormente en metano, bióxido de carbono y ácido sulfhídrico, todo esto a través de la acción de las bacterias presentes.

2.2.1.3.2. Lodos activados

Es un proceso mediante el cual el agua residual, compuesto de materia orgánica y el lodo biológico (microorganismos) son mezclados y aireados en un tanque. Los microorganismos son mezclados y se valen de la materia orgánica como sustrato alimenticio. La mezcla se lleva a cabo a través de procesos mecánicos o sopladores sumergidos, estos son necesarios para tener una mezcla completa y que el oxígeno se distribuya para que el proceso se desarrolle.

El proceso de lodos activados requiere de instalaciones adecuadas para su desarrollo. Siendo estos: tanque de aireación, tanque sedimentador, equipo de inyección de oxígeno, un sistema de retorno de lodos activados, retornar gran parte de los sólidos biológicos al tanque de aireación y por último que el exceso de lodos sea eliminados, tratados y dispuestos para otros usos.

Para que el proceso de lodos activados se lleve a cabo es necesario considerar un pre-tratamiento de las aguas, con el fin de eliminar todas aquellas impurezas y elementos que afecten el funcionamiento de la planta, entre estos elementos están la presencia de cloro, grandes cantidades de sólidos, aguas residuales con valores anormales de pH o desagües con grandes fluctuaciones de caudal.

- Sedimentador secundario: el sedimentador secundario se ocupa de la remoción de la biomasa y sólidos suspendidos, la remoción de este material es efectuada por medios biológicos. Tiene un coeficiente de sedimentación por unidad de superficie no mayor de 32,6 m³ por metro cuadrado. Su importancia radica en la carga grande de sólidos que recibe y a la naturaleza de esponja del flóculo biológico de los lodos activados.

El sedimentador realiza diferentes funciones, como son: su función de esperador, para producir un flujo constante de lodo de mayor densidad en la parte inferior para recircularla hacia el reactor biológico. Función de clarificador, que produce un efluente clarificado final y finalmente función de estanque, el cual consiste en almacenar el lodo.

- Zanjas de oxidación: o canal de oxidación se utiliza para el tratamiento de aguas residuales, estos tienen forma ovalada o anular, el agua circula a través del canal al mismo tiempo que se hace la aireación a través de escobillas rotatorias, estas zanjas son adecuadas para flujos de aguas residuales superiores a los 4 lt/s. Normalmente los tiempos de retención son largos.
- Filtros percoladores: el filtro percolador es un mecanismo que busca tratar las aguas negras, su función consiste en una cama de grava o medio plástico que recibe las aguas negras, los microorganismos se apegan al medio del lecho y forman una capa biológica sobre este, a medida que las aguas negras pasan por el lecho los microorganismos se encargan de digerir los materiales orgánicos y así eliminar los contaminantes del agua.

La tasa de carga orgánica para un filtro percolador es por lo general de entre 0,005 y 0,025 libras de DBO por día por pie cúbico del medio. Los filtros percoladores varían entre 0,9 a 2,5 m.

- Sistemas biológicos rotativos de contacto: conocidos también como Contactores Biológicos Rotativos (CBR), es un sistema de tratamiento de aguas residuales en el cual los microorganismos se encuentran adheridos a un material soporte, el cual gira semi sumergido en el agua a tratar.

El biodisco gira lentamente a razón de 1 a 2 rpm, el soporte expone su superficie alternativamente al agua y al aire, en el soporte se desarrolla de forma normal y gradualmente, una pequeña película de biomasa bacteriana, que emplea como sustrato la materia orgánica soluble presente en el agua residual y toma el oxígeno necesario para su respiración del aire.

2.2.1.4. Desinfección

Es el último proceso unitario de tratamiento de aguas residuales, para llevarla a cabo se usa un agente físico o químico para destruir los microorganismos patógenos productores de enfermedades.

Los agentes desinfectantes se describen de la siguiente manera:

2.2.1.4.1. Químicos

Para la desinfección por medio de agentes químicos se utilizan los siguientes: dióxido de cloro, bromo, hipoclorito sódico, hipoclorito de calcio, iones de plata, yodo y ozono.

La utilización de estos dependerá del tipo de desinfección que se requieren y el costo de cada uno de estos agentes.

El cloro y el yodo cumplen casi con las mismas funciones que son la destrucción de microorganismos, coliformes, efectivos en matar amibas y inactivar virus, la diferencia entre estos dos está en el costo, el cloro es mucho más barato que el yodo.

El ozono es uno de los mejores agentes para desinfección, el inconveniente es el costo elevado del equipo y el difícil mantenimiento. Este agente es el preferido para tratar las aguas cloacales y desinfección de agua potable, este no deja efecto residual y por consiguiente no interfiere con el ecosistema de los ríos o embalse en donde las aguas residuales son descargadas. El ozono se desintegra rápidamente en el agua.

2.2.1.4.2. Físicos

Los medios físicos para desinfección de aguas más utilizados son la luz y el calor.

La luz ultravioleta es un medio de desinfección, para ello se utilizan lámparas especiales, para pequeñas cantidades de agua, la eficiencia de este medio dependerá de la turbiedad del agua.

El calor se genera de muchas formas, el fin, lograr que el agua llegue al punto de ebullición para eliminar todas aquellas bacterias que son causantes de enfermedades. Por el costo que representaría utilizar medios para producir calor, este sería muy caro, por esa razón no es aplicable al tratamiento de aguas residuales.

2.2.1.4.3. Mecánicos

La desinfección por medios mecánicos empieza por rejillas y desarenadores, los cuales se limitarán a eliminar sólidos de considerable tamaño, se tienen también sedimentadores, así como precipitación química, filtros percoladores los cuales utilizan arenas para retener impurezas y microorganismos, lodos activados y cloración de agua por medios mecánicos.

2.2.1.4.4. Radiación

La radiación es del tipo electromagnética, acústica y de partículas, el gran inconveniente de estas es el elevado costo para aplicarlo a una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas.

2.2.1.5. Tratamiento terciario de aguas residuales

El tratamiento terciario se utiliza para eliminar todos aquellos residuos que han quedado de los procesos primarios y secundarios, su fin, es reusar las aguas residuales, especialmente en aquellas áreas en donde el agua es muy escasa.

Por los elevados costos para llevarlos a cabo, estos procesos no son aplicados al presente proyecto, se hace mención como posibles procesos para considerar en aquellos lugares en donde se lleven a cabo.

2.2.1.5.1. Ósmosis inversa

La Ósmosis Inversa (OI) es una tecnología de membrana, el agua pasa a través de membranas, las cuales están diseñadas para retener sales y partículas como pueden ser plomo, cadmio, mercurio, sodio, nitratos, entre otros. Se considera una eliminación prácticamente total de sales y sólidos en suspensión. Esta es una elección para purificar agua para consumo, especialmente si la fuente es agua salobre o agua de mar.

2.2.1.5.2. Electrodiálisis

Este método consiste en separar las moléculas en un campo eléctrico debido a la diferencia de carga en la membrana. Las membranas cuentan con poros estrechos de dimensiones de 1 a 2 nm (nanómetros). En la célula de electrodiálisis se sitúa una cantidad de membranas de intercambio catódico y anódico entre un ánodo y un cátodo, de forma que al aplicar corriente eléctrica los iones con carga positiva migran a través de las membranas de intercambio catódico y viceversa, de esta forma se obtiene agua con alta concentración de cationes y agua potable por otro lado.

2.2.1.5.3. Destilación

La destilación es la utilización de un mecanismo de evaporación de agua y ductos de enfriamiento, conocidos como condensadores, los cuales se encargan de condensar el vapor de agua, el agua obtenida tiene un grado de pureza aceptable debido a la eliminación de los contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el agua residual. La destilación elimina todas aquellas impurezas que no pueden evaporarse, quedando estos en la unidad de evaporación.

2.2.1.5.4. Coagulación

Es un proceso a través del cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas llamadas flocs, de forma que su peso supere a las del agua y se precipiten. Este proceso se refiere a la desestabilización de las partículas suspendidas de modo que se reduzca la fuerza de separación entre ellas, esto implica la formación de puentes químicos entre partículas de modo que se formen mallas de coágulos.

2.2.1.5.5. Absorción

Es un proceso por el cual una sustancia soluble del agua es eliminada por un sólido. Para que esto se lleve a cabo se utiliza carbón activo como sólido y debe alcanzarse una superficie interna de entre 500 a 1 500 m²/g, esta superficie hace que el carbón tenga una absorción ideal. La efectividad del carbón activo depende de la temperatura y de la sustancia que desea filtrarse.

En el proceso el agua es bombeada a través de las columnas de carbón activo, produciendo acumulación de sustancias, las cuales deben ser removidas periódicamente para evitar la saturación.

2.2.1.5.6. Remoción de espuma

La espuma se acumula en el área de ventilación por la acumulación de elementos no sedimentables, este debe ser eliminada por medio de un proceso sencillo, para ello se utiliza una varilla y un colador sujetado a un extremo, con esta herramienta se remueve toda la espuma acumulada permitiendo la ventilación adecuada.

2.2.1.5.7. Filtración

La filtración es un procedimiento a través del cual se remueven sólidos suspendidos en el agua, los sólidos consisten en suciedad o partículas presentes en el agua.

El proceso de filtración se realiza de diferentes maneras como son: filtros de lecho, el cual consiste en un estanque con elementos como son arena, antracita, granate, entre otros. Los cuales capturan los sólidos suspendidos

hasta su eliminación, estos retienen partículas con dimensiones entre 10 y 10 micras. Filtros de cartucho, es un proceso similar al de lecho, solo que en este caso son filtros reemplazables, los cuales son removidos media vez hayan capturado suficientes solidos suspendidos. Filtros de bolsa, similar al filtro de cartucho con la diferencia que este elemento es fabricado en una bolsa.

2.2.1.5.8. Extracción por solvente

La extracción por solvente consiste en separar los contaminantes orgánicos presentes en las aguas residuales, los cuales los concentra haciendo que su remoción y reciclaje sea mucho más fácil. Entre los solventes más utilizados están el butano, la acetona, dióxido de carbono líquido, entre otros.

2.2.1.5.9. Intercambio iónico

En este proceso un ion es sustituido por otro de la misma carga, de esta forma, este proceso es utilizado para la extracción de solventes solidos presentes en el agua, hasta tratar la dureza del mismo, sustituyendo el ion de calcio y magnesio por otro ion como puede ser un ion de sodio. Para llevar a cabo este proceso el agua debe de estar libre de turbidez.

2.2.1.5.10. Oxidación química

Este proceso se lleva a cabo de dos formas, por cloración y por ozonación, la cloración: destruye e inhibe el crecimiento de bacterias y algas, reduce el DBO oxidando los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales; los olores y colores presentes en las aguas residuales se oxidan por el cloro. La ozonación: el ozono por su gran potencial de oxidación se utiliza para desinfección, descoloración y desodoración de aguas residuales, además

se logra la oxidación del hierro y magnesio, oxidación de compuestos orgánicos e inorgánicos, eliminación de virus y bacterias, elimina toxinas y pesticidas, entre otros.

La ozonación es un tratamiento ecológico, amigable con el medio ambiente, es efectivo por encima de otros tratamientos.

2.2.1.5.11. Precipitación

La precipitación se lleva a cabo utilizando sales de hierro, esto lleva a provocar la precipitación de todos los efluentes. En este proceso el sulfuro se precipita como sulfuro de hierro, al mismo tiempo que se precipitan el cromo y las proteínas. El agua en el proceso sale clarificada, los valores de DQO Y DBO ser reducen entre 50 y 60%.

Los lodos producidos en este proceso son propensos a la putrefacción y contienen alta concentración de cromo (50 y 100 gr por kg de materia seca), por lo que su fin es depositarlo en un relleno sanitario.

2.2.1.5.12. Nitrificación desnitrificación

Este proceso es llevado a cabo por microorganismos bacterianos que se encargan de la eliminación de las bacterias y la eliminación del nitrógeno, la eliminación de la materia nitrogenada es necesaria cuando el efluente va a dar a embalses o masas de agua utilizadas para captación de agua potable.

2.2.1.6. Tratamiento de lodos

El objetivo del tratamiento de los lodos es mejorar las propiedades de los mismos para su utilización y disposición final, buscando una degradación controlada de las sustancias orgánicas y la eliminación de los olores.

Para llevar a cabo este proceso se puede mencionar lo siguiente:

- **Digestión anaerobia:** la digestión anaerobia se lleva a cabo a través de microorganismos anaerobios, estos microorganismos se encargan de romper la estructura molecular de los sólidos liberando las uniones del agua y dando lugar a oxígeno y nutrientes para el crecimiento. El proceso anaerobio se realiza a temperaturas menores a 40 °C. Este proceso se lleva a cabo en un reactor completamente aislado.
- **Laguna de lodos:** esta se utiliza para almacenamiento de lodos digeridos. Estas lagunas deben contar con dispositivos de limpieza y equipo para la remoción de lodos.
- **Aplicación de lodos sobre el terreno:** el lodo obtenido de la planta de tratamiento contiene gran cantidad de nutrientes que son beneficiosos para recuperar áreas poco fértiles, estos son aplicados directamente al terreno, debido a los contaminantes que aún están presentes se debe considerar que para utilizarlos adecuadamente el terreno debe estar a una distancia considerable de residencias, mayor a 500 mts. El terreno debe estar protegido contra la erosión provocada por la lluvia o corrientadas de agua, esto para evitar que el lodo llegue a afluentes. De igual forma se debe considerar la profundidad del nivel freático, para no contaminar las aguas subterráneas.

- Remoción de lodos de las lagunas: para llevar a cabo este proceso primero debe ser evacuada el agua de la laguna hasta llegar al nivel en el cual se encuentra el lodo, posteriormente se debe esperar a que el lodo se seque para retirarlo, para ello se depende de la temperatura y de las condiciones ambientales. El lodo ya deshidratado es retirado por medios manuales o mecánicos. El lodo debe ser almacenado en un periodo no menor a 6 meses para su utilización. Si no es utilizado se debe disponer de él en rellenos sanitarios.
- Lechos de secado: es un proceso natural en el que el agua contenida en las partículas de lodo son removidas por evaporación y filtración de drenajes. Los lechos de secado están equipados con bases de arena y ladrillo, grava y tuberías de drenaje, el clima es un factor determinante para llevarse a cabo el secado, de esto dependerá si el tiempo es de unos días o de unas semanas.

Las características a considerar para del lecho de secado son: la capa de lodo debe de ser 15 a 30 cm. El número mínimo de lechos de secado debe ser de dos, lo que permite que uno esté en funcionamiento mientras el otro está en proceso remoción de lodos. El drenaje debe ser de tubería perforada de 4", las capas de arena deben tener un espesor de 15 a 256 cm., con tamaño efectivo de 0,3 mm a 1,2 mm, el lecho de grava de 10 a 30 cm de espesor.

2.2.2. Especificación de descarga

Las descargas, producto final de la planta de tratamiento, deben tener las características adecuadas para no ser peligrosas para el ambiente.

2.2.2.1. Características de los efluentes

Los efluentes deben estar dentro de los límites máximos permitidos establecidos en el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

Tabla V. Especificaciones de descarga

Parámetros	Dimensionales	Límites máximos permisibles
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	10
Material Flotante	Ausencia/presencia	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	20
Fósforo total	Miligramos por litro	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrogeno	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	$<1 \times 10^4$
Arsénico	Miligramos por litro	0,1
Cadmio	Miligramos por litro	0,1
Cianuro total	Miligramos por litro	1
Cobre	Miligramos por litro	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	0,1
Mercurio	Miligramos por litro	0,01
Níquel	Miligramos por litro	2
Plomo	Miligramos por litro	0,4
Zinc	Miligramos por litro	10
Color	Unidades platino cobalto	500
DQO	Miligramos por litro	300
DBO	Miligramos por litro	200

Fuente: Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

2.2.2.2. Disposición final de los efluentes

Por las características que tienen las aguas tratadas, su utilización es para riego y fertilización de tierras, esto debido a la gran carga de nutrientes orgánicos como son el fósforo y el nitrógeno.

2.2.3. Instalaciones

Las instalaciones de la planta de tratamiento están conformadas por las siguientes partes:

- Circulación y muro perimetral: su función es mantener alejado de la planta a personas y animales para que no dañen las instalaciones y no sufran accidentes. Esta está constituida por una base de *block* y cemento en la parte inferior y en la parte superior se hace un cerramiento de malla metálica, en uno de los extremos se instalan dos puertas de bisagra.
- Una caja de registro: la cual permite la distribución uniforme del flujo de agua de una unidad a otra, estas cajas deben contar con una tapa para poder realizar tareas de mantenimiento y limpieza.
- Caseta de control: en ella se almacenarán las herramientas, equipo de protección personal y botiquín para el personal que trabaje en la planta, así como una ducha para el aseo personal del operario y sanitario. La caseta debe contar con conexión eléctrica, para tener luces por la noche, para que el guardia y el operario puedan conectar artículos electricos que necesiten. Su función también es dar resguardo al guardia por las inclemencias del tiempo.
- Planta de tratamiento: la cual está compuesta por el desarenador, las cámaras de digestión y los lechos de secado.

2.2.3.1. Planos de la planta

Ver anexos, planos de la planta 2/10 al 10/10.

2.3. Operación y mantenimiento

El tanque Imhoff por su concepción sencilla, no requiere personal muy calificado para llevar a cabo las tareas de operación y mantenimiento.

Para poner en funcionamiento el tanque Imhoff, se debe tomar en cuenta lo siguiente: la planta de tratamiento debe llenarse con agua y si fuera posible con agua proveniente de otra planta de tratamiento, esto permitirá acelerar el desarrollo de microorganismos que se encargan de descomponer la materia orgánica que llegará a la planta de tratamiento. Estos microorganismos se desarrollan más eficientemente con la temperatura adecuada, pero ello se aconseja que la puesta en funcionamiento sea en los meses cálidos, que comprende de marzo a julio.

2.3.1. Operación

El tanque Imhoff está conformado por diferentes zonas, a las cuales se les debe poner la atención necesaria al momento de estar en operación para no tener inconvenientes.

La zona de sedimentación contendrá uno o más sedimentadores, dependiendo del diseño, en el caso en que se utilicen dos o más se requiere hacer un ajuste en los caudales para que estos contengan partes iguales y para ello se deben ajustar el fondo del canal. El periodo de retención del tanque se efectúa midiendo el tiempo que se demora en desplazarse, un objeto flotante o mancha, desde el ingreso hasta la salida. En el caso de tanques Imhoff compuesto de dos compartimientos, la homogenización de la altura de los lodos se realiza por medio de la inversión en el sentido del flujo de entrada, la cual debe realizarse semanalmente.

La zona de ventilación requiere poca atención si el proceso se realiza de forma normal. La acumulación de materia flotante en esta zona puede producir malos olores y la acumulación de espuma impide que el gas se libere de forma adecuada. Para mantener el buen funcionamiento es necesario romper la capa de espuma de forma periódica, esto puede efectuarse por medio de un chorro de agua proveniente de la zona de sedimentación o de forma manual utilizando trinchas o palas para sumergirlas.

Esta nata que se acumula en la zona de ventilación, puede ser removida dependiendo de su naturaleza, los residuos conformados por grasas o aceites debe ser incinerados o dispuestos en un relleno sanitario.

La zona de digestión de lodos es en donde se desarrolla la transformación de la materia orgánica, esta zona opera de mejor manera en las épocas de mayor temperatura. El lodo debe permanecer el mayor tiempo posible en la zona de digestión para lograr una buena mineralización, la altura del lodo debe mantenerse entre 0,5 y 1 metro por debajo de la ranura del sedimentador y de su deflector.

Se aconseja drenar la mayor cantidad de lodos en las épocas de calor, para proveer de mayor capacidad de almacenamiento y mineralización para las épocas de frío, por ningún motivo debe dejarse menos del 15 % de la totalidad de lodos.

La zona de lecho de secado se debe acondicionar adecuadamente al momento de realizar una descarga del digestor. La preparación se debe realizar tomando en cuenta lo siguiente:

- Remover el lodo antiguo en cuanto se alcance el nivel de deshidratación que permita su manejo. No debe tener más del 70 % de humedad.
- Nunca agregar lodo a un lecho que contenga lodo.
- Remover todos los restos vegetales y malas hierbas.
- Escarificar la superficie de arena con rastrillo o cualquier otra herramienta antes de una nueva descarga de lodo. Esto reduce la compactación de la arena, mejorando la filtración.

El lodo a ser descargado debe estar adecuadamente digerido, un lodo pobremente digerido requiere de un mayor tiempo para el secado, debido a que el proceso se vuelve demasiado lento. Si el lodo ha permanecido demasiado tiempo en la cámara de digestión tiene un proceso de secado lento, como se puede observar los dos extremos son perjudiciales.

Antes de proceder con la descarga se deben realizar muestras para determinar si las características del lodo son adecuadas; las características físicas determinan color, olor y textura del lodo. Los sólidos totales indican la retención de agua por parte del lodo y el grado de compactación. El volumen a remover, evalúa la cantidad de sólidos fijos y volátiles a removerse de la cámara de digestión. El porcentaje de la materia volátil y el valor de pH el cual debe tener un valor aproximado a 7, si el valor es inferior requieren más tiempo de digestión por lo que no está listo para el secado.

Al realizar la descarga, el espesor de la capa de lodo debe estar entre 0,25 a 0,30 mts. Siendo más adecuado la primera, el lodo debe permanecer

entre una semana y dos en secado, esto dependerá de las condiciones ambientales, un lodo bien digerido y un buen lecho de secado.

El mejor momento para retirar el lodo del lecho de secado es cuando el contenido de humedad del lodo se encuentre entre el 60 y 70 %, esto permite retirarlo por medio de palas o tridentes y la superficie presente una adecuada resquebrajadura, también se espera a que llegue a una humedad del 40 %, lo cual representa menos peso por lo que facilita su remoción. Esto dependerá de la necesidad de drenar un nuevo lote de lodo.

Para poder llevar a cabo la tarea de remoción es conveniente utilizar herramientas adecuadas, siendo las mejores la pala plana o el tridente, en el caso de la segunda se obtiene menor pérdida de la arena del lecho de secado, es recomendable reponer la arena periódicamente. Otra herramienta de gran utilidad es la carretilla, la cual se utilizará para transportar el lodo removido hacia el lugar su disposición final, el cual es un relleno sanitario o es almacenado para lograr una mayor deshidratación.

2.3.2. Mantenimiento

El mantenimiento de la planta de tratamiento permite alargar la vida útil del mismo, para ello se contemplan dos tipos, el mantenimiento preventivo, el cual permite hacer revisión de forma periódica de la estructura de la planta, haciendo limpiezas y mejoras si fueran necesarias, esto prolonga la vida del proyecto. El mantenimiento correctivo por otro lado se encarga de hacer correcciones y reparaciones en la infraestructura para que continúe su funcionamiento.

2.3.2.1. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo es necesario aplicarlo a las diferentes zonas del proyecto, el cual se basa principalmente en realizar limpieza constante de las diferentes partes de la planta.

La zona de sedimentación debe recibir un trabajo de limpieza de forma periódica, esto con el fin de eliminar todos los sólidos que normalmente se acumulan en las paredes de concreto del sedimentador y en las superficies metálicas. El material flotante tiende a acumularse rápidamente en la superficie del reactor y debe ser removido para no afectar la calidad de los efluentes, por lo que la actividad de limpieza debe realizarse diariamente.

La herramienta para la limpieza del sedimentador es muy sencilla, se compone de una paleta cuadrada de 0,45 x 0,45 mts, construida con malla de ¼" de abertura y acoplado a un listón de madera.

Los canales de alimentación de agua residual deben limpiarse concluidas las maniobras de cambio de alimentación, con el fin de impedir la proliferación de insectos y malos olores. Los sólidos depositados en el sedimentador deben ser removidos semanalmente, para ello se requiere de la utilización de raspadores de base jebe, las paredes inclinadas del sedimentador debe de realizarse con un limpiador de cadena. Las grasas y sólidos acumulados en las paredes a la altura superior a la línea del agua deben ser removidos con un raspador metálico.

Zona de ventilación de la cámara de digestión debe encontrarse libre de natas o sólidos flotantes, que hayan sido transportados por burbujas de gas. Para hundirlas nuevamente se aconseja la utilización de chorros de agua a

presión, en caso que no pudieran hundirse deben ser retiradas las natas o sólidos y enterrarlos de forma inmediata. Esto debe realizarse por lo menos una vez al mes.

La presencia de espuma es corregida con la aplicación de una capa de cal hidratada, la cual debe agregarse en la zona de ventilación.

La zona de digestión de lodos debe monitorearse de forma periódica con el fin de programar el drenaje de los lodos de forma oportuna cuando se llega al nivel adecuado. Para conocer este nivel se utiliza una sonda, la cual se hace descender cuidadosamente a través de la zona de ventilación hasta que se aprecie que la sonda se posa sobre la capa de lodos. Este proceso debe realizarse de forma mensual, dependiendo de la acumulación que se presente.

El mantenimiento para la zona del lecho de secado se centra en reemplazar la capa de arena y darle el espesor original. Esta capa de arena se va perdiendo cada vez que se remueve el lodo seco. La arena a utilizar tiene las mismas características que se especifican en la construcción.

2.3.2.2. Capacitación para mantenimiento preventivo

El personal que realice los trabajos de mantenimiento preventivo como correctivo debe cumplir con los siguientes requisitos.

- Educación primaria
- Antecedentes penales y policíacos

- Aptitud para el tipo de trabajo
- Coordinación motora
- Coordinación visual
- Sociable
- Habilidad numérica

Se debe proveer del adecuado equipo de protección personal al trabajador que realice las diferentes tareas en la planta. Lo indispensable es lo siguiente:

- Casco
- Guantes
- Botas de hule
- Gabacha
- Lentes
- Mascarilla

Debido a que el trabajo a realizar no requiere de una capacitación especializada, se indican las tareas básicas que debe realizar al momento de trabajar en la planta. Para realizar las tareas de mantenimiento el personal debe contar con las siguientes herramientas.

- Carretilla: con ella se realiza el traslado de los lodos o de materia removida de la cámara de ventilación.
- Pala y rastrillo: se utilizan en la zona de lodo de secado.
- Escalera: para ingresar a la cámara para hacer mantenimiento, si fuera necesario.
- Manguera: la cual se utiliza para la limpieza de los alrededores y para remover la espuma que se acumula en la zona de ventilación.
- Cuchara metálica o de *nylon*: se utiliza para remover basura o natas tanto en la zona del desarenador como en la zona de ventilación.
- Varilla de desatoro: esto remueve cualquier basura que este obstaculizando las rejillas del desarenador.

Para dar el mantenimiento a la planta se deben seguir los siguientes pasos:

- Paso 1: equipo de protección personal. Antes de realizar cualquier tipo de tarea el trabajador debe colocarle el equipo de protección personal, el cual debe ser entregado por el administrador del proyecto.
 - Guantes
 - Botas
 - Lentes

- Gabacha
- Mascarilla

Esto ayudará a proteger el cuerpo, los ojos y las vías respiratorias. Se debe hacer una inspección visual para verificar que el equipo este en buenas condiciones para su uso.

- Paso 2: cuadro de control. Se debe hacer una inspección visual de cada una de las zonas de la planta de tratamiento, se debe anotar la fecha y hora de la inspección, las zonas de la planta inspeccionadas y hacer las observaciones correspondientes de su funcionamiento. Si es necesario realizar algún tipo de tarea indicarlo en la columna correspondiente.

Figura 5. **Cuadro de control, inspección de la planta de tratamiento**

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ALDEA LLANO DE ÁNIMAS, AMATITLÁN

Fecha: _____

Supervisado por: _____

Nro.	Hora	Inspección (Indique la zona inspeccionada)	Observaciones	Tarea a realizar
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				

Fuente: elaboración propia.

Se utiliza un cuadro de control para establecer la frecuencia del mantenimiento, esto tiene presente qué tipo de mantenimiento debe realizarse de forma diaria, semanal o mensual.

Figura 6. Frecuencia de mantenimiento

DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO	FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO		
	DIARIO	SEMANAL	MENSUAL
CÁMARA DE ARENA			
Limpieza y retiro de sólidos	●		
Disposición de los residuos extraídos	●		
DESARENADOR			
Retiro de arena		●	
TANQUE IMHOFF			
Limpieza externa de las instalaciones del tanque			●
Labado de herramientas	●		
Higiene personal			
Revisiones de las instalaciones del enrejado			●
CÁMARA DE SEDIMENTACIÓN			
Retiro de grasas y material flotante		●	
Limpieza de ranuras del tanque		●	
Retiro de acumulación de lodos de las tuberías de entrada y salida de la cámara		●	
CÁMARA DE ESPUMA			
Limpieza o extracción de natas	●		
CÁMARA DE DIGESTIÓN			
Verificar si es necesaria la extracción de lodos hacia el lecho de secado			●
CAJA DE REUNIÓN			
Limpieza de la caja de reunión	●		
LECHO DE SECADO DE LODOS			
Extracción y lavado de arena dependiendo de la necesidad de realizarlo		●	
Limpieza interna (retiro de vegetación u otro elemento extraño)			●
Limpieza externa de las instalaciones (retiro de maleza)			●

Fuente: elaboración propia.

- Paso 3: trabajo en cada una de las zonas de la planta.
 - Cámara de rejillas:

- Inspeccionar que no hay una acumulación significativa de materiales en las rejas, las cuales obstruyen el paso del agua hacia el desarenador.
 - Utilizar un rastrillo para remover la basura acumulada en las rejas.
 - Colocar la basura en la carretilla para su deposición.
 - Verificar que la cámara de rejas haya quedado sin ninguna basura o material.
- Desarenador:
 - Dejar fuera de servicio el canal de desarenador en el cual se va a trabajar.
 - Utilizar la pala para la remoción del material sedimentado.
 - Colocar la materia en la carretilla para luego transportarlo para su deposición final.
 - Verificar que el desarenador quede libre de objetos extraños y material y quede listo para su utilización.
 - Cámara de sedimentos:

- Se utiliza un rastrillo o escoba para limpiar las paredes verticales de la planta, para evitar la acumulación de grasas y otros materiales.
 - El rastrillo o escoba deben tener una extensión, esto permite realizar la tarea sin poner en riesgo la integridad de la persona.
 - Buscar una posición adecuada para realizar la tarea de limpieza.
 - Finalizada la tarea se deben lavar las herramientas utilizadas, para evitar que se deterioren.
- Cámara de ventilación:
- Inspección del nivel de natas o espuma presente en el área.
 - Con base en la inspección realizada se realizan dos tareas. La primera, reducir el nivel de la espuma con chorros de agua, para ello se conecta la manguera a la toma de agua y posteriormente se rocía agua de forma uniforme hasta que la espuma baje su nivel. La segunda, es remover la espuma acumulada en la cámara de ventilación.
 - Para remover la espuma de la cámara de ventilación se utiliza la cuchara metálica, la cual es una especie de colador grande.
 - La espuma se coloca en la carretilla para su deposición final.

- Lecho de secado de lodos:
 - Para realizar cualquier tarea en el lecho de secado, debe utilizar el equipo de protección personal.
 - Con base en la inspección, el lecho de secado debe estar completamente limpio antes de realizar una descarga.
 - Verificar que la altura de no sea menor de 45 centímetros de la ranura del sedimentador, que es la altura máxima para realizar la descarga.
 - Abrir la válvula que conecta con el lecho de secado de forma gradual, para que la presión no dañe la estructura del lecho de secado.
 - Verificar que los lodos se distribuyan de forma uniforme en el lecho de secado.
 - Observar si la filtración se está llevando de forma adecuada.
 - La limpieza del lecho de secado se realiza en caso se observe que no hay una filtración adecuada. Utilizando la pala y el rastrillo, remover 2 cm aproximadamente de arena y dejar que cuele el lodo. Posteriormente debe extraerse la mitad de la capa de arena y sustituirla por una nueva. El material retirado lo debe lavar y secar por separado y almacenarlo para utilizarlo posteriormente.

- Realizar limpieza del lecho de secado, removiendo cualquier planta que crezca desde la raíz.
- Se debe realizar limpieza en los alrededores de la planta, cortando cualquier planta que crezca en las cercanías.

Concluidas todas las actividades en la planta de tratamiento, todas las herramientas utilizadas deben ser debidamente lavadas y secadas para que no se deterioren y no tengan contacto con moscas u otro insecto que puedan transportar contaminantes hacia las personas.

Concluida la limpieza de las herramientas, el trabajador debe bañarse con un jabón germicida, para evitar que contaminantes se le adhieran a la piel y pueda causarle enfermedades.

Adicional debe mantener un botiquín de primeros auxilios, el cual debe contener lo siguiente:

- Jabón neutro para higienizar las heridas.
- Alcohol en gel para desinfectar las manos.
- Gasas y vendas para limpiar heridas y retener hemorragias.
- Antisépticos (yodo, agua oxigenada) para limpiar las heridas.
- Tijeras
- Cinta adhesiva.

- Alcohol al 70 %.
- Incluir el número telefónico de emergencias y de personas del Cocode y asociación de vecinos.

2.3.2.3. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo se aplica en caso que alguna parte de la planta tenga un mal funcionamiento, y se requiera hacer reparaciones inmediatas, de lo contrario la planta no sigue con su proceso.

Las averías se presentan en diferentes partes de la planta, se analizan algunas y se indica la medida correctiva a seguir.

- Zona de sedimentación
 - Distribución de caudal no es uniforme. Esto se identifica por la generación de turbulencia en la zona de ingreso del agua residual.

Las causas probables son: condiciones hidráulicas inadecuadas en la estructura de ingreso, mala nivelación de la estructura de ingreso o los vertederos están mal nivelados.

La medida correctiva para este caso son: colocar vertederos pequeños y ajustarlos para permitir una distribución más uniforme del caudal. Colocar obstáculos como pantallas para ajustar la distribución del afluente. Ajustar el vertedero al nivel correspondiente.

- Alto contenido de sólidos en el sedimentador o en los efluentes. Las causas que lo generan son: acumulación de cantidades excesivas de espuma en la superficie del agua, o material adherido a las paredes del sedimentador, canales de conexión o vertederos de entrada y salida. Elevación de sólidos por las ranuras del sedimentador desde la cámara de digestión. Altos contenidos de sólidos en el agua residual.

Las medidas correctivas a aplicar son: ampliar la profundidad de la pantalla de salida por debajo del nivel del agua hasta alcanzar el resultado deseado. Remover de forma constante el material flotante. Drenar los lodos hasta llegar a una altura que impida el paso al sedimentador. Evitar acumulación excesiva de material flotante y espuma en la zona de ventilación, este exceso puede producir que los lodos pasen al sedimentador a través de la abertura del fondo.

- Zona de ventilación

- Acumulación excesiva de espuma: las causas que producen esta condición son: presencia de grandes cantidades de material flotante ligero, como pueden ser sólidos flotantes que forman natas y la presencia de grasas y aceites.

La medida correctiva para este caso consistirá en remover parte de la espuma, siempre que el gas y el lodo sea forzado a salir a través de las ranuras del fondo del sedimentador.

- Zona de digestión de lodos
 - Presencia de espuma: esta condición se caracteriza por la presencia de materia de baja densidad que asciende a la zona de ventilación, esto es causado por la alta digestión a causa de la elevación de la temperatura en el digestor, provocando que flote material sin digerir.

Esta condición se debe de igual manera a la fermentación ácida de los lodos, a la puesta en funcionamiento de la nueva planta con grandes cantidades de material sedimentable y sin presencia de inóculo, incremento de la temperatura en épocas de verano, después de la época de frío o la presencia de grandes cantidades de materia orgánica en las aguas residuales.

Las medidas correctivas para contrarrestar la presencia de espuma son: Iniciar la operación de la planta en épocas de calor; drenar la mayor cantidad de lodo posible antes de la época de frío; drenar de forma constante los lodos manteniendo un nivel en que la digestión sea correcta.

La espuma se corrige de la siguiente manera: utilizar chorros de agua para romper la capa de espuma que se produce en las ventilaciones, el agua a utilizar es del área de sedimentación, la espuma es rota de manera manual, lo cual permitirá que los gases escapen. Aplicar una capa de cal en forma de lechada en toda la zona de ventilación.

- El lodo no fluye a través de la tubería de drenaje: esto es causado porque el lodo es muy viscoso o la tubería está obstruida por arena, lodo compactado, sólidos voluminosos o trapos.

Las medidas correctivas para este caso son: con una varilla que se ingrese por el área de ventilación hasta el fondo del tanque y agitar el fondo hasta lograr que se licúe el lodo y circule libremente por el tubo. Insertar una manguera hasta el fondo de la tubería y soltar un chorro de agua a presión para su liberación. Revisar la válvula de drenaje. Utilizando una bomba de aire, remover el lodo acumulado en la entrada de la tubería de drenaje. En caso de que haya mucha acumulación de arena, es necesario desaguar el tanque por bombeo y removerla.

2.3.2.4. Capacitación para mantenimiento correctivo

Para el mantenimiento correctivo se considera lo tratado en el punto 2.3.2.2.

3. ESTUDIO ADMINISTRATIVO LEGAL

3.1. Marco legal

Todo proyecto en el cual se utilicen recursos del estado, donaciones o préstamos, requiere estar regido por leyes, reglamentos y normas. Estas permitirán cumplir con requisitos de calidad y que en realidad se apeguen a un fin, que es el de beneficiar a la comunidad y que el proyecto sea auditado en todas sus fases.

3.1.1. Orden constitucional

Entre los reglamentos y leyes que deben tomarse en cuenta para ejecutar un proyecto de beneficio social están, la Constitución Política de la República de Guatemala, la Ley de Contrataciones del Estado, Ley del Presupuesto General de Ingresos y Egresos del Estado.

3.1.1.1. Constitución Política de la República de Guatemala

La Constitución Política de Guatemala garantiza el bienestar de todos los guatemaltecos, para el estudio se toman en cuenta varios artículos que tienen relación directa con la salud:

3.1.1.2. Leyes ordinarias

Se enumeran los siguientes artículos de la Constitución Política de Guatemala que tienen relación directa con la salud:

“Artículo 95. La salud, bien público. La salud de los habitantes de la nación es un bien público. Todas las personas e instituciones están obligadas a velar por su conservación y restablecimiento.”

“Artículo 97. Medio ambiente y equilibrio ecológico. El estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga de la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación.”

“Artículo 98. Participación de las comunidades en programas de salud. Las comunidades tienen el derecho y el deber de participar activamente en la planificación, ejecución y evaluación de los programas de salud.

“Artículo 102. Derechos sociales mínimos de la legislación del trabajo. Inciso l). Los menores de catorce años no podrán ser ocupados en ninguna clase de trabajo, salvo las excepciones establecidas en la ley. Es prohibido ocupar a menores en trabajos incompatibles con su capacidad física o que ponga en peligro su formación moral.”

“Artículo 119. Obligaciones del Estado. Inciso c) Adoptar las medidas que sean necesarias para la conservación, desarrollo y aprovechamiento de los recurso naturales en forma eficiente. Inciso d) Velar por la elevación del nivel de vida de todos los habitantes del país procurando el bienestar de la familia.”

“Artículo 127. Régimen de aguas. Todas las aguas son bienes de dominio público, inalienables e imprescriptibles. Su aprovechamiento, uso y goce, se otorga en la forma establecida por la ley, de acuerdo con el interés social. Una ley específica regulará esta material.”

“Artículo 128. Aprovechamiento de aguas, lagos y ríos. El aprovechamiento de las aguas de los lagos y de los ríos, para fines agrícolas, agropecuarios, turísticos o de cualquier otra naturaleza, que contribuya al desarrollo de la economía nacional, está al servicio de la comunidad y no de persona particular alguna, pero los usuarios están obligados a reforestar las riberas y los causes correspondientes, así como a facilitar las vías de acceso.”

“Artículo 255. Recursos económicos del municipio. Las corporaciones municipales deberán procurar el fortalecimiento económico de sus respectivos municipios, a efecto de poder realizar las obras y prestar los servicios que les sean necesarios.”

“Artículo 257. Asignación para las municipalidades. El Organismo Ejecutivo incluirá anualmente en el Presupuesto General de Ingresos ordinarios del Estado, un diez por ciento del mismo para las

municipalidades del país. Este porcentaje deberá ser distribuido en la forma en que la ley determine y destinado por lo menos en un noventa por ciento para programas y proyectos de educación, salud preventiva, obras de infraestructura y servicios públicos que mejoren la calidad de vida de los habitantes. El diez por ciento restante podrá utilizarse para financiar gastos de funcionamiento.”

3.1.2. Orden municipal

El Congreso de la República de Guatemala a través del Decreto 12-2002, establece y reconoce el nivel de Gobierno Municipal, con el fin de descentralizar la administración pública y que los gobiernos municipales velen por el bien común de sus habitantes y el desarrollo integral de las personas.

3.1.2.1. Código Municipal

Los artículos que tiene relación directa con la salud son los siguientes.

“Artículo 67. Gestión de interés del municipio. El municipio, para la gestión de sus intereses y en el ámbito de sus competencias puede promover toda clase de actividades económicas, sociales, culturales, ambientales y prestar cuanto servicios contribuya a mejorar la calidad de vida, a satisfacer las necesidades y aspiraciones de la población del municipio.”

“Artículo 68. Competencias propias del municipio. Las competencias propias deberán cumplirse por el municipio, por dos o más municipios bajo convenio, o por mancomunidad de municipios, y son

las siguientes: a) Abastecimiento domiciliario de agua potable debidamente clorada; alcantarillado; recolección, tratamiento y disposición de desechos sólidos; limpieza y ornato. e) Autorización de las licencias de construcción de obras, públicas o privadas, en la circunscripción del municipio; l) Promoción y gestión ambiental de los recursos naturales del municipio.”

“Artículo 72. Servicios públicos municipales. El municipio debe regular y prestar los servicios públicos municipales de su circunscripción territorial y, por lo tanto, tiene competencia para establecerlos, mantenerlos, ampliarlos y mejorarlos, en los términos indicados en los artículos anteriores, garantizando un funcionamiento eficaz, seguro y continuo y, en su caso, la determinación y cobro de tasas y contribuciones equitativas y justas. Las tasas y contribuciones deberán ser fijadas atendiendo los costos de operación, mantenimiento y mejoramiento de la calidad y cobertura de servicios.”

“Artículo 95. Oficina Municipal de Planificación. El concejo municipal tendrá una oficina municipal de planificación, que coordinará y consolidará los diagnósticos, planes, programas y proyectos de desarrollo del municipio. La oficina municipal de planificación podrá contar con el apoyo sectorial de los ministerios y secretarías de Estado que integran el Organismo Ejecutivo.

La oficina municipal de planificación es responsable de producir la información precisa y de calidad requerida para la formulación y gestión de las políticas públicas municipales.”

“Artículo 96. Atribuciones del coordinador de la oficina municipal de planificación. b) Elaborar los perfiles, estudios de preinversión, y factibilidad de los proyectos para el desarrollo del municipio, a partir de las necesidades sentidas y priorizadas.”

“Artículo 130. Objetivo de las inversiones. Las inversiones se harán preferentemente en la creación, mantenimiento y mejora de los servicios públicos municipales y en la realización de obras sanitarias y de urbanización.”

“Artículo 142. Formulación y ejecución de planes. La municipalidad está obligada a formular y ejecutar planes de ordenamiento territorial y de desarrollo integral de su municipio en los términos establecidos por las leyes. Tales formas de desarrollo, además de cumplir con las leyes que las regulan, deberán comprender y garantizar como mínimo, y sin excepción alguna, el establecimiento, funcionamiento y administración de los servicios públicos siguientes, sin afectar los servicios que ya se prestan a otros habitantes del municipio.: b) Agua potable y sus correspondientes instalaciones, equipos y red de distribución; d) Alcantarillado y drenajes generales y conexiones domiciliarias.”

“Artículo 143. Planes y usos del suelo. En dichos planes se determinará, por otra parte, el uso del suelo dentro de la circunscripción territorial del municipio, de acuerdo con la vocación del mismo y de las tendencias de crecimiento de los centros poblados y desarrollo urbanístico.”

3.1.3. Orden comunitario

El Congreso de la República de Guatemala establece a través del Decreto 11-2002 la Ley del Consejos de Desarrollo Urbano y Rural, estos consejos deben organizar y administrar las políticas de desarrollo, promoviendo la participación y organización de la población en el desarrollo integral de sus comunidades y el país.

3.1.3.1. Ley de Consejo Comunitario de Desarrollo

Los consejos comunitarios de desarrollo deben cumplir con ciertas funciones, estas se establecen en La Ley de Consejos de Desarrollo, se mencionan los incisos más importantes relacionados con el proyecto.

“Artículo 14. Funciones de los Consejos Comunitarios de Desarrollo.
b) promover, facilitar y apoyar la organización y participación efectiva de la comunidad y sus organizaciones, en la priorización de necesidades, problemas y soluciones, para el desarrollo integral de la comunidad. e) Formular las políticas, planes, programas y proyectos de desarrollo de la comunidad, con base en la priorización de sus necesidades, problemas y soluciones, y proponerlos al Consejo Municipal de Desarrollo para su incorporación en las políticas, planes, programas y proyectos de desarrollo del municipio. Dar seguimiento a la ejecución de las políticas, planes, programas de desarrollo comunitarios priorizados por la comunidad, verificar su cumplimiento y, cuando sea oportuno, proponer las medidas correctivas al Consejo Municipal de Desarrollo o a las entidades correspondientes y exigir su cumplimiento, a menos que se demuestre que las medidas correctivas propuestas no son

técnicamente viables, g) Evaluar la ejecución, eficacia e impacto de los programas y proyectos comunitarios de desarrollo, y cuando sea oportuno, proponer al Consejo Municipal de Desarrollo las medidas correctivas para el logro de los objetivos y metas previstos en los mismos, h) Solicitar al Consejo Municipal de Desarrollo la gestión de recursos, con base en la priorización comunitaria de las necesidades, problemas y soluciones, i) Velar por el buen uso de los recursos técnicos, financieros y de toda índole, que obtenga por cuenta propia o que le asigne la Corporación Municipal, por recomendación del Consejo Municipal de Desarrollo, para la ejecución de los programas y proyectos de desarrollo de la comunidad, j) Informar a la comunidad sobre la ejecución de los recursos asignados a los programas y proyectos de desarrollo comunitarios, k) Promover la obtención de financiamiento para la ejecución de los programas y proyectos de desarrollo de la comunidad.”

3.2. Operaciones administrativa

El éxito de la ejecución del proyecto está basado en la buena planificación y el establecimiento de metas claras para su control y seguimiento.

3.2.1. Planificación

A través de la planificación se especifica la manera en que se ejecutará el proyecto, estableciendo las fechas para las fases de construcción y actividades para la fase de operación, estableciendo la organización que se encargará de la operación y mantenimiento.

3.2.1.1. Metas

Proveer de un servicio de alcantarillado y planta de tratamiento a la aldea Llano de Ánimas, con el fin de reducir la contaminación del suelo y subsuelo, creando conciencia de la importancia que representa el tratar las aguas residuales antes de verterlas a afluentes o al lago mismo, reduciendo la contaminación de los mismos.

3.2.1.2. Objetivos

Crear conciencia de los beneficios que genera la utilización del sistema de drenaje y planta de tratamiento, tanto para la salud de la población como para el medio ambiente en que viven.

Establecer las bases administrativas para el seguimiento de la construcción, el mantenimiento y buen funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.

3.2.1.3. Programación de actividades

Se establece un programa para la ejecución del proyecto, haciendo una estimación de los tiempos aproximados de la construcción del proyecto y puesta en funcionamiento.

El tiempo de inicio de construcción está condicionado por diversos factores, aprobación del proyecto, asignación de fondos, iniciativa de la población para colaborar en la ejecución del proyecto, condiciones climáticas, entre otras.

El proyecto tiene una planificación para iniciar el 01 de marzo del 2015 y se estima que el tiempo de construcción es de 3 meses o 14 semanas aproximadamente.

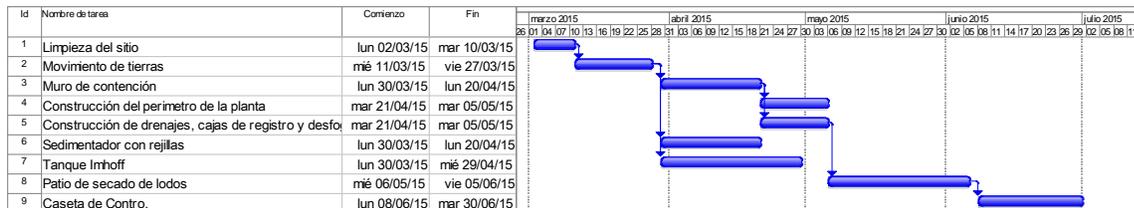
El cronograma a seguir se indica en la siguiente figura:

Figura 7. Cronograma de tareas para la construcción de la planta

Trabajo a realizar	Fecha de inicio	Fecha de finalización
Limpieza del sitio	01/03/2015	10/03/2015
Movimiento de tierras	11/03/2015	28/03/2015
Muro de contención	29/03/2015	20/04/2015
Construcción del perímetro de la planta	21/04/2015	05/05/2015
Construcción de drenajes, cajas de registro y desfogue	21/04/2015	05/05/2015
Sedimentador con rejillas	29/03/2015	20/04/2015
Tanque Imhoff	29/03/2015	29/04/2015
Patio de secado de lodos	06/05/2015	05/06/2015
Caseta de Control	06/06/2015	30/06/2015

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Diagrama de Gantt de la construcción



Fuente: elaboración propia.

3.2.1.4. Control y seguimiento

Para cumplir con el tiempo establecido de construcción, es necesario llevar un control de avance de las tareas que se realizan, cada tarea tiene tiempo en días establecidos para su ejecución.

Para un mejor control se necesita que las tareas sean detalladas, indicando cuales son los pasos que se deben seguir, esto lleva una ponderación de la ejecución. Esto hace posible tomar acciones en el momento, en caso de que el proyecto se esté atrasando o no se cuente con los insumos suficientes.

Estas tareas deben estar apegadas a las normas y políticas establecidas para la construcción de la planta de tratamiento.

3.2.2. Estructura organizacional

La estructura organizacional es sencilla, no requiere de una gran estructura para la administración de la planta de tratamiento.

3.2.2.1. Tipo de organización

La organización está definida por el Consejo Comunitario de Desarrollo (Cocode), el cual está integrado por una asamblea y un órgano de coordinación, el cual es reconocido jurídicamente por el municipio de Amatlán.

El Cocode se encarga de evaluar y promover políticas y proyectos que sean de beneficio para la comunidad. Para el proyecto de la construcción de la planta de tratamiento se obtendrán recursos ya sea por medio de préstamo a

ONG o a través de fondos municipales. El Cocode se encargaría de la operación y mantenimiento de la planta, asignado la o las personas que considere adecuadas para realizar la tarea.

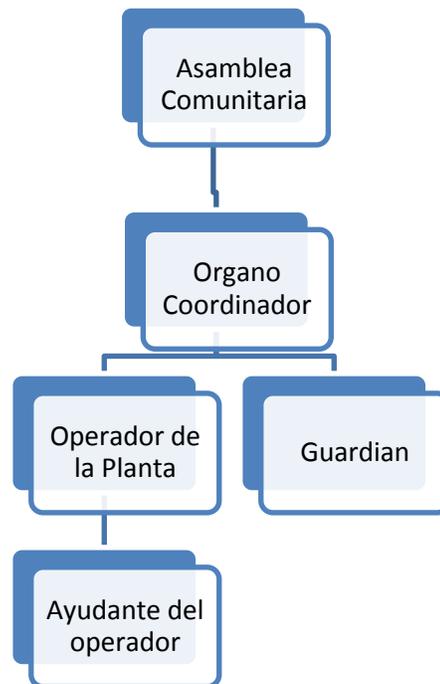
3.2.2.1.1. Estructura informal

La estructura se considera informal debido a que se conforma de forma espontánea y habrá cambios en su entorno con el paso del tiempo, dependiendo de las funciones que ocupen personas de la comunidad. Esta estructura fomenta la innovación y permite a personas resolver problemas que requieren colaboración.

3.2.2.2. Organigrama

El organigrama visualiza la estructura administrativa que se encargará de la administración del proyecto.

Figura 9. **Organigrama para la planta de tratamiento**



Fuente: elaboración propia.

3.2.2.3. **Requerimiento de personal**

El requerimiento de personal para el funcionamiento de la planta de tratamiento es mínimo, se necesita la contratación de un operador de la planta y un guardián que resguarde la integridad del lugar, este último es decisión de la comunidad si se contrata o no, ya que puede ser un vecino quien se ocupe de esa tarea.

El operador puede requerir un ayudante para realizar tareas con un cierto grado de complejidad. El ayudante es asignado por la comunidad o el guardia puede colaborar el con operador. En dado caso que se requiera de más

personal en aquellas tareas en las cuales no se den abasto el operador y el ayudante, se pueden asignar más colaboradores de la comunidad.

El personal que se haga cargo de la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento, debe contar con ciertos conocimientos, especialmente sobre trabajos en plantas de tratamiento y sistemas de alcantarillado.

La persona debe estar familiarizada y tener conocimiento de lo siguiente.

- Conocer la función de la planta de tratamiento.
- Tener conocimiento de las características de las aguas residuales que serán tratadas, entre ellas están el caudal, la carga orgánica y de sólidos que ingresan a la planta.
- Conocer procesos de mantenimiento.
- Realizar cambios en la planta de tratamiento, considerando el caudal y las condiciones de la carga.
- Llevar un registro completo de todas las tareas que se realizan en la planta, ya sea mantenimiento preventivo o correctivo y realizar los reportes correspondientes.
- Realizar las tareas de limpieza al inicio y al final de cada turno, de las áreas que así lo requieran.
- Disponer de los materiales extraídos de la planta de tratamiento de forma adecuada.

- Velar por que las condiciones de la planta se mantengan óptimas.

4. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

4.1. Marco legal

En la legislación guatemalteca se contempla la protección del medio ambiente a través de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Decreto No. 68-86 del Congreso de la República de Guatemala, los artículos que tiene relación con el proyecto son los siguientes.

“Artículo 1. El estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional, propician el desarrollo social económico, científico y tecnológico que prevenga la contaminación del medio ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Por lo tanto, la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, suelo, subsuelo y el agua, deberán realizarse racionalmente. Teniendo como objetivo de velar por el mantenimiento del equilibrio ecológico y la calidad del medio ambiente para mejorar la calidad de vida de los habitantes del país.”

“Artículo 8. Para todo proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad que por sus características puede producir deterioro a los recursos naturales renovables o no, al ambiente, o introducir modificaciones nocivas o notorias al paisaje y a los recursos culturales del patrimonio nacional, será necesario previamente a su desarrollo un estudio de evaluación del impacto ambiental, realizado por técnicos en la materia y aprobado por la comisión del Medio Ambiente. El funcionario que omitiere exigir el estudio de Impacto Ambiental de conformidad con este artículo, será responsable

personalmente del incumplimiento de deberes, así como el particular que omitiere cumplir con dicho estudio de Impacto Ambiental será sancionado con una multa de Q5 000,00 a Q100 000,00. En caso de cumplir con este requisito en el término de seis meses de haber sido multado, el negocio será clausurado en tanto no cumpla.”

“Artículo 15. El Gobierno velará por el mantenimiento de la cantidad del agua para el uso humano y otras actividades cuyo empleo sea indispensable, por lo que emitirá las disposiciones que sean necesarias y los reglamentos correspondientes para: a) Evaluar la calidad de las aguas y sus posibilidades de aprovechamiento, mediante análisis periódicos sobre sus características físicas, químicas y biológicas, b) Ejercer control para que el aprovechamiento y uso de las aguas no cause deterioro ambiental, c) Revisar permanentemente los sistemas de disposición de aguas servidas o contaminadas para que cumplan con las normas de higiene y saneamiento ambiental y fijar los requisitos, d) Determinar técnicamente los casos en que debe producirse o permitirse el vertimiento de residuos, basuras, desechos o desperdicios en una fuente receptora, de acuerdo a las normas de calidad del agua, e) Promover y fomentar la investigación y el análisis permanente de las aguas interiores, litorales y oceánicas, que constituyen la zona económica marítima de dominio exclusivo, f) Promover el uso integral y el manejo racional de cuencas hídricas, manantiales y fuentes de abastecimiento de aguas, g) Investigar y controlar cualquier causa o fuente de contaminación hídrica para asegurar la conservación de los ciclos biológicos y el normal desarrollo de las especies, h) Propiciar en el ámbito nacional e internacional las acciones necesarias para mantener la capacidad reguladora del

clima en función de cantidad y calidad del agua, i) Velar por la conservación de la flora, principalmente los bosques, para el mantenimiento y el equilibrio del sistema hídrico, promoviendo la inmediata reforestación de las cuencas lacustres, de ríos y manantiales, j) Prevenir, controlar y determinar los niveles de contaminación de los ríos, lagos y mares de Guatemala, k) Investigar, prevenir y controlar cualesquiera otras causas o fuentes de contaminación hídrica.”

4.1.1. Normas legales vigentes sobre el tratamiento y uso de aguas residuales

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, a través del Acuerdo Gubernativo 236-2006, acuerdan emitir el reglamento para las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos, los artículos que tienen relación directa con el proyecto son los siguientes.

“En el Artículo 1, establece lo siguiente: El objeto del presente Reglamento es establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reúso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos. Lo anterior para que, a través del mejoramiento de las características de dichas aguas, se logre establecer un proceso continuo que permita:

- a) Proteger los cuerpos receptores de agua de los impactos provenientes de la actividad humana.
- b) Recuperar los cuerpos receptores de agua en proceso de eutrofización.

- c) Promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada.

También el objeto del presente Reglamento es establecer los mecanismos de evaluación, control y seguimiento para que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales promuevan la conservación y mejoramiento del recurso hídrico.

El reglamento establece parámetros para aguas residuales y valores de descarga a cuerpos receptores en su Capítulo IV, los artículos siguientes indican los parámetros a seguir para la ejecución del proyecto.”

“Artículo 16. Parámetros de aguas residuales. Los parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales son los siguientes:

- a) Temperatura, b) Potencial de hidrógeno, c) Grasas y aceites, d) Material flotante, e) Sólidos suspendidos totales, f) Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a veinte grados Celsius, g) Demanda química de oxígeno, h) Nitrógeno total, i) Fósforo total, j) Arsénico, k) Cadmio, l) Cianuro total, m) Cobre, n) Cromo hexavalente, o) Mercurio, p) Níquel, q) Plomo, r) Zinc, s) Color y t) Coliformes fecales.”

“Artículo 21. Límites Máximos Permisibles para entes generadores nuevos. Los entes generadores nuevos deberán cumplir, desde el inicio de sus operaciones, con una meta de tres mil kilogramos por

día de demanda bioquímica de oxígeno, con un parámetro de calidad asociado igual o menor que doscientos miligramos por litro de demanda bioquímica de oxígeno. En el caso de que el parámetro de calidad asociado sea igual o menor a cien miligramos por litro en la demanda bioquímica de oxígeno, podrá realizar descargas mayores a tres mil kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno. Adicionalmente, deberán cumplir los límites máximos permisibles de los parámetros siguientes:

Tabla VI. **Límites máximos permisibles para entes generadores nuevos**

Parámetros	Dimensionales	Límites máximos permisibles
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	10
Material flotante	Ausencia/presencia	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	20
Fósforo total	Miligramos por litro	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrogeno	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	<1x10 ⁴
Arsénico	Miligramos por litro	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	1
Cobre	Miligramos por litro	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	0,1
Mercurio	Miligramos por litro	0,01
Níquel	Miligramos por litro	2
Plomo	Miligramos por litro	0,4
Zinc	Miligramos por litro	10
Color	Unidades platino cobalto	500

TCR = Temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

Fuente: Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Cuando de conformidad con lo establecido en el artículo 8 de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente requiera un Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental, el ente generador deberá cumplir con los valores de los límites máximos permisibles contenidos en el presente artículo.”

“Artículo 28. Límites Máximos Permisibles de descargas de aguas residuales al alcantarillado público. Para la descarga de las aguas residuales de tipo especial hacia un alcantarillado público, se deberá cumplir con los límites máximos permisibles de conformidad con las etapas de cumplimiento correspondientes establecidos en el siguiente cuadro:”

Tabla VII. **LMP de descargas de aguas residuales al alcantarillado público**

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de Mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	<40	<40	<40	<40	<40
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1 500	200	100	60	60
Material flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3 500	1 500	700	400	
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1 400	180	150	80	
Fósforo total	Miligramos por litro	700	75	40	20	
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	<1X10 ⁵	<1X10 ⁵	<1X10 ⁵	<1X10 ⁵	<1X10 ⁵
Arsénico	Miligramos por litro	1	0,5	0,1	0,1	0,1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0,4	0,1	0,1	0,1

Continuación de la tabla VII.

Cianuro total	Miligramos por litro	6	3	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0,5	0,1	0,1	0,1
Mercurio	Miligramos por litro	0,1	0,1	0,02	0,02	0,01
Níquel	Miligramos por litro	6	4	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1 500	1 300	1 000	750	500

Fuente: Acuerdo Gubernativo 236-2006.

“Artículo 30. Límites Máximos Permisibles para personas nuevas que descarguen aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público. A las personas nuevas que descarguen aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, deberán cumplir con los valores de los límites máximos permisibles contenidos en el siguiente cuadro:”

Tabla VIII. **LMP personas nuevas que vierten en alcantarillado público**

Parámetros	Dimensionales	Límites máximos permisibles
Temperatura	Grados Celsius	<40
Grasas y aceites	Miligramos por litro	60
Material flotante	Ausencia/presencia	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	200
Nitrógeno total	Miligramos por litro	200
Fósforo total	Miligramos por litro	40
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	<1x10 ⁴
Arsénico	Miligramos por litro	0,1
Cadmio	Miligramos por litro	0,1

Continuación de la tabla VIII.

Cianuro total	Miligramos por litro	1
Cobre	Miligramos por litro	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	0,1
Mercurio	Miligramos por litro	0,01
Níquel	Miligramos por litro	2
Plomo	Miligramos por litro	0,4
Zinc	Miligramos por litro	10
Color	Unidades platino cobalto	500

Fuente: Acuerdo Gubernativo 236-2006.

“Artículo 33. Criterios técnicos para el establecimiento de tarifas de servicio de tratamiento de aguas residuales. Las municipalidades coordinarán con el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales la determinación de los criterios técnicos que servirán de base para establecer las tarifas del servicio de tratamiento de aguas residuales, para lo cual se tomará en cuenta como mínimo lo siguiente:

- a) Los costos de operación, mantenimiento, mejoramiento de calidad y cobertura de servicio.
- b) Los límites máximos permisibles establecidos en el reglamento.
- c) Los estudios técnicos cuyos valores y caracterización sean conocidos por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y el que deba realizar la Municipalidad jurisdiccional.
- d) La tarifa será diferenciada atendiendo a las características de cada descarga.

Las Municipalidades establecerán las tarifas o tasas respectivas de conformidad con el propio Código Municipal.”

“Artículo 34. Autorización de reúso: El reglamento autoriza los siguientes tipos de reúso de aguas residuales, que cumplan con los límites máximos permisibles que a cada uso corresponda.

Tipo I: Reúso para riego agrícola en general: Uso de un afluente que debido a sus nutrientes que posee se puede utilizar en el riego extensivo e intensivo, a manera de ferti-riego, para recuperación y mejoramiento de suelos y como fertilizante en plantaciones de cultivos que, previamente a su consumo, requieren de un proceso industrial, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35. Se exceptúa de este reúso los cultivos considerados en el tipo II.

Tipo II: Reúso para cultivos comestibles: Con restricciones en el riego de áreas con cultivos comestibles que se consumen crudos o precocidos, como hortalizas y frutas. Para el caso de coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno, deberá cumplirse de conformidad con los límites máximos permisibles del artículo 35. Adicionalmente, para otros parámetros, deberán cumplir los límites máximos permisibles presentados en el cuadro del artículo 21 del reglamento, a excepción de sólidos en suspensión, nitrógeno total y fósforo total.

Tipo III: Reúso para acuicultura: Uso de un efluente para la piscicultura y camaronicultura, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35.

Tipo IV: Reúso para pastos y otros cultivos: Con restricciones en el riego de áreas de cultivos no alimenticios para el ser humano como pastos, forrajes, fibras, semillas y otros, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35.

Tipo V: Reúso recreativo: Con restricciones en el aprovechamiento para fines recreativos en estanques artificiales donde el ser humano solo puede tener contacto incidental, incluido el riego en áreas verdes, donde el público tenga contacto o no, de conformidad con los límites máximos permisibles en el artículo 35.

Cualquier otro reúso no contemplado en el presente artículo deberá ser autorizado previamente por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.”

“Artículo 37. Recirculación interna del agua. Todo ente generador podrá recircular las aguas residuales antes de que las mismas se viertan al cuerpo receptor. Dicha recirculación no se considerará como reúso ni estará sujeta a las disposiciones del reglamento.”

“Artículo 38. Todos los lodos producidos como consecuencia del tratamiento de aguas residuales que representen un riesgo para el ambiente y la salud y la seguridad humana deben cumplir los límites máximos permisibles para su disposición final.”

“Artículo 39. Los lodos que se regulan en el reglamento son aquéllos generados por el tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario o especial.”

“Artículo 40. Tecnología y sistemas para el tratamiento de lodos. Se permite el tratamiento de los lodos por medio de la tecnología o los sistemas que el ente generador considere más adecuado a sus condiciones particulares, incluyendo la incineración a temperaturas mayores de mil quinientos grados Celsius.”

“Artículo 41. Disposición final. Se permite efectuar la disposición final de lodos, por cualquiera de las siguientes formas:

- a) Aplicación al suelo: acondicionador, abono o compost.
- b) Disposición en rellenos sanitarios
- c) Confinamiento o asilamiento
- d) Combinación de las antes mencionadas”

“Artículo 42. Parámetros y límites máximos permisibles para lodos. Para poder efectuar la disposición final de lodos de acuerdo a las formas descritas en el artículo 41, los valores de sus propiedades fisicoquímicas no deben exceder los límites máximos permisibles descritos en el siguiente cuadro:

Tabla IX. **Parámetros y límites máximos permisibles para lodos**

Disposición final	Dimensionales	Aplicación al suelo	Distribución en rellenos sanitarios	Confinamiento o aislamiento
Arsénico	Miligramo por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	50	100	>100
Cadmio	Miligramo por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	50	100	>100
Cromo	Miligramo por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	1 500	3 000	>3 000
Mercurio	Miligramo por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	25	50	>50
Plomo	Miligramo por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	500	100	>1 000

Fuente: Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Los expresados en el cuadro anterior son los límites máximos permisibles para suelos con potencial de hidrógeno menor que siete unidades. En los suelos que posean potencial de hidrógeno mayor o igual que siete unidades se podrán disponer lodos hasta un cincuenta por ciento más de los valores presentados como límites máximos permisibles.”

“Artículo 43. Aplicación al suelo. Los lodos que presenten metales pesados y que se ajusten a los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 42, podrán disponerse como acondicionador del suelo, en cuyo caso se permitirá disponer hasta doscientos mil kilogramos por hectárea por año. En caso de que la aplicación sea como abono se permitirá disponer hasta cien mil kilogramos por hectárea por año.”

“Artículo 44. Disposición hacia rellenos sanitarios. Se permitirá la disposición en un relleno sanitario de los lodos que no sean bioinfeccioso, que no requieran confinamiento y que cumplan con los límites máximos permisibles del artículo 42.

Los rellenos sanitarios deberán contar con autorización del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y con aval del Ministerio de Salud y Asistencia Social.”

“Artículo 45. Confinamiento o aislamiento. Los lodos que en su estructura posean compuestos que requieran confinamiento o aislamiento para evitar el impacto adverso del manto freático, las fuentes de suministro de agua superficiales y subterráneas, el suelo, subsuelo y el aire, deben disponerse en recintos que posean autorización del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y el aval de los Ministerios de Salud Pública y Asistencia Social y de Energía y Minas.”

“Artículo 46. Comercialización. La comercialización de los lodos producidos es libre, siempre que los mismos se caractericen y se cumplan con los tratados y convenios internacionales que rijan en la materia ratificados por Guatemala y con lo siguiente:

- a) No debe permitirse el contacto humano directo con los lodos.
- b) Los lodos deben cumplir las especificaciones descritas en el artículo 42.
- c) El transporte de lodos debe realizarse en recipientes y vehículos acondicionados para evitar fugas y derrames.

- d) Los recintos para su almacenamiento transitorio deben ser autorizados para el efecto por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- e) Las empresas que presten los servicios de extracción, manejo o disposición final deben contar con la autorización del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, y si es aplicable del Ministerio de Energía y Minas.”

“Artículo 47. Contratación de servicios. Las empresas que presten los servicios de extracción, manejo o disposición final de lodos deberán cumplir con lo dispuesto en los artículos 41, 42, 43, 44, 45, y 46 del reglamento. En el caso de la contratación de cualquiera de los servicios establecidos en este artículo, el ente generador queda exento de responsabilidad.”

“Artículo 48. Vigilancia de cumplimiento. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales coordinará a través de sus dependencias la realización, a su costa, de muestreos aleatorios de los lotes de lodo que sean dispuestos, a efecto de verificar el cumplimiento de los parámetros del artículo 42 del reglamento, cuando sea aplicable.

Prohibiciones y sanciones.”

“Artículo 55. Prohibición de disposición de aguas residuales. Se prohíbe terminantemente la disposición de aguas residuales de tipo ordinario a flor de tierra, en canales abiertos y en alcantarillado pluvial.”

“Artículo 56. Prohibición de descarga directa. Se prohíbe descargar directamente aguas residuales no tratadas al manto freático.”

“Artículo 57. Prohibición de diluir. Se prohíbe el uso de cualquier tipo de aguas ajenas al ente generador, con el propósito de diluir las aguas residuales. Ninguna meta contemplada en el reglamento se puede alcanzar diluyendo.”

“Artículo 58. Prohibición de reúsos. Se prohíbe el reuso de aguas residuales en los siguientes casos:

- a) En las zonas núcleo de las áreas protegidas siguientes: parque nacional, reserva biológica, biotopo protegido, monumento natural, área recreativa natural, manantial y refugio de vida silvestre.
- b) En las zonas núcleo de los sitios Ramsar, declarados en el marco de la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas.
- c) En otras áreas donde se ponga en riesgo la biodiversidad y la salud y seguridad humana.”

“Artículo 59. Prohibición de disposición de lodos. Se prohíbe terminantemente efectuar la disposición final de lodos en alcantarillados o cuerpos de agua superficiales o subterráneos. Además se prohíbe la disposición de lodos como abono para cultivos comestibles que se pueden consumir crudos o pre cocidos,

hortalizas y frutas, sin haber efectuado su estabilización y desinfección respectiva ni haber determinado la ausencia de metales pesados y que no excedan las dos mil unidades formadoras de colonia por kilogramo de coliformes fecales.”

4.2. Impacto ambiental

Es el efecto que produce cualquier actividad humana o fenómeno natural sobre un área determinada, afecta de forma positiva o negativa el entorno de la flora, la fauna y los ecosistemas.

4.2.1. Emisiones

“Son todos los fluidos gaseoso, puros o con sustancias en suspensión, así como toda forma de energía radioactiva, electromagnética o sonora, que emanen como residuos o productos de la actividad humana o natural”².

Las emisiones producidas por la planta de tratamiento son líquidas, sólidas y gaseosas.

4.2.1.1. Líquidos

Las emisiones líquidas están compuestas por agua, materiales orgánicos, nutrientes y minerales. Los líquidos ya tratados pueden reutilizarse para agricultura o tratamiento de tierras degradadas.

² Wikipedia: *Emisiones*. <https://es.wikipedia.org/wiki/Emisiones>. [consulta: 08 de abril de 2014].

4.2.1.2. Barro

El barro se extrae de la planta de tratamiento, su utilización va a depender de la calidad del lodo, su uso como fertilizante puede ser de suma utilidad en áreas como cultivos, aplicarlos en parques, viveros botánicos o jardines. Para ser utilizado debe pasar por un proceso de deshidratación.

4.2.1.3. Arena

La arena que se acumula en el desarenador, no es de mucha utilidad ya que no contiene elementos que sean reutilizados, esta únicamente es removida y colocada en un terreno.

4.2.1.4. Sólidos

Los sólidos suspendidos, son partículas que no se disuelven en el agua y son lo suficientemente livianas como para precipitarse y sedimentarse, estas partículas están compuestas por materia orgánica e inorgánica.

4.2.1.5. Aerosoles

Los aerosoles o bioaerosoles, se producen en medios líquidos o medios de crecimiento sólido, por la descomposición de materia orgánica y la interacción con microorganismos. El tamaño de la partícula de estos aerosoles es muy importante desde el punto de vista de salud, ya que dependiendo de su tamaño afectan el sistema respiratorio.

4.2.1.6. Gases

Los gases se producen por la descomposición de los lodos obtenidos del tratamiento de aguas residuales y otros materiales orgánicos en ausencia de oxígeno. Estos gases son de mucha utilidad, ya que son comercializados como biogás y son fuentes de energía alternativa a los combustibles fósiles.

4.2.1.7. Sonoras

Las emisiones sonoras no van a estar presentes durante el proceso de tratamiento de aguas residuales, ya que el proceso es muy lento y no requiere de ningún tipo de maquinaria.

4.2.2. Impactos positivos existentes en el ambiente y la salud

La implementación de la nueva planta de tratamiento de aguas residuales supone un mejoramiento en la calidad de vida y salud de los habitantes de la aldea.

4.2.2.1. Mejoramiento de la calidad bacteriológica del agua

Se reduce la cantidad de descargas de aguas contaminadas al suelo, reduciendo el riesgo de contaminación de los mantos freáticos y de los ríos.

4.2.2.2. Reutilización de las aguas residuales tratadas

La utilización de las aguas tratadas para el cultivo, para el riego de áreas verdes y otro tipo de necesidades, ayuda en el ahorro del agua en tiempos de sequía.

4.2.2.3. Disminución de riesgos de salubridad

Se mejora la salud de las personas al reducirse las descargas de aguas al suelo, evitándose de esta manera focos de enfermedades.

4.2.2.4. Cumplimiento de leyes vigentes y normas ambientales

La construcción de la planta de tratamiento contemplará las leyes ambientales para que su implementación cumpla con todos los requisitos y sea un ejemplo de desarrollo sostenible para otras comunidades.

4.2.2.5. Mejora de la calidad del suelo

La calidad del suelo se ve mejorada al utilizar las aguas y lodos tratados como fertilizantes, proveyendo de los nutrientes necesarios para utilizar las tierras para cultivos o para mejorar el ornato del lugar.

4.2.2.6. Mejoramiento de la calidad del aire

Con la disminución de descargas de aguas residuales al suelo, se reducen las emisiones de malos olores al ambiente, los cuales en época de poca lluvia suelen ser muy fuertes y molestos para las personas.

4.2.2.7. Aumento de fuentes de trabajo

Con el desarrollo del proyecto, se generarán empleos de forma directa e indirecta, desde la concepción del proyecto, hasta su finalización, dado que se requieren obreros para la construcción del sistema de drenaje como para la planta de tratamiento y posteriormente para el mantenimiento de la misma.

4.2.2.8. Cambios en la calidad de vida

La mejora en la calidad de vida de las personas se reflejará conforme se vaya utilizando la nueva planta de tratamiento, disminuyendo las descargas de aguas negras a la tierra, reduciéndose poco a poco los malos olores y los focos de enfermedades.

Los pobladores percibirán mejora en la calidad del aire y de la tierra, los gastos por enfermedades se reducirán, los niños podrán jugar en las calles sin temor a contaminarse con aguas sucias, los terrenos ganarán plusvalía.

4.2.3. Impactos negativos en el ambiente y la comunidad

Todo proyecto tiene efectos negativos en el área en la que se implementa, dado que se ve afectado el ambiente, flora y fauna del lugar. Estos impactos deben ser aceptados por la comunidad para poder ejecutarse, los impactos

negativos deben ser menores a los beneficios que se obtendrán para tomar una decisión.

4.2.3.1. Pérdida de hábitat y diversidad de fauna

Por el tipo de actividad a realizar, en la cual se requiere de determinada área para la construcción de la planta de tratamiento y para la descarga de las aguas tratadas, el hábitat y la fauna se pueden ver afectados, alterando el área en donde se alimenta, el lugar en el cual se reproducen y esto generar que migren hacia otro lugar cercano.

4.2.3.2. Concentraciones significativas de sales

En el proceso de tratamiento de las aguas residuales puede haber acumulación de sales, las cuales no son vertidas al suelo, debido a que pueden deteriorar la calidad de la tierra.

4.2.3.3. Emisión de olores

En todo proceso de tratamiento de aguas residuales se producen malos olores, producto del proceso de descomposición de la materia orgánica en reacción con los microorganismos, y en mayor medida cuando hay altas concentraciones de sulfatos y sulfuros en un medio anaerobio.

4.2.3.4. Cambios en la calidad y fragilidad del paisaje

El entorno se ve afectado por la construcción de la planta, el movimiento de tierras altera el terreno en una forma considerable, debido a los árboles y

vegetación que deben de ser removidos, y lo cual abarca un área mayor a la que finalmente ocupará la planta, concluidos los trabajos la vegetación crecerá alrededor de la planta, haciendo que el impacto sea menor al inicial.

4.2.3.5. Contaminación por descargas de residuos sólidos o por descargas accidentales

Esto puede presentarse en caso de que la descarga sobrepase la capacidad de la planta de tratamiento, vertiendo aguas no tratadas a la tierra, produciendo malos olores y contaminación, poniendo en riesgo la salud de la población cercana a la planta de tratamiento.

4.2.3.6. Generación de residuos

Estos residuos están asociados al proceso de construcción de la planta de tratamiento y del sistema de drenaje, la presencia de polvo en el lugar es muy común en este tipo de actividades, el cual afecta a las personas y al personal que está realizando los trabajos.

4.2.3.7. Alteración del nivel sonoro

El ambiente sonoro del lugar se ve afectado por la maquinaria a utilizar para la construcción, esto puede afectar la fauna de lugar y a los habitantes que estén cerca. Los niveles que se generan en algún momento causan daños auditivos a los operadores de las máquinas y trabajadores.

4.2.4. Medidas para la mitigación de los impactos negativos

Las medidas de mitigación reducen los impactos provocados por la implementación de la planta de tratamiento. Para ello se vale de la aplicación de políticas y acciones que minimicen los efectos producidos.

4.2.4.1. Fauna

Es necesario identificar qué tipo de fauna se ubica en el área a trabajar y así determinar el método a utilizar para su reubicación, establecer medidas para que ellos no ingresen al área en el proceso de construcción para no ser dañados. Se prohíbe la caza o captura de la fauna que estén en el lugar.

4.2.4.2. Suelo

Se tomarán medidas para proteger el área en la cual se instalará la planta de tratamiento para protegerla de la erosión. En el lugar en el cual se hizo tala de árboles y remoción de flora, se deberán reforestar con árboles y arbustos que sean de esa área, evitar introducir nuevas especies de árboles que afecten el ecosistema.

Verificar el buen funcionamiento del sistema de drenajes y planta de tratamiento, para evitar descargas accidentales en el suelo.

4.2.4.3. Aire

El control de las emisiones de olores de la planta de tratamiento de aguas residuales, es uno de los puntos por los que la población rechaza este proyecto.

Para ello se deberá hacer un monitoreo constante de las emisiones y establecer que método utilizar para la reducción de las mismas.

Es necesario tomar medidas como la aplicación de compuestos químicos para reducir las emisiones o ver la manera de aislar el área de emisiones.

Evitar la quema de los residuos provocados por la planta de tratamiento, ya que estos contaminarán el aire y sea dañino para la población.

4.2.4.4. Agua

Realizar un monitoreo constante de la calidad de agua que sale de la planta de tratamiento, midiendo la cantidad de nutrientes que contiene, bacteriología, sales y DBO.

De igual manera monitorear de forma mensual la calidad de agua de los pozos de agua potable para verificar que no haya filtraciones en el suelo y estas puedan contaminar el agua.

Hacer inspecciones para verificar que la población esté utilizando el sistema de drenaje correctamente para tratar las aguas residuales.

4.2.4.5. Ornato

Al momento de concluir la construcción del sistema de drenaje, se deberá dejar reparada la calzada con los materiales de acuerdo a como estaba originalmente, esto evitará que se erosione por efecto de la lluvia y el viento y pueda ocasionar daños a vehículos y a personas.

El entorno de la planta de tratamiento debe verse intacto, para ello se debe recuperar la flora, de preferencia, utilizar suelo orgánico que facilite el crecimiento de la vegetación y la plantación de árboles del lugar.

Evitar la deposición de material de residuo proveniente de la construcción de la planta de tratamiento en áreas aledañas, el ejecutante del proyecto debe velar porque todos los materiales sean tratados de acuerdo a normas establecidas en el manejo de desechos sólidos

4.2.4.6. Humano

El factor humano en toda actividad es importante, para ello se debe preservar su seguridad y su salud. En el proceso de construcción y puesta en funcionamiento de la planta, los trabajadores están expuestos a condiciones ambientales que pueden ser dañinas para la salud, para ello se requiere la utilización equipo de protección personal para evitar accidentes y enfermedades.

Se recomienda la utilización de ropa y que proteja la integridad del cuerpo que está expuesto al sol, al polvo y humedad, la utilización de máscara es esencial para no exponer las vías respiratorias a polvo y microorganismo presentes en el ambiente.

El equipo de protección personal como cascos, guantes, lentes, botas con punta de acero, tapones para los oídos y cinturón para la protección de la espalda son fundamentales para evitar lesiones. La utilización de herramientas con sus respectivas guardas evitará accidentes.

Tener rotulados todos los materiales líquidos a utilizar, utilizar equipo de resguardo como retenedores para paredes al momento de construir el sistema de drenaje y de la planta de tratamiento.

Llevar un control de las actividades a realizar y que personal las va a estar realizando, hay que tener equipo de primeros auxilios a la mano, así como los números de emergencia en caso de presentarse alguna.

Al menos una persona del personal que estará laborando deberá estar capacitada en primeros auxilios y conocimiento en manejo de extintores.

4.2.4.7. Ruido

Por la naturaleza de la planta de tratamiento, los ruidos serán poco significativos. En el proceso de construcción es cuando se presenta el ruido, producto de la actividad de los vehículos, equipo para cortar el pavimento o taladros.

Para ello se requiere que los equipos estén bien afinados, para evitar el ruido producto del mal funcionamiento de los equipos, así como de proveer de equipo de protección a los trabajadores para evitar daños en los oídos, así como informar a la población que se estarán realizando trabajos con altos grados de ruido y que tomen las precauciones necesarias para evitar cualquier daño.

4.2.4.8. Transporte y acopio de los materiales

Todos los materiales para la construcción y los residuos que queden de los mismos deben ser manejados de forma adecuada, el lugar en el cual se

ubicarán debe establecerse previamente y no debe afectar el ambiente, al momento de transportarlos deben ser protegidos para que no se dispersen en el ambiente, como lo es en el caso de la arena y el cemento.

Los materiales de carácter líquido deben protegerse para evitar que se derramen en el suelo y puedan contaminar el medio ambiente.

5. ESTUDIO ECONÓMICO

5.1. Presupuesto de inversiones

El presupuesto de inversión está dividido en, inversión fija e inversión diferida.

5.1.1. Inversión fija

La inversión fija está compuesta por todo lo tangible del proyecto, como lo son terreno, la construcción, herramientas y materiales.

5.1.1.1. Terrenos

El terreno a utilizar pertenece a la comunidad y tiene un valor de Q 140 00,00 con dimensiones de 20 x 21 mts.

5.1.1.2. Construcción y edificación

Para la construcción y edificación de la planta de tratamiento de aguas residuales, los insumos que más recursos requieren son la mano de obra y los materiales de construcción, el primero está ligado al factor tiempo, esto debido a que si el proyecto se extiende los costos por mano de obra se elevarán.

5.1.1.2.1. Materiales, herramientas y equipo

Los materiales a utilizar representan un costo para la construcción de la planta, los cuales se detallan a continuación.

Tabla X. Presupuesto de materiales para el muro de contención

Materiales	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (Q)	Total (Q)
Arena de río	80	m ³	88,00	7 040,00
Cemento tipo portland	900	saco	72,00	64 800,00
Clavo 3"	75	lb	5,25	393,75
Madera	3 400	pie	5,00	17 000,00
Piedra bola	170	m ³	150,00	25 500,00
Piedrín 3/4"	80	m ³	180,00	14 400,00
			TOTAL	129 133,75

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. Presupuesto de materiales para la circulación perimetral

Materiales	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (Q)	Total (Q)
Arena de río	20	m ³	88,00	1 760,00
Alambre de amarre	200	lb	4,85	970,00
Block 0,15x0,20x0,40 m	1 600	Unidad	3,23	5 168,00
Block U 0,15x0,20x0,40 m	225	Unidad	3,65	821,25
Cemento tipo portland	200	saco	72,00	14 400,00
Clavo 3"	20	lb	5,25	105,00
Hierro Ø 1/4"	8	qq	225,40	1 803,20
Hierro Ø 3/8"	10	qq	217,20	2 172,00
Madera	400	Pie	0,90	360,00

Continuación de la tabla XI.

Malla galvanizada	5	Rollo	300,00	1 500,00
Piedrín 3/4"	15	m ³	135,00	2 025,00
Portón malla	1	Unidad	1 200,00	1 200,00
Tubo galvanizado	12	Unidad	345,00	4 140,00
			TOTAL	36 424,45

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Presupuesto de materiales para drenaje, cajas y desfogues**

Materiales	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (Q)	Total (Q)
Arena de río	6	m ³	88,00	528,00
Alambre de amarre	35	lb	4,85	169,75
Block 0,15x0,20x0,40 m	550	Unidad	3,23	1 776,50
Cemento tipo portland	75	saco	72,00	5 400,00
Clavo de 3"	10	lb	5,25	52,50
Codo de 6" a 90°	3	Unidad	95,00	285,00
Hierro Ø 3/8"	2	qq	217,20	434,40
Madera	275	Pie	0,90	247,50
Piedrín 3/4"	4	m ³	135,00	540,00
Tubería 6"	8	Unidad	274,00	2 192,00
Tubería 8"	10	Unidad	470,00	4 700,00
Tee de 6"	1	Unidad	96,00	96,00
Válvula de compuerta HF	3	Unidad	3 650,00	10 950,00
Yee de 6"	1	Unidad	142,00	142,00
			TOTAL	27 513,65

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. Presupuesto de materiales para sedimentador de rejás

Materiales	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (Q)	Total (Q)
Arena de río	9	m ³	88,00	792,00
Alambre de amarre	25	lb	4,85	121,25
Cemento tipo portland	100	saco	72,00	7 200,00
Clavo 3"	50	lb	5,25	262,50
Compuerta metálica	2	Unidad	750,00	1 500,00
Electro malla	7	Unidad	248,56	1 739,92
Madera	1 760	pie	0,90	1 584,00
Piedrín 3/4"	7	m ³	135,00	945,00
Vertedero metálico	2	Unidad	600,00	1 200,00
			TOTAL	15 344,67

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. Presupuesto de materiales para el tanque sedimentador
IMHOFF

Materiales	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (Q)	Total (Q)
Arena de río	30	m ³	88,00	2 640,00
Alambre de amarre	55	lb	4,85	266,75
Cemento tipo portland	350	saco	72,00	25 200,00
Clavo 3"	30	lb	5,25	157,50
Electro malla	15	Unidad	248,56	3 728,40
Hierro Ø 1/4"	2	qq	225,40	450,80
Hierro Ø 3/8"	3	qq	217,20	651,60
Hierro Ø 1/2"	2	qq	292,04	584,08
Madera	3 820	Pie	0,90	3 438,00
Piedrín 3/4"	30	m ³	135,00	4 050,00
			TOTAL	41 167,13

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. Presupuesto de materiales para patio secado de lodos

Materiales	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (Q)	Total (Q)
Arena de río	15	m ³	88,00	1 320,00
Alambre de amarre	75	lb	4,85	363,75
Block 0,15x0,20x0,40 m	600	Unidad	3,23	1 938,00
Cemento tipo portland	100	saco	72,00	7 200,00
Clavo 3"	25	lb	5,25	131,25
Electro malla	5	Unidad	248,56	1 242,80
Hierro Ø 1/4"	2	qq	225,40	450,80
Hierro Ø 3/8"	4	qq	217,20	868,80
Ladrillo tayuyo	1 550	Unidad	1,25	1 937,50
Madera	600	Pie	0,90	540,00
Piedra bola	10	m ³	130,00	1 300,00
Piedrín 3/4"	10	m ³	135,00	1 350,00
Piedrín 1"	10	m ³	135,00	1 350,00
			TOTAL	19 992,90

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. Presupuesto de materiales para la caseta

Materiales	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (Q)	Total (Q)
Arena de río	8	m ³	88,00	704,00
Alambre de amarre	40	lb	4,85	194,00
Balcón	1	Unidad	500,00	500,00
Block 0,15x0,20x0,40 m	420	Unidad	3,23	1 356,60
Cemento tipo portland	100	saco	72,00	7 200,00
Clavo 3"	15	lb	5,25	78,75
Costanera 3" x 2"	5	qq	104,00	520,00
Hierro Ø 1/4"	1	qq	225,40	225,40
Hierro Ø 3/8"	3	qq	217,20	651,60
Lámina galvanizada	10	Unidad	94,00	940,00
Madera	350	Pie	0,90	315,00
Piedrín 3/4"	8	m ³	135,00	1 080,00

Continuación de la tabla XVI.

Puerta metálica	1	Unidad	825,00	825,00
Tornillos para lámina	75	Unidad	0,40	30,00
Ventana: Aluminio y vidrio	1	Unidad	600,00	600,00
			TOTAL	15 220,35

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Resumen del presupuesto de materiales**

ACTIVIDAD	Costo (Q)
MURO DE CONTENCIÓN	129 133,75
CIRCULACIÓN PERIMETRAL	36 424,45
DRENAJE, CAJAS Y DESFOGUE	27 513,65
SEDIMENTADOR DE REJAS	15 344,67
TANQUE SEDIMENTADOR PRIMARIO IMHOFF	41 167,13
PATIO DE SECADO DE LODOS	19 992,90
CASETA DE CONTROL	15 220,35
TOTAL DE MATERIALES	284 796,90

Fuente: elaboración propia.

5.1.1.2.2. Mano de obra

La mano de obra que se utiliza para el proyecto está calculada por actividad a realizar.

- Trabajo preliminar del sitio: esta tarea consta en hacer la limpieza inicial del sitio, remover toda la maleza y arbustos para dejarlo óptimo para la construcción, posteriormente se hace el trazado de la planta de tratamiento sobre el terreno.

Tabla XVIII. **Trabajo preliminar del sitio**

Actividad	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (Q)	Subtotal (Q)
Limpieza del lugar	400	m ²	8,00	3 200,00
Trazado	400	m ²	7,00	2 800,00
			TOTAL (Q)	6 000,00

Fuente: elaboración propia.

- **Movimiento de tierras:** en esta actividad se considera la mano de obra para realizar los trabajos necesarios en el terreno para dejarlo nivelado, estas tareas la comprenden la excavación, la nivelación y compactación y finalmente la limpieza del terreno.

Tabla XIX. **Movimiento de tierras**

Actividad	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (Q)	Subtotal (Q)
Excavación	735	m ²	32,50	23 887,50
Nivelación y compactación	400	m ²	39,00	15 600,00
Movimiento de tierras	735	m ²	28,00	20 580,00
Limpieza del terreno	400	m ²	15,00	6 000,00
			TOTAL (Q)	66 067,50

Fuente: elaboración propia.

- **Construcción de la planta:** se considera la mano de obra que se requiere para la construcción de todas las partes que componen la planta de tratamiento.

Tabla XX. **Construcción de la planta**

Actividad	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (Q)	Subtotal (Q)
Muro de contención	1	Global	63 725,00	63 725,00
Circulación perimetral	1	Global	22 750,00	22 750,00
Drenaje interno, cajas y desfogue	1	Global	21 400,00	21 400,00
Sedimentador con rejillas	1	Global	13 500,00	13 500,00
Sedimentador primario (tanque Imhoff)	1	Global	32 450,00	32 450,00
Patio de secado de lodos	1	Global	13 500,00	13 500,00
Caseta de control	1	Global	16 000,00	16 000,00
			TOTAL (Q)	183 325,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Total de mano de obra**

ACTIVIDAD	Costo (Q)
TRABAJO PRELIMAR EN SITIO	6 000,00
MOVIMIENTO DE TIERRAS	66 067,50
CONSTRUCCIÓN	183 325,00
TOTAL MANO DE OBRA	255 392,50

Fuente: elaboración propia.

5.1.1.3. **Maquinaria y equipo**

Para la construcción y funcionamiento de la planta de tratamiento no se requiere de la utilización de maquinaria y equipo especial, por sus características únicamente se requiere de mano de obra.

5.1.2. Inversión diferida

Son los costos intangibles asociados al proyecto, entre los que se encuentran: estudios y gastos legales, gastos de organización, gastos de arranque, entre otros.

5.1.2.1. Estudios y gastos legales

Los estudios relacionados con la construcción de la planta de tratamiento los realizará la Municipalidad de Amatitlán, esto comprende el estudio topográfico, planos y drenajes. La Municipalidad de Amatitlán se hace cargo de los gastos correspondientes a permisos y licencia de construcción.

El Estudio de Impacto Ambiental puede ser gestionado directamente por el Cocode, pero este tiene un costo muy elevado que es de aproximadamente Q 50 000,00. O puede ser gestionado por la Municipalidad de Amatitlán.

5.1.2.2. Gastos de organización

Los gastos asociados a la promoción del proyecto ante autoridades y con los proveedores, estos gastos incluyen:

Tabla XXII. **Gastos de organización**

Rubro	Total (Q)
Gastos de locomoción (gasolina)	400,00
Gastos de información (Fotocopias, bifoliars)	300,00
Total	700,00

Fuente: elaboración propia.

5.1.2.3. Gastos de arranque

Para iniciar el proyecto se requiere de ciertos gastos para los primeros tres meses de funcionamiento, estos son la capacitación del personal que se trabajará para el mantenimiento de la planta, las herramientas e insumos.

Estos se dividen de la siguiente manera:

Tabla XXIII. Gastos de arranque. Insumos

Insumos	Medida	Cantidad	Costo Unidad (Q)	Total (Q)
Cal	Quintal	1	35,00	35,00
Desinfectante 2gal/ mes	Galón	6	35,00	210,00
Indicadores de pH-014 Merk	100 Unidades	100	1,52	152,06
			TOTAL	397,06

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. Gastos de arranque, herramientas

Herramientas	Medida	Cantidad	Costo Unidad (Q)	Total (Q)
Pala	Unidad	2	34,00	68,00
Rastrillo	Unidad	2	22,00	44,00
Azadón	Unidad	1	38,00	38,00
Carretilla	Unidad	1	225,00	225,00
Piocha	Unidad	1	55,00	55,00
Manguera	Unidad	1	75,00	75,00
Escobón de plástico	Unidad	2	62,00	124,00
			TOTAL	629,00

Fuente: elaboración propia.

El costo de la capacitación del personal que trabajará en la planta de tratamiento correrá a cargo de la Municipalidad de Amatitlán.

5.2. Capital de trabajo

Es la asignación de presupuesto para el trabajo a realizar en los primeros tres meses del proyecto, en esta asignación están los materiales y suministros, y los proveedores de servicio como son mano de obra y energía eléctrica.

5.2.1. Materiales y suministros

Se consideran los materiales las herramientas de gasto de arranque y la papelería necesaria para el control y materiales para el funcionamiento inicial.

Tabla XXV. **Presupuesto de materiales y suministros**

Rubro	Costo Trimestral (Q)
Insumos	397,06
Herramientas	629,00
Papelerías	150,00
TOTAL	1 176,06

Fuente: elaboración propia.

5.2.2. Proveedores

Los proveedores de servicios a considerar son la Empresa Eléctrica y los empleados de la planta.

Tabla XXVI. **Proveedores**

Rubro	Costo Trimestral (Q)
Energía eléctrica	450,00
Agua potable	90,00
Mano de obra	10 800,00
TOTAL	11 340,00

Fuente: elaboración propia

5.3. Costos de operación y mantenimiento

Son los costos de mano de obra, mantenimiento y organización que se requieren para el funcionamiento del proyecto.

5.3.1. Mano de obra

La cantidad de empleados que se sugieren para el trabajo en la planta de tratamiento es de un operador, un ayudante y un guardia. Si se considera que es necesario más personal queda a criterio de las personas que administren el proyecto.

Tabla XXVII. **Mano de obra**

Mano de obra	Cantidad	Sueldo Mensual (Q)	Sueldo Anual (Q)
Operador	1	2 000,00	24 000,00
Ayudante	1	400,00	4 800,00
Guardián	1	1 200,00	14 400,00
	TOTAL	3 600,00	43 200,00

Fuente: elaboración propia.

En el caso del ayudante, se le pagará por día de trabajo y apoyará al operador una vez por semana, esta tarea la puede realizar de igual forma el guardián, por lo que se puede tener un ahorro de Q 400,00 al mes.

Se tiene contemplado un aumento del 10 % sobre el sueldo del operador y el guardián a partir del 4to año.

5.3.2. Servicios

El costo de la energía eléctrica se estima en Q 150,00 mensuales, dependiendo del uso que se dé en las instalaciones de la planta.

5.3.3. Materiales

Los materiales para utilizar en la planta de tratamiento no son de uso continuo, por lo que puede asignarse un presupuesto de Q 200,00 de forma mensual para cubrir este rubro.

5.3.4. Costos de administración

Los costos de administración se limitan al costo de papel, lapiceros y copias que se requieren para la realización de los informes, el costo estimado es de Q 35,00 mensual, este costo puede variar con el paso del tiempo al encarecerse los insumos, por lo que se puede hacer una proyección que para el 5to año se tenga un aumento de Q 10,00, por lo que el costo a partir de ese año aumentara a Q 45,00.

5.4. Financiamiento

El financiamiento para el proyecto está condicionado a la disponibilidad de presupuesto, depende de la asignación otorgada a la Municipalidad de Amatitlán por parte del Gobierno de Guatemala.

5.4.1. Créditos y costos de financiamiento (intereses)

La construcción de la planta de tratamiento se realizará a través de aportación municipal. Por lo que no se plantea un financiamiento a través de préstamos o créditos.

5.5. Presupuesto de ingresos

El beneficio que se obtendrá con la construcción de la planta de tratamiento es social, por lo que no se plantea realizar el cobro por el servicio que prestará la planta de tratamiento, se aconseja realizar un cobro significativo de forma mensual de Q 20,00 por hogar para utilizarlo en las tareas de operación y mantenimiento de la planta.

Otra consideración es la de vender el agua tratada para riego de áreas verdes y la venta de los lodos como fertilizantes. El costo de vender el agua se calcula en Q 15,00 por tinaco (aprox. 2 500 lts) y el precio del fertilizante de Q 25,00 por quintal. Se estima que la venta del agua tratada sea de 2 tinacos diarios y por el fertilizante se venta 1 quintal por semana.

5.6. Flujo de caja

Las ventas del agua tratada, del lodo seco como fertilizante y de la tarifa mensual a cobrar a los usuarios permite tener ingresos de forma mensual, lo cual es un aporte para cubrir los costos de operación y mantenimiento, así como colaboración para el pago del salario de los trabajadores de la planta.

Tabla XXVIII. **Flujo de caja, para implementar la planta de tratamiento**

CONCEPTO	Inversión Inicial	2015	2016	2017	2018	2019	2024	2029	2034
INGRESOS		51 996,29	52 840,76	53 701,86	54 579,93	55 475,29	60 223,74	65 458,71	71 230,04
Cuota Vecinal		42 866,29	43 710,76	44 571,86	45 449,93	46 345,29	51 093,74	56 328,71	62 100,04
Venta de Agua		7 830,00	7 830,00	7 830,00	7 830,00	7 830,00	7 830,00	7 830,00	7 830,00
Venta de Abono		1 300,00	1 300,00	1 300,00	1 300,00	1 300,00	1 300,00	1 300,00	1 300,00
EGRESOS	731 518,10	48 580,00	48 580,00	48 580,00	52 420,00	53 140,00	53 500,00	53 560,00	53 620,00
Costo del terreno	140 000,00								
Construcción	540 189,10*								
EIA	50 000,00								
Organización	700,00								
Herramientas	629,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00
Materiales		2 400,00	2 400,00	2 400,00	2 400,00	3 000,00	3 300,00	3 300,00	3 300,00
Servicios		2 160,00	2 160,00	2 160,00	2 160,00	2 160,00	2 160,00	2 160,00	2 160,00
Administración		420,00	420,00	420,00	420,00	540,00	600,00	660,00	720,00
Sueldos		43 200,00	43 200,00	43 200,00	47 040,00	47 040,00	47 040,00	47 040,00	47 040,00
SALDO	-731 518,10	3 416,29	4 260,76	5 121,86	2 159,93	2 335,29	6 723,74	11 898,71	17 610,04

* El aporte municipal que se espera obtener es de Q 730 189,10 para realizar la construcción de la planta de tratamiento.

Fuente: elaboración propia.

6. ESTUDIO FINANCIERO

6.1. Financiamiento

El estudio financiero está enfocado a un proyecto del tipo social. Para la evaluación financiera de la planta de tratamiento se deben utilizar las siguientes herramientas de decisión: El valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR), el análisis de sensibilidad y la relación beneficio costos. El financiamiento necesario para la ejecución del proyecto puede tener dos orígenes, el correspondiente al aporte municipal y el que se puede obtener por medio de donaciones.

El valor actual neto indica la diferencia entre los ingresos y egresos, esto consiste en actualizar a valor presente los flujos de caja futuros que van a generar el proyecto, descontándolos a un cierto tipo de interés y comparándolos con el aporte inicial.

Si el $VAN > 0$ se acepta la inversión, si el $VAN < 0$ se rechaza la inversión.

Para determinar el VAN se utiliza la tasa de descuento 12 % (establecida como estándar en Segeplan).

Para el análisis de este proyecto se consideran dos casos.

El primero es el análisis general del proyecto.

$$VAN = -731\,518,10 + 3\,416,29(1,12)^{-1} + 4\,260,75(1,12)^{-2} + 5\,121,86(1,12)^{-3} \\ + 2\,159,93(1,12)^{-4} + 2\,335,29(1,12)^{-5} =$$

$$VAN = -714\,220,37$$

Para el segundo caso se analiza la autosostenibilidad del proyecto,

$$VAN = -1\,329,00 + 3\,416,29(1,12)^{-1} + 4\,260,75(1,12)^{-2} + 5\,121,86(1,12)^{-3} \\ + 2\,159,93(1,12)^{-4} + 2\,335,29(1,12)^{-5} =$$

$$VAN = 15\,966,00$$

Considerando que la inversión inicial del proyecto va a ser un aporte municipal, el proyecto obtiene un valor positivo de Q 15 966,00, lo que indica que el proyecto es capaz de obtener rendimiento en sus operaciones y es autosostenible.

La tasa interna de retorno (TIR) es la tasa de descuento o tipo de interés que igualan el VAN a cero y representan la tasa de interés más alta que un inversionista podría pagar sin perder dinero.

Considerando el valor del VAN de autosostenibilidad se obtiene el siguiente valor del TIR.

$$0 = -1\,329,00 + 3\,416,29(1+i)^{-1} + 4\,260,75(1+i)^{-2} + 5\,121,86(1+i)^{-3} \\ + 2\,159,93(1+i)^{-4} + 2\,335,29(1+i)^{-5}$$

$$i = 274 \%$$

En este caso el proyecto se considera rentable debido a que la tasa de interés es del 274 % que es muy superior al 12 % establecido como tasa de descuento.

6.1.1. Aporte municipal y aporte gubernamental de financiamiento (intereses)

Anualmente el Gobierno de Guatemala realiza un aporte a la Municipalidad de Amatitlán para cubrir proyectos de beneficio social, depende del monto de la asignación y la importancia del proyecto para asignar presupuesto para la ejecución del proyecto. Por otro lado el aporte municipal depende de la recaudación que realice por el cobro de impuestos y servicios a la población.

6.1.2. Donaciones

Las donaciones que se pueden obtener para el proyecto pueden provenir de ONG, estas cuentan con presupuesto asignado por países que trabajan en proyectos sociales a nivel nacional.

6.2. Presupuesto de ingresos

Al considerar la cuota vecinal, la venta del agua tratada y la venta del lodo seco como fertilizante, se estiman ingresos anuales poco significativos en relación al costo inicial del proyecto.

Anualmente se espera tener ganancias entre Q 2 300,00 a Q 6 500,00, este valor es variable, depende de las ventas de los subproductos de la planta y de la cuota vecinal.

El valor actual neto para la construcción de la planta, considerando el aporte municipal para la ejecución de Q 730 189,10, se obtiene un valor positivo de Q 15 966,00, por lo que el proyecto se considera rentable en los primeros 5 años, y se obtienen mayores ingresos conforme pasan los años.

6.3. Flujo de caja

El flujo de caja es un informe que detalla los ingresos y egresos que presenta el proyecto durante su vida útil.

Tabla XXIX. **Flujo de caja, análisis de sensibilidad**

CONCEPTO	Inversión Inicial	2015	2016	2017	2018	2019	2024	2029	2034
INGRESOS		51 996,29	52 840,76	53 701,86	54 579,93	56 258,29	61 006,74	66 241,71	72 013,04
Cuota Vecinal		42 866,29	43 710,76	44 571,86	45 449,93	46 345,29	51 093,74	56 328,71	62 100,04
Venta de Agua		7 830,00	7 830,00	7 830,00	7 830,00	8 613,00	8 613,00	8 613,00	8 613,00
Venta de Abono		1 300,00	1 300,00	1 300,00	1 300,00	1 300,00	1 300,00	1 300,00	1 300,00
EGRESOS	731 518,10	48 580,00	48 580,00	48 580,00	52 420,00	53 140,00	53 500,00	53 560,00	53 620,00
Costo del terreno	140 000,00								
Construcción	540 189,10								
EIA	50 000,00								
Organización	700,00								
Herramientas	629,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00
Materiales		2 400,00	2 400,00	2 400,00	2 400,00	3 000,00	3 300,00	3 300,00	3 300,00
Servicios		2 160,00	2 160,00	2 160,00	2 160,00	2 160,00	2 160,00	2 160,00	2 160,00
Administración		420,00	420,00	420,00	420,00	540,00	600,00	660,00	720,00
Sueldos		43 200,00	43 200,00	43 200,00	47 040,00	47 040,00	47 040,00	47 040,00	47 040,00
SALDO	-731 518,10	3 416,29	4 260,76	5 121,86	2 159,93	3 118,29	7 506,74	12 681,71	18 393,04

Fuente: elaboración propia.

6.4. Análisis de sensibilidad valuación social

Este análisis permite conocer los efectos que puede presentarse sobre la rentabilidad del proyecto que no se consideran en el flujo de caja inicial. Entre las variaciones que pueden afectar el flujo están las ventas por conceptos de agua tratada y lodo como fertilizante, las cuales pueden disminuir por factores externos, así como el encarecimiento de la mano de obra y materiales y herramientas para su funcionamiento.

6.4.1. Determinación del análisis de sensibilidad

Inicialmente se tiene considerado prestar el servicio a 179 hogares, se les solicita un aporte por un valor significativo de Q 20,00, se estima que para el segundo año se cuente con 4 hogares más que darán el mismo aporte mensual, esta cuota no variará con los años, ya que se estima que con el crecimiento de la población y los aportes que darán cada uno el proyecto sea autosostenible.

La venta de agua se establece que puede tener un aumento el 10 % a partir del 5to año, lo cual incrementara los ingresos para el mantenimiento y operación de la planta de tratamiento, de igual forma se considera que al aumentar la población a ser servida se incrementan los costos de materiales y gastos administrativos.

El crecimiento poblacional está estimado en la siguiente tabla.

Tabla XXX. Crecimiento poblacional

Año	Hogares a cubrir con planta de tratamiento	Habitantes a cubrir con planta de tratamiento
2015	179	798
2016	182	814
2017	186	830
2018	189	846
2019	193	863
2020	197	880
2021	201	897

Continuación de la tabla XXX.

2022	205	915
2023	209	933
2024	213	951

Fuente: elaboración propia.

6.4.2. Interpretación de resultados

Con la implementación de la planta de tratamiento, el aumento de la población, la mejora en los ingresos percibidos por la venta de agua tratada, del lodo como abono y la cuota a cobrar por cada hogar que se beneficie por la planta, se logra obtener números positivos que permiten que la planta sea autosustentable y con el excedente poder aplicarlo para proyectos de mejora de la comunidad.

6.4.3. Relación beneficio-costos

Por ser un proyecto de beneficio social la relación beneficio-costos no aplica para el presente proyecto. En este caso se utiliza la relación costo-eficiencia.

La relación costo-eficiencia mide el impacto generado por la implementación de la planta de tratamiento, el impacto se puede reflejar en mejora de la salud, reducción de costos médicos o mejora de las condiciones ambientales.

La fórmula para realizar el cálculo costo-eficiencia es la siguiente:

$$C/E = \frac{\text{Costo Total de la Inversión}}{\text{Total de personas a beneficiar en los 20 años del proyecto}} =$$

6.4.4. Determinación de la relación beneficio-costos

El cálculo de la relación beneficio costo no aplica al presente proyecto por ser un proyecto de beneficio social, en este caso se utiliza la relación costo-eficiencia, la relación da un indicador que corresponde a la inversión que se realiza por cada habitante.

La relación costo-eficiencia para el presente proyecto se obtiene de la siguiente manera,

$$C/E = \frac{\text{Costo Total de la Inversión}}{\text{Total de personas a beneficiar en los 20 años del proyecto}} =$$

$$C/E = \frac{731\,518,10}{1\,179} =$$

$$C/E = 620,45 \text{ Q/personas}$$

6.4.5. Interpretación de resultados

La relación costo-eficiencia indica que se invierte Q 620,45 por cada persona beneficiada en un periodo de 20 años, lo que representa mejoras en la calidad de vida, reduciéndose los gastos por enfermedades relacionadas a la contaminación del agua y de los suelos, se mejoran las condiciones ambientales del suelo y por consiguiente del manto freático.

6.5. Conclusión de evaluación financiera

La inversión inicial que se haga para el presente proyecto está sujeta a la aportación municipal por lo que no se espera recuperación de la inversión realizada.

Con el resultado obtenido de la relación costo-eficiencia, demuestra que la inversión que se realizará por cada habitante es baja considerando los beneficios que se obtendrán en la salud, en gastos médicos y la mejora de las condiciones ambientales a lo largo de la vida útil del proyecto.

Por el tipo de proyecto que se va a realizar se modificó de evaluación financiera a una evaluación económico-social, su fin es dar un servicio que mejore la calidad de vida de las personas, por lo que no se espera obtener ingresos suficientes que permitan recuperar la inversión inicial.

CONCLUSIONES

1. El estudio de factibilidad realizado para llevar a cabo la construcción del drenaje y la planta de tratamiento de aguas residuales, requiere de una inversión inicial de Q 731 518,10, este valor incluye el valor del terreno, de la construcción y el Estudio de Impacto Ambiental. El costo para la implementación del sistema de drenaje será un proyecto que realizará la Municipalidad de Amatitlán por separado. Esta inversión inicial estará a cargo de la Municipalidad de Amatitlán a través de aporte gubernamental. La inversión realizada no se recuperará por ser un proyecto de beneficio social. El proyecto será autosostenible debido a que los ingresos que se estiman permitirán cubrir los costos de operación y mantenimiento de la planta. El presente estudio de factibilidad puede ser tomado como referencia para futuros proyectos en los que se requiera información para la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales.
2. La población objetivo para el proyecto abarca hogares que cuentan con construcciones de nivel medio y bajo, estos hogares cuentan con fosas sépticas para el manejo de las aguas residuales domésticas y en algunos casos depositan estas al suelo de forma directa. El proyecto beneficiará a un total de 175 hogares, lo que representa 782 habitantes en su etapa de arranque, esperando llegar a beneficiar a 1 179 habitantes a los 20 años.
3. La construcción de la planta de tratamiento y el sistema de drenaje permitirá a la población realizar actividades más productivas, utilizar terrenos para el cultivo y comercializar con los desechos orgánicos.

4. La planta de tratamiento permitirá eliminar los contaminantes que se vierten directamente al ambiente. Se reduce la contaminación del suelo y del manto freático. Los suelos estarán disponibles para ser utilizados en actividades agrícolas, las aguas que saldrán de la planta de tratamiento no representan riesgo para la flora y fauna de la localidad y el ecosistema de la cuenca del lago de Amatitlán, las aguas serán monitoreadas periódicamente, midiendo los niveles de Ph del agua tratada, lo que indicará que la planta de tratamiento está realizando el trabajo por la que fue construida.
5. Las condiciones de vida de los habitantes de la aldea Llano de Ánimas se verán mejoradas significativamente. Al tratarse los principales focos de contaminación se reducirán las enfermedades gastrointestinales y dérmicas que estos ocasionan, por lo que los gastos en medicamentos y tratamiento de enfermedades se verán reducidos. Las enfermedades son tratadas en el centro de salud de la aldea, teniéndose un índice de enfermos por diarrea de 6 por cada 1 000 habitantes de enero a abril.
6. El Cocode será el encargado de administrar la planta de tratamiento, para ello deberá elegir el personal que conformará la estructura administrativa, la cual se encargará de la contratación del personal que realizará el mantenimiento y cuidado de la planta, así como de administrar los recursos que esta produzca, los cuales se utilizarán para el mantenimiento de la misma y el excedente se utilizará para actividades que ayuden a la comunidad.

7. El Cocode ampliará el programa de concientización para que la población utilice la planta de tratamiento, este programa lo ha estado trabajando desde la implementación de la planta de tratamiento en la sección norte de la aldea.

RECOMENDACIONES

1. Al Cocode implementar un fondo de ahorro en el cual se puedan depositar las ganancias obtenidas de los ingresos, que genere la planta de tratamiento por la venta del agua tratada y el lodo como abono. Estos ahorros permitirán realizar trabajos para mejorar la calidad de vida de la población.
2. A la Municipalidad de Amatitlán informar al Cocode y a los habitantes de la aldea Llano de Ánimas de la importancia de tratar las aguas residuales, del impacto que esto tiene sobre la salud y el ambiente. Esto lo pueden realizar a través de entidades como el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social o el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales por medio de sesiones informativas.
3. Buscar asesoría de empresas que se dediquen a la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, para poder dar la capacitación adecuada al personal que realizará la tarea de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento, así como las medidas de protección que deben tomar para evitar accidentes y enfermedades.
4. Realizar un programa de verificación del buen funcionamiento de la planta de tratamiento, con el fin de que esta cumpla con el objetivo por el cual se construye, el programa debe incluir mediciones de pH de las aguas servidas, calidad de los lodos obtenidos de la planta de tratamiento y mediciones constantes de las aguas tratadas.

5. La implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales, por cumplir con las condiciones necesarias para su implementación.

BIBLIOGRAFÍA

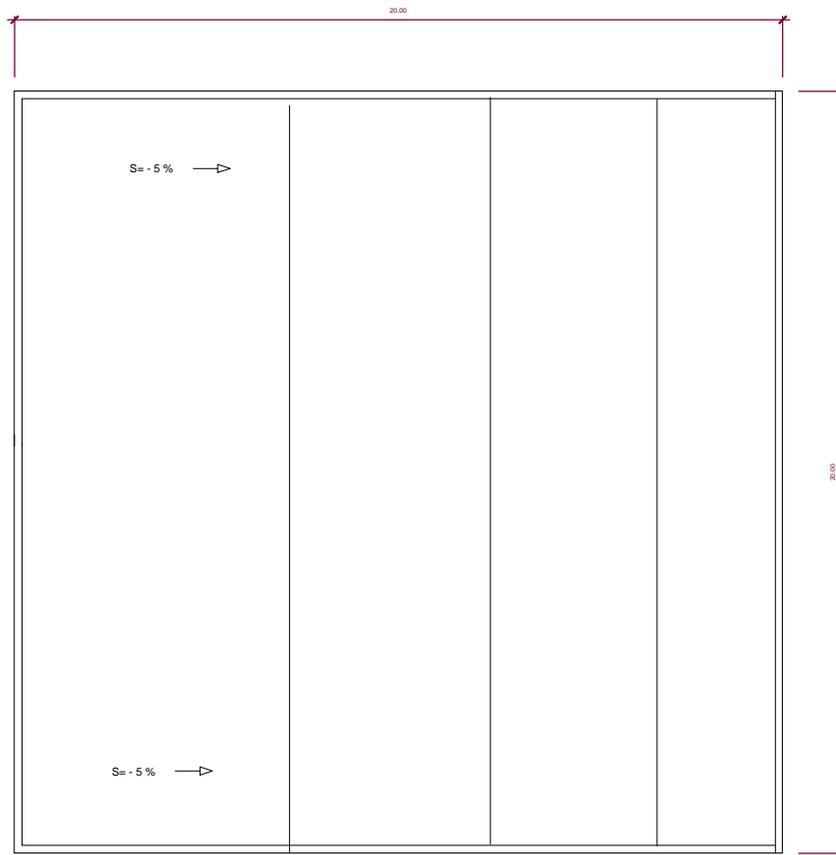
1. ARRIAZA RUÍZ, Víctor Manuel. *Diseño, presupuesto y manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales para el casco urbano del municipio de Villa Nueva*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1999. 87 p.
2. BACA URBINA, Gabriel. *Evaluación de proyectos*. 4a ed. México: McGraw-Hill, 2001. 383 p.
3. Banco Interamericano de Desarrollo. *Manual de caracterización de aguas residuales industriales*. 2a ed. Medellín Colombia: ANDI, 1997. 41 p.
4. BARRERA HERNÁNDEZ, Rodolfo Antonio. *Estudio de pre factibilidad para el diseño, planificación y construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales en la Colonia El Maestro, municipio de Chiquimula*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2011. 187 p.
5. *Ciencias de la tierra y del medio ambiente, substancias contaminantes del agua*. [en línea] Libro electrónico. <<http://tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/110ConAg.htm>>. [Consulta: 08 de enero 2014].

6. DA CÁMARA, Man Lesly; HERNANDEZ, Mario; PAZ, Luiselena. *Diseño para plantas de tratamiento de aguas residuales alimenticias*. [en línea]. <<http://es.scribd.com/doc/53385658/manual-de-diseno-para-plantas-de-tratamiento-de-aguas#scribd>>. [Consulta: 05 de marzo de 2014].
7. FAJARDO GIL, Oscar. *Tierra de amates, monografía del municipio de Amatitlán*. Guatemala: s.e. 2010. 325 p.
8. GÁLVEZ FERNANDEZ, José Rodrigo. *Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales sector cuatro caminos y diseño del mercado de la aldea El Pajón, municipio de Santa Catarina Pínula, departamento de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 104 p.
9. *Guía Ambiental: calidad de agua, lodos activados*. [en línea]. <<http://www.guiaambiental.com.ar/conocimiento-calidad-de-agua-lodos-activados.html>>. [Consulta: 08 de enero de 2014].
10. Guatemala. Congreso de la República. *Ley de los consejos de desarrollo urbano y rural*. Decreto número 11-2002. 2002. 14 p.
11. Guatemala. Corte de Constitucionalidad. *Constitución Política de la República*. 1985. 235 p.
12. MERCADO GUZMAN, Almaro. *Tratamientos preliminares. Curso: tecnologías de tratamiento de aguas residuales para reúso. Módulo 1: Sistema de tratamiento de aguas residuales y reúso*. [en línea]

<http://www.fch.cl/wp-content/uploads/2013/09/tratamientos_preliminares.pdf>. [Consulta: 28 de agosto de 2014].

13. SAPANG, N; SAPANG, R. *Preparación y evaluación de proyectos*. Colombia: McGraw-Hill, 2000. 439 p
14. *Sistema de tratamiento de aguas residuales por lodos activados*. [en línea]. Ref. 2 de junio de 2008. <<http://aguasresiduales.wordpress.com/tag/lodos-activados/>>.
15. TORRES SALAZAR, Julio César; COLMENARES MAYANGA, Wagner. *Diseño de una planta de tratamiento de agua residual empleando: Tratamiento anaerobio (UASB), tratamiento Aerobio (Lodos activados)*. [en línea]. <<http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/disenio-planta-aguas-residuales>>. [Consulta: 08 de abril de 2014].

APÉNDICES

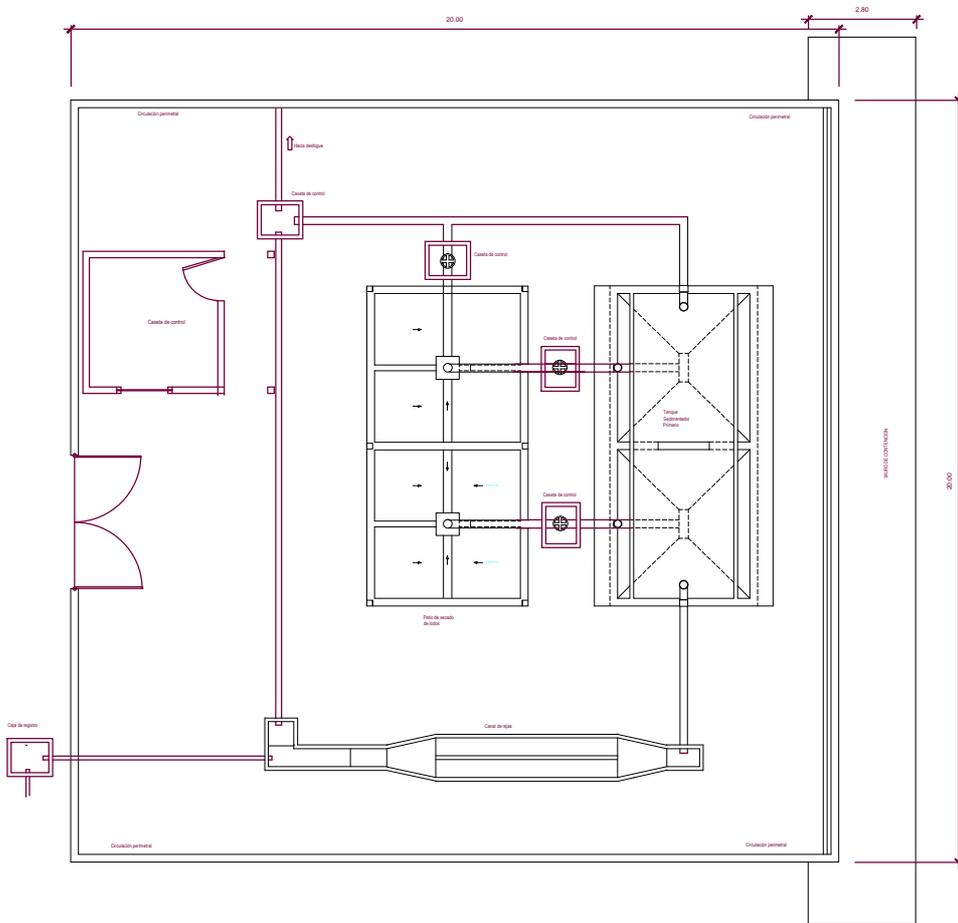


**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE MECANICA INDUSTRIAL**



PROYECTO: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, PARA LA ALDEA LLANO DE ANIMAS, AMATITLAN.

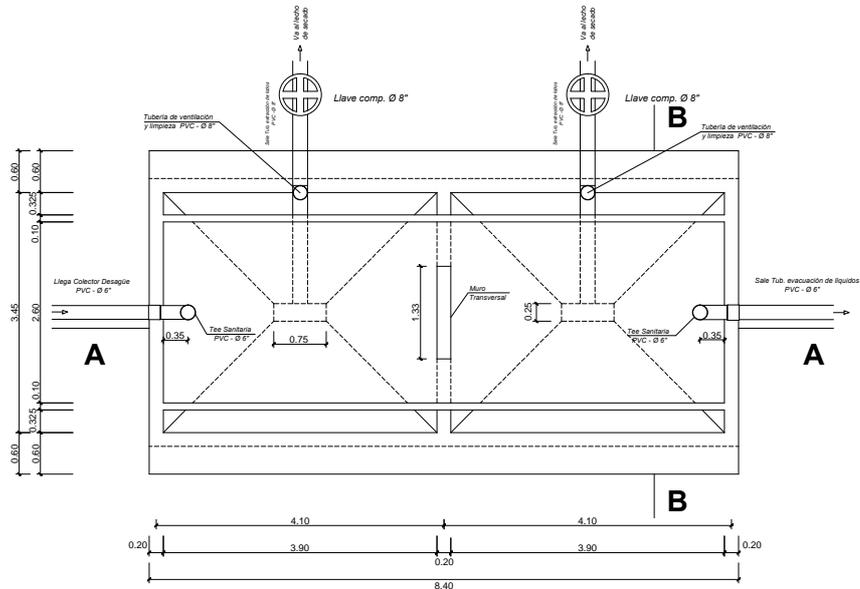
DISEÑO:	CONTENIDO: PLANO DEL TERRENO	HOJA
PIERO ESTUARDO SANCHEZ BENINI.		1
ESCALA:		10
INDICADA		
FECHA:	Vo Bo:	
OCTUBRE 2014		



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE MECANICA INDUSTRIAL**



PROYECTO: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, PARA LA ALDEA LLANO DE ANIMAS, AMATITLAN.		HOJA 2 10
DISEÑO: PIERO ESTUARDO SANCHEZ BENINI.	CONTENIDO: PLANO DEL CONJUNTO	
ESCALA: INDICADA		
FECHA: OCTUBRE 2014	Vo Bo:	



PLANTA

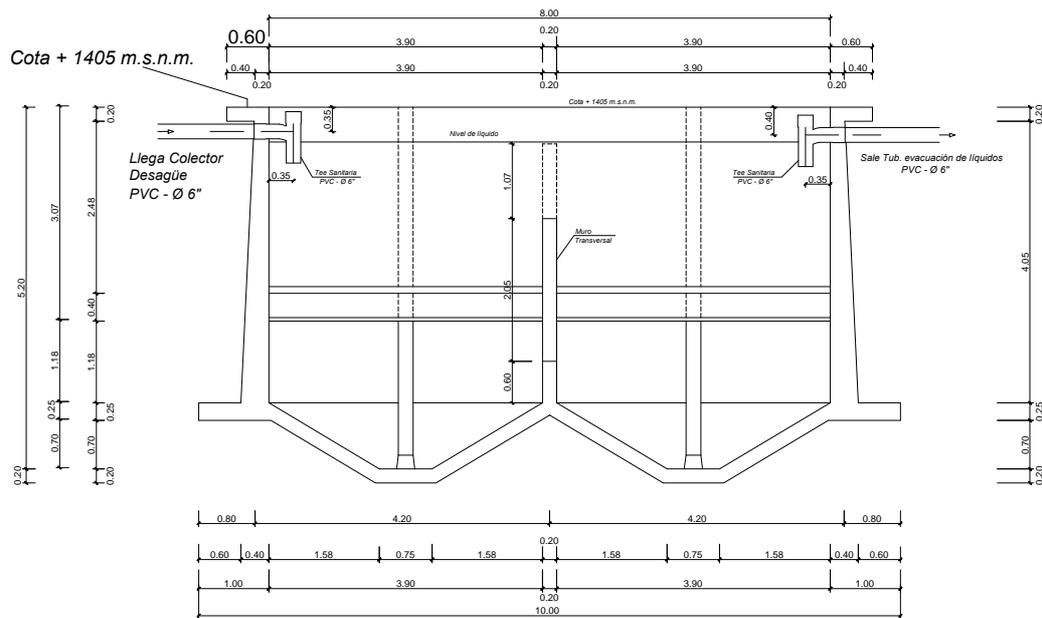
Esc. 1 : 50

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE MECANICA INDUSTRIAL**



PROYECTO: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, PARA LA ALDEA LLANO DE ANIMAS, AMATITLAN.

DISEÑO: PIERO ESTUARDO SANCHEZ BENINI.	CONTENIDO: TANQUE SEDIMENTADOR IMHOFF	HOJA
ESCALA: INDICADA		3
FECHA: OCTUBRE 2014	Vo Bo:	10



CORTE A - A

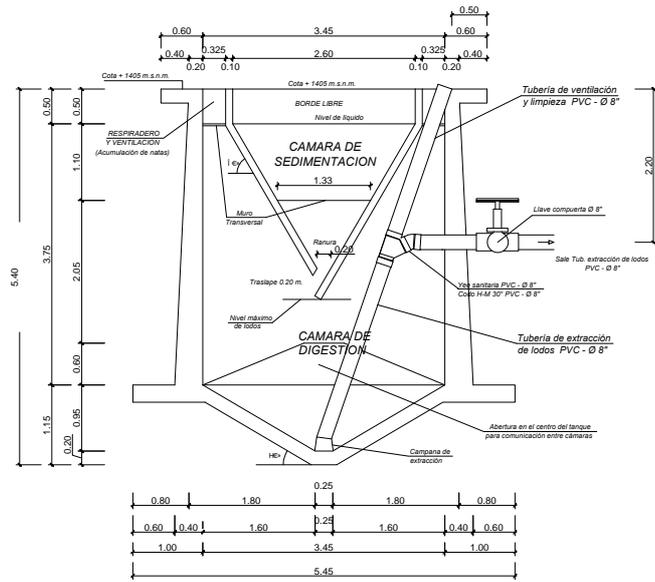
Esc. 1 : 50

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE MECANICA INDUSTRIAL**



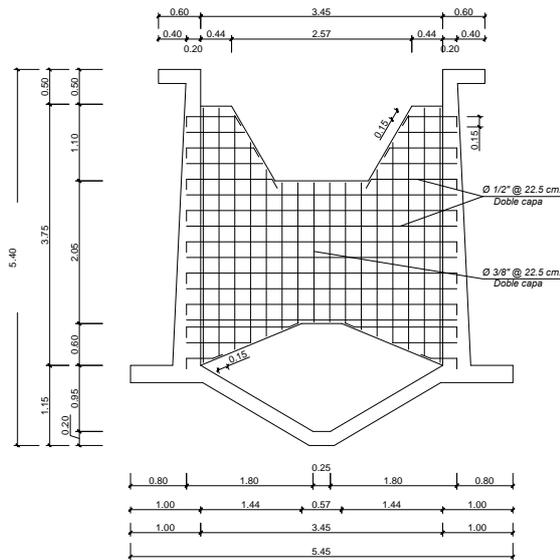
PROYECTO: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, PARA LA ALDEA LLANO DE ANIMAS, AMATITLAN.

DISEÑO:	CONTENIDO: TANQUE SEDIMENTADOR IMHOFF	HOJA
PIERO ESTUARDO SANCHEZ BENINI.		4 10
ESCALA:		
INDICADA		
FECHA:	Vo Bo:	
OCTUBRE 2014		



CORTE B - B

Esc. 1 : 50



ELEVACION MURO TRANSVERSAL

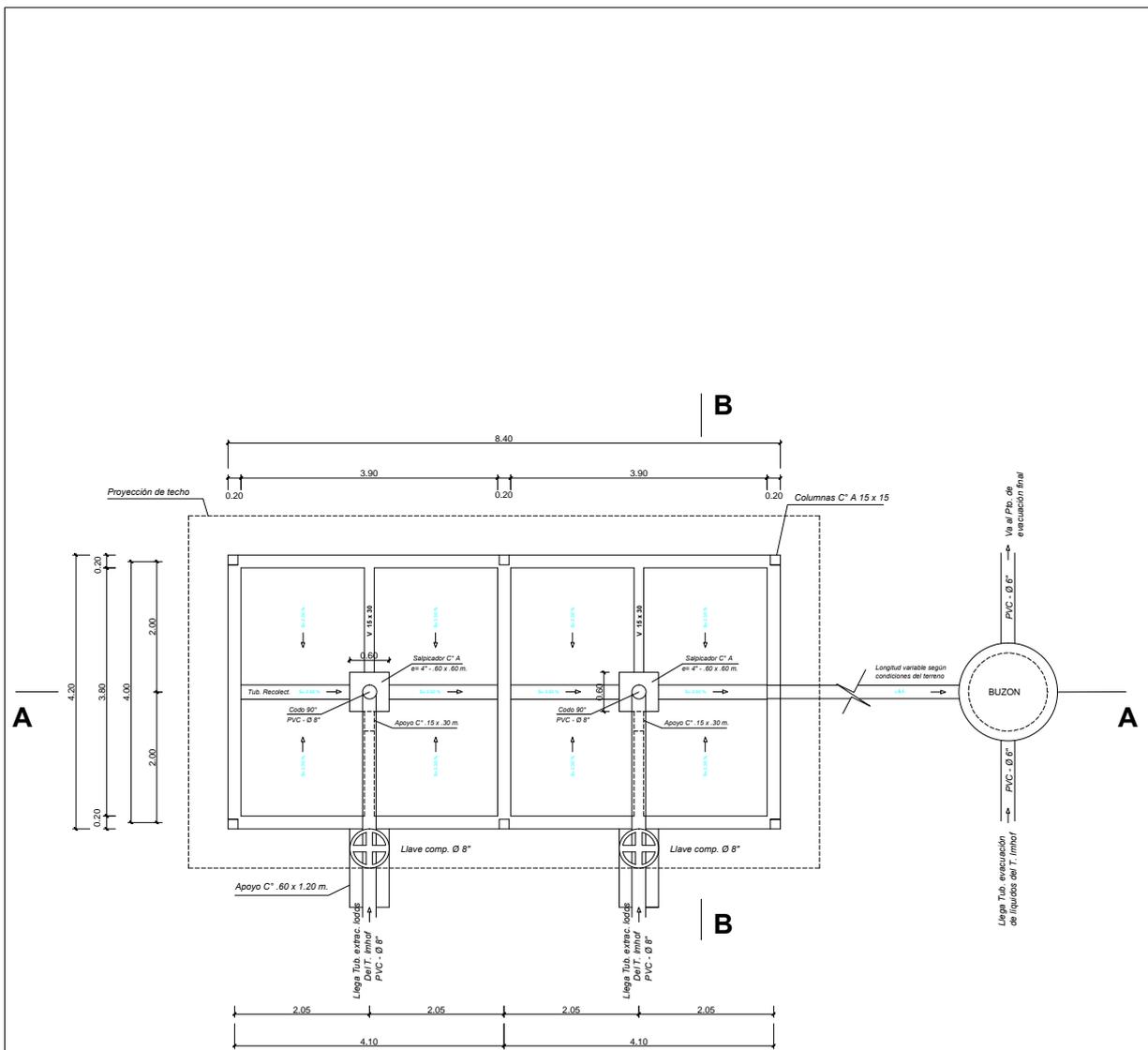
Esc. 1 : 50

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE MECANICA INDUSTRIAL**



PROYECTO: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, PARA LA ALDEA LLANO DE ANIMAS, AMATITLAN.

DISEÑO:	CONTENIDO:	HOJA
PIERO ESTUARDO SANCHEZ BENINI.	CAMARA DE SEDIMENTACIÓN	5
ESCALA: INDICADA		
FECHA: OCTUBRE 2014	Vo Bo:	10



PLANTA

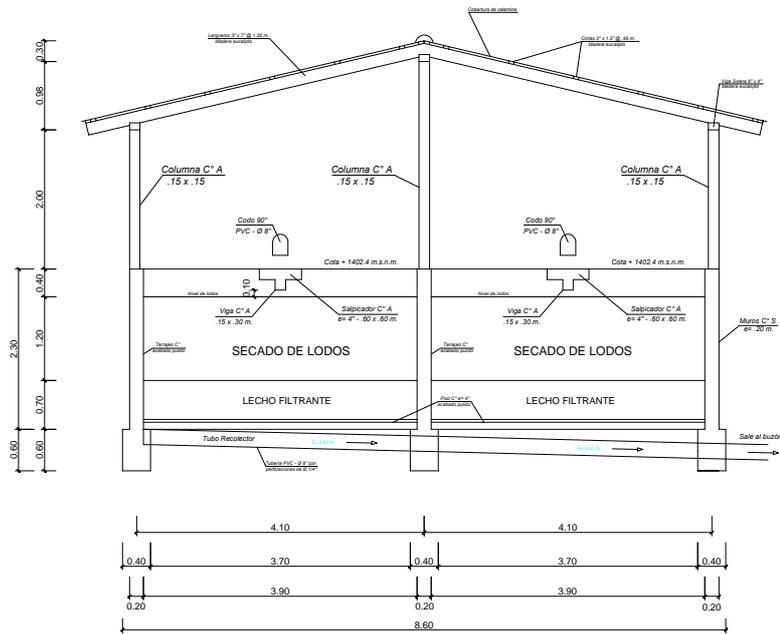
Esc. 1 : 50

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE MECANICA INDUSTRIAL



PROYECTO: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, PARA LA ALDEA LLANO DE ANIMAS, AMATITLAN.

DISEÑO:	CONTENIDO:	HOJA
PIERO ESTUARDO SANCHEZ BENINI.	LECHO DE SECADO	6
ESCALA:		10
INDICADA		
FECHA:	Vo Bo:	
OCTUBRE 2014		



CORTE A - A

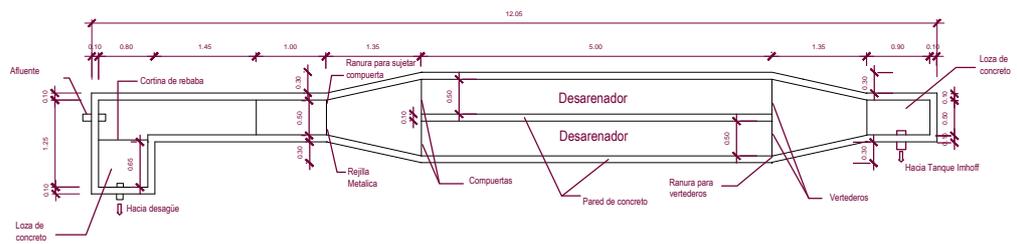
Esc. 1 : 50

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE MECANICA INDUSTRIAL



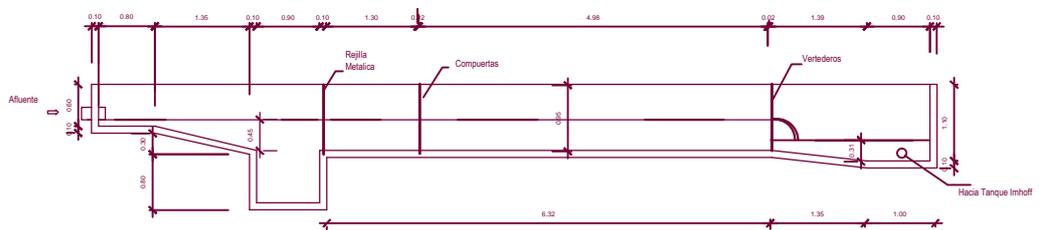
PROYECTO: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, PARA LA ALDEA LLANO DE ANIMAS, AMATITLAN.

DISEÑO: PIERO ESTUARDO SANCHEZ BENINI.	CONTENIDO: LECHO DE SECADO	HOJA
ESCALA: INDICADA		7
FECHA: OCTUBRE 2014	Vo Bo:	10



PLANTA

Esc. 1 : 50



TRANSVERSAL

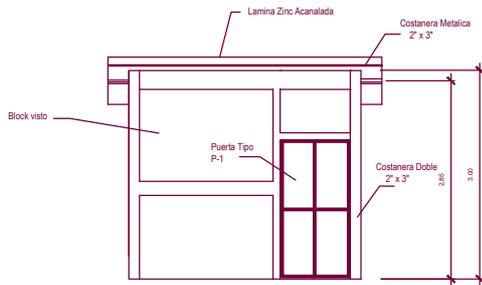
Esc. 1 : 50

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE MECANICA INDUSTRIAL



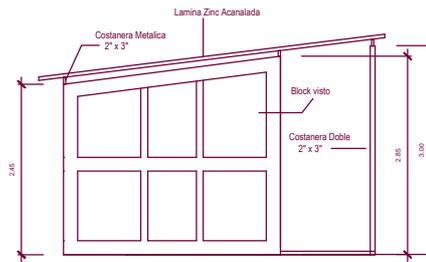
PROYECTO: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, PARA LA ALDEA LLANO DE ANIMAS, AMATITLAN.

DISEÑO: PIERO ESTUARDO SANCHEZ BENINI.	CONTENIDO: DESARENADOR	HOJA
ESCALA: INDICADA	Vo Bo:	9
FECHA: OCTUBRE 2014		10



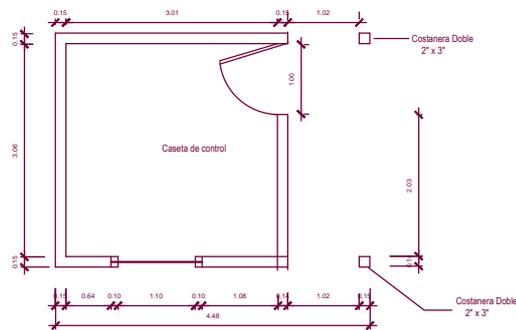
Elevación Frontal

Esc. 1 : 50



Elevación Lateral

Esc. 1 : 50



PLANTA

Esc. 1 : 50

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE MECANICA INDUSTRIAL**



PROYECTO: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, PARA LA ALDEA LLANO DE ANIMAS, AMATITLAN.

DISEÑO: PIERO ESTUARDO SANCHEZ BENINI.	CONTENIDO: CASETA DE CONTROL	HOJA
ESCALA: INDICADA		10
FECHA: OCTUBRE 2014	Vo Bo:	10