



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

**MEJORAR LAS CONDICIONES OPERATIVAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA MUNICIPAL DE CABAÑAS, DEPARTAMENTO
DE ZACAPA**

Edras Nehemías Arriaza Paiz

Asesorado por la Inga. Ana Marcela Ruano Barillas

Guatemala, octubre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MEJORAR LAS CONDICIONES OPERATIVAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA MUNICIPAL DE CABAÑAS, DEPARTAMENTO
DE ZACAPA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EDRAS NEHEMÍAS ARRIAZA PAIZ

ASESORADO POR LA INGA. ANA MARCELA RUANO BARILLAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2017

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	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. Martha Guisela Gaitán Garavito
EXAMINADORA	Inga. Ericka Nathalie López Torres
EXAMINADOR	Ing. Ismael Homero Jerez González
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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:

MEJORAR LAS CONDICIONES OPERATIVAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA MUNICIPAL DE CABAÑAS, DEPARTAMENTO DE ZACAPA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial con fecha 19 de enero de 2016.

Edras Nehemías Arriaza Paiz

Guatemala, Septiembre de 2016

Ingeniero
Juan José Peralta Dardón
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería, Usac.

Ingeniero Peralta Dardón.

Por medio de la presente me dirijo a usted, para hacer de su conocimiento que como Asesora del estudiante universitario, Edras Nehemías Arriaza Paiz , con número de carné: 1999-12205, he tenido a la vista el trabajo de graduación titulado: **MEJORAR LAS CONDICIONES OPERATIVAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA MUNICIPAL DE CABAÑAS, ZACAPA.** El cual encuentro satisfactorio.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.



Inga. Ana Marcela Ruano Barillas

Colegiado No.8782

ASESORA

Ana Marcela Ruano Barillas
Ingeniera Industrial
Colegiado 8782



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **MEJORAR LAS CONDICIONES OPERATIVAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA MUNICIPAL DE CABAÑAS, DEPARTAMENTO DE ZACAPA**, presentado por el estudiante universitario **Edras Nehemías Arriaza Paiz**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Renaldo Giron Alvarado
COLEGIADO 8977

Ing. Renaldo Giron Alvarado
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, julio de 2017.

/mgp



REF.DIR.EMI.153.017

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 **MEJORAR LAS CONDICIONES OPERATIVAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA MUNICIPAL DE CABAÑAS, DEPARTAMENTO DE ZACAPA**, presentado por el estudiante universitario **Edras Nehemías Arriaza Paiz**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. José Francisco Gómez Rivera
DIRECTOR a.i.

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, octubre de 2017.

/mgp

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 469.2017

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: **MEJORAR LAS CONDICIONES OPERATIVAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA MUNICIPAL DE CABAÑAS, DEPARTAMENTO DE ZACAPA**, presentado por el estudiante universitario: **Edras Nehemias Arriaza Paiz** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, octubre de 2017

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por bendecir e iluminar mi vida, mi mente; por darme conocimiento y permitirme cumplir este sueño y vivir este momento.
- Mis padres** Abelardo Arriaza Cruz y Leticia Consuelo Paiz de Arriaza, por todo el amor y esfuerzo; soy lo que soy gracias a ustedes, les amo.
- Mi esposa** María José Calderón de Arriaza, por ser un importante pilar en mi vida, por todo su apoyo, paciencia y, sobre todo, su amor; te amo.
- Mis hijos** Jade Alexandra y Daniel Emilio. Por ser los regalos más grandes que me ha dado Dios, ya que son el motivo por el que lucho cada día, les amo.
- Mis hermanos** Doris Almeda, Miriam Consuelo, Joel, Josué (q.e.p.d.) Saraí, Elizabeth, Lillian Rebeca, gracias por su apoyo incondicional, les quiero mucho.
- Mi familia** Tíos, tías, sobrinas, sobrinos, primos y primas, en especial a Karina y Amelia Arriaza por todo el apoyo y cariño que me han dado en mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la que me permitió desarrollar el pensamiento académico.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme el conocimiento que me ha permitido desarrollarme como profesional y de esta forma contribuir con nuestro país.
Mis amigos de la Facultad	Marlon Torres, Rene Saenz, Jenrry Aceituno, Rony Chinchilla, Cristian Guevara, Juan Carlos Pecorelli, Wilmer Betancohurt, Pedro Navichoc, Gerson, Luis Moreno, Hugo Catalán, Elías Nij, Mónica Oliva y Patricia Figueroa.
La Municipalidad de Cabañas, Zacapa	Por permitirme realizar mi trabajo de graduación y brindarme toda la información requerida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Municipio de Cabañas, Zacapa	1
1.1.1. Ubicación.....	1
1.1.2. Etimología.....	3
1.1.3. Costumbres y tradiciones	4
1.1.4. División administrativa	5
1.1.5. División política.....	6
1.1.6. Infraestructura y servicios.....	7
1.2. Recursos naturales.....	9
1.2.1. Recursos hídricos	9
1.2.2. Recursos orográficos.....	10
1.3. Actividades productivas	10
1.4. Instituciones.....	11
1.5. Definición de agua	12
1.5.1. Calidad	12
1.5.2. Impurezas.....	13
1.6. Norma COGUANOR.....	14

2.	SITUACIÓN ACTUAL	17
2.1.	Aguas residuales.....	17
2.1.1.	Aguas residuales domésticas.....	17
2.1.2.	Aguas residuales industriales.....	17
2.2.	Tipos de contaminantes	19
2.2.1.	Contaminantes orgánicos.....	20
2.2.1.1.	Orgánicos	20
2.2.1.2.	Aceites y grasa.....	21
2.2.2.	Contaminantes inorgánicos	21
2.2.3.	Contaminantes habituales en aguas residuales	21
2.2.3.1.	Arenas.....	23
2.2.3.2.	Nitrógeno y fósforo	23
2.2.3.3.	Agentes patógenos	23
2.2.3.4.	Otros contaminantes específicos	23
2.3.	Descripción del sistema	24
2.3.1.	Caja de demasías	24
2.3.2.	Canal de rejas	25
2.3.3.	Desarenadores.....	25
2.3.4.	Sedimentador primario	27
2.3.5.	Filtros percoladores.....	28
2.3.6.	Sedimentador secundario.....	30
2.3.7.	Patio de secados de lodos	31
2.4.	Contaminantes de las aguas residuales.....	32
2.4.1.	Métodos de tratamiento.....	33
2.5.	Aguas residuales.....	35
2.5.1.	Aguas provenientes de las zonas urbanas.....	35
2.5.2.	Aguas provenientes de las zonas industriales.....	36
2.5.3.	Aguas de la agricultura y ganadería.....	37
2.6.	Parámetros sanitarios	37

2.6.1.	Demanda química de oxígeno	37
2.6.2.	Demanda bioquímica de oxígeno	37
2.6.3.	Sólidos disueltos	38
2.6.4.	Sólidos en suspensión	38
3.	PROPUESTA DE MEJORA DE LAS CONDICIONES OPERATIVAS....	39
3.1.	Evaluación de la capacidad de la planta	39
3.1.1.	Canal de rejas.....	39
3.1.2.	Desarenadores	41
3.1.3.	Sedimentador primario	43
3.1.4.	Filtros percoladores	43
3.1.5.	Patio de secado de lodos	44
3.2.	Análisis físico	45
3.2.1.	Temperatura	46
3.2.2.	Sabor y olor	46
3.2.3.	Turbiedad.....	46
3.2.4.	Color	47
3.2.5.	Conductividad	47
3.3.	Análisis químico.....	48
3.3.1.	Resultados de los análisis físico químicos de las muestras de agua tomadas en el área de estudio ..	49
3.3.2.	Dureza	54
3.3.3.	Cloruro	54
3.3.4.	Cloruro residual	54
3.3.5.	Sólidos totales	55
3.3.6.	Sulfato	56
3.3.7.	Fluoruro	56
3.3.8.	Hierro.....	56
3.3.9.	Nitrito	57

3.3.10.	Alcalinidad	57
3.3.11.	Manganeso.....	57
3.4.	Examen bacteriológico	58
3.4.1.	Prueba presuntiva	58
3.4.2.	Prueba confirmativa	59
3.5.	Aplicación de procesos	62
3.5.1.	Agua como materia prima	62
3.5.2.	Transporte	63
3.5.3.	Agua para lavados	64
4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA	65
4.1.	Tratamiento primario	65
4.1.1.	Filtrado grueso	66
4.1.2.	Sedimentación.....	67
4.1.3.	Separación de aceites.....	68
4.1.4.	Flotación.....	69
4.1.5.	Homogenización.....	70
4.1.6.	Neutralización.....	72
4.1.7.	Requerimientos de los tratamientos primarios	72
4.2.	Tratamiento secundario.....	73
4.2.1.	Lagunas de estabilización	74
4.2.1.1.	Laguna anaeróbica.....	76
4.2.1.2.	Lagunas aireadas.....	77
4.2.1.3.	Lagunas facultativas.....	78
4.2.2.	Lodos activados	80
4.2.2.1.	Sedimentador	81
4.2.2.2.	Oxidación	81
4.2.2.3.	Filtros percoladores.....	82
4.2.2.4.	Sistemas biológicos.....	82

4.2.3.	Tratamiento terciario de aguas residuales	83
4.2.4.	Tratamiento de lodos	83
4.3.	Especificaciones de descarga	84
4.3.1.	Caracterización de los efluentes.....	84
4.3.2.	Disposición final de los efluentes.....	86
4.4.	Análisis financiero de la propuesta	87
4.4.1.	Valor presente neto	88
4.4.2.	Tasa interna de retorno	91
4.4.3.	Beneficio-costo	94
5.	MEJORA DEL SISTEMA.....	95
5.1.	Auditoría	95
5.1.1.	Auditoría interna	95
5.1.2.	Auditoría externa	96
5.2.	Impacto ambiental	96
5.2.1.	Emisiones	96
5.2.2.	Líquido.....	97
5.2.3.	Barro.....	97
5.2.4.	Arena.....	97
5.2.5.	Sólidos.....	98
5.2.6.	Gases	98
5.2.7.	Sonoras	98
5.3.	Impactos positivos existentes en el ambiente y la salud.....	99
5.3.1.	Mejoramiento de la calidad bacteriológica del agua.....	99
5.3.2.	La reutilización de las aguas residuales tratadas ...	99
5.3.3.	Disminución de riesgos de salubridad	99
5.3.4.	Mejora de la calidad del suelo	100

CONCLUSIONES..... 101
RECOMENDACIONES 103
BIBLIOGRAFÍA..... 105

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación del municipio de Cabañas, departamento de Zacapa	2
2.	Municipio de Cabañas, Zacapa	2
3.	Ingreso al municipio de Cabañas, departamento de Zacapa	3
4.	Industrias lácteas	18
5.	Industria minera	19
6.	Sólidos suspendidos	22
7.	Caja derivadora.....	24
8.	Canal de rejillas	25
9.	Desarenador	26
10.	Tanque rectangular alargado con rastra para lodo	27
11.	Sedimentador circular, alimentación central con rastras para recolección de lodos.....	28
12.	Filtro percoladora	30
13.	Sedimentador secundario	31
14.	Patio de secado de lodos.....	32
15.	Balsas de tratamiento.....	34
16.	Agua residual de zonas urbanas.....	35
17.	Aguas residuales industriales.....	36
18.	Canal de rejillas actual de la planta	39
19.	Desarenador actual de la planta de tratamiento de aguas residuales..	41
20.	Filtro percolador	44
21.	Patio de secado de lodos.....	44
22.	Análisis químico	48

23.	Tanque Imhoff.....	66
24.	Filtrado grueso	67
25.	Sedimentación	68
26.	Separación de aceite	69
27.	Flotación	70
28.	Homogenización	71
29.	Laguna de estabilización	76
30.	Laguna facultativa.....	80
31.	Disposición final extracción de lodo	87

TABLAS

I.	Población y distribución total, según lugares poblados.....	6
II.	Valores teóricos de velocidad en función de la temperatura.....	42
III.	Resultados de los análisis físico químicos de las muestras de agua tomadas en el área de estudio, muestra 1	49
IV.	Resultados de los análisis físico químicos de las muestras de agua tomadas en el área de estudio, muestra 2.....	50
V.	Resultados de los análisis físico químicos de las muestras de agua tomadas en el área de estudio, muestra 3.....	51
VI.	Resultados de los análisis físico químicos de las muestras de agua tomadas en el área de estudio, muestra 4.....	52
VII.	Resultados de los análisis físico químicos de las muestras de agua tomadas en el área de estudio, muestra 5.....	53
VIII.	Microorganismos que presentaron reacción cruzada con la prueba DBE	59
IX.	Resultados de validación de la prueba desarrollada por los diferentes tiempos y temperaturas de incubación.....	62
X.	Límites máximos permisibles de descargas a cuerpos receptores	85

XI.	Límites máximos permisibles para entes generadores	85
XII.	Flujo de efectivo	90

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
m	Metro
mm	Milímetro

GLOSARIO

Aireación	Proceso de transferencia de oxígeno del aire al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido).
Afluente	El agua captada por un ente generador.
Aguas crudas	Aguas residuales antes de recibir cualquier tratamiento.
Aguas residuales especiales	Las que son generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como su mezcla.
Aguas residuales	Las que son generadas por las actividades ordinarias domésticas: servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos y otras similares, y su mezcla.
Alcalinidad	Representa el contenido de carbonatos, hidróxidos y ocasionalmente boratos, silicatos y fosfatos en el agua.

Bacterias

Grupo de organismos microscópicos unicelulares, con cromosoma único, división binaria y que intervienen en los procesos de estabilización de la materia orgánica.

RESUMEN

El municipio de Cabañas posee una extensión geográfica de 136 kilómetros cuadrados. Se encuentra localizado a 35 km de la cabecera departamental de Zacapa y forma parte del valle del río Motagua; limita al norte con el municipio de Usumatlán, el río Motagua es su línea divisoria, al sur con el municipio de San Diego, al oeste con el municipio El Júcaro, El Progreso, y al este con el municipio de Huite. Durante la colonia era llamado San Sebastián Chimalapa; el 7 de abril de 1890 se cambia su nombre a Cabañas en honor al general Trinidad Cabañas; su clima es cálido seco, no hay población indígena, posee 5 vías de acceso, en su totalidad de asfalto. Sus datos históricos permiten el análisis cultural, social y económico que son de suma importancia para el desarrollo y crecimiento económico del municipio.

Las aguas residuales pueden definirse como: conjunto de aguas con elementos extraños, bien por causas naturales provocadas de forma directa o indirecta por la actividad humana, los cuales alteran su apariencia física, química y biológica; las aguas residuales deben o pueden ser tratados por diferentes métodos según sea su caso; los métodos o procesos más comunes son: proceso anaerobio y proceso aerobio. Un sistema de tratamiento de aguas residuales es seleccionado de acuerdo a los objetivos que se fijan al buscar la remoción de los contaminantes.

El municipio cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, la cual no está en funcionamiento por diversidad de problemas. Para la rehabilitación del sistema de tratamiento de aguas residuales es necesario evaluar las instalaciones o construir los elementos que faltan para que la planta

de tratamiento sea funcional tomando en cuenta los nuevos caudales ya que fue diseñada hace 9 años y si es necesario realizar las ampliaciones o modificaciones que requiera para que pueda operar sin problemas.

OBJETIVOS

General

Mejorar las condiciones operativas en la planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Cabañas, departamento de Zacapa.

Específicos

1. Determinar el proceso actual del tratamiento de aguas residuales.
2. Identificar las necesidades de mejora para la planta de tratamiento de aguas residuales.
3. Definir los parámetros de calidad del agua con base en la Norma COGUANOR NTG 29 001.
4. Analizar los cambios que contribuyan a la puesta en marcha de la planta y su buen funcionamiento.
5. Establecer programas de capacitación para mejorar los servicios de operación.
6. Determinar el análisis financiero de la propuesta para mejorar las condiciones operativas de la planta de tratamiento de aguas residuales.

7. Identificar las oportunidades de mejora que deben realizarse en el servicio al cliente.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la Municipalidad de Cabañas, departamento de Zacapa, no cuenta con un plan para mejorar las condiciones operativas de la planta de tratamiento, dado que durante el 2015 se han presentado fallas que han retrasado el tratamiento de aguas residuales, por ende, se ve afectado el suministro de agua a la población.

El adecuado tratamiento de aguas residuales municipales, y su posterior reutilización para múltiples usos, contribuye a un consumo sostenible del agua y a la regeneración ambiental de los ecosistemas. Sin olvidar que el agua de calidad es indispensable para nuestra salud. La puesta en marcha de la planta de tratamiento de aguas residuales arrojará resultados satisfactorios ya que es un proceso anaeróbico, económico y al alcance de la Municipalidad.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Municipio de Cabañas, Zacapa

En este capítulo se analizan las características socioeconómicas presentes en el municipio de Cabañas, departamento de Zacapa, con el fin de poseer un conocimiento profundo sobre los antecedentes históricos, la extensión territorial, la localización geográfica, los aspectos culturales y deportivos. Además, se realiza un informe detallado acerca de las principales variables que permiten evaluar el nivel de desarrollo.

1.1.1. Ubicación

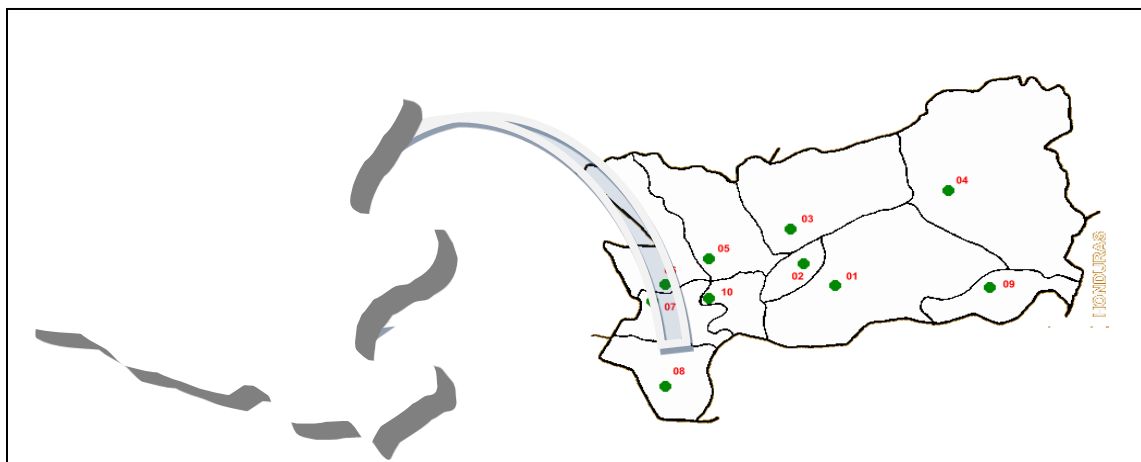
Cabañas es un municipio del departamento de Zacapa, limita al norte con el municipio de Usumatlán, el río Motagua es su línea divisoria; al sur con el municipio de San Diego; al oeste con el municipio de El Júcaro, El Progreso; al este con el municipio de Huité.

Figura 1. **Ubicación del municipio de Cabañas, departamento de Zacapa**



Fuente: *Municipio de Cabañas*. <http://bit.ly/2xmRTDY>. Consulta: 26 de febrero de 2016.

Figura 2. **Municipio de Cabañas, Zacapa**



Fuente: elaboración propia, utilizando Adobe Illustrator.

Figura 3. Ingreso al municipio de Cabañas, departamento de Zacapa



Fuente: elaboración propia.

1.1.2. Etimología

El pueblo de Cabañas fue fundado como resultado del proceso de la colonización del país, aunque en sus inicios el lugar no tenía el nombre actual. “El antiguo nombre de Cabañas, fue un nombre de voces indígenas (de origen mexicano: 'chimali': escudo, rodela; y 'apan' = terminación locativa: que significa 'en el lugar de las rodelas; las rodelas fueron armas defensivas que usaron los conquistadores'.”¹

¹ *Municipios de Guatemala.* <http://www.deguate.com/municipios/pages/zacapa/cabanas/historia.php#.WbgMsLLyiUk>. Consulta: 13 de febrero de 2016.

El municipio estuvo ubicado en un sitio distinto, de acuerdo a un documento encontrado en el Archivo General de Centroamérica, todo empezó porque las autoridades de San Cristóbal Acasaguastlán (alcaldes regidores) dirigieron una petición hace casi 2 siglos y medio (en 1755) al Rey de España para evitar que los habitantes naturales del pueblo de San Sebastián Chimalapa, les quitaran ciertas vegas en el río Chimalapa (actual El Tambor), que las poseían con título real desde mucho tiempo atrás. Las vegas pertenecientes a los habitantes de San Cristóbal estuvieron asentadas en el margen del mencionado río, en una clara proximidad mayor hacia Chimalapa que hacia San Cristóbal.

1.1.3. Costumbres y tradiciones

Cabañas es un pueblo de costumbres y tradiciones, dentro de las principales se mencionan las siguientes:

La celebración de la feria titular es en el mes de enero, en honor a San Sebastián, el principal día es el 21. Como parte de los festejos se organizan bailes, coronación de reinas y jaripeos. Otra tradición es la celebración del carnaval, en la cual se realiza un concurso de disfraces; además, se ubican ventas de comida y cascarones.

Cabañas es un pueblo muy religioso y una forma en la cual demuestran su devoción con la elaboración de vistosas alfombras durante Semana Santa con diversos materiales, las cuales adornan las calles ante el paso del anda procesional.

Dentro de la gastronomía tradicional del municipio se pueden mencionar los siguientes platillos: pescado forrado o frito, jocotes en almíbar, ayote en

dulce, arroz con leche, pollo encebollado, tamales, ponche de frutas, pollo relleno y molletes. En el municipio existe una organización de jóvenes llamada Asociación Juvenil Cabañeca (AJUCA), la cual se encarga de la planificación de eventos deportivos los cuales se llevan a cabo en el parque central.

1.1.4. División administrativa

En Cabañas existe un gobierno municipal, el cual corresponde al Concejo Municipal, integrado por el alcalde, los síndicos y los concejales; todas las personas que ocupan dichos cargos fueron electas popularmente por los habitantes del municipio.

Dentro de las funciones del Concejo Municipal se pueden mencionar: la deliberación y toma de decisiones de los asuntos municipales: políticas, planes, programas y proyectos de desarrollo, el alcalde es el encargado de ejecutarlas y darles seguimiento.

En cada aldea existe un Consejo Comunitario de Desarrollo (COCODE), que se encarga de la organización comunitaria con el fin de participar en la realización de obras, programas y servicios públicos a favor de todos los miembros de una comunidad. Se pudo determinar que en los centro poblados más lejanos a la cabecera municipal el trabajo de los COCODES es significativo para todos los miembros de la comunidad, quienes participan activamente en las mejoras del centro poblado, mientras que en las aldeas cercanas al casco urbano no existe una organización comunitaria definida además, de no considerar necesaria su formación.

1.1.5. División política

El municipio cuenta con una cabecera municipal, 22 centros poblados entre aldeas, caseríos y fincas; esta información se verificó según el censo nacional de población realizado en 2002.

Tabla I. **Población y distribución total, según lugares poblados**

Núm.	LUGAR POBLADO	POBLACIÓN DEL LUGAR	PORCENTAJE DEL MUNICIPIO
1	Cabañas	4 468	39,77 %
2	Agua Caliente	133	1,18 %
3	Agua Zarca	148	1,31 %
4	El Arenal	425	3,78 %
5	El Guayabo	119	1,06 %
6	El Rosario	683	6,08 %
7	El Solís	235	2,09 %
8	El Zapote	48	0,43 %
9	La Laguna	204	1,82 %
10	La Puente	104	0,93 %
11	Loma de San Juan	343	3,06 %
12	Los Achiotes	208	1,86 %
13	Los Encuentros	250	2,23 %
14	Piedras Blancas	131	1,17 %
15	Plan de la Cruz	144	1,28 %
16	Plan de los Pinos	235	2,10 %
17	Quebrada Honda	576	5,13 %
18	San Luis	73	0,65 %
19	San Vicente	1 942	17,29 %
20	Santo Tomás	616	5,49 %
21	Sunzapote	126	1,12 %
22	Finca el Naranja	23	0,20 %
TOTAL		11 234	100 %

Fuente: elaboración propia.

1.1.6. Infraestructura y servicios

Se refiere a los servicios básicos de la comunidad, asimismo, si son gratuitos o se tiene que realizar algún pago. La infraestructura y los servicios que tenga la población hacen referencia a su nivel de desarrollo.

- Red vial

El municipio posee un sistema vial asfaltado y de terracería, el cual le permite la comunicación con los municipios de Huite, San Diego y el Júcaro, al igual que con cada centro poblado de Cabañas, los cuales se encuentran en buen estado en la época seca, pero se dificulta la circulación de vehículos en la época lluviosa.

También, cuenta con cuatro puentes de hamaca utilizados por las aldeas de Agua Caliente, Piedras Blancas, El Rosario y San Vicente; en esta última se encuentran dos puentes: uno en el Barrio Cerco de Piedra y otro en el Barrio San Rafael.

La cabecera del municipio se comunica con la carreta CA-9 a la altura del kilómetro 98 que une desde la villa El Rancho, San Agustín Acasaguastlán hasta la cabecera municipal; posee 55 kilómetros de tramo carretero asfaltado y es considerada una ruta alterna.

Existe otro acceso al municipio, se ubica a la altura del kilómetro 126 en jurisdicción de Rio Hondo, por la entrada de Santa Cruz a través de un tramo carretero asfaltado de 24 kilómetros, el cual atraviesa el municipio de Huité.

- Vías de comunicación

El área urbana, el transporte utilizado por la mayoría de la población es el denominado comúnmente tuc-tuc, con una capacidad máxima de tres personas, brindan el servicio por una tarifa de Q 2,50 por la movilización de barrio a barrio, para el traslado fuera de la cabecera municipal realizan un cobro que oscila entre Q 3,00 a Q 10,00 que depende de la cantidad de kilómetros recorridos.

- Servicios de salud

Existen cuatro centros de salud cubren algunas de las necesidades de la población, ubicados en Cabañas, Lomas de San Juan, El Rosario y San Vicente. Poseen equipo obsoleto y muchas veces en mal estado con el cual no pueden brindarle a la población la atención necesaria; por tal razón los casos graves son trasladados al hospital de la cabecera departamental.

El poco personal es otro problema que posee el servicio de salud del municipio, hay un solo médico dedicada a la atención y administración del centro de salud ubicado en Cabañas, los otros tres centros son atendidos por enfermeras.

- Servicios de educación

En el municipio se cubren los niveles de preprimaria, primaria y medio; el nivel preprimario tiene una cobertura del 7,59 %, debido a las pocas escuelas y a la falta de personal docente dedicado a la atención de los infantes.

El nivel primario posee una cobertura del 22,18 %, este porcentaje es muy importante debido a que refleja una actitud positiva por parte de los padres de familia hacia la educación de sus hijos.

La cobertura del nivel medio de educación es de 5,32 %, corresponde un 1,01 % al ciclo básico y un 4,31 % al ciclo diversificado. Los porcentajes anteriormente mencionados corresponden al año 2010.

Es alarmante la poca cobertura que este nivel posee dentro del municipio debido a la falta de establecimientos y de diversificación de carreras en el área rural; de igual forma dentro de la cabecera municipal existe solo un colegio por cooperativa que cubre el ciclo diversificado. Otro factor es la poca afluencia de estudiantes es la escasez de recursos de los padres para apoyar a sus hijos en los estudios; al igual, prefieren enviarlos a trabajar para contar con ingresos extras que permitan cubrir las necesidades del núcleo familiar.

1.2. Recursos naturales

Dentro de esta variable se encuentran comprendidos todos los recursos que forman parte de las riquezas que la naturaleza ofrece y el hombre puede incorporar a las actividades económicas, mediante su cultivo, extracción de materias primas y explotación del potencial energético.

1.2.1. Recursos hídricos

El río Motagua es el principal recurso hidrológico del municipio; además, dos ríos abastecen a diferentes comunidades: San Vicente, el cual nace de los ríos Santo Tomas y San Diego, dentro de su recorrido pasa por las aldeas Los Encuentros, El Arenal y San Vicente; el segundo rio es el denominado El

Tambor o Jalapa, dentro de su recorrido incluye a las aldeas de Piedras Blancas, El Guayabo, El Rosario, San Luis, Agua Caliente, La Laguna y La Puente. En las cercanías del área protegida del Parque Regional Municipal El Niño Dormido se encuentran 25 pequeños manantiales que constituyen una fuente de abastecimiento para los pobladores del municipio.

1.2.2. Recursos orográficos

Los cerros del municipio son los siguientes: Piedra de Cal, La Campana, El Pacayal, El Temblador y El Cuervo.

El cerro Piedra de Cal se encuentra ubicado en terrenos municipales, en sus límites se encuentra el Parque Regional Municipal El Niño Dormido, designado como un área protegida. En la aldea San Tomas se localizan los cerros La Campana y el Pacayal, los cuales colindan con el departamento de Chiquimula. El cerro El Temblador colinda con el municipio de Huité y el cerro el Cuervo con el municipio de San Diego.

1.3. Actividades productivas

Todas las actividades que se realizan en el municipio y generan beneficios económicos para sus habitantes constituyen la presente variable. Los pobladores se dedican a diversas actividades para obtener ingresos económicos para el sostenimiento familiar, en ocasiones, relacionado con el nivel académico de la población.

- Producción agrícola: entre las principales fuentes económicas del municipio de Cabañas se encuentra la agricultura, el primordial medio de trabajo de esta comunidad. Las personas que se dedican a ello poseen,

generalmente, extensiones de tierra amplias en donde pueden producir diversos tipos de cultivos: el maíz, frijol, melón, sandía, tabaco, papaya, limón, tomate, entre otros.

- Producción artesanal: la participación en las actividades artesanales de la población del municipio de Cabañas no es tan resaltada. Actualmente, cuenta con 3 carpinterías, la única actividad artesanal. Años anteriores, las personas se dedicaban a la manipulación de hoja de palma para elaborar petates, sombreros, canastos, entre otros.

1.4. Instituciones

Se detallan todas las organizaciones gubernamentales, no gubernamentales, municipales, organismos internacionales y entidades privadas que brindan apoyo de diversa forma a una comunidad determinada.

- Policía Nacional Civil: esta entidad se encarga de velar por la seguridad de la población en general, la jefatura se encuentra localizada en la calle principal del Barrio el Centro y cuenta con vehículos tipo picop de doble tracción para realizar patrullajes dentro del municipio de Cabañas.
- Juzgado de Paz: son tribunales menores, que pertenecen al Organismo Judicial, tienen la facultad de juzgar todos aquellos casos que dispongan las leyes nacionales; se encuentra ubicado en el Barrio San Juan de la cabecera municipal; vela por los asuntos penales y judiciales relacionados a esta entidad, con el propósito de impartir justicia dentro del municipio.

- Bomberos Voluntarios: se encuentra ubicada en el barrio San Francisco de Asís en la entrada del municipio. Cuenta con 13 elementos que trabajan voluntariamente al servicio de toda la población; cuenta con 2 ambulancias, una motobomba y equipo básico para prestar los primeros auxilios.

1.5. Definición de agua

El agua es una combinación de hidrógeno y oxígeno (H₂O); es un líquido insípido, incoloro e inodoro, que en su composición pura es difícil de obtener debido a que casi cualquier sustancia es soluble en esta. Es una mezcla de diferentes moléculas debido a la existencia de los diferentes isótopos del hidrógeno y oxígeno; esta complicación, unida a su polaridad, hace que todas sus constantes físicas sean anormales.

El agua juega un papel primordial en el desarrollo de los seres vivos sobre la tierra, es un elemento vital en la base de la vida y ejerce una gran influencia en el desarrollo del ser humano. El agua cubre tres cuartas partes en la base de la Tierra, hay un constante cambio en el ciclo hidrológico que es finito. El volumen de agua que hay en la tierra es aproximadamente de 1 500 millones de kilómetros cúbicos; sin embargo, se encuentran áreas del planeta en donde el agua es muy escasa.

1.5.1. Calidad

La calidad obedece a su fuente e historia. Las aguas naturales manifiestan, universalmente, las calidades más peculiares de sus nacimientos. No obstante, varios factores provocan diferenciaciones en la calidad de las aguas obtenidas del mismo tipo de nacimiento.

Estas variaciones descienden de la circunstancia que tiene el agua de absorber sustancias en forma de solución o tenerlas en suspensión. Los contextos climatológicos, geográficos y geológicos son factores muy significativos para establecer la calidad del agua.

1.5.2. Impurezas

Habitualmente, no hay sustancia química que se encuentre en un estado de pureza bastante alto, ya sea en su forma natural o preparada en un laboratorio. La gran mayoría de las sustancias químicas utilizadas en las industrias presentan un nivel de impurezas, estas se miden en porcentaje o partes por cientos.

El analista de aguas infrecuentemente trabaja con muestras acuosas con niveles porcentuales de impurezas, únicamente en los siguientes casos: aguas provenientes del mar (aproximadamente 3 % de impurezas minerales disueltas), aguas connatas (que brotan junto con algunos petróleos crudos, que poseen regularmente del 20 % - 30 % de sales disueltas), aguas salobres y algunas aguas industriales de desecho.

El analista de aguas suele trabajar con agua dulce; mide los parámetros de impurezas en partes por millón (ppm), 10 000 ppm es igual al 1 %; una muestra de agua proveniente del lago Michigan, contiene alrededor de 150 mg/L, tiene un parámetro de impurezas de 0,015. Debido a que un litro de agua destilada pesa 1 000 g o 1 000 000 mg, es claro que 1 mg de impurezas en un litro representa 1 ppm. No obstante, un litro de agua proveniente del mar pesa aproximadamente 1 032 g, de forma que 1 mg de impureza en el agua de mar es menos de 1ppm. Esto se da a que la densidad del agua puede ser bastante

alta, el uso de mg/l es más preciso que ppm, no obstante, para fines prácticos son iguales cuando se trabaja con agua dulce.

Toda cosa en el agua que no sea H₂O es un contaminante o impureza. Cualquier agua es impura y el trabajo principal del analista de agua es precisar estas impurezas, mostrar las especificaciones para cada impureza admisibles para el uso que se le va a dar al agua posteriormente del tratamiento, y buscar métodos económicos de tratamiento para alcanzar los límites de calidad establecidos.

Hay que reconocer que los términos impureza, contaminación y polución son términos subjetivos. Un contaminante se puede tomar como un polutante cuando su concentración alcanza un nivel que pueda resultar perjudicial para la vida acuática o para la salud, si el agua se va destinada como potable.

Las impurezas disueltas en el agua pueden catalogar en una forma amplia como sales inorgánicas, disueltas de los minerales que son parte de las formaciones geológicas que contienen el nacimiento de agua, y la materia orgánica, respectiva de la vida acuática y el revestimiento vegetal de los lechos acuíferos. En la mayoría de las aguas dulces, la materia disuelta es principalmente inorgánica.

1.6. Norma COGUANOR

La Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) es el Organismo Nacional de Normalización, creada por el Decreto No. 1523 del Congreso de la República del 05 de mayo de 1962. Sus funciones están definidas en el marco de la *Ley del sistema nacional de la calidad*, Decreto 78-2005 del Congreso de la República.

COGUANOR es una entidad adscrita al Ministerio de Economía; su principal misión es la de proporcionar soporte técnico a los sectores público y privado por medio de la actividad de normalización.

COGUANOR NTG 29001. Agua para consumo humano (agua potable): esta norma establece los valores de las características que definen la calidad del agua apta para consumo humano.

Esta norma se aplica a toda agua para consumo humano, destinada para alimentación y uso doméstico, que provenga de fuentes como: pozos, nacimientos, ríos, entre otros. El agua podrá estar ubicada en una red de distribución, en reservorios o depósitos.

Se excluyen a las aguas purificadas envasadas y aguas carbonatadas, las cuales son cubiertas por normas específicas.

2. SITUACIÓN ACTUAL

2.1. Aguas residuales

El agua que se utiliza en las distintas actividades humanas sufre modificaciones en sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Por esta razón, el agua procedente de los distintos procesos y actividades domésticas, industriales y agrícolas, etc., son denominadas aguas residuales y su descarga a los cuerpos de agua puede ser perjudicial para las personas, para los mismos cuerpos de agua y para las distintas formas de vida. Por lo anterior, es importante remover sustancias contaminantes de las aguas residuales antes de que sean descargadas a los cuerpos de agua, superficiales, subterráneos y costeros. La remoción de las sustancias contaminantes se realiza según niveles que deben responder de acuerdo a normas específicas de cada país y a los usos que se hace de los cuerpos de agua.

2.1.1. Aguas residuales domésticas

Proviene de viviendas, edificios públicos y otras instalaciones públicas. Se incluyen aquí las aguas utilizadas para limpieza de calles y control de incendios, además, las provenientes de pequeñas industrias locales conectadas al sistema de alcantarillado.

2.1.2. Aguas residuales industriales

Son producidas por las grandes plantas industriales de todo tipo, por ejemplo:

- Industrias lecheras.
- Petroquímicas, de curtido.
- Lavado de minerales.
- Industrias de laminación, plantas de ácido sulfúrico, industrias de alimentos, entre otros.

Figura 4. **Industrias lácteas**



Fuente: *Lácteos*. <http://www.prensalibre.com/economia/baja-el-precio-de-los-lacteos>. Consulta:

13 de febrero de 2016.

Figura 5. **Industria minera**



Fuente: *Minería*. http://www.prensalibre.com/noticias/comunitario/CONFLICTOs_0_1069093099.html. Consulta: 13 de febrero de 2016.

2.2. Tipos de contaminantes

Las aguas residuales domésticas están constituidas en un alto porcentaje (en peso) por agua, cerca de 99,9 % y apenas 0,1 % de sólidos suspendidos, coloidales y disueltos; el agua es el medio de transporte de los sólidos. Esta pequeña fracción de sólidos es la que presenta los mayores problemas en el tratamiento y su disposición.

El agua residual está compuesta de componentes físicos, químicos y biológicos. Es una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos, suspendidos o disueltos en el agua.

2.2.1. Contaminantes orgánicos

Son estructuras químicas compuestas fundamentalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. La mayor parte de la materia orgánica consiste en residuos alimenticios, heces, material vegetal, sales minerales, materiales orgánicos y materiales diversos como jabones y detergentes sintéticos. Las proteínas son el principal componente del organismo animal, también, están presentes en los vegetales.

2.2.1.1. Orgánicos

Los carbohidratos son las primeras sustancias degradadas por las bacterias, con producción de ácidos orgánicos (por esta razón, las aguas residuales estancadas presentan una mayor acidez). Entre los principales ejemplos se pueden citar los azúcares, el almidón, la celulosa y la lignina (madera).

Los lípidos (aceites y grasas) incluyen gran número de sustancias que tienen como principal característica común la insolubilidad en agua, pero son solubles en ciertos solventes como cloroformo, alcoholes y benceno. Están siempre presentes en las aguas residuales domésticas, debido al uso de manteca, grasas y aceites vegetales en cocinas. Pueden estar presentes también como aceites minerales derivados de petróleo, debido a contribuciones no permitidas (de estaciones de servicio) y son altamente indeseables, porque se adhieren a las tuberías que provocan su obstrucción.

2.2.1.2. Aceites y grasa

Son todas aquellas sustancias de naturaleza lipídica que, al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Estas natas y espumas entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de un agua residual.

2.2.2. Contaminantes inorgánicos

Son de origen mineral y de naturaleza variada: sales, óxidos, ácidos y metales. La materia inorgánica presente en las aguas residuales está formada principalmente de arena y sustancias minerales disueltas. El agua residual también contiene pequeñas concentraciones de gases disueltos.

El más importante es el oxígeno proveniente del aire que eventualmente entra en contacto con las superficies del agua residual en movimiento. Aparte del oxígeno, el agua residual puede contener otros gases como dióxido de carbono, resultante de la descomposición de la materia orgánica, nitrógeno disuelto de la atmósfera, sulfuro de hidrógeno formado por la descomposición de compuestos orgánicos, gas amoníaco y ciertas formas inorgánicas del azufre. Estos gases, aunque en pequeñas cantidades, se relacionan con la descomposición y el tratamiento de los componentes del agua residual.

2.2.3. Contaminantes habituales en aguas residuales

Los contaminantes que suelen estar presentes en las aguas residuales son:

- **Sólidos suspendidos:** arenas, papel, trapos, entre otros. Pueden llevar al desarrollo de depósitos de barro y condiciones anaerobias, cuando los residuos no tratados son volcados en el ambiente acuático. Las arenas enturbian las masas de agua cuando están en movimiento o bien forman depósitos de lodos si encuentran condiciones adecuadas para sedimentar.

Figura 6. **Sólidos suspendidos**



Fuente: elaboración propia.

- **Materia orgánica biodegradable:** compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas, por lo general, se mide en términos de DBO y DQO. Si es descargada sin tratamiento al medio ambiente, su estabilización biológica puede llevar al consumo del oxígeno natural y al desarrollo de condiciones sépticas. Pues al ser insolubles en el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Estas natas y espumas entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de un agua residual.

- Agentes patógenos: los organismos patógenos existentes en las aguas residuales pueden producir o transmitir enfermedades.

2.2.3.1. Arenas

Son una serie de tamaño apreciable y que en su mayoría son de naturaleza mineral, aunque pueden llevar adherida materia orgánica. Las arenas enturbian las masas de agua cuando están en movimiento, o bien, forman depósitos de lodos si encuentran condiciones adecuadas para sedimentar.

2.2.3.2. Nitrógeno y fósforo

Tienen un papel fundamental en el deterioro de las masas acuáticas. Su presencia en las aguas residuales es debida a los detergentes y fertilizantes, principalmente. El nitrógeno orgánico, también, es aportado a las aguas residuales a través de las excretas humanas.

2.2.3.3. Agentes patógenos

Son organismos que pueden ir en mayor o menor cantidad en las aguas residuales y que son capaces de producir o transmitir enfermedades.

2.2.3.4. Otros contaminantes específicos

Se incluyen sustancias de naturaleza muy diversa que provienen de aportes muy concretos: metales pesados, fenoles, petróleo, pesticidas, etc.

2.3. Descripción del sistema

A continuación, se presentan la descripción del sistema.

2.3.1. Caja de demasías

La falta de educación de la población en el manejo de los desechos sólidos, cuidado del agua, hace que se contamine, la mayoría de las personas sean han conectado al sistema de drenaje sanitario. Esto provoca que durante el invierno el caudal que corre por el sistema sanitario sea sumamente.

Por tal razón, que el sistema debe tener cajas derivadoras de caudales en la red de alcantarillado y al inicio del sistema, que tiene como función desviar los excedentes de las aguas en periodos de invierno

Figura 7. Caja derivadora



Fuente: elaboración propia.

2.3.2. Canal de rejas

El canal de rejas es el primer paso en el tratamiento de las aguas residuales, consiste en separar los sólidos gruesos (basura); se hace a través de rejas de barras que suelen tener aberturas de libras de 15 a 50 centímetros.

Figura 8. **Canal de rejas**



Fuente: elaboración propia.

2.3.3. Desarenadores

Las aguas residuales contienen, por lo general, sólidos inorgánicos como arena, ceniza y grava, a los que se denominan arenas. La cantidad es variable y depende de muchos factores, principalmente, si la red de alcantarillado es sanitaria o combinada.

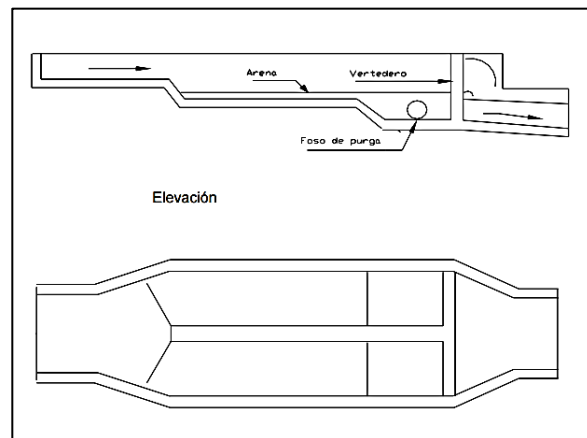
Estas áreas pueden dañar los equipos mecánicos por abrasión, por lo cual se instalan en la tubería de entrada para tener un filtro y evitar la contaminación.

El desarenador es un sedimentador selectivo, sedimenta solamente la arena, por lo que la velocidad de funcionamiento debe ser constante, el mismo tiene dos canales para tener un funcionamiento alterno cuando uno de los dos no esté en funcionamiento.

Se logra regulando la velocidad en el desarenador, por medio de dos formas posibles:

- Mediante vertederos proporcionales, los cuales van ubicados a la salida del desarenador.
- Dándole a la sección del desarenador una forma parabólica.

Figura 9. **Desarenador**

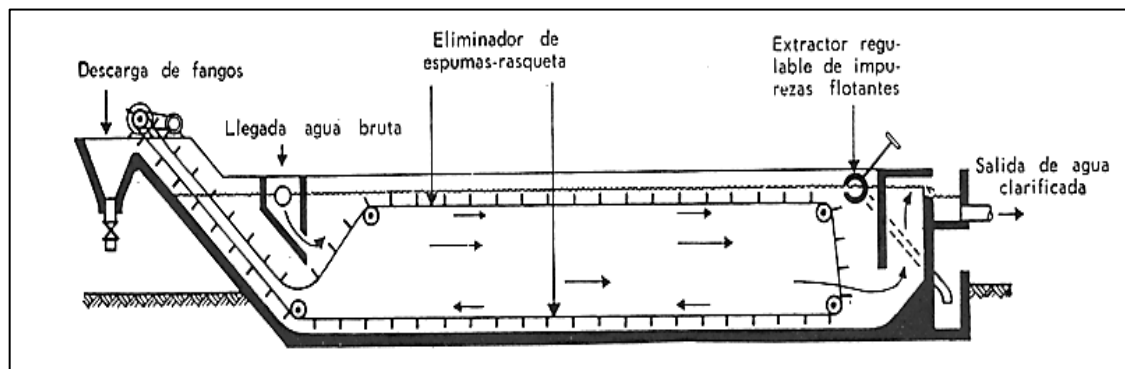


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

2.3.4. Sedimentador primario

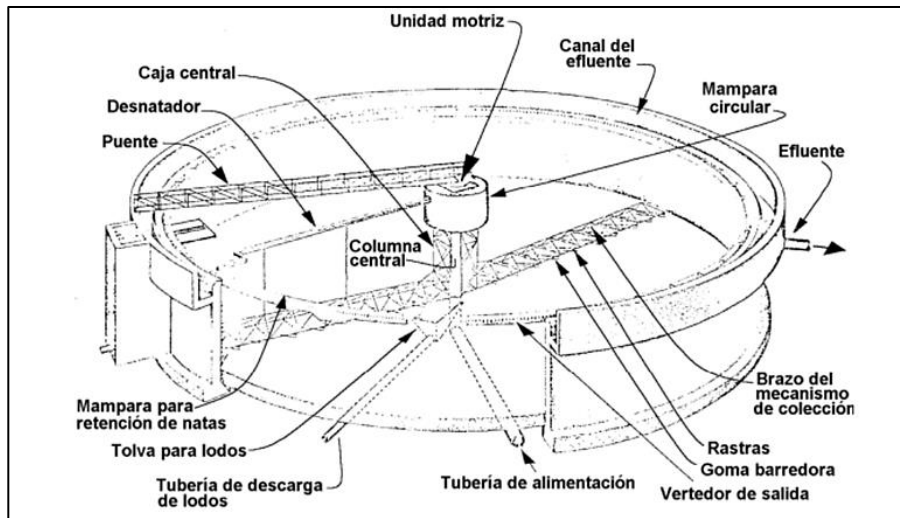
Siempre que un líquido con sólidos es suspensión se encuentre en estado de relativo reposo, los sólidos de peso específico superior al del líquido tenderán a depositarse en el fondo y los de menor peso específico a ascender. Este es el principio de funcionamiento de los tanques de sedimentación primaria, los cuales dimensionados y operados de manera eficiente pueden eliminar entre el 50 % y 70 %.

Figura 10. **Tanque rectangular alargado con rastra para lodo**



Fuente: *Aguas residuales*. www.miliarium.com. Consulta: 18 de febrero de 2016.

Figura 11. **Sedimentador circular, alimentación central con rastras para recolección de lodos**



Fuente: *Aguas residuales*. www.miliarium.com. Consulta: 18 de febrero de 2016.

2.3.5. Filtros percoladores

Un filtro percolador es un filtro biológico de lecho fijo que opera bajo condiciones (principalmente) aeróbicas. Se deja caer o rocía agua de desecho decantada sobre el filtro. Al migrar el agua por los poros del filtro, la materia orgánica se degrada por la biomasa que cubre el material del filtro.

El filtro percolador se llena con material de alta superficie específica, piedras, grava, botellas de PVC trituradas, o material filtrante preformado especialmente. Preferiblemente debe ser un material con una superficie específica de entre 30 y 900 m²/m³. Para prevenir obstrucciones y asegurar un tratamiento eficiente es esencial un pretratamiento. El agua residual pretratada se deja caer sobre la superficie del filtro. Los organismos que se desarrollan en

una delgada capa en la superficie del material oxidan la carga orgánica que producen dióxido de carbono y agua que generan nueva biomasa.

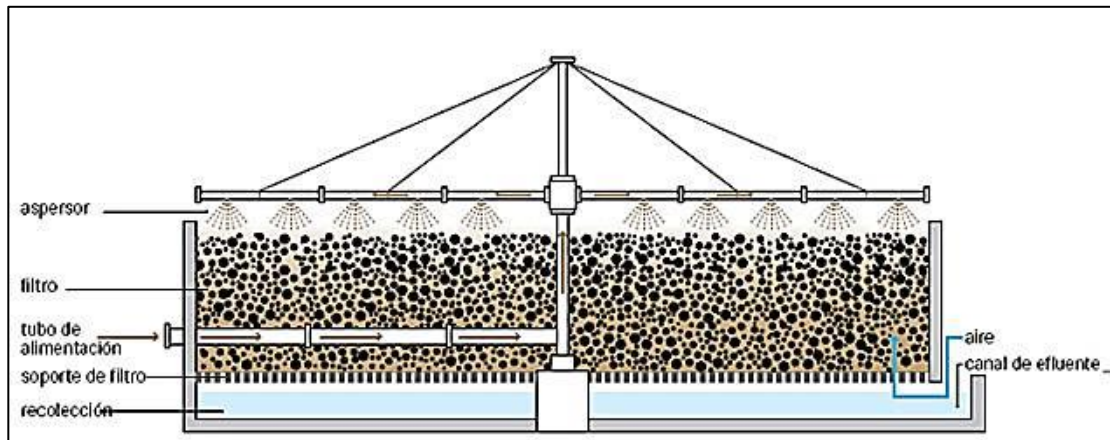
El agua residual entrante es rociada sobre el filtro con el uso de un rociador rotatorio. De esta manera, el material del filtro pasa por ciclos de saturación y de exposición al aire. Sin embargo, el oxígeno se reduce en la biomasa y las capas más internas pueden ser anóxicas o anaeróbicas. El filtro normalmente tiene de 1 a 3 m de profundidad, pero los filtros hechos con material plástico más ligero pueden ser de hasta 12 m de profundidad.

El material ideal para el filtro tiene una elevada relación superficie/volumen, es ligero, duradero y permite que el aire circule. Siempre que estén disponibles, las piedras trituradas o la grava son la opción más económica. Las partículas deben ser uniformes de manera que el 95 % de las partículas tengan un diámetro entre 7 cm. y 10 cm.

Ambos extremos del filtro están ventilados para permitir que el oxígeno pase a lo largo de su superficie. Una losa perforada sostiene el fondo del filtro y permite que el efluente y el exceso de lodo se recolecten.

Con el tiempo la biomasa engrosará y la capa sujeta se quedará sin oxígeno; entrará en un estado endógeno, perderá su habilidad de mantenerse sujeta y se liberará. Las condiciones de alta carga provocarán también la separación. El efluente recolectado debe ser clarificado en un tanque de sedimentación para eliminar cualquier biomasa que se haya desprendido del filtro. El índice de carga hidráulica y de nutrientes (la cantidad de agua residual que se surte al filtro) está determinada por las características del agua residual, el tipo del material del filtro, la temperatura ambiental y las necesidades de descarga.

Figura 12. **Filtro percoladora**

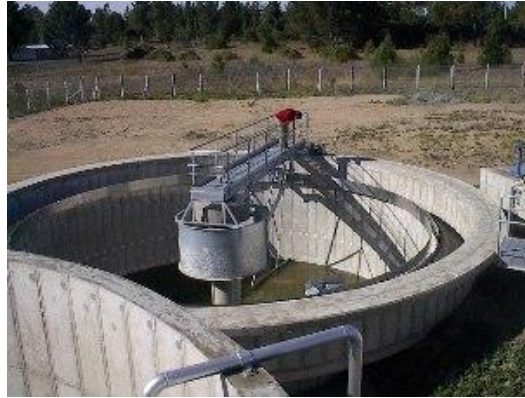


Fuente: *Aguas residuales*. www.alianzaporelagua.org/. Consulta: 18 de febrero de 2016.

2.3.6. **Sedimentador secundario**

La función principal de la sedimentación secundaria es separar los lodos de las aguas residuales purificadas. En la precipitación química de fosfato (precipitación simultánea), también se precipita el fósforo. Los lodos separados son retroalimentados al tanque de aireación con una razón de refluo de hasta un 75 % (relativo al flujo de admisión). El exceso de lodos se pasa al proceso de tratamiento de lodos.

Figura 13. **Sedimentador secundario**



Fuente: *Tratamiento de aguas*. www.alianzaporelagua.org/. Consulta: 18 de febrero de 2016.

2.3.7. Patio de secados de lodos

El proceso de secado de lodos se refiere generalmente a los sistemas de desaguado de los mismos, que buscan reducir el contenido del agua del lodo a menos de un 85 %. En la selección del método de secado de un lodo hay que tomar en cuenta su naturaleza, los procesos subsecuentes de tratamiento y el método de disposición final. Los objetivos del secado de lodos son, principalmente, los siguientes:

- Reducir los costos de transporte del lodo al sitio de disposición. Q 45 000,00.
- Facilitar el manejo del lodo. Un lodo seco permite su manejo con cargadores, garlanchas, carretillas, entre otros.
- Aumentar el valor calórico del lodo para facilitar su incineración.

- Minimizar la producción de lixiviados al disponer el lodo en un relleno sanitario. Producción actual es de 10 %.
- En general, reducir la humedad para disminuir el volumen de lodo, facilitar su manejo y hacer más económico su tratamiento posterior y su disposición final.

Figura 14. **Patio de secado de lodos**



Fuente: *Aguas residuales*. www.alianzaporelagua.org/. Consulta: 18 de febrero de 2016.

2.4. Contaminantes de las aguas residuales

Las aguas residuales pueden contener una variedad de contaminantes, de los cuales los de más interés para su tratamiento son los siguientes: sólidos en suspensión, materia orgánica biodegradable, patógenos, nutrientes, contaminantes prioritarios, materia orgánica refractaria, metales pesados, sólidos orgánicos disueltos.

2.4.1. Métodos de tratamiento

Los principales procesos de tratamiento de las aguas residuales son los físicos, químicos y biológicos.

- **Procesos físicos:** se basan en la propiedad física que incluye la separación de sólidos sedimentables presentes en el agua residual y su estabilización, la remoción de partículas flotantes, la retención de partículas de gran tamaño, basura.
- **Procesos químicos:** consiste en la separación o transformación de las sustancias sedimentables, flotantes y disueltas mediante el uso de sustancias químicas.
- **Procesos biológicos:** para estos procesos se utiliza la actividad de ciertos microorganismos para la oxidación y mineralización de sustancias orgánicas presentes en las aguas residuales.

La secuencia de autodepuración aeróbica que tiene lugar cuando se añade materia orgánica a lagos y ríos puede desarrollarse en condiciones controladas donde se intensifican los procesos naturales. Esto comprende a menudo el uso de grandes balsas (tratamiento clásico de aguas residuales) donde se controlan rigurosamente la mezcla y el intercambio de gases. La depuración puede realizarse también mediante la construcción de humedales artificiales, donde cañas y plantas acuáticas naturales (y sus microorganismos asociados) procesan los nutrientes disueltos. Este tipo de métodos pueden ser eficaces para minimizar la degradación ambiental de recursos de agua valiosos y para destruir agentes patógenos humanos.

Figura 15. **Balsas de tratamiento**



Fuente: elaboración propia.

Los métodos modernos para el tratamiento de aguas residuales son encaminados a reducir la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de las aguas residuales, antes de que sean descargadas en los cuerpos de agua para mantener su calidad. Existen varios métodos para reducir la demanda bioquímica de oxígeno, empleando combinaciones de métodos físicos, químicos y microbiológicos.

El tratamiento de las aguas residuales (desechos líquidos) es encaminado a eliminar la materia orgánica, microorganismos patógenos para el hombre y sustancias tóxicas. El tratamiento de aguas negras domésticas reduce la demanda bioquímica de oxígeno al suspender o disolver las sustancias orgánicas y el número de microorganismos entéricos patógenos, de tal manera que las aguas residuales que se descarguen no causen un deterioro inaceptable de la calidad ambiental.

2.5. Aguas residuales

Las aguas residuales están formadas por un 99 % de agua y un 1 % de sólidos en suspensión y solución. Estos sólidos pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos. Los sólidos inorgánicos están formados principalmente por fósforo, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y algunas sustancias tóxicas como arsénico, cianuro, cadmio, cromo, cobre, mercurio, plomo y zinc. Los sólidos orgánicos se pueden clasificar en nitrogenados y no nitrogenados.

2.5.1. Aguas provenientes de las zonas urbanas

Son los vertidos que se generan en los núcleos de población urbana como consecuencia de sus actividades propias.

- Aguas negras o fecales
- Aguas de lavado doméstico
- Aguas provenientes del sistema de drenaje de calles y avenidas
- Aguas de lluvia y lixiviados

Figura 16. **Agua residual de zonas urbanas**



Fuente: elaboración propia.

2.5.2. Aguas provenientes de las zonas industriales

Proceden de cualquier actividad o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua. Estas industrias están en los extremos del municipio por el ruido que generan para prevenir contaminación auditiva con la zona urbana.

Son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, difiriendo las características de los vertidos, no solo de una industria a otra, también, dentro de un mismo tipo de industria.

A veces, las industrias no emiten vertidos de forma continua, únicamente en determinadas horas del día o incluso únicamente en determinadas épocas del año, según el tipo de producción y del proceso industrial. También, son habituales las variaciones de caudal y carga a lo largo del día, que son más contaminadas que las aguas residuales urbanas, además, con una contaminación mucho más difícil de eliminar.

Figura 17. **Aguas residuales industriales**



Fuente: elaboración propia.

2.5.3. Aguas de la agricultura y ganadería

Proceden de cualquier actividad agrícola, ganadera en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua.

Generalmente, las aguas residuales contienen sólidos totales, los cuales incluyen a los sólidos disueltos, suspendidos y sedimentables en el agua.

2.6. Parámetros sanitarios

A continuación, se describen los parámetros sanitarios para el agua.

2.6.1. Demanda química de oxígeno

Es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medio de un dicromato en una solución ácida y convertirla en dióxido de carbono y agua. El valor de DQO es siempre superior al de DBO porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente pero no biológicamente. El DQO se usa para comprobar la carga orgánica de aguas residuales que o no son biodegradables o contienen compuestos que inhiben la actividad de los microorganismos.

2.6.2. Demanda bioquímica de oxígeno

Es la cantidad de oxígeno empleado por los microorganismos a lo largo de un período de cinco días para descomponer la materia orgánica de las aguas residuales a una temperatura de 20 °C. El DBO suele emplearse para comprobar la carga orgánica de las aguas residuales municipales e industriales biodegradables tratadas y sin tratar.

2.6.3. Sólidos disueltos

El total de sólidos disueltos (TDS) comprende las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua.

No se dispone de datos fiables sobre posibles efectos para la salud asociados a la ingestión de un alto contenido en sólidos disueltos en el agua de consumo y no se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud. No obstante, la presencia de concentraciones altas de sólidos disueltos en el agua de consumo puede resultar desagradable para los consumidores.

2.6.4. Sólidos en suspensión

Son partículas flotantes o suspendidas en el agua, que pueden ser separadas del líquido por medio de la filtración. Se mantienen en el agua debido a su naturaleza coloidal que viene dada por las pequeñas cargas eléctricas que poseen estas partículas que las hacen tener una cierta afinidad por las moléculas de agua.

A veces es muy difícil la eliminación de éstos, por lo que es necesaria la adición al agua de agentes coagulantes y floculantes que modifican la carga eléctrica de éstas partículas consiguiendo que se agrupen en flóculos de mayor tamaño para así poder separarlos mediante filtración.

3. PROPUESTA DE MEJORA DE LAS CONDICIONES OPERATIVAS

3.1. Evaluación de la capacidad de la planta

A continuación, se presenta la propuesta de mejora de las condiciones operativas de la planta con la finalidad de tener una capacidad instalada para el tratamiento de las aguas residuales.

3.1.1. Canal de rejas

Actualmente, el canal de rejas presenta daños en su infraestructura física, por lo cual es necesario tener un nuevo diseño para el proceso operativo de la planta; a continuación, se presenta una imagen de las condiciones, así como la propuesta para mejorar el canal de rejas.

Figura 18. Canal de rejas actual de la planta



Fuente: elaboración propia.

- Sección rectangular: (ancho x altura) = $b \times h$ sin pendiente
 - Ancho mínimo = 0,30 m
 - Velocidad de flujo (V) = $V > 0,60$ m/s
 - Relación $h/b = 2$; $h = 0,60$ m

- Condiciones de flujo
 - $Q = V \times A$
 - $b \times t = Q/V$
 - Tirante para caudal horario máximo: $t = Q/(V \times b) =$
 - $[0,02610 \text{ m}^3/\text{s}]/(0,6 \text{ m/s} \times 0,3\text{m}) = 0,145$ m
 - Tirante para caudal negro futuro:
 - $t = Q/(V \times b) =$
 - ✓ $[0,01305 \text{ m}^3/\text{s}]/(0,6 \text{ m/s} \times 0,3\text{m}) = 0,0725$ m

- Reja fina
 - Espesor de barra = $e = 2,50$ cm.
 - Ancho de barra = $a = 1,00$ cm.
 - Espacio libre = $s = 2,50$ cm.
 - Inclinación de reja = 30° número de barras = 8.
 - β = factor de forma de las barras, 2,42.
 - w = ancho máximo de la sección transversal de las barras en la dirección del flujo, 2,50 cm.
 - b = espaciamiento o separación mínima entre las barras, 2,50 cm.
 - h_v = altura o energía de velocidad del flujo de aproximación, m.
 - θ = ángulo de la rejilla con la horizontal, 30° .

$$h_v = \frac{V}{2g} = \frac{0,6}{2 * 9,8} = 0,0306 \text{ m}$$

$$H = \beta \left(\frac{w}{b} \right)^{4/3} h_v \text{ sen}\varphi = 2,42 \left(\frac{2,50}{2,50} \right)^{4/3} * 0,0306 * \text{sen}(30) = 0,037\text{m}$$

La pérdida de energía cuando la rejilla está completamente limpia, será de 3.7 cm; la pérdida de energía permisible que es de 15 cm.

3.1.2. Desarenadores

Actualmente, las condiciones del desarenador tienen daños en su infraestructura por falta de mantenimiento, por lo cual se hace una propuesta de mejora para las operaciones de la planta.

Figura 19. **Desarenador actual de la planta de tratamiento de aguas residuales**



Fuente: elaboración propia.

Debe mantener en suspensión la materia orgánica, no debe permitir su sedimentación. Las arenas son las comunes a sedimentar, densidad = 2,65 g/cm³, se sacan las partículas mayores a 0,2 mm.

El valor de la velocidad horizontal debe estar cerca de 0,3m/s para retener las arenas sin que sedimente la materia orgánica.

Los sólidos retenidos son partículas discretas y se aplica la teoría correspondiente a la sedimentación de partículas discretas.

Tabla II. **Valores teóricos de velocidad en función de la temperatura**

D(mm)	Temperatura (°C)	Valor teórico de velocidad de caída cm/s
0,2	5	1,912
	10	2,156
	15	2,388
	20	2,622

Fuente: elaboración propia.

- V_s = velocidad de caída teórica
- V_o = velocidad de caída a utilizar en el diseño
- $V_s / V_o = 1,2 - 2,3$
- $V_o = 1,797 - 0,937$ cm/s

Dimensionamiento $L/b = \text{largo/ancho} = 7 - 15$ (ideal: 10)

El desarenador es un sedimentador selectivo, sedimenta solamente la arena, por lo que la velocidad de funcionamiento debe ser constante; el mismo tiene dos canales para tener un funcionamiento alterno cuando uno de los dos no esté en funcionamiento.

3.1.3. Sedimentador primario

Las condiciones actuales del sedimentador cuentan con daños en menores en su infraestructura; se debe remplazar la lámina negra de ¼ de pulgada.

Una capacidad de 12,0 m³, el sedimentador completamente cerrado, de lámina negra de 1/4 de pulgada, a 1,50 m sobre el nivel del suelo, arriba del reactor neutralizador (TR), obra de ingeniería mecánica, supervisado por el ingeniero químico diseñador.

3.1.4. Filtros percoladores

Actualmente los filtros se encuentran funcionando; se debe dar mantenimiento, así como tomar en cuenta que los filtros percoladores o filtros biológicos tienen la función de degradar biológicamente los contaminantes presentes en el agua residual en solución y en suspensión. Del total de la DBO que tiene el agua residual, en la sedimentación, apenas con los sólidos sedimentables a dos horas, es separada del a 30 % al 50 % de esta carga, inclusive se puede llegar a un 60 %. El resto no es posible separarlo porque está en solución o en estado coloidal. La materia orgánica se degrada mediante degradación aeróbica y la materia suspendida se transforma en sedimentable, separándose en el sedimentador secundario. Consta básicamente de un manto soporte de piedras o material sintético. Son piedras de 3 cm a 5 cm o trozos de plástico y de un sistema de distribución del líquido sobre la superficie del filtro.

Figura 20. **Filtro percolador**



Fuente: elaboración propia.

3.1.5. **Patio de secado de lodos**

Actualmente, la planta tiene un patio para la colocación de lodos, pero no tiene un diseño adecuado ya que en épocas de invierno se rebalsa por lo cual se hace la propuesta.

Figura 21. **Patio de secado de lodos**



Fuente: elaboración propia.

- Caudales de diseño = 26,10 l/s
- Cantidad de sólidos totales 0,72 kg/m³
- Densidad de los sólidos es de 6 150 kg/m³
- Cantidad másica de sólidos = 0,72 x 0,02610 = 0,0188 kg/s
- Caudal de sólidos = 0,0188/6150 = 3,06 x 10⁻⁶ m³/s

Diseñando el patio de secado de lodos para dos meses de acumulación se tendrá un volumen de: 15,86 m³, calculado de la siguiente manera:

- Volumen = 3,06 x 10x10⁻⁶ 3 600 x 24 x 30 x 2 = 15,86 m³

El patio de secados se dimensiona con base en el volumen; por lo tanto, se encuentra primero el área de los patios. Como recomendación se utilizará 41 0,30 m. de altura de lodos, y un largo de 8,40 m, que corresponde a la longitud que tiene el tanque Imhoff.

- $b = \text{volumen} / (L \times h) = 15,86 / (0,3 \times 7,30) = 7,25 \text{ m}$

3.2. Análisis físico

Los sentidos organolépticos ayudan a analizar el agua relacionando parámetros que pueden ser medidos de esta forma y comparándolos con estándares que se disponen en los laboratorios.

En Guatemala, se encuentran tabulados los máximos aceptables y límites permisibles de compuestos químicos, características sensoriales, biocidas y límites bacteriológicos en la Norma COGUANOR 29001:99 primera revisión del Ministerio de Economía. Dicha normativa es de cumplimiento nacional y es el

estándar de comparación para los parámetros de calidad de agua (COGUANOR 29001, 1999).

3.2.1. Temperatura

La temperatura afecta directamente al consumidor, pero no es de importancia sanitaria. Se considera que una temperatura arriba de 10°C es satisfactoria pero más de 16°C no es aceptable para consumo humano con base en estudios realizados por la Empresa Municipal de Agua, Municipalidad de Guatemala.

3.2.2. Sabor y olor

Usualmente, se examinan en conjunto, debido a la presencia de materia orgánica descompuesta, algunos tipos de microorganismos y compuestos químicos volátiles. El agua de calidad satisfactoria debe ser carente de olor y sabor. El olor y el sabor pueden ser debidos a la presencia en el agua de compuestos químicos: fenoles y cloro, o a materias orgánicas en descomposición o ciertos organismos. Los olores y sabores desagradables convierten a las aguas en no aptas para muchos procesos industriales. Estas son intolerables en bebidas y productos alimenticios, y se objeta también en materias textiles, papel y otros procesos en que se absorba el olor. Estos parámetros se toman con base en la Norma COGUANOR 29001 99.

3.2.3. Turbiedad

Es cualquier impureza soluble finamente dividida en forma coloidal, cualquiera que sea su naturaleza, suspendida en el agua y que disminuya su claridad. Turbiedad es la medida de la opacidad del agua comparada con

ciertos estándares establecidos. La alta turbiedad en cualquier suministro de agua es indeseable para usos prácticos, excepto posiblemente para ciertos tipos de condensación de superficie. Se dice que el agua es turbia cuando ésta tiene en suspensión muchas partículas finas de polvo, arena y ocasionalmente microorganismos que le dan una apariencia lodosa. Esta se determina a partir de método óptico. Estos parámetros se toman con base en la Norma COGUANOR 29001 99.

3.2.4. Color

Generalmente, es derivado de hojas, semillas y otra sustancia orgánica similar, pero algunas veces es causado por la presencia de hierro o manganeso combinado con materia orgánica. El color verdadero del agua se debe a la presencia de material en solución, pero este color puede cambiar a un color aparente por el efecto de partículas en suspensión. Para el análisis de color solo el color verdadero es importante y las partículas en suspensión deben ser removidas antes de que se realicen los análisis de color, esto se realiza por medio de centrifugación. El color se encuentra principalmente en las aguas superficiales o en algunos pozos poco profundos y manantiales; las aguas de pozos profundos son incoloras. Las aguas muy coloreadas son objetables para muchos procesos industriales y, en general, no se aceptan para agua de alimentación de calderas. Para consumo humano deben desecharse por razones estéticas.

3.2.5. Conductividad

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica. Depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga

la determinación. La forma más usual de medir la conductividad en aguas es mediante instrumentos comerciales de lectura directa en microhomios 25°C. Estos parámetros se toman con base en la Norma COGUANOR 29001 99.

3.3. Análisis químico

Por medio de este análisis se determina el contenido de sales minerales y materia orgánica, para compararlo contra los estándares y poder determinar su calidad, usos y cualquier proceso a que deba ser sometida.

Figura 22. Análisis químico

ANÁLISIS DE AGUA

IDENT	pH	µS/cm C.E.	Mg/Litro					Ppm				RAS	CLASE
			Ca	Mg	Na	K	Cu	Zn	Fe	Mn			
NACIMIENTO	6.1	176	0.75	0.42	0.54	0.06	0.0	0.0	0.1	0.0	0.71	CIS1	
TANQUE	6.4	242	1.04	0.64	0.59	0.15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.64	CIS1	

Según clasificación **USDA** la muestra se clasifica como:

C1 : AGUAS DE BAJA SALINIDAD
S1: AGUAS DE BAJA SODICIDAD (bajo contenido de sodio)

CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 EDIFICIO UPVIGER, TERCER NIVEL, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12, GUATEMALA
 CODIGO POSTAL 01012, APARTADO POSTAL 1545, TEL.: (502)24189306, (502) 24183000 EXT 1562 Ó 1769

Fuente: Laboratorio de Suelo-Planta-Agua, Salvador Castillo Orellana, Facultad de Agronomía, USAC.

3.3.1. Resultados de los análisis físico químicos de las muestras de agua tomadas en el área de estudio

A continuación, se describen los resultados de los análisis físico químicos del área de estudio.

Tabla III. **Resultados de los análisis físico químicos de las muestras de agua tomadas en el área de estudio, muestra 1**

Parámetros analizados: límite
máximo permisible

pH	8,1	6,5-9,5
Soli. Tot. Dis.	31 020	
sólidos suspendidos	17	-----
Demanda bioquímica de oxígeno	2,99	-----
Hidrocarburos totales de petróleo	0,199	0.5
Coliform. Tot.	40	n.d
Coliform. Fec.	29	200

ICA = 94

Fuente: elaboración propia.

En la muestra 1 se detectó un ICA de 94, como criterio general, que el agua no está contaminada. Para abastecimiento público el agua requiere de purificación, pero es recomendable hervir el agua para beberla. Para recreación no es aceptable para la práctica de cualquier deporte como la natación principalmente. Para pesca y vida acuática es aceptable para el desarrollo de cualquier tipo de especie que se quiera cultivar, como camarones. Para uso industrial y agrícola su uso no es restringido, es decir, se la puede usar de forma libre sin que afecte los cultivos, así mismo no perjudica a la industria.

Tabla IV. **Resultados de los análisis físico químicos de las muestras de agua tomadas en el área de estudio, muestra 2**

Parámetros analizados: límite
máximo permisible

pH	8,1	6,5-9,5
Soli. Tot. Dis.	30 960	
sólidos suspendidos	32	-----
Demanda bioquímica de oxígeno	2,99	-----
Hidrocarburos totales de petróleo	0,199	0,5
Coliform. Tot.	40	n.d
Coliform. Fec.	29	200

ICA = 92

Fuente: elaboración propia.

En la muestra 2 se detectó un ICA de 93 indica, como criterio general que el agua no está contaminada. Para abastecimiento público el agua requiere de una ligera purificación. Para recreación es aceptable para la práctica de cualquier deporte. Para pesca y vida acuática es aceptable para el desarrollo de cualquier tipo de especie. Para uso industrial y agrícola su uso no es restringido, es decir, se puede usar de forma libre sin que afecte los cultivos; se puede utilizar de forma normal.

Tabla V. **Resultados de los análisis físico químicos de las muestras de agua tomadas en el área de estudio, muestra 3**

Parámetros analizados: límite
máximo permisible

pH	8.1	6.5-9.5
Soli. Tot. Dis.	31020	
sólidos suspendidos	7	-----
Demanda Bioquímica de Oxígeno	2.99	-----
Hidrocarburos Totales de Petróleo	0.199	0.5
Coliform. Tot.	930	n.d
Coliform. Fec.	40	200

ICA = 86

Fuente: elaboración propia.

En la muestra 3 se detectó un ICA de 86, que indica, como criterio general, que el agua no está contaminada. Para abastecimiento público el agua no requiere de purificación. Para recreación es aceptable para la práctica de cualquier deporte. Para pesca y vida acuática es aceptable para el desarrollo de cualquier tipo de especie que se quiera cultivar. Para uso industrial y agrícola su uso no es restringido, es decir, se puede usar de forma libre sin que afecte los cultivos; sin embargo, necesita de una ligera purificación.

Tabla VI. **Resultados de los análisis físico químicos de las muestras de agua tomadas en el área de estudio, muestra 4**

Parámetros analizados: Límite
máximo permisible

pH	8,1	6,5-9,5
Soli. Tot. Dis.	31 020	
sólidos suspendidos	37	-----
Demanda bioquímica de oxígeno	2,99	-----
Hidrocarburos totales de petróleo	0,199	0,5
Coliform. Tot.	29	n.d
Coliform. Fec.	29	200

ICA = 92

Fuente: elaboración propia.

En la muestra 4 se detectó un ICA de 92 que indica, como criterio general, que el agua no está contaminada. Para abastecimiento público el agua requiere de una ligera purificación. Para recreación es aceptable para la práctica de cualquier deporte. Para pesca y vida acuática es aceptable para el desarrollo de cualquier tipo de especie que se quiera cultivar. Para uso industrial y agrícola su uso no es restringido, es decir, se puede usar de forma libre sin que afecte los cultivos; así mismo, no perjudica a la industria.

Tabla VII. **Resultados de los análisis físico químicos de las muestras de agua tomadas en el área de estudio, muestra 5**

Parámetros analizados: límite
máximo permisible

pH	8,1	6,5-9,5
Soli. Tot. Dis.	30 960	
sólidos suspendidos	19	-----
Demanda bioquímica de oxígeno	2,99	-----
Hidrocarburos totales de petróleo	0,199	0,5
Coliform. Tot.	29	n.d
Coliform. Fec.	29	200

ICA = 94

Fuente: elaboración propia.

En la muestra 5 se detectó un ICA de 86 que indica, como criterio general, que el agua no está contaminada. Para abastecimiento público el agua no requiere de purificación. Para recreación es aceptable para la práctica de cualquier deporte. Para pesca y vida acuática es aceptable para el desarrollo de cualquier tipo de especie que se quiera cultivar. Para uso industrial y agrícola su uso no es restringido, es decir, se puede usar de forma libre sin que afecte los cultivos; así mismo, no perjudica a la industria.

En conclusión, las seis muestras analizadas tienen un índice medio de calidad, por lo cual están aptas para cualquier abastecimiento público; para recreación no es aceptable para cualquier deporte; para vida acuática y pesca hay restricción para su uso y para uso industrial y agrícola en ciertos casos necesita de una purificación para su uso.

3.3.2. Dureza

Es una característica del agua que representa la concentración total de calcio y magnesio expresada como carbonato de calcio (CaCO_3) y carbonato de magnesio (MgCO_3). La dureza puede ser dureza de carbonatos o de no carbonatos; la primera se refiere a carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio y la segunda a sulfatos, cloruros y nitratos de calcio y magnesio. La dureza es usualmente expresada en partes por millón (ppm) o mg/L de carbonato de calcio. La dureza total se mide determinando la cantidad de carbonato de calcio equivalente al total de calcio y magnesio contenida en el agua y algunas veces por el hierro y aluminio contenido.

3.3.3. Cloruro

Estos aniones que se encuentran presentes en el agua en diversas concentraciones, normalmente, se incrementan con el contenido mineral de los suelos. Los abastecimientos de agua subterránea regularmente presentan mayor concentración de cloruros debido a que el agua disuelve los cloruros presentes en las montañas y cimas elevadas. La determinación de este parámetro es importante cuando se tiene un conocimiento en el agua de un abastecimiento ya que cuando el agua aparece contaminada estos tienden a estar en exceso. Este puede ser un indicio de contaminación por excretas humanas o particularmente por la orina que contiene cloruros en proporción aproximada a la consumida en la alimentación.

3.3.4. Cloruro residual

El cloro no es solo un poderoso desinfectante, también, satisface otras necesidades en las plantas potabilizadoras de agua. Puede reaccionar con

amoníaco, hierro, manganeso, sustancias proteicas, sulfuro y algunas sustancias productoras de sabores y olores que mejoran las características del agua potabilizada.

El cloro se agrega al agua de los abastecimientos para asegurar su pureza bacteriológica o para mejorar sus características físicas, químicas y organolépticas (sabor y olor); se hace necesario tener un control adecuado de la cantidad de cloro requerido para producir un determinado residual de cloro en fuentes de agua de calidad potable que comparativamente contienen poca polución. En la mayoría de los casos se afirma la seguridad bacteriológica de un agua cuando se tiene un ligero exceso de cloro.

En Guatemala, se ha fijado por norma que las plantas potabilizadoras de agua mantengan un residual de cloro disponible de 1,0 mg/l y de 0,5 a 0,7 mg/l en cada punto de la red de distribución al usuario.

3.3.5. Sólidos totales

El total de sólidos disueltos (TSD) en el agua comprende sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica. El total de sólidos disueltos puede tener importantes efectos en el sabor del agua potable. Se considera generalmente que, con concentraciones inferiores a 600 mg/L, el agua tiene un sabor agradable, que se deteriora progresivamente cuando la concentración sobrepasa 1 200 mg/L. La presencia de niveles elevados del TSD puede causar excesivas incrustaciones en las tuberías, los calentadores y aparatos domésticos. Los sólidos totales disueltos pueden determinarse midiendo la conductividad del agua, este se basa en el hecho de que la

conductividad eléctrica del agua aumenta o disminuye con la concentración de material disuelto ionizado.

3.3.6. Sulfato

Se puede encontrar presente en el agua natural en un amplio rango de concentraciones. Las aguas provenientes de minas o efluentes industriales contienen altas concentraciones de sulfato, debido a la oxidación de la pirita y el uso del ácido sulfúrico. La presencia en exceso de sulfatos en el agua de suministro público obra como purgante; es decir, tiene efectos laxantes. Por otra parte, tiene efectos corrosivos en los materiales que regularmente se utilizan en la fabricación de tuberías y piezas de equipo.

3.3.7. Fluoruro

El flúor en las aguas procede de los minerales fluorados, como la fluorina (CaF_2), la criolita, el fluorapatito, etc. La presencia de flúor en las aguas ha adquirido una gran importancia desde que se descubrió que, su presencia en proporciones de más de 1,5 mg/L, produce en el esmalte de los dientes unas motas coloreadas en amarillo, marrón o negro (fluorosis); son, especialmente, sensibles a esta lesión los niños pequeños.

3.3.8. Hierro

El hierro está presente en el agua en estado ferroso o férrico, que son solubles, insolubles o coloidales. Se encuentra disuelto en muchas aguas naturales, principalmente, en las aguas subterráneas ya que las sales solubles son en general las ferrosas. Entre estos se encuentra disuelto en forma de

bicarbonato ferroso ($\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$). El hierro también da origen a microbios que presentan acumulaciones de óxido férrico en las canalizaciones y los depósitos.

3.3.9. Nitrito

En lo que respecta a nitritos, de aguas que los contengan se debe sospechar de su potabilidad. En las superficiales se encuentran cuando están polucionadas con aguas negras o residuos orgánicos y están en período de autodepuración. En las aguas subterráneas se pueden encontrar a veces, la presencia de nitritos impotabiliza el agua. Además, su presencia indica una polución con la consiguiente presencia de microorganismos patógenos, presenta una cierta toxicidad como consecuencia de su acción metahemoglobizante e hipotensiva.

3.3.10. Alcalinidad

Son los parámetros que muestran la presencia de carbonato, bicarbonato y/o iones hidroxilo, afecta el pH de la muestra. El carbonato causa problemas de incrustación en forma de carbonato de calcio, por lo tanto, es necesario estar controlando este parámetro.

3.3.11. Manganeseo

El manganeseo es uno de los metales más abundantes en la corteza terrestre y, por lo general, se presenta junto con hierro. Las concentraciones de manganeseo disuelto en las aguas subterráneas y superficiales pobres en oxígeno pueden alcanzar varios miligramos por litro. En presencia de oxígeno, el manganeseo formará óxidos insolubles que pueden causar problemas de color en los sistemas de distribución.

3.4. Examen bacteriológico

Se describen las diferentes pruebas para el análisis bacteriológico del agua.

3.4.1. Prueba presuntiva

Se realiza sembrado volúmenes apropiados de la muestra de agua en tubos con un medio de cultivo de caldo lactosado y observar si se produce gas después de un periodo de incubación de 24-28 horas a 35 grados centígrados.

Para determinar si existen bacterias coliformes, se determina por la ausencia de gas pasada las 48 horas.

La presencia de gas en los tubos de caldo lactosado constituye una prueba positiva, pero no necesariamente confirma la presencia de coliformes, ya que existe la posibilidad que la formación de gas se deba a otro tipo de microorganismo que no constituyen índices de polución, y para ello es necesario que se lleve a cabo la prueba confirmativa.

Para desarrollar la prueba rápida presencia-ausencia para detección de enterococos en agua se formuló un medio de cultivo con base en los medios de cultivo comerciales. Luego se impregnó 1 mL del medio formulado a un disco de papel filtro Whatman No. 3 de 4 cm.

Luego de impregnar el disco con el medio formulado, se realizaron pruebas para evaluar la influencia de factores ambientales sobre su almacenamiento, relacionando los factores tiempo y temperatura sobre la apariencia, color y funcionalidad del disco.

Con la metodología de DBE se obtuvo un total de 53 falsos positivos, de los cuales se recuperaron e identificaron 23 muestras por medio de la metodología automatizada Microscan Dade Behring®. Las bacterias identificadas fueron *Enterobacter cloacae* (17,4 %), *Klebsiella rhinoscleromatis* (13,0%), *Aeromonas xylosoxidans* (13,0 %), *Serratia marcensens* (8,70 %), *Escherichia coli* (4,3 %), *Streptococos* del Grupo *viridans* (13,0 %) y *Enterococcus spp.* (30,4 %); los resultados se presentan en las tablas, que da como conclusión que la planta de tratamiento no limpia completamente el agua debido a la contaminación cruzada que se da en las áreas físicas que presentan deterioro.

Tabla VIII. **Microorganismos que presentaron reacción cruzada con la prueba DBE**

<i>Aeromonas xylosoxidans</i>	2 (0,0)	0 (0,0)	0 (0,0)	0 (0,0)	0 (0,0)	3 (13,0)
<i>Enterbacter cloacae</i>	4 (17,4)	0 (0,0)	0 (0,0)	0 (0,0)	0 (0,0)	4 (17,4)
<i>Enterococcus ssp.</i>	6 (26,1)	0 (0,0)	1 (4,3)	0 (0,0)	0 (0,0)	7 (30,4)
<i>Escherichia coli</i>	0 (0,0)	1 (4,3)	0 (0,0)	0 (0,0)	0 (0,0)	1 (4,3)
<i>Klebsiella rhinoscleromatis</i>	0 (0,0)	0 (0,0)	2 (8,7)	1 (4,3)	0 (0,0)	3 (13,0)
<i>Serratia marcensens</i>	1 (4,3)	0 (0,0)	0 (0,0)	0 (0,0)	1 (4,3)	2 (8,7)
<i>Streptococcus grupo viridans</i>	2 (8,7)	0 (0,0)	0 (0,0)	1 (4,3)	0 (0,0)	3 (13,0)
Total	16 (69,6)	1 (4,3)	3 (13,0)	2 (8,7)	1 (4,3)	23 (100,00)

Fuente: elaboración propia.

3.4.2. Prueba confirmativa

Todos los resultaron positivos en la prueba presuntiva, se trasladan a la prueba confirmativa. Para el grupo coliforme total, el medio es caldo con verde brillante, lactosa y bilis y para el coliforme fecal se utiliza el medio EC.

La presencia de gas después del período de incubación determina una prueba positiva de la presencia de grupo coliforme y la ausencia de gas constituye una prueba negativa.

- Prueba confirmativa verde bilis brillante

Este medio está recomendado para el recuento de coliformes totales y fecales, por la técnica del número más probable.

- Fundamento: en el medio de cultivo, la peptona aporta los nutrientes necesarios para el adecuado desarrollo bacteriano; la bilis y el verde brillante son los agentes selectivos que inhiben el desarrollo de bacterias gram positivas y gram negativas a excepción de coliformes y la lactosa es el hidrato de carbono fermentable. Es una propiedad del grupo coliforme, la fermentación de la lactosa con producción de ácido y gas.
- Bacterias coliformes fecales

Es un grupo conformado por bacilos gram-negativo, no esporulados, fermentadores de lactosa a 44 – 45 °C e incluye por lo menos a los miembros de 3 géneros de la familia Enterobacteriaceae: Escherichia sp, Enterobacter sp y Klebsiella sp.

- Bacterias coliformes totales

El total de bacterias coliformes (o coliformes totales) incluye una amplia variedad de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gramnegativos y no esporulantes capaces de proliferar en presencia de concentraciones

relativamente altas de sales biliares que fermentan la lactosa y producen ácido o aldehído en 24 h a 35 – 37 °C. Escherichia coli y los coliformes termotolerantes son un subgrupo del grupo de los coliformes totales que pueden fermentar la lactosa a temperaturas más altas.

- Método el número más probable

La determinación del número más probable de bacterias coliformes es una muestra que se hace a partir de la técnica de los tubos múltiples; en el cual, los volúmenes decrecientes de la muestra (diluciones decimales consecutivas) son inoculadas en un medio de cultivo adecuado.

El método consta de tres partes.

- Prueba presuntiva: consisten en colocar volúmenes determinados de muestra en una serie de tubos conteniendo caldo lauril triptosa y son incubados a $35^{\circ} \text{C} \pm 0,5^{\circ} \text{C}$ durante 24-48 horas.
- Prueba confirmativa: consiste en transferir todos los tubos positivos de la prueba presuntiva a tubos conteniendo caldo lactoso verde brillante bilis 2 % y son incubados durante 24-48 horas $35^{\circ} \text{C} \pm 0,5^{\circ} \text{C}$.
- Prueba complementaria: esta prueba consiste en transferir por inoculación en estrías, las bacterias a partir de los tubos de caldo lactoso verde brillante bilis positivos, a placas de agar endo o agar eosina azul de metileno (E.A.M.), luego son incubadas a $35^{\circ} \text{C} \pm 0,5^{\circ} \text{C}$. 24 \pm 2 horas.

Tabla IX. **Resultados de validación de la prueba desarrollada por los diferentes tiempos y temperaturas de incubación**

	N de muestras a diferentes condiciones de incubación			
	36° C/24 horas	36° C/48 horas	42° C/24 horas	42° C/48 horas
VP	134	139	134	140
VN	133	119	144	138
FP	36	50	25	31
FN	7	2	7	1
S	95.0% (89.7-97.8)	98.6%(94.4-99.8)	95.0%(89.7-97.8)	99.3%(95.5-100.0)
E	78.7 %(71.6-84.5)	70.4%(62.8-77.1)	85.2%(78.7-90.0)	81.7%(74.8-87.0)
VPP	78.8%(71.8-84.6)	73.5% (66.6-79.6)	84.3%(77.5-89.4)	81.9%(75.1-87.2)
VPN	95.0%(89.6-97.8)	98.3% (93.6-99.7)	95.4%(90.3-98.0)	99.3%(95.5-100.0)
K	0.72 (0.65-0.80)	0.67 (0.58-0.75)	0.80 (0.73-0.86)	0.81 (0.73-0.85)

VP: verdaderos positivos, VN: verdaderos negativos, FP: falsos positivos, FN: falsos negativos, S: sensibilidad, E: especificidad, VPP: valor predictivo positivo, VPN: valor predictivo negativo, K: índice Kappa

Fuente: *Minería*. http://www.prensalibre.com/noticias/comunitario/CONFLICTOs_0_1069093099.html. Consulta: 13 de febrero de 2016.

3.5. Aplicación de procesos

En los procesos industriales, el agua realiza importantes funciones, entre las que se destaca el uso como la materia prima para transportar materiales y en procedimientos de lavado; asimismo, en muchas otras aplicaciones que pueden ser exclusivas de un solo tipo de industria e incluso de una sola planta.

3.5.1. Agua como materia prima

El agua usada en el producto final debe ser potable, además, existen normas referentes al producto que se refieren al efecto de la calidad del agua sobre el sabor de la bebida terminada. En la industria de las bebidas no alcohólicas es común el ablandamiento con cal del agua para reducir su dureza y alcalinidad, ya que esta última destruye el sabor de los extractos de frutas ácidas.

En los ablandadores con cal se lleva a cabo, también, la cloración hasta el punto de aumento rápido del cloro residual. El agua tratada es filtrada y luego pasada a través de carbón activado como precaución final para la remoción de cloro y cualquier sabor u olor residual.

Existen dos sistemas de uso de agua que son exclusivos de la industria alimentaria y que requieren de especial atención respecto a la calidad del agua: el lavado de botellas y de recipientes y la pasteurización. En la operación de lavado de botellas se requiere de limpieza y de esterilización por lo que se aplican detergentes y biocidas para estar de acuerdo con la severidad del problema.

Por lo general, los limpiadores químicos son bastante alcalinos, debido a esto, es muy útil tener agua ablandada con zeolitas para el lavado y para el enjuague, ya que así se reduce la demanda de detergente y también se facilita el drenado de la botella después del enjuague para tener superficies libres de manchas. Cuando se usan limpiadores fuertemente alcalinos, estos proporcionan un efecto biocida que depende de la duración del contacto entre el agente y la botella y de lo cáustica que sea la solución limpiadora.

El agua es igualmente importante como materia prima en la industria farmacéutica en donde forma parte de muchas fórmulas químicas.

3.5.2. Transporte

Así como las corrientes naturales de agua llevan materiales en suspensión, las corrientes que circulan dentro de tuberías o de canaletas en una fábrica pueden transportar materiales de un área a otra dentro de la misma planta. En las industrias de papel y celulosa, se emplea el agua como medio de

transporte. Desde sus inicios, este tipo de industria se ha localizado casi exclusivamente a lo largo de grandes ríos.

En las primeras plantas se usaba el agua no solo como materia prima, también para obtener energía hidráulica al represar la corriente y producir la carga necesaria para accionar las ruedas hidráulicas que operaban las piedras de molino donde se convertía la madera en pulpa. El agua requerida por una planta moderna de pulpa de papel varía considerablemente según el proceso de preparación de pulpa, la disponibilidad de agua, la secuencia de blanqueado.

La industria de la pulpa y del papel es una gran consumidora de agua debido a que la pulpa es lavada con ella en varios puntos del proceso y a que el agua se usa para transportar las fibras de pulpa desde su producción inicial en la planta de pulpa, a través de varias operaciones de refinación, finalmente, a las máquinas del papel. Así como sucede en muchas otras operaciones industriales en que se usa agua, la corrosión es una amenaza constante; en gran parte se mantiene bajo control por la selección de aleaciones o plásticos adecuados, pero aún las aleaciones pueden estar sujetas a corrosión donde la actividad microbiana puede causar depósitos.

3.5.3. Agua para lavados

El agua es un medio adecuado para el lavado general de equipos industriales. Lavar el equipo industrial es importante por razones prácticas como: seguridad para el personal; para resguardar la calidad del producto y para evitar contratiempos al ritmo de producción. El lavado de los materiales de producción puede hacerse de muy diversas maneras, cada una de las cuales es apropiada para un tipo de operación en particular.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

4.1. Tratamiento primario

El objetivo del tratamiento primario es la remoción de sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables para disminuir la carga en el tratamiento biológico. Los sólidos removidos en el proceso tienen que ser procesados antes de su disposición final.

Sin embargo, previo al tratamiento primario es necesario utilizar las unidades de tratamiento preliminar (desarenadores y rejillas) las cuales en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales se convierten en equipo de carácter obligatorio.

Los procesos del tratamiento primario para las aguas residuales pueden ser: tanques Imhoff, tanques de sedimentación y tanques de flotación. Este proyecto se llevará a cabo utilizando tanque Imhoff. Para los otros tipos de tanque solamente se mencionan las características y/o especificaciones necesarias para su construcción.

Figura 23. **Tanque Imhoff**



Fuente: elaboración propia.

4.1.1. Filtrado grueso

El filtrado grueso (en rejillas) es empleado para la remoción de sólidos grandes, previo a otros procesos de tratamiento. En el tratamiento de aguas municipales, se colocan rejillas generalmente al inicio de la planta, para la remoción de materiales gruesos. Las rejillas consisten en barras gruesas o estante de 1 ½ a 2 ½ pulgadas. (3,8 cm a 6,4 cm) de abertura, y pueden ser limpiadas manualmente o mecánicamente.

Figura 24. **Filtrado grueso**



Fuente: elaboración propia.

4.1.2. Sedimentación

La sedimentación se emplea para remover los sólidos suspendidos de las aguas residuales. El proceso puede considerarse en tres clasificaciones básicas que dependen de la naturaleza de los sólidos presentes en la suspensión: discreta, floculante y sedimentación por zonas. En la sedimentación discreta, las partículas mantienen su individualidad y no cambian en tamaño, forma o densidad durante el proceso.

La sedimentación discreta se observa en arenas, cenizas, etc. La sedimentación de floculantes ocurre cuando las partículas se aglomeran y resulta un cambio de tamaño y velocidad de sedimentación. La zona de sedimentación involucra una suspensión floculada, que forma una estructura enrejada, se sedimenta como una masa y exhibe una interfase distinta durante el proceso. Flóculos de alúmina y lodos activados usualmente exhiben zonas de sedimentación.

Figura 25. **Sedimentación**



Fuente: elaboración propia.

4.1.3. Separación de aceites

En el separador de aceites, el aceite libre flota a la superficie del tanque donde este es desnatado. El diseño de separación de aceites se basa en la remoción de los glóbulos libres de aceite mayores que 0,015 cm de diámetro. El número de Reynolds es menor que 0,5, entonces, se aplica la ley de Stokes. La adición de platos paralelos inclinados es para que sirvan como superficies recolectoras de glóbulos de aceite para que la estructura de acceso del separador tenga un mejor desempeño.

Figura 26. **Separación de aceite**



Fuente: elaboración propia.

4.1.4. Flotación

El proceso de flotación se utiliza en aguas residuales para remover partículas finas en suspensión y de baja densidad que usa el aire como agente de flotación. Una vez que los sólidos han sido elevados a la superficie del líquido, son removidos en una operación de desnatado.

El proceso requiere un mayor grado de mecanización que los tanques convencionales de sedimentación; por lo tanto, su uso deberá ser justificado ante el organismo competente. La flotación propiamente dicha ocurre en un tanque que recibe la suspensión proveniente de la zona de contacto y tiene por objetivo separar las partículas flotantes y el efluente tratado.

Los sistemas de descarga del agua tratada, normalmente por el fondo, emplean mecanismos especiales, como canaletas provistas de ranuras que las

atraviesan longitudinalmente por su parte inferior o dispositivos que minimizan la formación de corrientes de agua.

El parámetro más importante que debe ser considerado en el diseño de esta etapa es el flujo superficial que es una medida del tiempo de residencia medio del fluido dentro del estanque. En relación con el producto flotado, su extracción es realizada con un colector mecánico que atraviesa lentamente la superficie de la unidad de flotación o situado en el extremo final del estanque separador.

Figura 27. **Flotación**



Fuente: elaboración propia.

4.1.5. Homogenización

La homogenización se debe proveer para grandes variaciones de flujos de desechos, para una descarga uniforme en el agua de recepción o para mantener los límites controlados de variación en las instalaciones de los

tratamientos subsecuentes. Estos límites generalmente serán dictados por el tipo del proceso de tratamiento. La homogenización puede ser:

- Flujo por mezclado: el volumen descargado del recipiente de homogenización varía con la afluencia. Un propósito primario de este tipo de recipiente es ayudar a la neutralización (donde desechos ácidos y alcalinos están presentes) para igualar la fluctuación de concentración, neutralización o tratamiento químico y biológico.
- Afluencia con una constante de velocidad de descarga: en este tipo de recipiente, el nivel fluctuará arriba de un período de 24 hrs. Este tipo de sistema se aplica particularmente para el tratamiento químico de aguas residuales de un bajo volumen diario.

Figura 28. **Homogenización**



Fuente: elaboración propia.

4.1.6. Neutralización

Muchos desechos industriales contienen materiales ácidos o alcalinos, los cuales requieren neutralización previa para poder descargarlos o recibirlos, o previo al tratamiento químico o biológico. En un tratamiento biológico para agua natural, se debe mantener un pH en el sistema biológico, entre 6,5 a 8,5, para asegurarse de una actividad biológica óptima. El proceso biológico, en sí, provee una neutralización y una capacidad buffer como resultado de la producción de CO₂, el cual reacciona con materiales ácidos y básicos. El grado de preneutralización requerido depende, por lo tanto, de la razón de la DBO removida y de la basicidad o acidez presente en los desechos.

4.1.7. Requerimientos de los tratamientos primarios

Los requerimientos primarios para los tratamientos de aguas residuales se describen a continuación dado que actualmente no se realizan en la planta de tratamiento:

- Si los sólidos suspendidos están presentes en exceso, aproximadamente 125 mg/L, se debe considerar la separación de sólidos por reposo, sedimentación, o flotación.
- Si los aceites, grasas o flotantes exceden los 50 ml/L, se debe utilizar un tanque separador.
- Los metales pesados (Cu, Zn, Ni, etc.) se deben remover, previo al tratamiento biológico.

- Si el pH excede a 9,0, debe realizarse una neutralización.
- Si los residuos contienen ácidos orgánicos, la biooxidación convertirá estos ácidos a CO₂ y sales de bicarbonato, utilizando el proceso de diseño, que se reduce a < 25/mg/l como BOD.
- Cuando hay ácidos minerales presentes, si el pH es menor a 4,5, debe realizarse una neutralización u homogenización.
- Los sulfatos deben ser prelavados o removidos de otra manera, si su concentración excede los 50 mg/L. Si el efluente tiene una carga de DBO en lb/día, basada en 4 horas, excede una razón de 3 a 1; entonces, se debe considerar un tanque de homogenización para traer la variación dentro de este rango.

4.2. Tratamiento secundario

Se consideran, como tratamiento secundario, los procesos biológicos con una eficiencia de remoción de DBO soluble mayor a 80 %, pudiendo ser de biomasa en suspensión o biomasa adherida, se incluye los siguientes sistemas: lagunas de estabilización, lodos activados, filtros biológicos y módulos rotatorios de contacto. La selección del tipo de tratamiento secundario deberá ser debidamente justificada; se preferirán aquellos que sean de fácil operación y mantenimiento y que reduzcan al mínimo la utilización de equipos mecánicos complicados o que no puedan ser reparados localmente.

4.2.1. Lagunas de estabilización

Son estanques diseñados para el tratamiento de aguas residuales mediante procesos biológicos naturales de interacción de la biomasa (algas, bacterias, protozoarios, etc.) y la materia orgánica contenida en el agua residual.

El tratamiento por lagunas de estabilización se aplica cuando la biomasa de las algas y los nutrientes que se descargan con el efluente pueden ser asimilados por el cuerpo receptor. El uso de este tipo de tratamiento se recomienda especialmente cuando se requiere un alto grado de remoción de organismos patógenos. Las lagunas de estabilización se construyen de poca profundidad (2 m – 4 m) y con períodos de retención relativamente grandes.

El período de vida útil de la planta de tratamiento debe estar comprendido entre 20 y 30 años. En el diseño del proyecto se deben seguir las siguientes consideraciones:

- Se debe diseñar un número mínimo de dos unidades en paralelo para permitir la operación en una de las unidades mientras se remueve el lodo de la otra. En ningún caso se deberá permitir que el volumen de lodos acumulado supere 50 % del tirante de la laguna.
- La conformación de unidades, geometría, forma y número de celdas debe escogerse en función de la topografía del sitio y, en particular, de un óptimo movimiento de tierras.
- La forma de las lagunas depende del tipo de cada una de las unidades. Para las lagunas anaerobias y aireadas se recomiendan formas

cuadradas o ligeramente rectangulares. Para las lagunas facultativas se recomiendan formas alargadas; se sugiere que la relación largo-ancho mínima sea de 2.

- El tipo de entrada debe ser lo más simple posible y no muy alejada del borde de los taludes, que deben proyectarse con descarga sobre la superficie.
- En la salida se debe instalar un dispositivo de medición de caudal, con la finalidad de evaluar el funcionamiento de la unidad.
- Antes de la salida de las lagunas primarias se recomienda la instalación de una pantalla para la retención de natas.
- La interconexión entre las lagunas puede efectuarse usando simples tuberías después del vertedero o canales.
- Las esquinas de los diques deben redondearse para minimizar la acumulación de natas.
- El ancho de la acera sobre los diques debe ser por lo menos de 2,5 m.
- Para el vaciado de las lagunas se recomienda la instalación temporal de sifones u otro sistema alternativo de bajo costo.
- El borde libre aconsejable para las lagunas de estabilización es de 0,5 m.

Figura 29. **Laguna de estabilización**



Fuente: elaboración propia.

4.2.1.1. Laguna anaeróbica

Consiste en digestores que no requieren oxígeno ya que las bacterias anaerobias descomponen los residuos orgánicos, prácticamente, funcionan como tanques sépticos abiertos. Son utilizadas generalmente como primera fase en el tratamiento de aguas residuales domésticas o industriales con alto contenido en materia orgánica biodegradable. Suelen utilizarse en serie con otras lagunas anaerobias o con lagunas facultativas. Una de sus ventajas es que reducen las concentraciones de compuestos tóxicos o inhibitorios presentes en las aguas residuales.

La laguna debe tener una temperatura relativamente alta y no es recomendable su uso para temperaturas menores de 15 °C (óptimo 30 °C). Deben ser de poca superficie y profundas (3 m – 4 m).

El color gris del agua, las burbujas, la costra sobre la superficie y la ausencia de malos olores son señales de un buen funcionamiento, además si las aguas toman una coloración rosa o rojiza es por la proliferación de bacterias fotosintéticas del azufre. La presencia de sulfuros en el medio disminuye la posibilidad de crecimiento de algas.

La estabilización de la laguna se realiza en dos etapas: primero un grupo de bacterias descomponen las moléculas orgánicas a dióxido de carbono, sulfuros, amoníaco, materia celular y ácidos orgánicos; en condiciones ambientales favorables con respecto a la alcalinidad, pH y concentración de ácidos. Luego otro grupo de bacterias utilizan los ácidos orgánicos para producir metano, dióxido de carbono y materia celular.

4.2.1.2. Lagunas aireadas

En las lagunas aireadas la oxigenación es aportada mecánicamente por un aireador de superficie. Este principio se diferencia por la ausencia de la extracción continua o reciclado de lodos. El uso de las lagunas aireadas en serie no es recomendable.

En la etapa de aireación, las aguas a tratar están en presencia de microorganismos que consumen y asimilan los nutrientes constituidos por la contaminación a eliminar. Estos microorganismos son principalmente bacterias y hongos (similares a los que están presentes en las estaciones de lodos activados).

En la etapa de decantación, las materias en suspensión, que son los microorganismos y partículas aprisionadas, decantan en forma de lodos. Estos lodos son bombeados regularmente o retirados de la balsa cuando constituyen

un volumen demasiado importante. Este piso de decantación está constituido de una simple laguna de decantación.

La población bacteriana sin recirculación conduce a una pequeña densidad de bacterias y a un elevado tiempo de tratamiento o a una floculación poco importante de las bacterias lo que provoca implementar una laguna de decantación de dimensiones grandes.

En este tipo de lagunas, la profundidad varía entre 3 m y 5 m y el período de retención entre 2 y 7 días. Se seleccionará el tipo de aireador más conveniente; se preferirán los aireadores mecánicos superficiales de acuerdo con sus características, velocidad de rotación, rendimiento y costo. La capacidad de energía requerida e instalada se determinará seleccionando un número par de aireadores de igual tamaño y eficiencias especificadas.

4.2.1.3. Lagunas facultativas

En ellas existe una zona aerobia superior mantenida por algas y una zona anaerobia inferior. Su principal característica es la simbiosis entre algas y bacterias en el estrato superior y la descomposición anaerobia de los sólidos sedimentables en el fondo.

Estas bacterias son las responsables de la degradación de la materia orgánica.

El gas carbónico formado por las bacterias y las sales minerales contenidas en las aguas residuales permite a las algas multiplicarse. Por lo tanto, hay una proliferación de dos poblaciones independientes: las bacterias y

las algas. Este ciclo se auto mantiene siempre y cuando el sistema reciba energía solar y materia orgánica.

El tratamiento de aguas en una laguna facultativa se realiza en tres diferentes capas:

- Zona fótica: sistema de aeración donde ocurre la fotosíntesis y la transferencia de oxígeno atmosférico al agua por efecto del viento. La profundidad es determinada por concentración de algas, sólidos suspendidos, carga orgánica y transparencia de agua residual.
- Zona heterótrofa: es donde se lleva a cabo la degradación de la materia orgánica disuelta y coloidal. Existe una relación simbiótica entre la zona fótica y la heterótrofa, pues el producto final de cada zona es usado por la otra; la zona fótica genera oxígeno, usado por bacterias para degradar materia orgánica; como resultado de la degradación se forma bióxido de carbono que requieren las algas para generar oxígeno.
- Zona anaerobia: se encuentra en el fondo de la laguna, está definida por materia orgánica sedimentada que se transforma por acción de las bacterias en ácidos grasos y posteriormente en metano, bióxido de carbono y ácido sulfhídrico.

Figura 30. **Laguna facultativa**



Fuente: elaboración propia.

4.2.2. Lodos activados

Es un tratamiento biológico en el cual se agita y airea una mezcla de agua de desecho y un lodo de microorganismos y de la cual los sólidos se remueven y recirculan. El paso de burbujas de aire a través de las aguas de desecho coagula los coloides y la grasa, satisface parte de la demanda bioquímica de oxígeno y reduce un poco el nitrógeno amoniacal.

Las aguas de desecho que entran pasan primero por un tanque de sedimentación primaria. Se añade lodo activado al efluente del tanque, generalmente en la relación de 1 parte de lodo por 3 o 4 partes de aguas negras decantadas y la mezcla pasa a un tanque de aireación. En el tanque, el aire atmosférico se mezcla con el líquido por agitación mecánica o se difunde aire comprimido dentro del fluido mediante diversos dispositivos: placas filtrantes, tubos de filtro, eyectores y chorros. Con cualquiera de los métodos se pone a las aguas negras en contacto con los microorganismos contenidos en el lodo. En los primeros 15 a 45 minutos el lodo absorbe los sólidos en suspensión y los coloides.

Según se absorbe la materia orgánica tiene lugar la oxidación biológica. Los organismos presentes en el lodo descomponen los compuestos de nitrógeno orgánico y destruyen los carbohidratos. El proceso avanza rápidamente al principio y luego decae gradualmente en las próximas 2 a 5 horas. En general, el periodo de aireación dura de 6 a 8 horas más.

4.2.2.1. Sedimentador

La sedimentación secundaria constituye un proceso importante para la clarificación del efluente de las unidades de tratamiento biológico y para el espesamiento de los lodos orgánicos que se obtienen. La sedimentación es efectiva para la remoción de sólidos suspendidos en la medida en que la fuerza de gravedad que actúa sobre la partícula que se desea remover es mayor que la resultante de las fuerzas de sustentación y la viscosa que actúan sobre esta.

4.2.2.2. Oxidación

La zanja de oxidación es una variación del proceso de aireación prolongada con tiempos similares de retención hidráulica y de sólidos. Los anillos de la zanja de oxidación son ovalados y reciben ventilación por los aireadores rotatorios de escobilla, jaula o disco colocados horizontalmente. Estos son adecuados para flujos de aguas residuales superiores a 0,4 lts/s (10,000 gal/día). Los canales triples son un tipo de zanja de oxidación con tres canales construidos en serie. La sedimentación del lodo activado y descarga de aguas residuales tratadas se alternan entre los dos canales externos. La ventaja de este sistema es que elimina la necesidad de tanques separados de sedimentación, lo que hace que su construcción sea relativamente menos costosa.

4.2.2.3. Filtros percoladores

Consisten en lechos formados por un medio sumamente permeable al que se adhieren los microorganismos, a través del cual se filtran los desechos líquidos. El medio filtrante consiste generalmente de piedras cuyo tamaño oscila entre 2,5 cm - 10 cm de diámetro. La profundidad de las piedras varía entre 0,9 m - 2.4 m. También, se utilizan filtros percoladores con medios filtrantes plásticos, los cuales brindan mayor superficie de contacto para el crecimiento biológico y tienen menor peso específico, lo cual permite la construcción de filtros con profundidades de 9 m – 12 m. Cada filtro posee un sistema de desagüe inferior para recoger el líquido tratado y los sólidos biológicos que se vayan separando del medio.

4.2.2.4. Sistemas biológicos

Consisten en lechos formados por un medio sumamente permeable al que se adhieren los microorganismos, a través del cual se filtran los desechos líquidos. El medio filtrante consiste generalmente de piedras cuyo tamaño oscila entre 2,5 cm - 10 cm de diámetro. La profundidad de las piedras varían entre 0,9 m – 2,4 m. También, se utilizan filtros percoladores con medios filtrantes plásticos, los cuales brindan mayor superficie de contacto para el crecimiento biológico y tienen menor peso específico, lo cual permite la construcción de filtros con profundidades de 9 m – 12 m. Cada filtro posee un sistema de desagüe inferior para recoger el líquido tratado y los sólidos biológicos que se vayan separando del medio.

4.2.3. Tratamiento terciario de aguas residuales

Se considera como un tratamiento para sustraer los contaminantes que no pueden ser eliminados en las fases de tratamiento anteriores, depende mucho del uso posterior que se le va a hacer del agua ya depurada. Sin embargo, este tratamiento se ha vuelto obligatorio en el caso de aguas industriales, muchas veces es el único que se realiza, pues busca eliminar contaminantes muy específicos.

Debido a los costos que los tratamientos terciarios generan, en este trabajo de graduación solamente se mencionan, pero no se hace un estudio detallado.

4.2.4. Tratamiento de lodos

La digestión anaeróbica es un proceso en el que se produce la descomposición de la materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno molecular. Su principal aplicación es la estabilización de los lodos concentrados producidos en el tratamiento de los desechos líquidos. En la digestión anaeróbica, la materia orgánica contenida en los lodos se convierte biológicamente en metano y dióxido de carbono.

Los lodos se introducen en un reactor completamente cerrado, de forma continua o intermitente y permanecen en su interior durante periodos variables. El lodo estabilizado que se extrae tiene bajo contenido de materias orgánicas y patógenas, además no es putrescible.

4.3. Especificaciones de descarga

La caracterización del efluente deberá estar dentro de los límites máximos permitidos y cumplir con las especificaciones del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

4.3.1. Caracterización de los efluentes

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, podrán 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 X. **Límites máximos permisibles de descargas a cuerpos receptores**

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	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1500	100	50	25	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3500	600	400	150	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1400	100	50	25	20
Fósforo total	Miligramos por litro	700	75	30	15	10
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 ⁴	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴
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
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	1500	1300	1000	750	500

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

Fuente: Presidente de la República de Guatemala. *Acuerdo gubernativo 236-2006. Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos.* p. 9.

Tabla XI. **Límites máximos permisibles para entes generadores**

Parámetros	Dimensionales	Límites máximos permisibles
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	10
Materia 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 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
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: Presidente de la República de Guatemala. *Acuerdo gubernativo 236-2006. Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos.* p. 10.

Cuando de conformidad con lo establecido en el artículo 8 de la *Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente* se 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.

El ente generador nuevo que, por razones técnicas debidamente justificadas, requiera de un período de estabilización productiva, definirá en el estudio de evaluación de impacto ambiental la necesidad y etapas de ajuste consecutivas dentro del período de estabilización, el cual no excederá de seis meses, contados a partir del inicio de operaciones del ente generador. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, establecerá en la resolución aprobatoria del estudio de evaluación de impacto ambiental correspondiente, el plazo o plazos consecutivos de las etapas que fueren necesarias para dicho período de estabilización.

4.3.2. Disposición final de los efluentes

Las aguas residuales tratadas contienen una gran cantidad de nutrientes orgánicos, especialmente, nitrógeno y fósforo. Esta característica permite aprovecharlas para riego y fertilización.

La descarga de las aguas residuales deberá hacerse con un tubo de 6 pulgadas.

Al instalarse tuberías y canales para el lodo deberán establecerse los menores cambios de dirección posibles; en cada cambio se instalará un dispositivo de limpia y se tomarán medidas para inyectar el agua a presión en el tubo que conduzca el lodo.

Por otra parte, el lodo generado y luego de ser secado, será enviado a lugares designados por la comuna para ser utilizado como relleno sanitario.

Figura 31. Disposición final extracción de lodo



Fuente: elaboración propia.

4.4. Análisis financiero de la propuesta

El valor presente neto (VPN) consiste en transformar una sola cantidad equivalente y en tiempo presente, el flujo de fondos que genera cada proyecto. La tasa de interés que se utiliza se conoce como tasa de oportunidad. Este método es muy utilizado por dos razones: porque es muy fácil su aplicación y porque todos los ingresos y egresos futuros se transforman en quetzales de hoy y así puede verse, fácilmente, si los ingresos son mayores que los egresos.

Cuando el VPN es menor que cero implica que hay una pérdida a una cierta tasa de interés; por el contrario, si el VPN es mayor que cero se presenta una ganancia. Cuando el VPN es igual a cero se dice que el proyecto es indiferente. La condición indispensable para comparar alternativas es que siempre se tome en la comparación igual número de años, pero si el tiempo de cada uno es diferente, se debe tomar como base el mínimo común múltiplo de los años de cada alternativa.

Por lo general, el VPN disminuye a medida que aumenta la tasa de interés, por lo que para el mismo proyecto puede presentarse que a una cierta tasa de interés, el VPN puede variar significativamente hasta el punto de llegar a rechazarlo o aceptarlo según sea el caso. El VPN se puede utilizar para comparar dos opciones o para saber si un proyecto es rentable o no sin necesidad de compararse con otros proyectos.

4.4.1. Valor presente neto

Se realizó una entrevista con el Consejo Municipal para determinar el monto de la inversión inicial, se determinó que el monto inicial es de Q. 75 000, para 5 años, para lo cual se realiza los siguientes cálculos:

Se realizó el análisis para determinar la factibilidad de la propuesta.

- Ingresos: los ingresos esperados se toman del pronóstico de ingresos anuales el cual se determina por: Q. 300 000, dato proporcionado por la municipalidad.

- Costos
 - Inversión Inicial = Q 75 000
 - Costos anuales= Q 155 000

La tasa de actualización o mejor conocida como TREMA es uno de los elementos esenciales para la evaluación financiera de un proyecto de inversión, es decir, para calcular la VAN, TIR y B/C se requieren de todos los ingresos, egresos y la TREMA.

Para determinar la TREMA se consideran las siguientes dos opciones: un índice inflacionario más una prima (por decirlo así: un premio) por incurrir en el riesgo de invertir el dinero en el proyecto:

- TREMA = índice inflacionario (inflación) 5 % + prima de riesgo 3 %.
- Tasa al 8 %.
- Flujo de efectivo: se calcula restando las entradas y salidas de efectivo que representan las actividades operativas de la empresa. En términos contables, el flujo de caja es la diferencia en la cantidad de efectivo disponible al comienzo de un período (saldo inicial) y el importe al final de ese período (saldo final).

Tabla XII. **Flujo de efectivo**

	1	2	3	4	5
VENTAS (agua potable a la población, empresas privadas)	300 000,00	300 000,00	300 000,00	300 000,00	300 000,00
Total de ingresos	300 000,00	300 000,00	300 000,00	300 000,00	300 000,00
Planilla	60 000,00	60 000,00	60 000,00	60 000,00	60 000,00
Insumos materiales	12 000,00	12 000,00	12 000,00	12 000,00	12 000,00
Mantenimiento alcantarillado	15 000,00	15 000,00	15 000,00	15 000,00	15 000,00
Mantenimiento de pozos	14 000,00	14 000,00	14 000,00	14 000,00	14 000,00
Mantenimiento planta de tratamiento	24 000,00	24 000,00	24 000,00	24 000,00	24 000,00
Apertura de pozos nuevos	20 000,00	20 000,00	20 000,00	20 000,00	20 000,00
Total de egresos	145 000,00	145 000,00	145 000,00	145 000,00	145 000,00
Flujo de efectivo	155 000,00	155 000,00	155 000,00	155 000,00	155 000,00

Fuente: elaboración propia.

Para la generación del VPN (valor presente neto) se debe considerar lo siguiente:

- Tasa de descuento: es un valor que indica la proyección de la tasa de inflación del año 1 al 5, tomando como base el TREMA, el comportamiento de las principales variables de la política del Banco de Guatemala.

- Factor de descuento:

$$\frac{1}{(1+n)^t}$$

Donde

n = flujo de efectivo.

- Cálculo del valor presente neto

$$\begin{aligned} \text{VPN} &= -75\,000 - 155\,000 \left[\frac{(1+0,10)^5 - 1}{0,10(1+0,10)^5} \right] \\ &+ 300\,000 \left[\frac{(1+0,10)^5 - 1}{0,10(1+0,10)^5} \right] = \\ &= 474\,428,06 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{VPN} &= -75\,000 - 155\,000 \left[\frac{(1+0,20)^5 - 1}{0,20(1+0,20)^5} \right] \\ &+ 300\,000 \left[\frac{(1+0,20)^5 - 1}{0,20(1+0,20)^5} \right] = \\ &= 358\,405 \end{aligned}$$

4.4.2. Tasa interna de retorno

La tasa interna de retorno es el método más utilizado para comparar alternativas de inversión. Bajo cualquier denominación que se aplique el concepto de TIR proporciona una cifra de porcentaje que indica la ganancia

relativa lograda con diferentes empleos de capital. Algunas de las características de la TIR son:

- Es uno de los criterios usados para evaluar la viabilidad financiera y económica de los proyectos.
- Se calcula del valor presente.
- Es una medida de eficiencia que refleja los beneficios del proyecto en términos del rendimiento porcentual de los desembolsos.
- Es la tasa de actualización que hace que el valor presente de los beneficios incrementales netos sea exactamente 0.
- También se le conoce como tasa interna de rendimiento.
- Evita la necesidad de conocer una tasa de interés requerida o mínima antes de llevar a cabo los cálculos.

Si la TIR es mayor o igual que el costo de capital, se acepta el proyecto; de no ser este el caso, entonces, se rechaza. Este criterio indica si la empresa está recibiendo por lo menos, el rendimiento requerido; así mismo, puede saberse si el valor de la empresa se incrementará o al menos permanecerá sin cambios.

El cálculo de la TIR consiste básicamente en un método de prueba y desacierto que comienza con una tasa tentativa de actualización y, por medio de ese procedimiento, trata de calcular un valor actual neto. Se seleccionan nuevas tasas de actualización hasta que alguna dé el valor actual neto equivalente a cero. Esto se puede hacer con el valor presente neto, que al

cambiarle la tasa de interés cambia el VPN, cuando este cambie de signo, ya sea de positivo a negativo o de negativo a positivo; entonces se interpola, con lo que se encontró en la TIR. Con la TIR, se hace la prueba para comprobar que el resultado sea igual a 0. Se empieza con el resultado obtenido en el VPN que es:

$$TIR = \left[\frac{(tasa\ 1 - tasa\ 2) - (0 - VPN(-))}{(VPN\ +) - (VPN\ (-))} \right] + tasa\ 2$$

$$VPN = -75\ 000 - 155\ 000 \left[\frac{(1+0,10)^5 - 1}{0,10(1+0,10)^5} \right] + 300\ 000 \left[\frac{(1+0,10)^5 - 1}{0,10(1+0,10)^5} \right] =$$

$$= 474\ 428,06$$

$$VPN = -75\ 000 - 155\ 000 \left[\frac{(1+0,20)^5 - 1}{0,20(1+0,20)^5} \right] + 300\ 000 \left[\frac{(1+0,20)^5 - 1}{0,20(1+0,20)^5} \right] =$$

$$= 358\ 405$$

$$TIR = \left[\frac{(tasa\ 1 - tasa\ 2) - (0 - VPN(-))}{(VPN\ +) - (VPN\ (-))} \right] + tasa\ 2$$

$$TIR = \left[\frac{(10 - 20) - (0 - 358\ 405)}{(474\ 428,06) - (358\ 405)} \right] + 20$$

$$= 23,08\ \%$$

4.4.3. Beneficio-costo

Para determinar la relación beneficio costo de la propuesta con base en los datos de la inversión inicial, se procede a calcular el valor presente neto de los ingresos y los costos.

$$\sum \text{valor presente } 618\,870,06$$

- Costos: 145 000 + 75 000
- Relación beneficio costo= $618\,870,06/475\,577 = 1,30$ por lo cual el beneficio es alto, dado que sus ingresos son más alto que sus costos. Por lo cual es proyecto es factible.

5. MEJORA DEL SISTEMA

5.1. Auditoría

El objetivo de hacer la auditoría en las plantas de tratamiento es determinar si los procesos están cumpliendo las normas y requerimiento dispuestos en *el Acuerdo Gubernativo 236-2006-Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos.*

5.1.1. Auditoría interna

Para conocer la dimensión del diseño para las aguas residuales generadas es primordial conocer el caudal producido por estas aguas residuales (40 m³/s). Para lograr tal efecto, se deben realizar auditorías a través de una serie de muestreos en ciertos puntos de aforo con el fin de obtener una muestra de una población y de esta forma sea representativa para la realización del diseño. Tomando en cuenta que se obtuvieron resultados del caudal por semana para convertirlos en caudal por mes.

El punto de muestreo es de gran importancia debido a que es donde se obtendrá la muestra para posteriormente realizarle los análisis químicos y físicos. El punto de muestreo debe estar ubicado en un lugar accesible para la inspección.

5.1.2. Auditoría externa

Se debe contar con la contratación de una empresa certificada por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales para la evaluación de la calidad del agua y que cumpla con los estándares que por ley se les exige a las municipalidades, en entre las cuales están:

- Anaserquin
- Biobal
- Contro-lab
- Hidro Aqua
- Laboratorio Econquimsa
- Servicios Industriales Microbiologicos
- Servicios y Productos Ambientales/sepra

5.2. Impacto ambiental

Es cualquier alteración de las condiciones ambientales o creación de un nuevo conjunto de condiciones ambientales, adverso o benéfico, provocada por la acción humana o por fuerzas naturales.

5.2.1. Emisiones

Son todos los fluidos gaseosos, 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. Las plantas de tratamiento de aguas residuales producen diferentes tipos de emisiones: sólidas, líquidas, gaseosas, sonoras y visibles; sin embargo, no todas son perjudiciales, pues algunas de ellas son beneficiosas y reutilizables.

5.2.2. Líquido

El agua tratada por una planta de tratamiento es una materia prima valiosa, pues aparte de agua contiene materia orgánica y nutrientes por lo tanto es necesario valorizarla para desarrollo agrícola o para reúso de cualquier naturaleza, en lugar de verter estas aguas semitratadas al cauce más cercano.

5.2.3. Barro

Cuando el lodo es de cierta calidad puede ser procesado como un biosólido con la intención de reusarlo o revalorizarlo como mejorador de suelo en lugares como cementerios, bosques, jardines públicos, etc. Su comercialización es, en consecuencia, más fácil; sin embargo, el precio de venta solo alcanza para pagar los costos directos de su deshidratación, empaque y transporte cuyo costo es de Q 25,00, dato proporcionado por la municipalidad de Zacapa. Es de todos modos una fuente nueva de material orgánico para los cultivos de la región.

5.2.4. Arena

Las arenas son retenidas en el desarenador y luego deberán ser depositadas en las áreas libres del predio. Facilita el proceso de extracción de arena para el sector productivo que aprovecha esta explotación. Adicionalmente, existen menos riesgos de salud pública porque se genera una arena más limpia.

5.2.5. Sólidos

Los sólidos suspendidos son partículas no solubles que no son lo suficientemente pesadas para sedimentarse en el cuerpo de agua donde están presentes. Los principales sólidos suspendidos son pequeñas partículas de materia orgánica e inorgánica, microorganismos y plancton. A los sólidos en el agua se pueden adherir microorganismos patógenos y elementos químicos peligrosos para la salud humana.

5.2.6. Gases

Compuestos volátiles y olores provenientes del proceso de tratamiento o de las operaciones de eliminación de lodos. Este gas natural biológico es una fuente renovable de energía. El biogás se puede utilizar sin tratamiento alguno para casi todos los usos de combustión, en caldera o en estufas. El valor comercial del biogás depende del combustible sustituido. No tiene mayor valor en sustitución de bagazo de caña o de carbón, pero un alto valor en sustitución de electricidad. Se debe tener mucho cuidado con los gases porque cuando se mezclan con el aire forman una mezcla altamente explosiva. La presencia de fuego directo o de operadores con cigarrillos debe ser prohibido cuando se drene los lodos hacia los lechos de secado.

5.2.7. Sonoras

Incremento en los niveles de ruido, provenientes de las máquinas durante el proceso de construcción y del sistema de tratamiento implementado; el nivel debe ser de 80 decibeles, si sobrepasa este nivel se debe utilizar equipo de protección personal como orejeras o tapones de oído.

5.3. Impactos positivos existentes en el ambiente y la salud

La operación y mantenimiento adecuado de cada componente del sistema de tratamiento tendrá un impacto directo sobre la salud y saneamiento de los trabajadores y población cercana.

La aplicación y gestión de programas de tratamientos de aguas residuales ejercen efectos ambientales positivos, en el medio ambiente, la salud y la calidad de vida de la población.

5.3.1. Mejoramiento de la calidad bacteriológica del agua

Disminución de la carga orgánica descargada y reducción de riesgos de contaminación de las aguas subterráneas y superficiales por escorrentías de aguas servidas. Mejora de la calidad de las aguas receptoras de las descargas de alcantarillado.

5.3.2. La reutilización de las aguas residuales tratadas

Las aguas residuales tratadas pueden reutilizarse en el riego de ciertos productos agrícolas y frutales, jardinería y proyectos municipales de construcción.

5.3.3. Disminución de riesgos de salubridad

Reducción de problemas de insalubridad en los alrededores de las descargas y por la utilización de fuentes de agua contaminada con grandes concentraciones de organismos patógenos capaces de infectar al ser humano: bacterias, protozoos, helmintos y virus.

5.3.4. Mejora de la calidad del suelo

El riego y la fertilización de espacios verdes, con los productos generados por la planta de tratamiento, ayudarán a mejorar la calidad del suelo, así como incrementar su atractivo visual. Además, reducirá la utilización de fertilizantes artificiales con su respectiva disminución de gastos y de contaminación. Permitirá conservar el suelo por enriquecimiento con humus y prevenir la erosión del terreno.

CONCLUSIONES

1. Actualmente, la municipalidad de Cabañas no cuenta con un plan de mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales; se han hecho reparaciones de emergencia para no detener las operaciones; sin embargo, las fallas son recurrentes, por tal razón surge la necesidad de contar con un plan de operaciones para la planta de tratamiento.
2. Los resultados del análisis de agua de la municipalidad indican, al inicio, que los contaminantes existentes se encuentran fuera de los límites máximo permisibles, según el *Acuerdo Gubernativo No. 66-2005, de Reglamento de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores*. Ante lo cual es necesario tener un plan de mantenimiento y mejora de condiciones de la operación.
3. El sistema de tratamiento de agua fue realizado de acuerdo con los criterios de la etapa preliminar y la etapa primaria para reducir los contaminantes principales, utilizando la separación de sólidos, sedimentación, flotación, absorción de grasa con base en la Norma COGUANOR NTG 29—2001.
4. Al mejorar el tratamiento de las aguas residuales se brindará a la población del municipio y a las empresas un servicio de calidad con agua potable libre de contaminantes apta para consumo humano y uso industrial.

5. El tipo de planta de tratamiento de aguas residuales que se desea mejorar no necesita la contratación de personal altamente calificado. Este personal será capacitado por la municipalidad.
6. El análisis financiero de la propuesta para mejorar las condiciones operativas de la planta de tratamiento de aguas residuales será financiado por la municipalidad de Cabañas, Zacapa dado que cuenta con el presupuesto y el apoyo del Consejo Municipal.
7. Las oportunidades de mejora que deben realizarse en el servicio al cliente es tener una ventanilla de atención al vecino en la municipalidad para conocer los problemas en las diferentes áreas y zonas, para brindar apoyo y solución, consecuentemente, mejorar la calidad de vida de la población.

RECOMENDACIONES

1. Asegurar la calibración de los utensilios es una práctica necesaria para garantizar los análisis de las aguas residuales y evitar cualquier error permisible en el resultado.
2. Tener un registro de estudio técnico de los resultados de los análisis del agua tratada para ser presentados al Ministerio de Ambiente y tener un respaldo al cual puedan referirse.
3. El mantenimiento general del sistema de tratamiento deberá realizarse como mínimo mensualmente; es deseable que se realicen inspecciones de forma quincenal para determinar los períodos óptimos de limpieza.
4. Dar el mantenimiento pertinente al drenaje industrial de las instalaciones con el objeto de evitar taponamientos y obstrucciones, durante la operación regular.
5. Lograr una producción más limpia para disminuir el caudal de los efluentes de las aguas residuales y, por ende, reducir los costos del tratamiento.
6. Contar con la presencia del comité de seguridad e higiene industrial de la planta para cumplir las normas establecidas al momento de la construcción del diseño del sistema de tratamiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. ASTORGA GATGENS, Allan. *Manual técnico de EIA: lineamientos generales para Centroamérica*. San José, Costa Rica: CCAD–UICN–Gobierno de Holanda, 2003. 54 p.
2. AZNAR, Antonio. *Tecnologías ecológicas de bajo coste*. Madrid, España: Universidad Carlos III, 2004. 84 p.
3. BACA URBINA, Gabriel. *Evaluación de proyectos*. 4a ed. México: McGraw-Hill, 2001. 383 p.
4. CEPEP. *Guía general para la preparación y presentación de estudios de evaluación socioeconómica de proyectos para la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales*. México: Universidad Autónoma de México, 2006. 135 p.
5. CEPIS-OPS. *Especificaciones técnicas para la construcción de tanque séptico, tanque imhoff y laguna de estabilización*. Lima, Perú: 2005. 474 p.
6. _____. *Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización*. Lima, Perú: 2005. 341 p.
7. Congreso de la República de Guatemala. *Código Municipal. Decreto No. 12-2002*. Guatemala: Congreso de la República de Guatemala, 2002. 48 p.

8. CONIL, Phillipe. *Avances conceptuales para el tratamiento de las aguas residuales domesticas (a.r.d.) en el trópico*. Colombia: ACODAL, 2000. 51 p
9. FONTAINE, Ernesto R. *Evaluación social de proyectos*. 12a ed. Chile: Ediciones Alfa Omega, 1999. 480 p.
10. GUEVARA VERA, Antonio. *Control de calidad del agua, métodos de análisis para la evaluación de la calidad del agua*. Lima, Perú: Cepis, 1996. 47 p.
11. Instituto de Incidencia Ambiental. *Indicadores ambientales municipales: manual para determinar el estado de gestión de los desechos sólidos y el agua a nivel local en la República de Guatemala*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar, 2004. 49 p.