**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA**

**FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TEMA:**
# PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA LA COMUNIDAD SOCIEDAD LIBRE DEL CANTÓN ARCHIDONA.

**AUTORES:**
**DÍAZ ROMERO MARÍA FERNANDA**
**MORA PAPA CARLOS DAMIAN**

**DIRECTOR DE PROYECTO:**
**MSc. LEDESMA ACOSTA RUBÉN DARÍO**

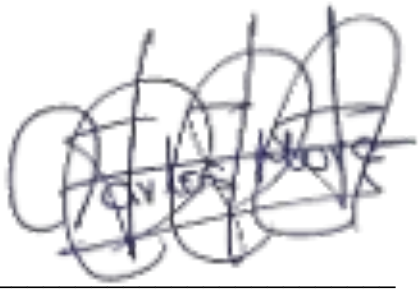
Pastaza – Ecuador

2021

## DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Nosotros, Díaz Romero María Fernanda y Mora Papa Carlos Damian con C.I. 1501166571 y 1500962798, hace constar que son autores/a del Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA LA COMUNIDAD SOCIEDAD LIBRE DEL CANTÓN ARCHIDONA, el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, Msc. Ledesma Acosta Rubén Darío con CI. 1600431827
En tal sentido, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.
En el cantón Pastaza, a los 16 días del mes de Julio del 2021.





| | |
|---|---|
| Estudiante | Estudiante |
| Díaz María | Mora Carlos |
| CI: 1501166571 | CI: 1500962798 |

## CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación del proyecto de investigación y desarrollo aprueba el proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: "PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA LA COMUNIDAD SOCIEDAD LIBRE DEL CANTÓN ARCHIDONA"



Firmado electrónicamente por:
**RICARDO VINICIO ABRIL SALTOS**

Dr. Ricardo Vinicio Abril Saltos
Presidente del Tribunal



Firmado electrónicamente por:
**PEDRO ANDRES PENAFIEL ARCOS**

MSc. Pedro Andrés Peñafiel Arcos
Miembro del Tribunal



Firmado electrónicamente por:
**KAREM YAEL CAZARES CARRION**

MSc. Karem Yael Cazares Carrión
Miembro Del Tribunal

**CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD OBTENIDO**

**EN EL SISTEMA ANTI PLAGIO**

Quien suscribe el presente, M.Sc. Rubén Darío Ledesma Acosta, con CI: 1600431827, certifica que el Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: "Propuesta de tratamiento de agua residual para la comunidad Sociedad Libre del Cantón Archidona.", ha sido examinado a través del sistema Antiplagio URKUND y presenta un porcentaje de similitud del 3%.

En el cantón Pastaza, a los 7 días del mes de julio de 2021.

Firmado electrónicamente por:
**RUBEN DARIO LEDESMA ACOSTA**

M. Sc. Rubén Darío Ledesma Acosta

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

/TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

## DECLARACIÒN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Díaz Romero María Fernanda y Mora Papa Carlos Damian, declaramos que el presente proyecto de investigación, es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular.



Díaz Romero María Fernanda
No. Cédula. 1501166571



Mora Papa Carlos Damian
No. Cédula1500962798,

## DEDICATORIA

Dedico de manera súper especial este proyecto de Titulación a mi padre Wilmer Díaz a mi madre Nanci Romero a mis hermanos /as Cynthia, Diego y Paola Díaz con mucho amor y cariño, por ser una pieza fundamental en mi vida, que siempre han estado presentes en los buenos y malos momentos, por creer en mí y darme esa fuerza de lograr todo lo que me proponga, ya que son mi inspiración de cada día.

A mis amigas Esther, Jomira y Giomara que me han brindado su apoyo incondicional en el transcurso de la carrera, por compartir momentos en las buenas y en las malas, el cual me llevo gratos recuerdos y que a pesar de la distancia no ha cambiado en nada. También a mis compañeros de clase por brindarme su amistad y compartir sus conocimientos conmigo.

**María Fernanda**

Dedico este trabajo de titulación a mis padres quienes me han apoyado a lo largo de mi vida y me han sabido motivar en mi formación académica, creyendo en mí en todo momento sin dudar en ningún instante de mis habilidades. A los docentes que me han transmitido sus amplios conocimientos y sus sabios consejos y finalmente a esta prestigiosa Universidad un eterno agradecimiento por permitirme ser parte de ella.

**Carlos Damian**

## AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios por la vida, que en el transcurso de este tiempo de pandemia nos dio su protección y con la bendición de él nos brindó salud para toda mi familia.

Gracias a mis padres, hermanas y hermano por ser el pilar fundamental en mi vida, por haber sido mi guía en este maravilloso proceso, de apoyarme en cada decisión que he tomado en el transcurso de mis estudios, por su confianza y creer en mí, que sí se puede lograr cada uno de los sueños, por su entrega incondicional, con su amor y paciencia, por ser siempre esa luz en mi camino cuando ya no podía más, agradecer por sus consejos y cada una de sus palabras de aliento para seguir adelante, a no rendirme, a encontrar una solución de diferentes ángulos, gracias familia.

Agradecer a la Universidad Estatal Amazónica por permitirme ser parte de esta aventura académica, por brindarme oportunidades, para formarme profesionalmente, agradecer de todo corazón a mis docentes de toda la carrera por sus enseñanzas.

De manera especial agradecer al Ing. Rubén Ledesma por ser parte de este proyecto de Titulación por la confianza brindada, por su constante apoyo al momento de orientarnos para el desarrollo de este trabajo.

**María Fernanda**

Agradezco a DIOS por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mi objetivo. Con mucho cariño a mis padres que me dieron la vida y han estado conmigo brindándome su comprensión, cariño y sobre todo su apoyo incondicional en todo momento.

**Carlos Damian**

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación tuvo como objetivo diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales para la comunidad Sociedad Libre del Cantón Archidona, en la actualidad las descargas de sus efluentes no cuentan con un tratamiento, provocando la contaminación de la quebrada Sardinas y la contaminación del subsuelo producto del uso de pozos ciegos que son usados para las aguas negras. Se propuso tres objetivos específicos: la caracterización de la población y determinar la generación de aguas residuales, el dimensionamiento de la planta de tratamientos de aguas residuales domésticas, y por último la elaboración de una guía de operación y mantenimiento. La metodología utilizada es de tipo descriptiva y documental, debido a que se realizó las características de la población mediante entrevistas realizadas por medios electrónicos, lo que nos permitió determinar el número de población actual (500 habitantes), mientras que en la documental se pudo determinar los parámetros de partida y ecuaciones de los sistemas a utilizar para el dimensionamiento de la planta. El diseño de la planta está compuesto por los siguientes procesos: como tratamiento preliminar un sistema Desbaste, tratamiento primario un tanque Imhoff, tratamiento secundario un filtro biológico de flujo ascendente, Luz Ultravioleta y un lecho de secado utilizado para la estabilización de los lodos. El sistema de depuración del agua residual tendrá una vida útil de 20 años a partir de su construcción. El dimensionamiento de la planta se realizó a partir de la dotación diaria de agua potable (170 l/hab. día) adoptada bibliográficamente para el cálculo de caudal de diseño de acuerdo a la población de diseño (793 habitantes). El caudal medio diario que se obtuvo es de 12.27 $m^3$/h de agua residual, cuenta con una extensión de territorio del 4.32 ha, y se realizó una guía de operación y mantenimiento para garantizar su buen funcionamiento.



**Palabras claves**

Efluente, aguas negras, dotación, dimensionamiento, vida útil.

## ABSTRACT

The objective of this research project was to design a wastewater treatment plant for the community Sociedad Libre of Archidona city, currently the discharges of its effluents don't have treatment, causing the contamination of the Sardinas stream and the contamination of the product of the subsoil of the use of manholes that are used for wastewater. Three specific objectives were proposed: the characterization of the population and determine the generation of wastewater, the sizing of the domestic wastewater treatment plant, and finally the development of an operation and maintenance guide. The technique used is descriptive and documentary, since the characteristics of the population were carried out through interviews carried out by electronic means, which we will find will determine the current population number (500 inhabitants), while in the documentary it was possible to determine the starting parameters and the equations of the systems that will be used for the sizing of the plant. The design of the plant consists of the following processes: as preliminary treatment a roughing system, primary treatment an Imhoff tank, secondary treatment an upflow biological filter and a drying bed used to stabilize the sludge. The wastewater treatment system will have a useful life of 20 years from its construction. The sizing of the plant was carried out daily from the provision de drinking water (170 l/ hab.day) bibliographically adopted for the calculation of the design flow according to the design population (793 inhabitants). The average daily flow obtained is 12.27 $m^3$/h, of residual water, it has a territory of 4.32 ha and an operation and maintenance guide was carried out to guarantee its correct operation.



**Keywords:**

Effluent, black water, endowment, sizing, useful life

**TABLA DE CONTENIDOS**

**RESUMEN ..... VIII**

**ABSTRACT ..... IX**

**1 CAPITULO I ..... 1**

1.1 INTRODUCCIÓN ..... 1

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 3

1.2.1 Descripción del problema ..... 3

1.2.2 Formulación del Problema ..... 4

1.3 OBJETIVOS ..... 4

1.3.1 Objetivos General ..... 4

1.3.2 Objetivos Específicos ..... 4

1.4 JUSTIFICACIÓN ..... 5

**2 CAPITULO II ..... 7**

2.1 MARCO CONCEPTUAL ..... 7

2.1.1 Agua residual ..... 7

2.1.2 Agua residual doméstica ..... 7

2.1.3 Aguas grises ..... 7

2.1.4 Parámetros Importantes en Aguas residuales ..... 7

2.1.5 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES ..... 10

2.1.6 Caudales ..... 11

2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA ..... 12

2.2.1 TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL ..... 12

2.3 MARCO JURÍDICO ..... 15

2.3.1 Constitución de la República del Ecuador 2008 ..... 15

2.3.2 Código Orgánico del Ambiente ..... 15

2.3.3 Código Orgánico Organización Territorial Autonomía Descentralización ..... 16

**3 CAPITULO III ..... 17**

3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN ..... 17

3.1.1 Localización ..... 17

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN....18
3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN....18
3.3.1 Para el cumplimiento del objetivo 1....19
3.3.2 Para el cumplimiento del objetivo 2....20
3.3.3 Para el cumplimiento del objetivo 3....48
**4 CAPITULO VI....50**
4.1 RESULTADOS OBJETIVO 1....50
4.1.1 Realizar la caracterización de la población y determinar la generación de aguas residuales de la comunidad Sociedad Libre.....50
4.1.2 Determinación del agua residual....55
4.2 RESULTADO OBJETIVO ESPECÍFICO 2....57
4.2.1 Parámetros para el dimensionamiento de la planta de tratamiento de agua residual. ..57
4.2.2 Rendimiento del Proceso De Depuración....75
Remoción de Carga Contaminante en el Pretratamiento....75
4.3 RESULTADOS OBJETIVO ESPECÍFICO 3....81
4.3.1 Elaborar una guía sobre los procedimientos de mantenimiento y operación para la planta de tratamientos de aguas residuales....81
4.3.2 Seguridad en el campo laboral y equipos a utilizar....87
**CONCLUSIONES....89**
**RECOMENDACIONES....90**
**REFERENCIAS**
**ANEXOS**

# ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1**: Localización de la comunidad Sociedad Libre.....17

**Figura 2:** Relación entre la longitud y ancho de sedimentador.....32

**Figura 3:** Cámara de Sedimentación .....33

**Figura 4:** Dimensiones del área de ventilación, espesor y ancho del Sedimentador.....35

**Figura 5:** Sección transversal de un Tanque Imhoff.....37

**Figura 6:** Escuela Fiscal Padre Juan Constante Segovia.....50

**Figura 7:** Sistema de recolección agua lluvia.....51

**Figura 8:** Red pública energía eléctrica.....51

**Figura 9:** Sistema de drenaje de las aguas residuales a orillas de las vías .....52

**Figura 10:** Basurero de tambor metálico .....52

**Figura 11:** Representación gráfica de las rejas finas con su respectivo dimensionamiento .....63

**Figura 12:** Representación gráfica del Tanque Imhoff con su respectivo dimensionamiento.....68

**Figura 13:** Representación gráfica del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente con su respectivo dimensionamiento .....71

**Figura 14:** Representación gráfica del Lecho de Secado con su respectivo dimensionamiento.....74

**Figura 15**: Esquema de Implementación de la PTAR.....74

## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1**: Valores recomendados de dotación media futura según el número de habitantes.....23

**Tabla 2:** Parámetros de partida para el diseño de Rejas Finas .....26

**Tabla 3:** Criterios para el tanque Imhoff .....31

**Tabla 4:** Factor de capacidad relativa según la temperatura .....35

**Tabla 5:** Contaminantes del agua residual doméstica bruta .....46

**Tabla 6:** Porcentaje de remoción del pretratamiento .....47

**Tabla 7:** Porcentaje de remoción del tratamiento primario.....47

**Tabla 8:** Porcentaje de remoción del tratamiento secundario .....47

**Tabla 9:** Resultado, Físico – Químico – Microbiológico, del agua residual a la entrada de la PTAR de Cotundo.....55

**Tabla 10**: Composición típica del agua residual doméstica bruta dispuesta a Sociedad Libre.....56

**Tabla 11**: Resultado de Población Futura, aplicando tres métodos de proyección.....58

**Tabla 12:** Resultado Dotación Media Futura.....58

**Tabla 13:** Factor de capacidad relativa según la temperatura de Sociedad Libre.....66

**Tabla 14:** Resultado de la carga contaminante en el afluente del pretratamiento .....75

**Tabla 15:** Resultados del tratamiento primario.....77

**Tabla 16:** Resultados del efluente en el tratamiento secundario .....78

**Tabla 17:** Resultados del rendimiento total de la planta .....80

**Tabla 18:** Verificación del Cumplimiento la Normativa Ambiental.....80

## ÍNDICE DE ECUACIONES

**Ecuación 1:** Método Aritmético .....22

**Ecuación 2:** Método Geométrico .....22

**Ecuación 3:** Método Mixto.....22

**Ecuación 4:** Caudal medio diario .....23

**Ecuación 5:** Caudal doméstico .....24

**Ecuación 6:** Caudal de infiltración .....24

**Ecuación 7:** Conexiones erradas.....25

**Ecuación 8:** Caudal máximo diario .....25

**Ecuación 9:** Caudal mínimo .....25

**Ecuación 10:** Caudal de diseño por línea.....26

**Ecuación 11:** Caudal máximo por línea.....27

**Ecuación 12:** Superficie útil del canal .....27

**Ecuación 13:** Velocidad de paso entre barrotes a caudal de diseño con reja limpia.....27

**Ecuación 14:** Velocidad de paso entre barrotes a caudal máximo con reja limpia.....28

**Ecuación 15:** Velocidad de paso entre barrotes a caudal máximo con reja colmatad**a** .....28

**Ecuación 16:** Velocidad de aproximación por el canal a caudal de diseño .....28

**Ecuación 17:** Velocidad de aproximación por el canal a caudal mínimo .....29

**Ecuación 18:** Anchura del canal.....29

**Ecuación 19:** Profundidad útil del canal.....29

**Ecuación 20:** Profundidad total del canal .....30

**Ecuación 21:** Producción normal de residuos.....30

**Ecuación 22:** Producción máxima de residuos con tormenta.....30

**Ecuación 23:** Área de la cámara sedimentador.....32

**Ecuación 24:** Ancho de la cámara del sedimentador .....32

**Ecuación 25:** Longitud de la cámara del sedimentador .....32

**Ecuación 26:** Volumen de la cámara del sedimentador .....33

**Ecuación 27:** Altura 1 camara de sedimentación .....33

**Ecuación 28:** Volumen 1 de la cámara de sedimentación.....34

**Ecuación 29:** Altura 2 cámara de sedimentación.....34

**Ecuación 30:** Volumen para almacenar lodos .....34

**Ecuación 31:** Ancho total del tanque Imhoff.....35

**Ecuación 32:**Área superficial del tanque Imhoff .....36

**Ecuación 33:**Área de ventilación.....36

**Ecuación 34:**Ecuación de verificación .....36

**Ecuación 35:** Altura 1 del digestor.....37

**Ecuación 36:** Volumen 1 del fondo de la cámara de digestió**n**.....37

**Ecuación 37:** Altura 2 del digestor.....38

**Ecuación 38:** Altura útil del tanque Imhoff.....38

**Ecuación 39:** Altura total del tanque Imhoff .....38

**Ecuación 40:** Caudal del filtro biológico.....40

**Ecuación 41:** Volumen del filtro biológico .....40

**Ecuación 42:** Área del filtro biológico .....40

**Ecuación 43:** Altura del filtro biológico.....41

**Ecuación 44:** Diámetro del filtro biológico .....41

**Ecuación 45:**Área real del filtro .....41

**Ecuación 46:**Volumen real del filtro .....42

**Ecuación 47:** Tiempo de retención.....42

**Ecuación 48:**Tasa de aplicabilidad hidráulica .....42

**Ecuación 49:** Carga de sólidos que ingresa al sedimentador .....43

**Ecuación 50:**Masa de sólidos que conforman los lodos .....43

**Ecuación 51:** Volumen diario de los lodos digeridos .....44

**Ecuación 52:** Volumen de lodos a extraerse del tanque .....44

**Ecuación 53:** Área del lecho de secado .....44

**Ecuación 54:** Rendimiento General de la planta .....46

**Ecuación 55:**Concentración del efluente .....46

# CAPITULO I

## 1.1 INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el recurso agua está cada vez más contaminado con residuos orgánicos, patógenos, metales pesados, contaminantes emergentes y pesticidas, la contaminación del agua originada por materia orgánica está aumentando, debido al incremento de descargas de las aguas residuales municipales e industriales, la expansión de los cultivos y la reducción de la capacidad de dilución de los ríos debido a la disminución de la escorrentía y extracción del agua (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2017). Tal como lo menciona López (2018) actualmente las aguas residuales vertidas son la principal causa de contaminación, siendo obligatorio su tratamiento antes de devolverlas al ciclo natural.

El tratamiento de las aguas residuales es una vía para poder preservar el recurso agua. Esto se enfoca en el impacto inmediato sobre la calidad de vida de las personas, principalmente de aquellas que son de bajo recursos económicos y susceptibles a enfermedades (Barriga y Sánchez, 2016).

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (2020) en el Ecuador del total de agua que se distribuye a nivel nacional, el 27.3% reciben el tratamiento adecuado en plantas de tratamiento. La región Amazónica capta la mayor cantidad de agua residual siendo un 41.5 % del total que se distribuye por la red pública.

En el Cantón Archidona el nivel de afectación que tiene el recurso agua generado por las aguas servidas en ríos y quebradas a nivel urbano y rural es alto, esto al ser depositados directamente los efluentes sin tratamiento previo. La principal enfermedad que se adquiere en el Cantón es la diarrea y gastroenteritis con un 13,46%, debido al consumo de agua no tratada (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Archidona, 2019).

La comunidad Sociedad Libre se encuentra en la parroquia Cotundo, del Cantón Archidona, de la Provincia de Napo, a unos 32 minutos desde Archidona. A la fecha la comunidad no dispone con servicios básicos de agua potable y alcantarillado sanitario, mucho menos con una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) (Tanguila, 2021).

Sociedad Libre cuenta con un aproximado de 100 viviendas, con una densidad de 5 personas por domicilio (población actual 500 habitantes) (Tanguila, 2021). Población que por años han tenido que idearse para enfrentarse a los diversos problemas sanitarios que se les presenta, como la proliferación de vectores, generación de malos olores, contaminación de las cunetas que llevan las aguas grises hacia la quebrada Sardinas, contaminación del subsuelo por la infiltración de las aguas negras en los pozos ciegos, contaminación visual, entre otros.

El sistema que se propone en esta propuesta permitirá obtener agua tratada que cumplan con los límites máximos permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce, evitando la descarga de agua residual sin tratar en la quebrada Sardinas y al subsuelo producto del uso de los pozos ciegos, que son usados específicamente para las aguas negras. Este proyecto de investigación se lo llevó a cabo mediante el cumplimiento de los objetivos específicos, uno de ellos con la caracterización de la población y del agua residual, mediante el cual se logró obtener información necesaria e indispensable para poder identificar diferentes aspectos de la comunidad, en función con el tema del proyecto. La información obtenida nos ayudó en la realización de los cálculos para el dimensionamiento de la planta de tratamiento como lo dicta en el objetivo específico dos. El objetivo específico tres, tiene la finalidad de brindar herramientas necesarias para gestionar adecuadamente la PTAR, que se lo hará mediante la guía de mantenimiento y operación que se la realizó.

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### *1.2.1 Descripción del problema*

La mayor parte de las actividades antropogénicas generan aguas residuales, representando un 80% a nivel mundial. El cual se encuentra en aumento, como consecuencia retornan al medio ambiente sin ningún tratamiento, que más adelante tiene efectos negativos en la salud, en la economía, en el recurso hídrico y en los ecosistemas (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2017).

En Ecuador existen varias plantas de tratamiento de aguas residuales que buscan minimizar el impacto ambiental al devolver a su entorno el agua tratada. Sin embargo, la cantidad de plantas de tratamiento de aguas residuales no son suficientes con respectos a la demanda. De los 221 municipios del país, solo el 65,5% cuentan con una o más plantas de tratamiento de agua residual, mientras que en el resto no se realizan ningún tipo de tratamiento, y del total del agua que se distribuye a nivel nacional solamente el 27,3% ingresan a plantas de tratamiento, donde el 51,6% del agua residual tratada se dispone en ríos, el 28,6% en quebradas, el 13,1% en suelos, y el resto en sitios como: acequias de riego, cajón de riego, canal, mar, entre otros (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2020).

El siguiente trabajo de investigación se va a llevar a cabo en la comunidad Sociedad Libre, ubicada en la Parroquia Cotundo del Cantón Archidona. Esta comunidad no cuenta con un sistema de alcantarillado ni con una planta de tratamiento de agua residual (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Cotundo, 2019). La población de la comunidad ha optado por disponer sus aguas negras a pozos ciegos, mientras que las aguas grises son dispuestas en el ambiente sin ningún tratamiento, escurriendo por las cunetas de las vías hasta llegar a la quebrada Sardinas, para el caso de las viviendas que no cuentan con un pozo ciego, sus aguas negras son dispuestas junto con las aguas grises, generando en su transcurso malos olores y proliferación de vectores (Tanguila, 2021).

En la Comunidad no existe un estudio para la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales, resultando factible proponer el diseño de una PTAR domésticas generados en Sociedad Libre, las mismas que contienen una gran cantidad de materia orgánica, microorganismos patógenos, sólidos en suspensión y otros elementos que al ser liberados sin previo tratamiento sería perjudicial para el ambiente, teniendo como resultados consecuencias fatales tanto en la flora y fauna, como en la salud de las personas que se ven expuestos a muchos riesgos biológicos (Díaz , Alvarado, y Camacho, 2014).

### *1.2.2 Formulación del Problema*

¿Cómo es la eliminación de las aguas residuales en la comunidad Sociedad Libre en la actualidad y es factible una planta de tratamiento de agua residual para poder preservar la flora y fauna, mejorar la calidad de vida de las personas y así evitar enfermedades?

## 1.3 OBJETIVOS

### *1.3.1 Objetivos General*

- Proponer un tratamiento de agua residual para la comunidad Sociedad Libre del Cantón Archidona.

### *1.3.2 Objetivos Específicos*

- Realizar la caracterización de la población y determinar la generación de aguas residuales de la comunidad Sociedad Libre.
- Realizar el dimensionamiento para una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas.
- Elaborar una guía sobre los procedimientos de mantenimiento y operación para la planta de tratamientos de aguas residuales.

## 1.4 JUSTIFICACIÓN

"La demanda que habrá por el recurso agua en el 2050 dada por el crecimiento demográfico se estima que el 40% de la población a nivel mundial vivirá bajo un estrés hídrico severo" (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2020,p. 126). Además, en América Latina, las aguas residuales que generan el 70% son depositadas a un cauce hídrico, sin ningún tratamiento previo, provocando daños a la salud pública, recursos naturales, al ambiente y a los sectores productivos, el cual la mayor parte de la población es vulnerable al no contar con el apoyo de las autoridades del Cantón (Real, 2016).

Por estas razones la importancia de tratar el agua residual y dar cumplimiento al Acuerdo Ministerial 097-A (2015) donde determina los límites máximos permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce. Según nos dice la Constitución de la Republica del Ecuador (2008) en el Art. 264.- Las competencias para la depuración del agua residual les pertenecen a los gobiernos municipales, así mismo en su literal 4 establece, prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellas que establezca la ley.

Con estos argumentos se considera primordial proponer el diseño de una planta de tratamiento de agua residual (PTAR), que busca mejorar la calidad de vida de los habitantes y el ambiente para obtener una mayor disponibilidad de este recurso vital llamado agua, dando solución al depurar el agua residual en la comunidad Sociedad Libre, también se beneficiarán las comunidades aledañas de una forma indirecta al contar con un efluente de agua más limpia. Este diseño contará con el siguiente sistema Cribado, Tanque Imhoff y un Filtro biológico de Flujo Ascendente.

Ronces (2018) "Una planta de tratamiento de agua residual es una de las soluciones de saneamiento para la comunidad" (p. 6). Debido a que el agua es un recurso vital de todos los seres vivos, y al conducir sus aguas servidas directamente a la quebrada Sardinas no habría mejoramiento de las condiciones de vida en esta zona rural. Al encontrarse esta comunidad alejada de las zonas urbanas hace casi imposible la implementación de los servicios básicos como es el alcantarillado sanitario y el tratamiento de las aguas servidas, de modo que las aguas servidas al ser evacuadas por canales a la intemperie, produce la

proliferación de vectores que son los principales causantes de enfermedades a los seres humanos incluyendo el cambio paisajístico. Con la implementación del sistema de tratamiento del agua residual en la comunidad Sociedad Libre, se reducirá los contaminantes presentes en el agua después de haber pasado por un debido proceso de saneamiento y cumpla con los límites de descarga permisibles a los cuerpos de agua dulce.

Se ha seleccionado esta comunidad por contar con una de las poblaciones más grandes de la Parroquia Cotundo y porque actualmente no cuentan con un sistema de depuración de las aguas residuales.

# CAPITULO II

## 2.1 MARCO CONCEPTUAL

### *2.1.1 Agua residual*

Se considera al agua residual la estructura de varias composiciones que están formadas por un 99% de agua y el 1% de sólidos suspendidos pueden se orgánicos o inorgánicos provenientes del ser humano, ya sea de usos domésticos, industriales, comerciales, aguas negras, aguas grises, aguas lluvias o efluentes que no cuentan con un efluente adecuado, antes de ser vertidas a un cuerpo de agua natural (Portero y Amat, 2017).

### *2.1.2 Agua residual doméstica*

Las aguas residuales domésticas son aquellas aguas que provienen de los inodoros, duchas, cocina, lavandería, entre otros, es el resultado de las actividades que se realizan en las viviendas, zonas residenciales, establecimientos comerciales o instituciones, las características de este tipo de agua se dividen en físicas, químicas, microbiológicas y aguas negras (López M, 2018).

"Las aguas negras proceden de los desechos orgánicos tanto de las personas como de los animales, son líquidos que contienen materia fecal y orina, es rica en nitrógeno, coliformes fecales y sólidos suspendidos" (López y Zambrano, 2015).

### *2.1.3 Aguas grises*

Las aguas residuales grises varían de acuerdo a la función de su procedencia, puede ser compuestas por materia orgánica e inorgánica, microorganismos provenientes de las duchas, lavadoras, lavamanos, mientras que el material fecal representa un mínimo porcentaje (Aqua España, 2018).

### *2.1.4 Parámetros Importantes en Aguas residuales*

A continuación, se describen algunos parámetros que se utilizan para evaluar una planta de tratamiento de aguas residuales.

#### *2.1.4.1 Parámetros Físicos*

Las características más principales son: color, olor, temperatura, turbidez, sólidos y conductividad. Nos muestran una aproximación de la calidad de las aguas residuales, del proceso que se efectúan y de posibles inconvenientes que se pueden dar a lo largo del tratamiento (Portero y Amat, 2017).

##### *2.1.4.1.1 Temperatura*

Es importante en el agua residual por el resultado que muestra sobre las características del agua, operaciones, procesos de tratamientos y también sobre el método de disposición final. El aumento de temperatura puede afectar a la solubilidad de las sustancias, aumentando la de los sólidos disueltos y reduciendo la de los gases. La temperatura perfecta para la actividad bacteriana viene siendo de 25°C a 35°C (Romero, 2010).

##### *2.1.4.1.2 Sólidos*

Comúnmente se encuentran en las aguas residuales, siendo todo aquello que no es agua. De los problemas más visibles de la presencia de sólidos, es el crecimiento de la turbidez del agua. Se clasifican en sólidos disueltos, sólidos sedimentables, y sólidos totales, cada uno de ellos tienden a presentar características distintas, tienen en común la decantabilidad (Mendoza, 2020).

#### *2.1.4.2 Parámetros Químicos*

“Las características químicas del agua residual se los agrupa en los siguientes apartados por su naturaleza: materia orgánica, materia inorgánica y los gases” (Portero y Amat, 2017).

##### *2.1.4.2.1 Materia Orgánica*

La materia orgánica está compuesta por residuos orgánicos que pueden ser carbohidratos, proteínas, grasas y aceites, siendo biodegradables al ser transformados a compuestos más simples por la intervención de los microrganismos existentes en el agua, siendo favorecidos por la condiciones climáticas y nutrientes que suelen tener las aguas residuales de origen doméstico (Portero y Amat, 2017).

#### *2.1.4.2.2 Grasas y Aceites*

Se mantienen en la superficie del agua residual, esto crea inconvenientes en una planta de tratamiento de aguas residuales, interrumpen la actividad biológica impidiendo biodegradar. Las grasas y aceites de origen vegetal son comúnmente biodegradables (Romero, 2010).

#### *2.1.4.2.3 Demanda Biológica de Oxígeno ($DBO_5$)*

La DBO es un indicador eficiente, indispensable para determinar la calidad del recurso hídrico de ríos, lagos, lagunas y se expresa en mg /l, donde permite conocer la cantidad de oxígeno que necesita para que se degrade la materia orgánica mediante un proceso aerobio que se localiza en las aguas residuales (Torres y Delgado, 2020).

#### *2.1.4.2.4 Demanda Química de Oxígeno (DQO)*

La DQO representa la cantidad de oxígeno necesaria para degradar la materia orgánica biodegradable y no biodegradable, mediante los procesos químicos que se encuentra en el agua residual, como resultado será el valor mayor, a la DBO (Romero, 2010).

### *2.1.4.3 Materia Inorgánica*

Según Portero y Amat (2017) la determinación y control de la calidad del agua van a depender de varios componentes inorgánicos y naturales presentes en las aguas residuales, la presencia de formaciones geológicas genera un aumento de las sustancias inorgánicas al entrar en contacto con ambas.

#### *2.1.4.3.1 Potencial Hidrógeno (Ph)*

Medida del grado de acidez o alcalinidad del agua, se refleja como concentración algorítmica negativa de la concentración del Ion hidrogeno. Determina la acidez del agua residual, y suele ser muy corrosiva, la cual logra atacar químicamente a los sistemas de distribución o los órganos de las plantas de tratamiento y un agua residual causa incrustaciones en ambas (Portero y Amat, 2017).

#### *2.1.4.3.2 Parámetros biológicos*

"El agua residual conforme a su composición y concentración puede acoger gran cantidad de organismos. Así mismo, interviene en su presencia la temperatura y el pH, ya que depende de estos parámetros para desarrollarse" (Portero y Amat, 2017).

#### *2.1.4.4 Coliformes Fecales*

La presencia de coliformes fecales, señala que el agua abarca contaminación fecal y por lo tanto contiene bacterias patógenas. Resultan ser importantes como indicador, se los nombra como termo tolerantes porque soportan elevadas temperaturas Coliformes Totales (Torres y Delgado, 2020).

Este resulta ser menos confiable como indicador al no ser todos de origen fecal, frecuentemente una parte de los Coliformes no fecales es alta en los climas cálidos.

### *2.1.5 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES*

Los microorganismos, una de sus funciones ambientales es captar la energía del sol y ejecutar etapas de los ciclos del carbono, del oxígeno, nitrógeno y de otros elementos indispensables para la biota. En las aguas residuales existe diferentes características microbiológicas, estas proveen gran cantidad de materia orgánica que es aprovechado en forma de alimento para los microorganismos como: hongos, protozoos y bacterias que son encargados de la descomposición (Torres y Delgado, 2020).

#### *2.1.5.1 Bacterias*

Las bacterias son unicelulares. Morfológicamente redondas, cilíndricas, curvadas, en espiral o filamentosas, constituyendo el grupo más importante de microorganismos para tratar las aguas residuales, son heterótrofas o autótrofas, anaerobias, aerobias o facultativas, cumplen un rol amplio y de importancia en los procesos de descomposición y estabilización (Romero, 2010).

#### *2.1.5.2 Hongos*

La mayoría son aerobios, tienen un pH adecuado de crecimiento de 5,6 con intervalos de 2 a 9, a diferencia de las bacterias pueden tolerar ambientes de humedad baja y un pH ácido. Las aguas residuales domésticas contienen muchas esporas e hifas de hongos siendo las especies más representativas la *Leptomituslacteus* y *Fasarium* (Berjarano y Carvajal, 2015).

#### *2.1.5.3 Protozoos*

Se los considera como bioindicadores de estado del buen funcionamiento de la planta de tratamiento de las aguas residuales ya que ayudan a la detención y prevención de posibles problemas operativos. La presencia de estos microorganismos en los sistemas de depuración biológica aporta a mejorar la calidad de los efluentes, disminuyendo la DBO, la turbidez del medio y la cantidad de bacterias, por lo que son esenciales en la depuración biológica de las aguas residuales (Mendoza, 2020).

### ***2.1.6 Caudales***

#### *2.1.6.1 Caudal de infiltración*

Estas aguas están presentes en los sistemas de alcantarillados sanitario y se sujeta a varios factores como es el: cuidado en la construcción de alcantarillado, altura del nivel freático, tipo de suelo, parte de los conductos pueden permanecer sumergidos en el agua (Gómez, 2016).

#### *2.1.6.2 Conexiones Erradas*

Este tipo de conexión errada se puede presenciar cuando en una vivienda, local comercial o industrias une por error las tuberías de las aguas residuales a la tubería de alcantarillado de agua lluvia, provocando contaminación a los diferentes cuerpos de agua (Gómez, 2016).

## 2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### *2.2.1 TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL*

El tratamiento de las aguas residuales tiene como objetivo ayudar al ambiente, eliminando la mayor cantidad de contaminantes presentes en el agua, mediante un conjunto de procesos físicos, químicas y biológicos, para generar agua limpia o reutilizable en el ambiente (Acuerdo Ministerial 097-A, 2015).

#### *2.2.1.1 Pretratamiento*

El pretratamiento desempeña un papel fundamental para un sistema de tratamiento de aguas residuales, el cual permite eliminar gran cantidad los sólidos de gran tamaño (palos, ramas, hojas, envases, entre otros) que pueden provocar inconvenientes en los procesos siguientes del tratamiento (Torres y Delgado, 2020)

##### *2.2.1.1.1 Desbaste*

Es una operación donde se utiliza un sistema de rejas donde su principal función es retener sólidos gruesos que se encuentra en el agua residual, nos ayudará a preservar la estructura y equipos de erosiones y taponamientos, las rejas finas pueden ser menor a 10 mm, en el desbaste medio una separación de entre 10 a 25 mm y en el desbaste grueso a 5 cm, lo cual es recomendable una inclinación de 60° y 80° (Prieto y Rodríguez, 2015).

Las rejas se clasifican en dependencia del tipo de limpieza, existen dos tipos: rejas de limpieza manual y rejas de accionamiento mecanizado. Las rejas de limpieza manual se emplean en infraestructuras pequeñas.

#### *2.2.1.2 Tratamiento Primario*

El Tratamiento Primario son procesos físicos o físicos químicos que separa los sólidos sedimentables y en suspensión que se encuentran en el agua residual, generalmente en esta etapa de se eliminan un 60% en solidos suspendidos y un 30% de $DBO_5$ de las aguas municipales (Andrade y Castro, 2017).

Dentro de estos tratamientos aplicados al medio rural se encuentra el tanque Imhoff.

##### *2.2.1.2.1 Tanque Imhoff*

Es una unidad del tratamiento primario donde su función es la remoción de sólidos suspendidos, lo cual ofrece ventajas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, también conocido como tanques de doble cámara, son adecuadas para ciudades pequeñas y para las comunidades, tiene una operación muy simple que no requiere partes mecánicas, para eso es importante que pasen por los tratamientos preliminar (Organización Panamericana de la Salud, 2005).

##### *2.2.1.2.2 Lodos y Lecho de Secado*

Según Castellanos, Merchán, Galvis, y Manjarres (2018) los lodos son residuos orgánicos semisólidos que causan riesgos potenciales para la salud pública y el ambiente si no son estabilizados. Estabilizar los lodos contribuye a que el costo de tratar el agua residual sea mayor, los métodos de estabilización que más se han utilizado son la deshidratación por centrifugación, compostaje, alcalinización, secado térmico y deshidratación por lecho de secado, este último es un proceso natural donde los lodos son depositados en plataformas rectangulares de poca profundidad con fondos porosos. Por medio de la radiación solar y el viento se deshidratan y desinfectan los lodos (p.4).

#### *2.2.1.3 Tratamiento Secundario*

En esta fase del tratamiento secundario consiste en remover la materia orgánica mediante procesos biológicos, donde se utilizan microorganismos para llevar a cabo la eliminación de materia orgánica biodegradable (García, 2018).

##### *2.2.1.3.1 Filtro Biológico de Flujo Ascendente*

Según Romero (2010) "el FAFA, es un proceso de crecimiento adherido propuesto por Young y McCarty en 1969, para el tratamiento de residuos solubles, sencillo de mantener porque la biomasa permanece como una película microbial adherida y porque como el flujo es ascensional, el riesgo de taponamiento es mínimo. Su entorno está constituido por un medio sólido para soporte del crecimiento bacterial anaerobio" (p. 706). El afluente a tratar atraviesa por un medio filtrante donde los microorganismos crecen y se desarrollan progresivamente adheridos al medio filtrante, formando una biopelícula que es la que realiza la degradación biológica de la materia orgánica contenida en el agua residual (Metcalf y Eddy, 1995).

#### *2.2.1.4 Tratamiento terciario*

En el tratamiento terciario consiste en la separación del material residual, y se optan por procesos físicos y químicos con el cual consiste en purificar los efluentes residuales, para una reutilización alternativo para el recurso hídrico (Andrade y Castro, 2017).

##### *2.2.1.4.1 Luz ultravioleta*

La luz ultravioleta (UV) impide que los microorganismos se reproduzcan dañando su ácido nucleico y al no ser un proceso químico no produce ningún residuo. Esta es una luz invisible a los ojos humanos (TrojanUV, 2021).

## 2.3 MARCO JURÍDICO

### *2.3.1 Constitución de la República del Ecuador 2008*

**TITULO II: DERECHOS**

**Capítulo Segundo: Derecho del buen vivir**

**Art. 14.-** Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sustentabilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay.

**TITULO V: ORGANIZACIÓN TERRITORIAL DEL ESTADO**

**Capítulo Cuarto: Régimen de competencias**

**Art. 264.-** Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:

Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellas que establezca la ley (Constitución de la Republica del Ecuador, 2008).

### *2.3.2 Código Orgánico del Ambiente*

**TITULO II: SISTEMA UNICO DE MANEJO AMBIENTAL**

**CAPITULO V: Calidad de los componentes abióticos y estado de los componentes bióticos**

**Art. 196.-** Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales deberán contar con infraestructura técnica para la instalación de sistemas de alcantarillados y tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales, de conformidad con la ley y la normativa técnica expendida para el efecto. Asimismo, deberán fomentar el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, siempre y cuando estas recuperen los niveles cualitativos y cuantitativos que exija la autoridad competente y no se afecte la salubridad pública(Código Orgánico del Ambiente, 2017).

### *2.3.3 Código Orgánico Organización Territorial Autonomía Descentralización*

**TITULO III: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal**

**CAPITULO III: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal**

**SECCION PRIMERA: Naturaleza Jurídica, Sede y Funciones**

**Art. 55.-** Competencias exclusivas del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal. – Lo Gobierno Autónomos Descentralizados Municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:

d) Prestar los servicios públicos de agua potables, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezcan la ley.

**TITULO V: Descentralización y Sistemas Nacional de Competencias**

**CAPITULO IV: Del Ejercicio de las Competencias Constitucionales**

**Art. 136.-** Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales establecerán, en forma progresiva, sistemas de gestión integral de desechos, a fin de eliminar los vertidos contaminantes en ríos, lagos, lagunas, quebradas, esteros o mar, aguas residuales provenientes de redes de alcantarillado, público o privado, así como eliminar el vertido en redes de alcantarillado (Código Orgánico Organización Territorial Autonomía Descentralización, 2010).

# CAPITULO III

## 3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### *3.1.1 Localización*

El área de estudio se encuentra en la Región Amazónica, en la Provincia de Napo, Cantón Archidona, ubicada en la Parroquia Cotundo en la Comunidad Sociedad Libre, en el kilómetro 21 de la vía Tena- Baeza, a unos 32 minutos desde Archidona. La Comunidad cuenta con 500 habitantes, dedicándose la mayor parte de la población a las labores de campo. Como referencias tenemos las siguientes coordenadas: 189817.104 este; 9916871.926 norte.




**Figura 1**: Localización de la comunidad Sociedad Libre

## 3.2 Tipo de Investigación

Para el desarrollo de este proyecto de titulación denominado "Propuesta de tratamiento del agua residual para la comunidad Sociedad Libre", misma que pertenece a la línea de Gestión y Conservación Ambiental y que está enfocada en el desarrollo de una alternativa de remediación ambiental, en este caso se desarrolló la propuesta de un sistema para tratar las aguas residuales domésticas.

Para el presente trabajo hemos seleccionado el tipo de Investigación Documental: Se basó en obtener la mayor información necesaria de: libros, artículos científicos, revistas, informes técnicos, periódicos, registros, memorias, otros. Este tipo de investigación constituyó en su mayoría de una investigación científica e informes técnicos, misma que se encontró en instituciones públicas como el GAD Municipal de Archidona y el GAD Parroquial de Cotundo, y privada como el laboratorio Labcestta Tecnología y Calidad, que nos sirvió de ayuda para la investigación. Para la Investigación Descriptiva: Nos permitió examinar las características de la comunidad Sociedad Libre y clasificar los datos necesarios para resolver el problema.

## 3.3 Métodos de investigación

Para el cumplimiento de los objetivos específicos se mencionan a continuación los siguientes procesos metodológicos:

### *3.3.1 Para el cumplimiento del objetivo 1*

#### *3.3.1.1 Caracterización de la Población*

Se realizó una revisión documental, donde se recopiló la información necesaria e indispensable para poder establecer las diferentes características de la población, mediante el uso de Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Cotundo (2019), Instituto Nacional de Estadística y Censos (2020) y el Censo poblacional de la directiva de la comunidad, se determinó el número total de habitantes, servicios básicos, educación, saneamiento, el tipo de eliminación de los residuos sólidos y el acceso y uso de espacios públicos con las que cuenta la comunidad.

##### *3.3.1.1.1 Características del medio físico*

Para poder caracterizar el medio físico de la comunidad Sociedad Libre se analizó con software especializado (ArcGIS 10.6) la cartografía nacional establecida en el Sistema Nacional de Información, específicamente del Ministerio de Ambiente, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología y Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura, Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico, determinando las condiciones ambientales físicas de la comunidad Sociedad Libre.

#### *3.3.1.2 Determinación de la generación del agua residual*

Revisión de información secundaria: Se revisó los informes técnicos, análisis de laboratorio que se utilizó para el diseño y construcción de la planta de tratamiento de agua residual de la comunidad de Santa Rita del cantón Archidona. Además, Se comparó los resultados de laboratorio con la tabla de composición típica del agua residual domestica bruta del Libro de Ingeniería de Agua Residual volumen1 de Metcalf y Eddy (1995).

### *3.3.2 Para el cumplimiento del objetivo 2*

#### *3.3.2.1 Realizar el dimensionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas.*

Se calculó y estableció los criterios de diseño para el sistema de depuración de agua residual, se realizó la revisión de libros de diseño de plantas de agua residual como: Tratamiento de aguas residuales; teorías y principios de diseño de Jairo Romero Rojas, Tratamiento de aguas residuales; Técnicas convencionales de la MSc. Martha Bermeo, Guía para el Diseño de Tanque Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización de la Organización Panamericana de la Salud, Manual de Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente y el de Proyectos de Plantas de Tratamiento de Aguas de Ricardo Isla de Juana. Los sistemas que contará esta planta de tratamiento de agua residual serán las siguientes: Cribado-Tanque Imhoff – Filtro Biológico de Flujo Ascendente, Rayos Ultravioleta y un Lecho de Secado de Lodos, estos procesos se implementó al recopilar la información necesaria de la comunidad y las concentraciones de las cargas contaminantes presentes en el agua residual que se adaptaron del libro de Ingeniería de aguas residuales Metcalf y Eddy. El Acuerdo Ministerial 097-A, se lo utilizó para poder limitar los distintos parámetros de descarga a un cuerpo de agua dulce.

#### *3.3.2.2 Consideraciones para el diseño*

Para el dimensionamiento de la planta de tratamiento del agua residual se tuvo como primera parte conocer los diferentes contaminantes que conforman dichas aguas de origen doméstico, (**Ver Tabla 10)** el cual se tomó en cuenta parámetros como son los caudales, la dotación media futura, la población futura, entre otros.

Los diferentes procesos que se utilizarán en la planta de tratamiento (Rejas Finas de Desbaste, Tanque Imhoff, Filtro Biológico de Flujo Ascendente, Rayos Ultravioleta y un Lecho de Secado de Lodos) servirán para depurar las aguas residuales de origen doméstico.

Para el diseño de la planta de tratamiento de agua residual de la comunidad Sociedad Libre, se fundamentó en la Norma CO 10.07- 601, Norma CO 10.7- 602, Libro de Ingeniería de Aguas Residuales de Metcalf y Eddy (1995), Libro de Tratamiento de aguas residuales;

teorías y principios de diseño de Jairo Romero Rojas, Libro de Técnicas convencionales de la MSc. Martha Bermeo.

#### *3.3.2.3 Parámetros para el dimensionamiento de la planta de tratamiento de agua residual*

**Período de diseño**

Según la Norma CO 10.7- 602 de Diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural "Lapso durante el cual una obra o estructura puede funcionar sin necesidad de ampliaciones". Para la comunidad Sociedad Libre se establece un diseño con un periodo de 20 años.

**Población actual (hab)**

Según el censo poblacional realizado por la directiva de la comunidad Sociedad Libre en el año 2020, se determinó una población de 500 personas, cuyo dato se utilizará para determinar la población fututa.

**Población futura**

Parámetro de importancia antes del dimensionamiento de la planta de tratamiento. La planta debe contar con una capacidad adicional y suficiente para afrontar el crecimiento poblacional para el cual se la proyecta la obra.

Se ha optado como índice de crecimiento, la tasa de crecimiento anual de la parroquia Cotundo que es 2.33% (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Cotundo, 2019).

"Para realizar la proyección de la población se utilizaron estos métodos, el Aritmético, Geométrico y Mixto, se tomará el valor del método geométrico" como lo establece la Norma CO 10.7- 602 (2014).

Para obtener la población futura se utilizaron tres ecuaciones, obtenidas de la Norma CO 10.7- 602 (2014).

***Método Aritmético***

**Ecuación 1**

$$Pf_a = Pa\ (1+ r\ *n)$$

**Donde:**

**$Pf_a$=** Población futura por el Método Aritmético

**$P_a$=** Población actual

**r=** Índice de crecimiento

**n=** Período de diseño

***Método Geométrico***

**Ecuación 2**

$$Pf_g = P_a\ (1 + r)^{n}$$

**Donde:**

**$Pf_g$=** Población futura por método Geométrico

**$P_a$=** Población actual

**r =** Índice de crecimiento

**n=** Período de diseño

***Método Mixto***

**Ecuación 3**

$$Pfm = \frac{Pfa + Pfg}{2}$$

**Donde:**

**$Pf_m$=** Población futura por el método Mixto

**$Pf_a$=** Población futura por el Método Aritmético

**$Pf_g$=** Población futura por método Geométrico

**Dotación media futura**

Agua, dispuesta al consumo diario, en promedio, por cada habitante, al final del período de diseño, expresado en litros habitante día, de la tabla V.3 Dotaciones recomendadas de la (Norma CO 10.07 - 601, 2014).

**Tabla 1**: Valores recomendados de dotación media futura según el número de habitantes

| POBLACIÓN | CLIMA | DOTACIÓN MEDIA FUTURA |
|---|---|---|
| Hasta 5000 | Frío | 120 – 150 |
| | Templado | 130 – 160 |
| | Cálido | 170 – 200 |
| 5000 a 50000 | Frío | 180 – 200 |
| | Templado | 190 - 220 |
| | Cálido | 200 - 230 |
| Más | Frío | >200 |
| | Templado | >220 |
| | Cálido | >230 |

**Tomado de:** (Norma CO 10.07 - 601, 2014)

### Caudal medio diario ($Q_{md}$)

Caudal a tratar por la PTAR a lo largo de 24 h. Se emplea para la determinación la capacidad de una planta de tratamiento, donde se determina mediante la suma de los caudales doméstico, infiltración y del caudal de conexiones erradas, se descarta el caudal industrial porque no existe está actividad, de igual manera el caudal institucional debido que la única escuela que existe cuanta con su propia PTAR (Lozano, 2012).

Ecuación obtenida de (Lozano, 2012):

**Ecuación 4**

$$Q_{md} = Q_{dom} + Q_{inf} + Q_{cerr}$$

**Donde:**

$Q_{md}$= Caudal medio diario (l/s)

$Q_{dom}$= Caudal doméstico (l/s)

$Q_{inf}$= Caudal de infiltración (l/s)

$Q_{cerr}$= Caudal de conexiones erradas (l/s)

**Caudal doméstico ($Q_{dom}$)**

Aguas residuales domesticas conformada de líquidos que provienen de zonas residenciales. Para este cálculo se ha tomado en cuenta la dotación media futura, la población de diseño y el porcentaje de retorno de aguas servidas que es de 80%.

Ecuación obtenida de la de la (Norma CO 10.7 - 602, 2014):

**Ecuación 5**

$$Qdom = \frac{D * Pf * CR}{86400}$$

**Donde:**

**$Q_{dom}$=** Caudal doméstico ($m^3/h$)

**D=** Dotación (l/hab. día)

**Pf=** Número de habitantes proyectado para el periodo de diseño asignad

**$C_R$ =** Coeficiente de retorno sanitario (entre 0.70 y 0.85, usualmente se usa 0.80)

**Caudal de infiltración ($Q_{inf}$)**

El caudal de infiltración estará siempre presente en los sistemas de alcantarillado porque en cada instalación de tuberías independientemente del material de fabricación es inevitable por completo la infiltración Para determinar el caudal se plantea la siguiente ecuación:

Ecuación obtenida de (Inca y Salambay, 2020):

**Ecuación 6**

$$Q_{inf} = 0{,}2 \text{ l/s. ha} * A$$

**Donde:**

**$Q_{inf}$ =** Caudal de infiltración

**A=** Área del proyecto (ha)

**Conexiones erradas ($Q_{cerr}$)**

Se consideran a caudales pluviales provenientes de defectos en las conexiones o conexiones erradas, se puede determinar este caudal con el valor de 0,2 l/s que hace referencia al agua lluvia que entra al alcantarillado.

Ecuación obtenida de (Lozano, 2012) :

**Ecuación 7**

$$\mathbf{Q_{cerr} = 0.3\ l/s.\ ha * A}$$

**Donde:**

**$Q_{cerr}$=** Caudal de conexiones erradas

**A=** Área del proyecto

**Caudal máximo diario**

Caudal máximo en 24 horas que puede entrar al tratamiento, el caudal máximo se la obtiene mediante esta ecuación:

Ecuación obtenida de la (Norma CO 10.7 - 602, 2014):

**Ecuación 8**

$$\mathbf{M_{áx.} = KMD * Q_{md}}$$

**Donde:**

**$M_{áx}$=** Caudal máximo diario ($m^3/h$)

**$Q_{md}$=** Caudal medio diario (l/s)

**KMD=** Factor de mayoración máximo diario

Según la Norma CO 10.7 -602 (2014), el factor de mayoración máximo diario (KMD) tiene un valor de 1.25, para todos los niveles de servicio.

**Caudal mínimo ($Q_{min}$)**

Caudal mínimo en 24 horas que puede entrar al tratamiento, el cual se determina con la siguiente ecuación.

Ecuación obtenida de Lozano (2012).

**Ecuación 9**

$$\mathbf{Qmin = 0.30 * Qmd}$$

**Donde:**

**Q min=** Caudal mínimo ($m^3/h$)

**Q md=** Caudal medio diario (l/s)

## PRETRATAMIENTO

### Rejas finas – Desbaste

Con el objetivo de mejorar los tratamientos posteriores, al agua residual se somete a un tratamiento preliminar, teniendo como función separar sólidos que por su naturaleza pueden afectar el correcto funcionamiento del resto de procesos.

Las rejillas de limpieza manual comúnmente usadas para pequeños sistemas de depuración son usadas por su facilidad de limpieza, bajo costo de mantenimiento, no requieren de energía eléctrica para su funcionamiento (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2014).

**Tabla 2:** Parámetros de partida para el diseño de Rejas Finas

| Criterio de Diseño | Rango Usual | Valor Recomendado | Unidad |
|---|---|---|---|
| Velocidad de paso entre barrotes a caudal de diseño con reja sucia. | 0.8 a 1.0 | 0.9 | m/s |
| Espesor de los barrotes | 5 a 10 | 6 | mm |
| Distancia entre barrotes | 5 a 20 | 10 | mm |
| Máxima colmatación entre dos limpiezas | 20 a 40 | 30 | % |
| Ángulo de inclinación de los barrotes | 45 a 90 | 60 | ° |
| Resguardo del canal | 0.3 a 0.6 | 0.3 | m |
| Relación profunda útil/anchura del canal | 1 | 0.3 | m |
| Metros cúbicos de residuos por 1000 metros cúbicos de agua residual a caudal de diseño. | 0.003 a 0.09 | 0.01 | - |
| Metros cúbicos de residuos por 1000 metros cúbicos de agua residual con tormenta. | 0.09 a 0.5 | - | - |
| Numero de línea | 1 | - | - |

**Tomado de:** (Isla de Juana, 2005)

Para el dimensionamiento de las rejas finas se adaptaron las ecuaciones del libro de Proyectos de Plantas de Tratamiento de Aguas del autor Isla de Juana (2005).

### Caudal de diseño por línea ($\mathbf{m^3/h}$)

Para el dimensionamiento de la reja de desbaste se toma en cuenta los criterios de la **Tabla 2.**

**Ecuación 10**

$$\mathbf{Q_{dl} = \frac{Qm_d}{Nl}}$$

**Donde:**

**$Q_{dl}$ =** Caudal de diseño por línea ($m^3/h$)

**$Q_{md}$ =** Caudal de diseño ($m^3/h$)

**Nl =** Número de línea

**Caudal máximo por línea ($m^3/h$)**

**Ecuación 11**

$$\mathbf{Q_{mxl}} = \frac{\mathbf{Q_m}}{\mathbf{Nl}}$$

**Donde:**

**$Q_{mxl}$ =** Caudal máximo por línea ($m^3/h$ )

**$Q_{md}$** = Caudal medio diario ($m^3/h$ )

**Nl =** Número de línea

**Superficie útil del canal (**$m^2$**)**

**Ecuación 12**

$$\mathbf{Superficie_{Útil}} = \frac{\frac{\mathbf{Q_{dl}}}{\mathbf{3600}}}{\mathbf{V_p}} \times \frac{\mathbf{D\ eb + e_B}}{\mathbf{D\ eb}} \times \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{1 - \frac{Máx_c}{100}}} \times \mathbf{sin}\left(\frac{\boldsymbol{\sigma}_{\mathbf{Aib}} \times \mathbf{2} \times \boldsymbol{\pi}}{\mathbf{360}}\right)$$

**Donde:**

**$Q_{dl}$ =** Caudal de diseño por línea ($m^3$/h)

**$V_p$** = Velocidad de paso entre barrotes (m/s)

**$D_{eb}$ =** Distancia entre barrotes (mm)

**$E_b$ =** Espesor de barrotes (mm)

**$Máx_c$ =** Máxima colmatación entre dos limpiezas (%)

**$A_{ib}$ =** Ángulo de inclinación de los barrotes (grados °)

**Velocidad de paso entre barrotes a caudal de diseño con reja limpia (m/s)**

**Ecuación 13**

$$\mathbf{V_{Q_{d.r.l.}}} = \mathbf{V_p} \times \frac{\mathbf{100 - Máx_c}}{\mathbf{100}}$$

**Donde:**

**$V_{Qdrl}$ =** Velocidad de paso entre barrotes a caudal de diseño con reja limpia (m/ s)

**$V_p$ =** Velocidad de paso entre barrotes (m/s)

**$Máx_c$** = Máxima colmatación entre dos limpiezas (%)

**Velocidad de paso entre barrotes a caudal máximo con reja limpia ($m^3/s$)**

**Ecuación 14**

$$\mathbf{V_{Q_{mx.r.l.}}} = \mathbf{V_{Q_{drl}}} \times \frac{\mathbf{Q_{máx.l}}}{\mathbf{Q_{d.l.}}}$$

**Donde:**

$\mathbf{V_{Qdrl}}$ **=**Velocidad de paso entre barrotes a caudal de diseño con reja limpia (m/s)

$\mathbf{Q_{máxl}}$ = Caudal máximo por línea ($m^3/h$)

$\mathbf{Q_{dl}}$ = Caudal de diseño por línea ($m^3/h$)

**Velocidad de paso entre barrotes a caudal máximo con reja colmatada (m/s)**

**Ecuación 15**

$$\mathbf{V_{Q_{máxr.c.}}} = \mathbf{V_p} \times \frac{\mathbf{Q_{mxl}}}{\mathbf{Q_{dl}}}$$

**Donde:**

$\mathbf{V_{Qmáxr.c}}$ = Velocidad de paso entre barrotes a caudal máximo con reja colmatada (m/s)

$\mathbf{V_p}$ **=** Velocidad de paso entre barrotes (m/s)

$\mathbf{Q_{máxl}}$ = Caudal máximo por línea ($m^3/h$)

$\mathbf{Q_{dl}}$ = Caudal de diseño por línea ($m^3/h$)

**Velocidad de aproximación por el canal a caudal de diseño [m/s]**

**Ecuación 16**

$$\mathbf{V_{ac.Qd}} = \frac{\frac{\mathbf{Q_{dl}}}{\mathbf{3600}}}{\mathbf{S}}$$

**Donde:**

$\mathbf{V_{ac.Qd}}$ = Velocidad de aproximación por el canal a caudal de diseño (m / s)

**S** = Superficie útil del canal ($m^2$)

$\mathbf{Q_{dl}}$ = Caudal de diseño por línea ($m^3$ / h)

**Velocidad de aproximación por el canal a caudal mínimo (m/s)**

**Ecuación 17**

$$V_{Q_{mínimo}} = \frac{\frac{Q_{mín}}{Nl}}{\frac{3600}{S}}$$

**Donde:**

$V_{Qmín}$ = Velocidad de aproximación por el canal a caudal mínimo (m/s)

$Q_{mín}$ = Caudal mínimo

**S** = Superficie útil del canal ($m^2$)

**Nl =** Número de línea

**Anchura del canal [m]**

**Ecuación 18**

$$A = \sqrt{\frac{S}{R_{P/A}}}$$

**Donde:**

**A**= Anchura del canal (m)

**S =** Superficie útil del canal ($m^2$)

$R_{P/A}$ **=** Relación profundidad útil / anchura del canal (m)

**Profundidad útil del canal (m)**

**Ecuación 19**

$$P_{uc} = \frac{S}{A}$$

**Donde:**

**Puc** =Profundidad útil del canal (m)

**S** = Superficie útil del canal ($m^2$)

**A =** Anchura del canal (m)

**Profundidad total del canal (m)**

**Ecuación 20**

$$\mathbf{P_T = \frac{S}{A} + R_c}$$

**Donde:**

**$P_T$** = Profundidad Total (m)

**S** = Superficie útil del canal ($m^2$)

**A =** Anchura del canal (m)

**$R_c$ =** Resguardo del canal (m)

**Producción normal de residuos ($m^3$/día) (Gruesos + Finos)**

**Ecuación 21**

$$\mathbf{P_{nr} = \frac{Q_d \times m^3 residuos\ a\ Q_d \times 24}{1000}}$$

**Donde:**

**$Q_d$** = Caudal de diseño ($m^3$/h)

**$P_{nr}$=** Producción normal de residuos ($m^3$/día)

**Producción máxima de residuos con tormenta ($m^3$/h) (Gruesos + Finos)**

**Ecuación 22**

$$\mathbf{P_{máxr} = \frac{Q_{máx} \times m^3 residuos_{tormenta}}{1000}}$$

**Donde:**

**$Q_{máx.}$ =** Caudal máximo ($m^3$/h)

**$P_{máxr}$=**Producción máxima de residuos con tormenta ($m^3$/día)

## TRATAMIENTO PRIMARIO

### Diseño del Tanque Imhoff

Los tanques Imhoff tienen una operación muy simple y no requieren de partes mecánicas. La digestión de lodos que se producen en la cámara de digestión es mejor que en un tanque séptico, produciendo un líquido residual de mejores características. El tiempo de retención de esta unidad es menor en comparación con las lagunas.

Para su construcción se necesita poco terreno en comparación con las lagunas de estabilización.

Son adecuados para para ciudades pequeñas y/o comunidades donde no se necesita una atención constante y cuidadosa. También conocido como tanque de doble cámara, permite en el compartimento inferior la digestión de los sólidos sedimentables, la cámara superior permite la decantación y la retención de espumas en su superficie (OPS: Guía de diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización, 2005)

Para el dimensionamiento del Tanque Imhoff se considerará los siguientes criterios:

**Tabla 3:** Criterios para el tanque Imhoff

| Criterio | Valor | Valor recomendado | Unidad |
|---|---|---|---|
| Carga superficial | 1 | - | $m^3/(m^2*h)$ |
| Tiempo de retención hidráulica | 1.5 – 2.5 | 2 | h |
| Relación longitud/ancho | 4/1 | - | m |
| Angulo de inclinación sedimentador | 50 - 60 | 50 | ° |
| Angulo de inclinación del digestor | 15 – 30 | 30 | ° |
| Ancho área de ventilación | >1 | 1 | m |

**Adaptado de**: (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

Para el dimensionamiento del Tanque Imhoff se ha tomado los criterios de la Guía para el diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y lagunas de estabilización, elaborada por la Organización Panamericana de la Salud (2005).

**Cámara de Sedimentación**

**Área de la cámara sedimentador ($m^2$)**

**Ecuación 23**

$$\mathbf{As=}\frac{Qdi}{Cs}$$

**Donde:**

**As=** Área de la cámara sedimentador

**Qdi=** Caudal de diseño

**Cs=** Carga superficial

**Relación entre la longitud y ancho del sedimentador (m)**

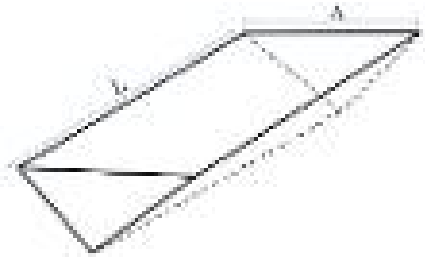


**Figura 2:** Relación entre la longitud y ancho de sedimentador
**Adaptado de**: OPS– Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización, 2005

**Ancho de la cámara del sedimentador**

**Ecuación 24**

$$\mathbf{A=}\sqrt[2]{As/4}$$

**Donde:**

**A=** Ancho de la cámara del sedimentador (m)

**As=** Área de la cámara sedimentador ($m^2$)

**Longitud de la cámara del sedimentador**

**Ecuación 25**

$$\mathbf{L= A * 4}$$

**Donde**

**A=** Ancho de la cámara sedimentador (m)

**L=** longitud de la cámara sedimentador (m)

**Volumen de la cámara del sedimentador ($m^3$)**

**Ecuación 26**

$$V_s = Q_{di} * TRH$$

**Donde:**

**$V_s$=** Volumen de la cámara del sedimentador ($m^3$)

**Qdi=** Caudal diseño ($m^3/h$)

**THR=** Tiempo de retención hidráulica (h)

**Dimensiones de la cámara de sedimentación (m)**

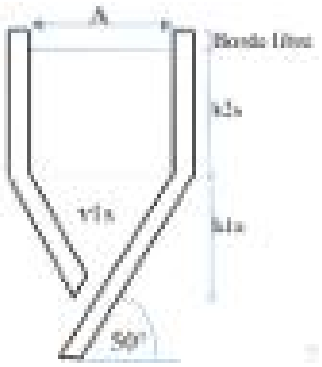



**Figura 3:** Cámara de Sedimentación
**Adaptado de**: OPS– Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización, 2005

**Se calcula con las siguientes ecuaciones:**

**Altura 1 cámara de sedimentación (m)**

**Ecuación 27**

$$h1s = \frac{A}{2} * tang\ (°)$$

**Donde:**

**h1s=** Altura 1 cámara de sedimentación (m)

**A=** Ancho de la cámara sedimentador (m)

**°=** Angulo de inclinación sedimentador (°)

**tang=** tangente

Según la Guía para el diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización de la Organización Panamericana de la Salud (2005), el fondo del tanque será de sección transversal en forma de V y la pendiente de los lados tendrán un ángulo de 50° a 60°.

**Volumen 1 de la cámara de sedimentación $m^3$**

**Ecuación 28**

$$v1s = A/2 * h1s * L$$

**Donde:**

**v1s=** Volumen 1 de la cámara de sedimentación ($m^3$)

**A=** Ancho de la cámara de sedimentación (m)

**h1s=** Altura 1 cámara de sedimentación (m)

**L=** longitud de la cámara sedimentador (m)

**Altura 2 cámara de sedimentación (m)**

**Ecuación 29**

$$h2s = \frac{Vs - v1s}{L * A}$$

**Donde:**

**h2s=** Altura 2 cámara de sedimentación (m)

**Vs=** Volumen de la cámara del sedimentador ($m^3$)

**L=** Longitud de la cámara del sedimentador (m)

**A=** ancho de la cámara del sedimentador (m)

**Cámara de digestión**

**Volumen para almacenar lodos ($m^3$)**

**Ecuación 30**

$$Vd = \frac{70 * Pf * fCR}{1000}$$

**Donde:**

**Vd =** Volumen para almacenar lodos ($m^3$)

**Pf =** Población futura (hab)

**f CR=** Factor de capacidad relativa

Para el factor de capacidad relativa se considerará la siguiente tabla.

**Tabla 4:** Factor de capacidad relativa según la temperatura

| Temperatura °C | Factor de capacidad relativa |
|---|---|
| 5 | 2 |
| 10 | 1.4 |
| 15 | 1.0 |
| 20 | 0.7 |
| >25 | 0.5 |

**Tomado de:** (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

## Dimensiones del tanque Imhoff




**Figura 4:** Dimensiones del área de ventilación, espesor y ancho del Sedimentador
**Adaptado de:** OPS-Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización (2005)

## Ancho total del tanque Imhoff (m)

**Ecuación 31**

$$At = A + (Em * 2) + (Av * 2)$$

**Donde:**

**At=** Ancho total del tanque Imhoff (m)

**A=** Ancho de la cámara de sedimentación (m)

**Em=** Espesor del muro (m)

**Av=** Ancho ventilación (m)

Según la Guía para el diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización de la Organización Panamericana de la Salud (2005) se debe considerar para el área de ventilación un ancho de 1m como mínimo. Para el espesor del muro se asume un valor de 0.25m.

**Área superficial del tanque Imhoff ($m^2$)**

**Ecuación 32**

$$ArS = L * At$$

**Donde:**

**ArS=** Área superficial del tanque Imhoff ($m^2$)

**L=** Longitud de la cámara de sedimentación (m)

**At=** Ancho total del tanque Imhoff (m)

**Área de ventilación ($m^2$)**

**Ecuación 33**

$$Avent = (Av*2) * L$$

**Donde:**

**Avent=** Área de Ventilación ($m^2$)

**Av=** Ancho de ventilación (m)

**L=** Longitud de la cámara de sedimentación

**Ecuación de verificación, si representa más del 30% del total del área del tanque cumple con un diseño adecuado.**

**Ecuación 34**

$$Ever = \frac{Avent}{ArS} * 100$$

**Donde:**

**Ever=** Ecuación de verificación (%)

**Avent=** Área de ventilación ($m^2$)

**ArS=** Área superficial del tanque Imhoff ($m^2$)

**Alturas del digestor**

Las paredes laterales de la tolva tendrán una inclinación de 15° a 30° con respecto al horizonte.

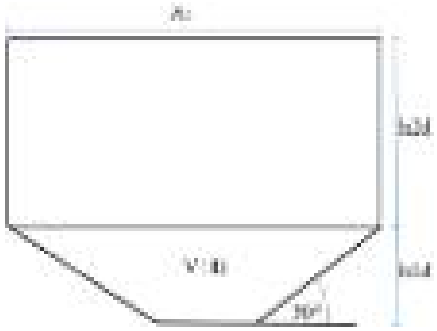


**Figura 5:** Sección transversal de un Tanque Imhoff
**Adaptado de**: OPS– Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización, 2005

**Altura 1 del digestor (m)**

**Ecuación 35**

$$\mathbf{h1D= \frac{At * tag\,(°)}{2}}$$

**Donde:**

**h1D=** Altura 1 del digestor (m)

**At=**Ancho total del tanque Imhoff (m)

**°=** Ángulo respecto al horizontal

Según la OPS - Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización 2005, las paredes laterales de esta tolva tendrán una inclinación de 15° a 30° con respecto a la horizontal.

**Volumen 1 del fondo de la cámara de digestión ($m^3$)**

**Ecuación 36**

$$\mathbf{V1cd= \frac{1}{3} * At * L * h1D}$$

**Donde:**

**V1cd=** Volumen 1 del fondo de la cámara de digestión ($m^3$)

**At=** Ancho total del tanque Imhoff (m)

**L=** longitud de la cámara del sedimentador (m)

**h1D =** Altura 1 digestor (m)

**Altura 2 del digestor (m)**

**Ecuación 37**

$$\mathbf{h2D=}\ \frac{Vs - V1cd}{L * A}$$

**Donde:**

**d2D=** Altura 2 de la cámara de sedimentación (m)

**Vs=** Volumen de la cámara de Sedimentación ($m^3$)

**L=** Longitud de la cámara de sedimentación (m)

**A=** Ancho de la cámara de sedimentación (m)

**Altura útil del tanque Imhoff (m)**

**Ecuación 38**

$$\mathbf{H_{ÚtilImhoff=}\ h1s + h2s + h1D + h2D}$$

**Donde:**

**$H_{ÚtilImhoff}$=** Altura útil del tanque Imhoff (m)

**h1s=** Altura 1 de la cámara de sedimentación (m)

**h2s=** Altura 2 de la cámara de sedimentación (m)

**h1D=** Altura 1 del digestor (m)

**h2D=** Altura 2 del digestor (m)

**Altura total del tanque Imhoff (m)**

**Ecuación 39**

$$\mathbf{A_{totalImhoff\ =}\ h_{Útil\ Imhoff} + 0.3}$$

**Donde:**

**$A_{totalImhoff}$=** Altura total del tanque Imhoff (m)

**$h_{UtilImhoff}$=** Altura útil del tanque Imhoff (m)

Según la Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización de la Organización Panamericana de la Salud (2005), se debe considerar un borde libre de 0.30m como mínimo en el área de ventilación y cámara de natas.

## TRATAMIENTO SECUNDARIO

### Dimensionamiento del filtro biológico de flujo ascendente

El filtro anaerobio se compone de un tanque relleno con un medio sólido para soporte de crecimiento biológico anaerobio, donde el agua residual que fluye de manera ascendente entra en contacto con el crecimiento bacterial adherido al medio filtrante, que va degradando la DBO del afluente teniendo como resultado un efluente clarificado con una menor carga contaminante (Romero, 2010, p. 707).

Hasta mediado de los años sesenta, el material más empleado era granito de alta calidad o escorita triturada, debido su coste a problemas como la escasa superficie de poros y la facilidad de obstrucción, por la biomasa, los materiales rocosos se han venido sustituyendo por medios filtrantes de plástico, madera de secoya, o madera prensada. (Metcalf y Eddy, 1995).

El Fafa está compuesto de una cámara inferior vacía con un fondo falso que garantiza una distribución del flujo a través del lecho filtrante y una cámara superior con un relleno de material filtrante sólido (rosetón plástico filtrante) que sirve de soporte para el crecimiento biológico y degradación de la materia orgánica mediante una biopelícula que crece en el medio filtrante en la que actúa los microorganismos facultativos y anaerobios.

Para la Comisión Nacional del Agua (2015) el sistema de filtro biológico de flujo ascendente tiene el objetivo tratar las aguas residuales domésticas de forma segura para que sea devuelto al ambiente en óptimas condiciones, este sistema cuenta con un tiempo de vida útil larga, el exceso del gas metano que se produce en el filtro biológico se lo puede utilizar como un combustible, este proceso no requiere de una extensa área de terreno para su construcción, su costo de operación al no requerir de energía eléctrica para su funcionamiento y al no necesitar de un mantenimiento constante hacen que la operación y mantenimiento no necesiten de muchos recursos económicos, en este sistema se puede obtener eficiencia de remoción entre un 65 y 75% de DQO y DBO.

Para el dimensionamiento del filtro biológico de flujo ascendente se ha adoptaron las ecuaciones de Guaquipana (2016).

**Caudal del filtro biológico ($m^3$/día)**

**Ecuación 40**

$$Qfb = 0.524 * Qdis$$

**Dónde:**

**Qfb**= Caudal del filtro biológico (m3/día)

**Qdis**= caudal de diseño (l/s)

**Volumen del filtro biológico ($m^3$/día)**

Según el Libro de Sistemas de Depuración de aguas Residuales de Hernandez, Lehmann, y Galán (2004) se debe considerar un tiempo de retención mínimo para el filtro biológico de 6h ≈ **0.25día.**

**Ecuación 41**

$$Vfb = 1.6 * Qfb * TRH$$

**Donde:**

**Vfb**= volumen del filtro biológico ($m^3$/día)

**Qfb**= Caudal del filtro biológico ($m^3$/día)

**TRH**= tiempo de retención hidráulica (día)

**Área del filtro biológico ($m^2$)**

De acuerdo al Manual de Plantas de Aguas Residuales (Rivas, 1978) la tasa de aplicación hidráulica máxima para los diseños de filtros biológicos es de 8 $m^3$/día * $m^2$.

**Ecuación 42**

$$Afb = \frac{Qfb}{Tah}$$

**Donde:**

**Afb**= Área del filtro biológico ($m^2$)

**Qfb**= Caudal del filtro biológico ($m^3$/día)

**Tah**= Tasa de aplicación hidráulica asumido ($m^3$/día*$m^2$)

**Altura del filtro biológico (m)**

**Ecuación 43**

$$\mathbf{Hfb=}\frac{\boldsymbol{Vfb}}{\boldsymbol{Afb}}$$

**Donde:**

**Hfb=** Altura del filtro biológico (m)

**Vfb=** Volumen filtro biológico ($m^3$/día)

**Afb=** Área del filtro biológico ($m^2$)

**Diámetro del filtro biológico (m)**

**Ecuación 44**

$$\mathbf{Dfb=}\sqrt{\frac{\boldsymbol{Vfb*4}}{\boldsymbol{\pi*Hfb}}}$$

**Donde:**

Dfb= Diámetro del filtro biológico (m)

Vfb= Volumen del filtro biológico ($m^3$/día)

Hfb= Altura del filtro biológico (m)

**Área real del filtro ($m^2$)**

**Ecuación 45**

$$\mathbf{Arfb=}\boldsymbol{\pi}\mathbf{*Dfb*}\frac{\boldsymbol{Dfb}}{\mathbf{4}}$$

**Donde:**

**Arfb=** Área real del filtro ($m^2$)

**Dfb=** Diámetro del filtro biológico (m)

**Volumen real del filtro ($m^3$)**

**Ecuación 46**

$$\mathbf{Vrfb = Arfb * Hfb}$$

**Donde:**

Vrfb= Volumen real del filtro ($m^3$)

Arfb= Área real del filtro biológico ($m^2$)

Hfb= Altura del filtro biológico (m)

**Tiempo de retención (hora)**

**Ecuación 47**

$$\mathbf{Tr} = \frac{Vrfb}{Qfb}$$

**Donde:**

Tr= Tiempo de retención (hora)

Vrfb= Volumen real del filtro ($m^3$)

Qfb= Caudal del filtro biológico ($m^3$/día)

**Tasa de aplicabilidad hidráulica (m3/m2*día)**

**Ecuación 48**

$$\mathbf{Tah} = \frac{Vrfb}{Arfb}$$

**Donde**:

Tah= tasa de aplicabilidad hidráulica ($m^3/m^2$*día)

Vrfb= Volumen real filtro ($m^3$)

Arfb= Área real del filtro ($m^2$)

**Lechos de secado**

Según la Guia para el Diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilizacion de la Organización Panamericana de la Salud (2005), los lechos de secado de lodos son por lo general el método más simple y económico para deshidratar los lodos estabilizados (lodos digeridos), este método resulta ideal para pequeñas comunidades. No consume de energía eléctrica para su funcionamiento y no se utilizan productos químicos, los lodos al ser estabilizados, se pueden usar como fertilizantes y restauración de suelos que han sido degradados o erosionados, debido a sus propiedades fisicoquímicas y microbiológicas (Castellanos, Merchán, Galvis, y Manjarres, 2018).

Para el dimensionamiento de los lechos de secado se adoptaron las ecuaciones de la Guía para el Diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilizacion de la Organización Panamericana de la Salud ( 2005).

**Carga de sólidos que ingresa al sedimentador**

**Ecuación 49**

$$\mathbf{C=}\frac{\boldsymbol{Pf*conper}}{\mathbf{1000}}$$

**C =** Carga percápita (kg SS/hab*día)

**Pf =** Población futura

**Comper=** Contribución percápita (gr. SS/hab*día)

Según la OPS – Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización (2005) cuando la localidad no cuenta con alcantarillado se utiliza una contribución percápita promedio de 90 gr.SS/(hab*día).

**Masa de sólidos que conforman los lodos (kg SS/día)**

**Ecuación 50**

$$\mathbf{Msd} = (0.5* 0.7 * 0.5*C) + (0.5* 0.3*C)$$

**Donde:**

**Msd** = Masa de sólidos que conforman los lodos (kg SS/día)

**C =** Carga

**Volumen diario de los lodos digeridos (l/día)**

**Ecuación 51**

$$\mathbf{Vld} = \frac{\mathbf{Msd}}{\mathbf{plodo} * (\,\%\,\mathbf{S/100})}$$

**Donde:**

**Vld =** Volumen de lodos digeridos (l/día)

**plodo =** Densidad de los lodos, igual a 1.04 kg/l

**% s =** % de sólidos contenidos en el lodo, varía entre 8 a 12 %

**Volumen de lodos a extraerse del tanque ($m^3$)**

**Ecuación 52**

$$\mathbf{Vel} = \frac{\mathbf{Vld} * \mathbf{Td}}{\mathbf{1000}}$$

**Donde:**

**Vel =** Volumen de lodos a extraer ($m^3$)

**Td =** Tiempo de digestión, en días

**Vld =** Volumen de lodos digeridos

**Área del lecho de secado ($m^2$)**

**Ecuación 53**

$$\mathbf{Als} = \frac{\mathbf{Vel}}{\mathbf{Ha}}$$

**Donde:**

**Als =** Área del lecho de secado ($m^2$)

**Vel =** Volumen de lodos a extraer ($m^3$)

**Ha =** Profundidad de aplicación, entre 0.20 a 0.40m**.**

## TRATAMIENTO TERCIARIO

La desinfección es considerada como el principal mecanismo para la desactivación o destrucción de organismos patógenos con el fin de prevenir la dispersión de enfermedades trasmitidas a través del agua.

### Luz Ultravioleta (UV)

La desinfección UV es un proceso físico que neutraliza los microorganismos instantáneamente cuando estos pasan a través de las lámparas ultravioleta sumergidas en el efluente. El proceso no añade nada al agua excepto luz. UV y por lo tanto no tiene impacto sobre la composición química o en el contenido de oxígeno disuelto en el agua (TrojanUV, 2021).

El efecto germicida de ultravioleta se une a la energía asociada a la longitud de onda o frecuencia asociada a la luz ultravioleta, siendo capaz de causar daños fotoquímicos en los ácidos nucleicos de los microorganismos. Colocar la lámpara ultravioleta será de acuerdo a la capacidad de desinfección de la misma y el caudal del efluente que emita el anterior proceso q sería del filtro biológico de flujo ascendente (Inca y Salambay 2020).

#### *3.3.2.4 Rendimiento del Proceso de Depuración*

El rendimiento es un parámetro importante para la planta de tratamiento de aguas residuales, por medio de cálculos se determinará la eficiencia que obtendrá cada uno de los niveles de tratamiento escogidos para esta propuesta, también se obtendrá los valores de concentración final de los parámetros en el tratamiento secundario.

Para el rendimiento de depuración de la planta de tratamiento propuesta se destacan los siguientes parámetros:

- Aceites y grasas
- Demanda Química de Oxígeno
- Demanda Biológica de Oxígeno
- Solidos suspendidos

**Tabla 5:** Contaminantes del agua residual doméstica bruta

| CONTAMINANTES | CONCENTRACIÓN | UNIDADES |
|---|---|---|
| Grasas y aceites | 100 | mg/l |
| DQO | 500 | mg/l |
| DBO | 220 | mg/l |
| Sólidos Suspendidos | 220 | mg/l |

**Adaptado de:** (Acuerdo Ministerial 097-A, 2015)

**Rendimiento General de la Planta**

Esta ecuación se adaptará para cada uno de los parámetros contaminantes de los niveles de tratamiento que fueron seleccionados para determinar la eficiencia de la PTAR.

**Ecuación 54**

$$\boldsymbol{Ep = \frac{So - Se}{So} * 100}$$

**Donde:**

**Ep=** Eficiencia de la planta (%)

**So =** Concentración en el afluente (mg/l)

**Se=** Concentración en el efluente (mg/ l)

**Concentración del efluente**

Esta ecuación se adaptará para cada uno de los parámetros contaminantes de los niveles de tratamiento que fueron seleccionados para determinar la concentración del efluente que tendrá la PTAR.

**Ecuación 55**

$$\mathbf{Se} = \left(\boldsymbol{So} * \frac{\boldsymbol{Rt}\ \%}{\mathbf{100}\%}\right) - \boldsymbol{So}$$

**Donde:**

**So =** Concentración en el afluente (mg/L)

**Se=** Concentración en el efluente (mg/ L)

**Rt=** Rendimiento teórico (%)

## Rendimiento Teórico

**Tabla 6:** Porcentaje de remoción del pretratamiento

| CONTAMINANTES | VALOR | UNIDADES |
|---|---|---|
| Grasas y aceites | - | - |
| DQO | - | - |
| DBO | - | - |
| Sólidos Suspendidos | 3 - 5 | % |

**Adaptado de**: (Valencia, 2013)

**Tabla 7:** Porcentaje de remoción del tratamiento primario

| CONTAMIANTES | VALOR | UNIDADES |
|---|---|---|
| Grasas y aceites | **70** | **%** |
| DQO | **30 - 40** | **%** |
| DBO | **30 – 40** | **%** |
| Sólidos suspendidos | **50 - 65** | **%** |

**Adaptado de**: (Valencia, 2013)

**Tabla 8:** Porcentaje de remoción del tratamiento secundario

| CONTAMIANTES | VALOR | UNIDADES |
|---|---|---|
| Grasas y aceites | **70** | **%** |
| DQO | **60 – 80** | **%** |
| DBO | **65 – 80** | **%** |
| Sólidos suspendidos | **60 – 70** | **%** |

**Adaptado de**: (Valencia, 2013)

### *3.3.3 Para el cumplimiento del objetivo 3*

Elaborar una guía sobre los procedimientos de mantenimiento y operación para la planta de tratamiento de aguas residuales, es de gran importancia para evitar accidentes o daños a la infraestructura, se describen los procedimientos paso a paso de una manera clara, precisa y sencilla para evitar así la manipulación errónea del sistema del tratamiento de aguas residuales, se utilizó la Guía para la operación y mantenimiento de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización de la Organización Panamericana de la Salud, Manual de Operación y Mantenimiento de Tanques Imhoff y Lechos de Secado de la Municipalidad Districtal de Paico, Manual de Operación y Mantenimiento de la Construccion Sistema de Alcantarillado Sanitario Cacerio Cabic, Petatán, Huehuetenango.

#### *3.3.3.1 Guía para los procesos de mantenimiento y operación de la Planta de Tratamiento de Agua Residual*

La guía de mantenimiento y operación del sistema de tratamiento de aguas residuales que se propone en la comunidad Sociedad Libre del cantón Archidona, presenta los procedimientos fundamentales para operar y mantener en óptimas condiciones las siguientes unidades de tratamiento de aguas residuales: Rejas Finas, Tanque Imhoff, Filtro Biológico de Flujo Ascendente, y Lecho de Secado. Está enfocado a que sirva como un documento de referencia de consulta y orientación para las personas que lleguen a operar y ofrezcan mantenimiento al sistema de tratamiento de aguas residuales.

Con la adecuada gestión a la PTAR se garantiza un efluente que esté por debajo de los límites máximos permisibles exigidos por la normativa vigente, así mismo se asegura la vida útil de la infraestructura de la planta.

**Etapas de tratamiento**

La planta de tratamiento de agua residual consta de las siguientes etapas de tratamiento:

- Pretratamiento – Rejas finas
- Tratamiento primario – Tanque Imhoff
- Tratamiento secundario – Filtro Biológico de Flujo Ascendente
- Tratamiento terciario – Luz Ultravioleta

Para la disposición de los lodos se establece:

- Lecho de secado

Según Sánchez (2011) para la buena operación y conservación del sistema se deberá tomar muy en cuenta los siguientes trabajos:

- Llevar un registro de la operación, mantenimiento o inspección efectuada en la PTAR
- Medida de caudales
- Inspección rutinaria
- Planificación de análisis físico – químico de efluentes
- Limpieza periódica
- Reparaciones
- Supervisión de conexiones
- Protección de las diferentes partes del sistema evaluación de obras y servicios.

# CAPITULO VI

## 4.1 Resultados objetivo 1

### *4.1.1 Realizar la caracterización de la población y determinar la generación de aguas residuales de la comunidad Sociedad Libre.*

#### *4.1.1.1 Resultados de la caracterización de la población de la comunidad Sociedad Libre.*

**Habitantes**

De acuerdo con el censo poblacional realizado por la directiva de la comunidad Sociedad Libre en el año 2020, se pudo determinar una población de 500 personas. Según él Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Cotundo (2019) existe un promedio de 5 habitantes por hogar. Con estos datos podemos determinar que en la comunidad existe aproximadamente 100 hogares. Gran parte de las familias se dedican a las labores del campo para su sustento diario.

**Educación**

La comunidad Sociedad libre, cuenta con un centro educativo que brinda un servicio desde el nivel de 1.$^{er}$ a 7.$^{mo}$ grado de Educación General Básica, Según la (Constitución de la Republica del Ecuador, 2008) en el Art 26 “La educación es un derecho de las personas a lo largo de su vida y un deber ineludible e Inexcusable del Estado.” Por tanto, los niños después de haber cumplido sus estudios básicos deben dirigirse a otros sectores para poder seguir con sus estudios secundarios.



**Figura 6:** Escuela Fiscal Padre Juan Constante Segovia

**Servicios básicos.**

## Agua

La comunidad Sociedad Libre no cuenta con el acceso a agua potable, el servicio que ellos utilizan es agua entubada en la mayor parte de la comunidad y agua lluvia, en aquellas viviendas que por su ubicación o resiente construcción debieron utilizar este sistema.



**Figura 7:** Sistema de recolección agua lluvia

## Energía eléctrica

La comunidad Sociedad Libre, en la mayoría del territorio cuenta con energía eléctrica proveniente de una red pública, y muy pocos de un generador eléctrico.



**Figura 8:** Red pública energía eléctrica

**Saneamiento**

La comunidad Sociedad Libre carece de la red pública de alcantarillado y de la planta de tratamiento de agua residual, de modo que la mayor parte de viviendas dirigen sus aguas negras a pozos ciegos, las aguas grises son dirigidas a canales que están en la intemperie de las orillas de las vías, donde el efluente es destinado a la quebrada Sardinas, este proceso de eliminar el agua residual produce la proliferación de vectores que son los principales causantes de enfermedades a los seres humanos y del cambio paisajístico.



**Figura 9:** Sistema de drenaje de las aguas residuales a orillas de las vías

**Residuos**

En la comunidad Sociedad Libre, los desechos orgánicos son utilizados para poder obtener abono para los cultivos, mientras que los desechos inorgánicos son entregados al recolector municipal que hace su ruta los días miércoles, siendo los encargados de recogerlos para ser llevados al relleno sanitario.



**Figura 10:** Basurero de tambor metálico

**Acceso y uso de espacios**

La comunidad Sociedad Libre cuenta con las siguientes infraestructuras y usos de espacios públicos:

- Cementerio
- Tiendas
- Casa comunal
- Baterías sanitarias
- Cancha de ecua vóley
- Estadio

#### *4.1.1.2 Resultados de las características del medio físico.*

##### *4.1.1.2.1 Uso y cobertura del suelo*

Conforme cartografía temática del Ministerio del ambiente (2018) el proyecto atraviesa su trazado geométrico por suelos con coberturas de tierra de uso agropecuario y zonas antrópicas, el remanente del bosque primario es nulo en las cercanías del proyecto, **(Ver Anexo 2).**

##### *4.1.1.2.2 Clima*

El análisis geomático de superposición sobre tipos de clima devela que el proyecto se localiza bajo el clima denominado "Superhúmedo sin déficit de agua, Megatérmico o cálido", **(Ver Anexo 3**).

##### *4.1.1.2.3 Geología*

La descripción geológica del área de estudio se determinó en función a Mapa Geológico de la República del Ecuador emitido por el Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (2017). El mismo indica que el área de estudio atraviesa las formaciones geológicas Napo, **(Ver Anexo 5).**

*4.1.1.2.4 Clase de suelo*

Por medio del análisis geopedológico (disciplina que integra la morfología y edafología del suelo) establecido por el MAGAP en 2019, se establece que el área de estudio atraviesa los siguientes tipos de suelo según el sistema USAD:

**Orden**

**Andisoles**

Son suelos generalmente negros que se desarrolla a partir de depósitos volcánicos (ceniza volcánica piedra pómez, lava) o de materiales piroclásticos. Presenta un apreciable contenido de alófana (arcillas amorfas) y/o complejos de humus–aluminio, y una baja densidad aparente (< 0.90 g/ $cm^3$). Estos suelos sufren un rejuvenecimiento frecuente y se enriquecen con los materiales nutricionales orgánicos.

Son suelos con buena estructura por lo tanto con un buen drenaje y con buena retención de humedad.

**Suborden**

**Udands**

Son los Andisoles que se caracterizan por tener régimen de humedad de suelos údico.

**Gran grupo**

**Hapludands**

Estos suelos, han evolucionado de cenizas volcánicas; presentan un horizonte superficial de color oscuro, rico en materia orgánica de textura franca y estructura blocosa media, **(Ver Anexo 4).**

*4.1.1.2.5 Relieve*

En el área del proyecto se identifican cotas de elevación que van desde los 401 msnm hasta los 1000 msnm, **(Ver Anexo 6).**

*4.1.1.2.6 Pendiente*

En el área del proyecto se localiza bajo una pendiente media (> 12 – 25 %), **(Ver Anexo 7)**.

### *4.1.2 Determinación del agua residual*

En base, a que los estudios y del análisis del laboratorio del agua residual, realizados para la comunidad de Santa Rita del Cantón Archidona, se encuentran actualmente a disposición de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y saneamiento (EPMAPS-Agua de Quito), al solicitarles la información, no hubo respuesta alguna, por lo cual, nos vimos en la necesidad de solicitar los resultados de laboratorio del agua residual que entra a la planta de tratamiento de agua residual de Cotundo, "aquel análisis, fue realizado en Noviembre del 2019".

**Tabla 9:** Resultado, Físico – Químico – Microbiológico, del agua residual a la entrada de la PTAR de Cotundo

| ENSAYO | UNIDAD | RESULTADO | INCERTIDUMBRE (k=2) | MÉTODO/NORMA | VALOR LÍMITE PERMISIBLE |
|---|---|---|---|---|---|
| Aceites y grasa | mg/L | <2 | +- 8% | PE-AL-34 Standard Methods Ed.23.2017 5520 B | 30 |
| Coliforme fecales | NMP/100 ml | 430 | - | PE-AL-24 Standard Methods Ed.23.2017, 9221E/9221C | 2000 |
| Coliformes totales | NMP/100 ml | 6300 | - | PE-AL-23 Standard Methods Ed.23.2017 9221B/9221C | - |
| Demanda Química de Oxígeno | mg/L | <27 | +-21% | PE-AL-05 Standard Methods Ed.23.2017, 9221E/9221C | 200 |
| Demanda Bioquímica de Oxigeno | mg/L | 4 | +-20% | PE-AL-28 Standard Methods Ed.23.2017 5210B HACH, Method 8166 | 100 |
| Nitrógeno amoniacal | mg/L | 4 | +-3% | PE-AL-39 EPA Water Waste N° 350.2, 1974 | 30 |
| *Nitrógeno Orgánico | mg/L | 3,56 | - | EPA Water Waste N° 350.2, 1974 | - |
| Potencial Hidrógeno | Unidades de pH | 6,33 | +-0,12 | PE-AL-03 Standard Methods Ed.23.2017 4500 $H^+B$ | 6-9 |
| Solidos suspendidos Totales | mg/L | <52 | +-30% | PE-AL-44 Standard Methods Ed.23.2017 2540 D | 130 |
| Sulfatos | mg/L | 192 | +-14 | PE-AL-44 Standard Methods Ed.23.2017 4500 E $S0_4$ | 1000 |
| Temperatura | °C | 18,0 | +-4% | PE-AL-52 Standard Methods Ed.23.2017 2550 D | Condición natural +- 3 |

**Adaptado de:** (Labcestta tecnología y calidad, 2019)

A pesar de que esta información no pertenece a la comunidad Sociedad Libre, se la utilizó por las diferentes razones:

- La comunidad Sociedad Libre no cuenta con un sistema de alcantarillado, para la recolección de las muestras.
- Las aguas negras son destinadas a pozos ciegos, las aguas grises mediante canales son depositados en la quebrada Sardinas.
- Son aguas residuales de la cabecera parroquial de Cotundo de origen doméstico y presentan características y hábitos similares a la comunidad Sociedad Libre.
- Al encontrarse Cotundo a una distancia de 20 Km aproximadamente a la comunidad Sociedad Libre, el uso del agua no variará ya que cuentan con las mismas costumbres y tradiciones.
- Clima, precipitación pluvial, temperatura, humedad.

Una vez revisado el análisis del agua residual que entra a la planta de tratamiento de aguas residuales de Cotundo, reflejó que los resultados están bajo a los límites permisibles que se presenta en la normativa vigente, esto se debe a que un día antes para realizar el muestreo de agua residual se presentaron precipitaciones, por lo tanto, se ha tomado como referencia la concentración media de la tabla de composición típica del agua residual doméstica bruta de la tabla 3-16 del Libro de Ingeniería de Aguas de Residuales (Metcalf y Eddy, 1995), dichos valores escogidos nos servirá para el diseño del sistema de tratamiento.

**Tabla 10**: Composición típica del agua residual doméstica bruta dispuesta a Sociedad Libre

| **Contaminantes** | **Unidades** | **Concentración** |
|---|---|---|
| | | **Media** |
| Grasas | mg/l | 100 |
| Coliformes Totales | n°/100ml | $10^7$-$10^8$ |
| Demanda Química de Oxigeno | mg/l | 500 |
| Demanda Bioquímica de Oxigeno | mg/l | 220 |
| Nitrógeno amoniacal | mg/l | 25 |
| Nitrógeno Orgánico | mg/l | 15 |
| Potencial de Hidrogeno | - | - |
| Solidos suspendidos Totales | mg/l | 220 |
| Sulfatos | mg/l | 30 |
| Temperatura | - | |

**Tomado de:** (Metcalf y Eddy, 1995)

## 4.2 Resultado Objetivo Específico 2

### *4.2.1 Parámetros para el dimensionamiento de la planta de tratamiento de agua residual.*

**Periodo de diseño (n)**

**n = 20 años**

El período de diseño de la PTAR es de 20 años, lapso de tiempo que se considera que la planta puede funcionar sin necesidades de ampliaciones.

**Población actual (hab)**

**hab= 500**

La población actual de la comunidad Sociedad Libre es de 500 habitantes, este valor se utiliza para determinar la población futura.

**Tasa de crecimiento anual**

**r= 2.33%**

La tasa de crecimiento anual es de 2.33%, es la tasa a la que está aumentando la población durante un año, se considera para determinar la población futura que tendrá la comunidad.

**Población futura**

**Método Aritmético**

$$Pf_a = 500 \text{ hab } (1 + 0.0233 * 20)$$

$$\mathbf{Pf_a = 733 \text{ hab.}}$$

**Método Geométrico**

$$Pf_g = 500 \text{ hab } (1 + 0.0233)^{20}$$

$$\mathbf{Pf_g = 793 \text{ hab.}}$$

**Método mixto**

$$Pfm = \frac{791\ hab + 889\ hab}{2}$$

$$\boldsymbol{Pfm = 763\ hab}$$

**Tabla 11**: Resultado de Población Futura, aplicando tres métodos de proyección.

| Método | Población de Diseño |
|---|---|
| Aritmético | 733 hab. |
| Geométrico | **793** hab. |
| Mixto | 763 hab. |

**Fuente:** Elaboración propia
**Realizado por**: Díaz María y Mora Carlos

Según la (Norma CO 10.7 - 602, 2014), para áreas rurales, se escoge el resultado del método geométrico que será de 793 habitantes. Población que es utilizada para el dimensionamiento de la PTAR, misma que cuenta con un periodo de diseño de 20 años.

### Dotación media futura

**Tabla 12:** Resultado Dotación Media Futura

| Población | Clima | Dotación media futura |
|---|---|---|
| Hasta 5000 | Cálido | **170** – 200 |

**Adaptado de:** (Norma CO 10.7 - 602, 2014)

De acuerdo con lo que establece la Norma CO 10.7 - 602 (2014) "Poblaciones menores a 5000 habitantes, se debe tomar la dotación mínima fijada". La Comunidad Sociedad libre obtiene una dotación de 170 l/hab.día, promedio de agua residual que producirá cada habitante por dia.

### Caudal medio diario ($Q_{md}$)

Qmd= 1.25 l/s + 1.3 l/s + 0.86 l/s

**Qmd= 3.41 l/s**

**Qmd= 12.27 $m^3$/h**

El caudal medio diario de es de 12.27 $m^3$/h, cantidad de agua residual que entra a la PTAR.

### Caudal doméstico ($Q_{dom}$)

Se utiliza un coeficiente de retorno de 0.80

$$Qdom = \frac{170\,\frac{l}{hab}.día * 793\,Pf * 0.8}{86400}$$

$$\mathbf{Q_{dom} = 1.25\ l/s}$$

El caudal doméstico es de 1.25 l/s, corresponde únicamente a la contribución de aguas servidas proporcionada por las zonas residenciales.

**Caudal de infiltración ($Q_{inf}$)**

$$Q_{inf} = 0.3\ l/s * 4.32$$

$$\mathbf{Q_{inf} = 1.3\ l/s}$$

El caudal de infiltración es de 1.31 l/s, corresponde únicamente al agua que se infiltra en un sistema de alcantarillado.

**Conexiones erradas ($Q_{cerr}$)**

$$Q_{cerr} = 0.2\ l/s.\ ha * 4.32\ ha$$

$$\mathbf{Q_{cerr} = 0.86\ l/s}$$

El caudal de conexiones erradas es de 0.86 /s, corresponde al agua que entra a un sistema de alcantarillado por defecto de las conexiones o conexiones erradas.

**Caudal máximo diario ($Q_{máx}$)**

Se utiliza el factor de mayoración máximo diario de 1.25 como lo establece la (Norma CO 10.7 - 602, 2014)

$$Q_{máx} = 1.25 * 3.41\ l/s$$

$$\mathbf{Q_{máx} = 4.26\ l/s}$$

$$\mathbf{Q_{máx} = 15.34\ m^3/h}$$

El caudal máximo diario es de 15.34 m3/día, considerado como la mayor cantidad de agua en 24h que puede entrar a la PTAR.

**Caudal mínimo ($Q_{mín}$)**

$$Q_{mín} = 0.30 * 3.41\ l/s$$

$$\mathbf{Q_{mín} = 1.02\ l/s}$$

$$\mathbf{Q_{min} = 3.68\ m^3/h}$$

El caudal mínimo es de 3.68 $m^3$/h, considerado como el mínimo caudal que entra a la PTAR.

**PRETRATAMIENTO**

**DIMENSIONAMIENTO DE LAS REJAS FINAS (DESBASTE)**

Para el dimensionamiento de la reja de desbaste se toma en cuenta los criterios de la **tabla 2.**

**Caudal de diseño por línea** $(\mathbf{m^3/h})$

$$\mathrm{Q_{dl}} = \frac{12.27\ m^3/\mathrm{h}}{1}$$

$$\mathbf{Q_{dl} = 12.27\ m^3/h}$$

El caudal de diseño por línea es de 12.27 $m^3$/h, corresponde al caudal medio diario que se reparte por las dos líneas en paralelo que se establece.

**Caudal máximo por línea ($\mathbf{m^3/h}$ )**

$$\mathbf{Q_{mxl}} = \frac{15.33\ m^3/\mathrm{h}}{1}$$

$$\mathbf{Q_{mxl} = 15.33\ m^3/h}$$

El caudal máximo por línea es de 15.33 $m^3$/h, corresponde al caudal máximo que se reparte por las dos líneas en paralelo que se establece.

**Superficie útil del canal (**$m^2$**)**

$$\mathrm{Superficie_{Útil}} = \frac{\frac{12.27\ m^3/\mathrm{h}}{3600}}{0{,}9} \times \frac{10\ +_{6}}{10} \times \frac{1}{1 - \frac{30}{100}} \times \sin\left(\frac{\sigma_{60} \times 2 \times \pi}{360}\right)$$

$$\mathbf{Superficie_{útil} = 0.0075\ m^2}$$

La superficie útil del canal es de 0.0075 $m^2$, que corresponde a la superficie mojada del canal igual a la anchura del canal por su profundidad útil.

**Velocidad de paso entre barrotes a caudal de diseño con reja limpia (m/s)**

$$V_{Q_{d.r.l.}} = 0.9 m/s \times \frac{100 - 30}{100}$$

$$\mathbf{V_{Q_{d.r.l.}} = 0.63\ m/s}$$

La velocidad de paso entre barrotes a caudal de diseño con reja limpia es de 0.63 m/s, corresponde al flujo del agua residual que cruza entre los barrotes de la reja cuando este se encuentre sin colmatación.

**Velocidad de paso entre barrotes a caudal máximo con reja limpia ($m^3/s$)**

$$V_{Q_{mx.r.l.}} = 0.63 \text{m/s} \times \frac{15.33 \cancel{m^3/h}}{12.27 \cancel{m^3/h}}$$

$$\mathbf{V_{Q_{mx.r.l.}} = 0.79\ m/s}$$

La velocidad de paso entre barrotes a caudal máximo con reja limpia es de 0.79 m/s, corresponde al flujo del caudal máximo del agua residual que cruza entre los barrotes de la reja cuando este se encuentre sin colmatación.

**Velocidad de paso entre barrotes a caudal máximo con reja colmatada (m/s)**

$$V_{Q_{mxr.c.}} = 0.79\ m/s \times \frac{15.33\ \cancel{m^3/h}}{12.27 \cancel{m^3/h}}$$

$$\mathbf{V_{Q_{mxr.c.}} = 1.13 m/s}$$

La velocidad de paso entre barrotes a caudal máximo con reja colmatada es de 1.13 m/s, corresponde al flujo del caudal máximo del agua residual que cruza entre los barrotes de las rejas cuando este se encuentre colmatada.

**Velocidad de aproximación por el canal a caudal de diseño (m/s)**

$$V_{ac.Qd} = \frac{\frac{12.27 \text{m}^{\cancel{3}}/\text{h}}{3600}}{0.0075 \cancel{m^2}}$$

$$\mathbf{V_{ac.Qd} = 0.45\ m/s}$$

La velocidad de aproximación por el canal a caudal de diseño es de 0,45 m/s, corresponde a la velocidad media que tendrá el flujo del agua residual cuando el caudal tratado es el de diseño.

**Velocidad de aproximación por el canal a caudal mínimo (m/s)**

$$V_{Q_{mínimo}} = \frac{\frac{3.68\ m^3/h}{1}}{\frac{3600}{0.0075 m^2}}$$

$$\mathbf{V_{Q_{mínimo}} = 0.14\ m/s}$$

La velocidad de aproximación por el canal a caudal mínimo es de 0,14 m/s, corresponde a la velocidad media que tendrá el flujo del agua residual cuando el caudal tratado coincide con el caudal mínimo.

**Anchura del canal [m]**

$$A = \sqrt{\frac{0.0075 m^2}{1}}$$

$$\boldsymbol{A = 0.09\ m}$$

La anchura del canal es de 0.09 m, corresponde al ancho que tiene el canal, pero se debe considerar un ancho de 0.3 m puesto a que el valor obtenido no favorece al diseño, también para poder realizar las operaciones de mantenimiento del canal (Metcalf y Eddy, 1995).

**Profundidad útil del canal [m]**

$$P_{uc} = \frac{0.0075 m^2}{0.09\ m}$$

$$\mathbf{P_{uc} = 0.09\ m}$$

La profundidad útil del canal es de 0,09m, corresponde a la profundidad que ocupa la reja, pero se debe considerar un a profundidad útil de 0,40m puesto que el valor obtenido no favorece al diseño (Gañín, 2016).

**Profundidad total del canal (m)**

$$\text{Profundidad}_{\text{Total}} = \frac{0.0075\text{m}^{\cancel{2}}}{0.09\ \cancel{m}} + 0.3\text{m}$$

$$\mathbf{Profundidad_{Total} = 0.39\ m}$$

La profundidad total es de 0.39 m, corresponde a la profundidad útil más el resguardo. Se ha considerado la profundidad útil del canal de 0.60 m.

**Producción normal de residuos ($m^3$/día) (Gruesos + Finos)**

$$P_{nr} = \frac{12.27\ \text{m}^3/\text{h} \times 0.01 \times 24}{1000}$$

$$\mathbf{P_{nr} = 0.0029\ m^3/día}$$

La producción normal de residuos es de 0,0029 $m^3$/día, corresponde a la cantidad normal de residuos a separar de las rejas.

**Producción máxima de residuos con tormenta ($m^3$/h) (Gruesos + Finos)**

$$P_{mxr} = \frac{15.33\ \text{m}^3/\text{h} \times 0.02}{1000}$$

$$\mathbf{P_{mxr} = 0.00031\ m^3/h}$$

La producción máxima de residuos con tormenta es de 0.00031 m3/h, corresponde a la cantidad máxima de residuos a separar de las rejas.

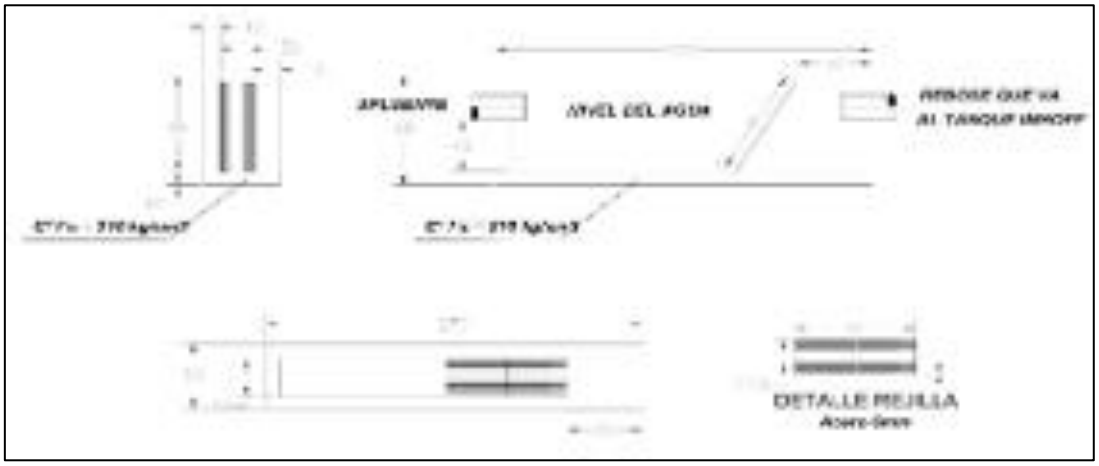



**Figura 11:** Representación gráfica de las rejas finas con su respectivo dimensionamiento
**Fuente:** Elaboración propia

**TRATAMIENTO PRIMARIO**

**DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE IMHOFF**

Para el dimensionamiento del tanque Imhoff se toma en cuenta los criterios de la **tabla 3.**
El caudal de diseño es de 12.27 $m^3$/h, caudal adaptado como base para los cálculos posteriores.

**Cámara de sedimentación**

**Área del sedimentador (m2)**

$$As= \frac{12.27\ \cancel{m^3}/h}{1\ \cancel{m^3}/(m^2.\cancel{h})}$$

$$\mathbf{As= 12.27\ m^2}$$

El área del sedimentador es de 12.27 $m^2$, corresponde al área de la cámara sedimentación del tanque Imhoff.

**Relación entre la longitud y ancho del sedimentador**

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones (2006), para el dimensionamiento entre la longitud y ancho del sedimentador será de 1/4 como mínimo**.**

**Ancho de la cámara del sedimentador (m)**

$$A=\sqrt[2]{12.27\ \cancel{m^2}/4}$$

$$\mathbf{A= 1.75\ m}$$

El ancho de la cámara del sedimentador es de 1.75 m.

**Longitud de la cámara del sedimentador (m)**

$$L= 1.75\ m * 4$$

$$\mathbf{L= 7\ m}$$

La longitud de la cámara del sedimentador es de 7m.

**Volumen de la cámara del sedimentador ($m^3$)**

$$V_s = 12.27\ m^3/h * 2\ h$$

$$\mathbf{Vs = 24.53\ m^3}$$

El volumen de la cámara del sedimentador es de 24.53 $m^3$

**Dimensionamiento de la cámara de sedimentación**

De acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificaciones (2006), se debe considerar un borde libre de 0.30 m para el diseño del tanque Imhoff.

**Altura 1 del sedimentador (m)**

Se procede a calcular las alturas, estimando un ángulo de inclinación de 50°.

$$h1S = \frac{1.75m}{2} * \text{tang}\ (50°)$$

$$\mathbf{h1s = 1.04\ m}$$

La altura 1 del sedimentador es de 1.04 m.

De acuerdo con la Guía para el diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Laguna de estabilización de la Organización Panamericana de la Salud (2005) se debe considerar en la arista central una abertura de paso de los sólidos removidos hacia el digestor de 0.15 m, uno de sus lados se los deberá prolongar 0.20m con el fin de evitar el paso de gases y sólidos desprendidos del digestor hacia la cámara de sedimentación.

**Volumen 1 de la cámara de sedimentación ($m^3$)**

$$v1s = \frac{1.75m}{2} * 1.04\ m * 7m$$

$$\mathbf{v1s = 6.4\ m^3}$$

El volumen 1 de la cámara de sedimentación es de 6.4 $m^3$.

**Altura 2 cámara de sedimentación (m)**

$$h2s= \frac{24.53\ m - 6.4\ m\ \cancel{3}}{1.75\ \cancel{m} * 7\ \cancel{m}}$$

**h2s= 1.48 m**

La altura 2 de la cámara de sedimentación es de 1.48 m.

**Cámara de digestión**

**Volumen para almacenar lodos ($m^3$)**

**Tabla 13:** Factor de capacidad relativa según la temperatura de Sociedad Libre

| Temperatura °C | Factor de capacidad relativa (fCR) |
|---|---|
| 20 | 0,7 |

**Adaptado de:** (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

De acuerdo con la temperatura media de la comunidad Sociedad libre se ha tomado el valor de 0.7 como factor de capacidad relativa.

$$Vd= \frac{\mathbf{70\ l * 793 hab * 0{,}7}}{\mathbf{1000}}$$

**Vd= 38.86 $m^3$**

El volumen para almacenar los lodos es de 38.86 $m^3$.

**Dimensiones del tanque Imhoff**

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

At= 1.75 m + (0.25 m * 2) + (1 m *2)

**At= 4.25 m**

El ancho total del tanque Imhoff es de 4.25m, corresponde a la suma del ancho del sedimentador, espesor del muro multiplicado por 2 y del ancho de ventilación que es de 1m por lado.

**Área superficial del tanque Imhoff ($m^2$)**

ArS= 7 m * 4.25 m

**ArS= 29.75 $m^2$**

El área superficial del tanque Imhoff es de 29.75 $m^2$.

**Área de ventilación ($m^2$)**

$$Avent= (1\ m\ *2)\ *\ 7\ m$$

$$\mathbf{Avent= 14\ m^2}$$

El área de ventilación es de 14 $m^2$, corresponde al área que ocupa dentro del tanque Imhoff.

**Ecuación de verificación**

$$Ever= \frac{14\ \cancel{m2}}{29.75\ \cancel{m2}} * 100$$

$$\mathbf{Ever= 47\%}$$

La ecuación de verificación es del 47%, siendo mayor al 30%, valor mínimo que se establece como superficie total de la superficie del tanque Imhoff.

**Alturas del digestor**

Las Paredes de la tolva tendrá una inclinación de 30° con respecto al horizonte.

**Altura 1 del digestor (m).**

$$h1D= \frac{4.25m}{2} * tag\ (30°)$$

$$\mathbf{h1d= 1.23\ m}$$

La altura 1 del digestor es de 1.23m, corresponde a la altura del fondo de la cámara de digestión.

**Volumen 1 del fondo de la cámara de digestión ($m^3$)**

$$\mathbf{V1cd=}\ \frac{1}{3} * 4.25\ m\ *\ 7*\ 1.23\ m$$

$$\mathbf{V1cd= 12.2\ m^3}$$

El volumen del fondo de la cámara de digestión es de 12.2 $m^3$.

**Altura 2 del digestor (m)**

$$h2D= \frac{24.53\ m - 12.2\ \cancel{m3}}{7\ \cancel{m} * 1.75\ \cancel{m}}$$

$$\mathbf{h2D= 1\ m}$$

la Altura 2 del digestor es de 1 m.

**Altura útil del tanque Imhoff (m)**

$$H_{ÚtilImhoff} = 1.04\ m + 1.48m + 1.23\ m + 1\ m$$

$$\mathbf{H_{ÚtilImhoff=}\ 4.75\ m}$$

La altura útil del tanque Imhoff es de 4.75 m, corresponde desde la base del tanque Imhoff hasta el borde de la cámara de sedimentación y/o área de ventilación, no se toma en cuenta el borde libre de 0.30 m como se lo establece.

**Altura total del tanque Imhoff (m)**

$$AtotalImhoff= 4.75\ m + 0{,}30\ m$$

$$\mathbf{AtotalImhoff= 5.05\ m}$$

La altura total del tanque Imhoff es de 5.05 m, corresponde desde la base del tanque Imhoff hasta la superficie del tanque, se consideran los 0,3m de borde libre.

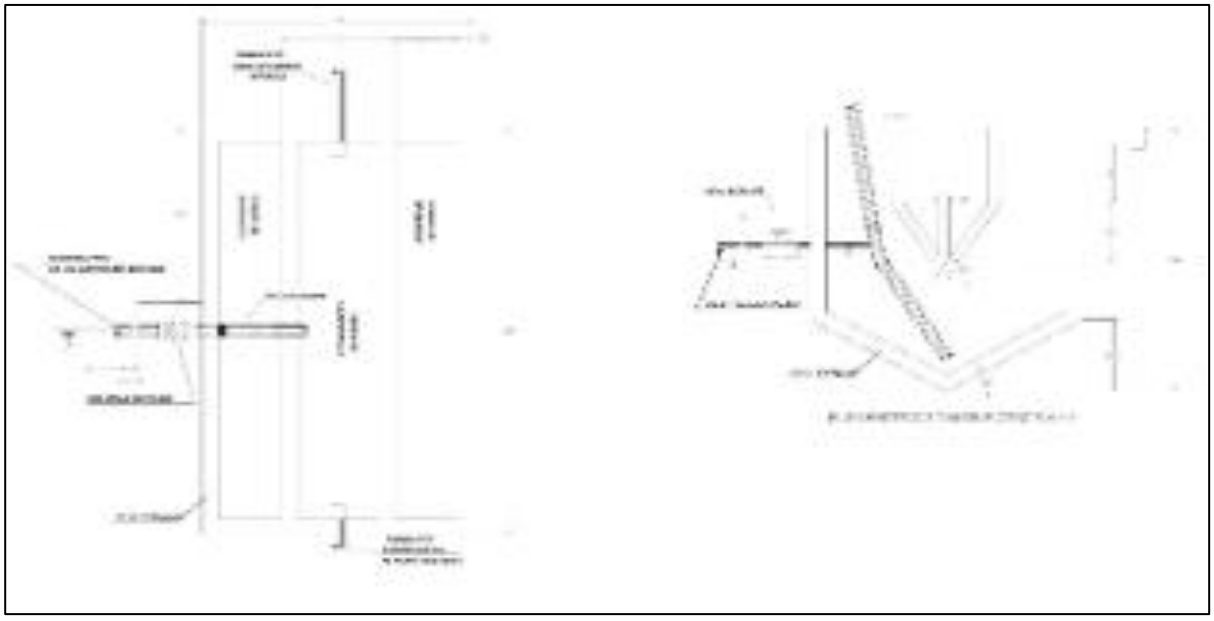


**Figura 12:** Representación gráfica del Tanque Imhoff con su respectivo dimensionamiento
**Fuente:** Elaboración propia

**TRATAMIENTO SECUNDARIO**

**Dimensionamiento del filtro biológico de flujo ascendente**

**Caudal del filtro biológico**

$$Qfb = 0.524 * 3.41 \text{ l/s}$$

$$\mathbf{Qfb = 1.79 \text{ l/s} \approx 154.38 \text{ m}^3\text{/día}}$$

El caudal del filtro biológico es de 154.38 $m^3$/día.

**Volumen del filtro biológico**

$$Vfb = 1.6 * 154.38 \text{ m}^3\text{/día} * 0.25 \text{ día}$$

$$\mathbf{Vfb = 61.8 \text{ m}^3}$$

El volumen del filtro biológico es de 61.8 $m^3$.

**Área del filtro biológico**

$$Afb = \frac{154.38 \ \cancel{m^3/día}}{8 \frac{\cancel{m^3}}{\cancel{día}} * m^2}$$

$$\mathbf{Afb = 19.3 \text{ m}^2}$$

El Área del filtro biológico es de 19.3 $m^2$.

**Altura del filtro biológico**

$$= \frac{61.8 \ \cancel{m^3}}{19.3 \ \cancel{m^2}}$$

$$\mathbf{Hfb = 3.2 \text{ m} \approx 2.4 \text{ m}}$$

La altura del filtro biológico es de 3.2 m, pero según Metcalf y Eddy (1995), para los filtros biológicos, la altura debe de estar entre 1.8 a 2.4 metros, por lo cual se asume una altura de 2.4 m para el filtro biológico.

**Diámetro del filtro biológico**

$$Dfb = \sqrt{\frac{61.8 \ \cancel{m^3} * 4}{\pi * 2.4 \ \cancel{m}}}$$

$$\mathbf{Dfb = 5.7 \text{ m}}$$

**Dfb= 6 m**

El diámetro del filtro biológico es de 6m.

**Área real del filtro**

$$Arfb = \pi * 6\ m * \frac{6\ m}{4}$$

**Arfb= 28.27 $m^2$**

El área real del filtro es de 28.27 $m^2$.

**Volumen real del filtro**

$$Vrfb = 28.27\ m^2 * 2.4\ m$$

**Vrfb= 67.86 $m^3$**

El volumen real del filtro es de 67.86 $m^3$.

**Tiempo de retención**

$$Tr = \frac{67.86\ \cancel{m^3}}{154.38\ \cancel{m^3}/día}$$

**Tr= 0.44 día**

**Tr= 10.5 hora**

El tiempo de retención es de 10.5 hora.

**Chequeo tiempo de retención**

Si: Tr > tiempo de retención; Cumple

**0.44 día > 0.25 día ; Si cumple**

**Tasa de aplicabilidad hidráulica**

$$Tah = \frac{67.86\ m^3\ día}{28.27\ m^2}$$

**Tah= 2.4 $m^3$/día*$m^2$**

La tasa de aplicabilidad hidráulicas es de 2.4 m/día

**Chequeo tasa de aplicación hidráulica**

Si: $1m^3/día*m^2 < Tah < 8m^3/día*m^{2;}$ Cumple

**Si: $1m^3/día*m^2 < 2.4\ m/día < 8m^3/día*m^{2;}$ Si cumple**

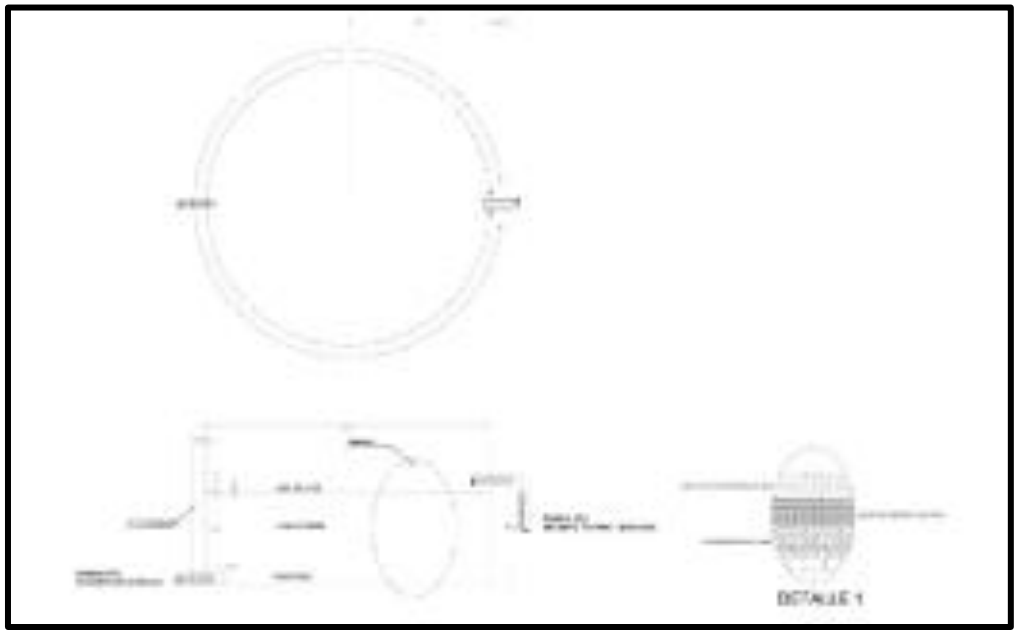


**Figura 13:** Representación gráfica del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente con su respectivo dimensionamiento
**Fuente:** Elaboración propia

## TRATAMIENTO TERCIARIO

### Luz Ultravioleta

Según Inca y Salambay (2020) en su trabajo de titulación denominado "Propuesta de diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la lotización de empleados de la Cooperativa de la Pequeña Empresa de Pastaza LTDA" se utilizó las lámparas de luz ultravioleta que elimina un 99% la lámpara de luz ultravioleta como tratamiento final del agua residual funciona como un germicida, que permite eliminar en un 99,99% microorganismos como bacterias, virus, hongos, protozoos, entre otros. Sin la utilización de químicos adicionales por lo que la composición del agua no varía. En vista de que el objetivo es obtener un efluente bien purificado se utilizó dos lámparas UV de una capacidad de 12 GPM, que se encuentran ubicadas en la parte superior del filtro biológico de flujo ascendente, funcionan con una electricidad de 120 voltios, su instalación es verdaderamente fácil y cuenta

con una vida útil aproximadamente de 100.000 horas y en años vendría a ser un año y un poco más, de esta manera se cumple con la normativa ambiental vigente y contribuyendo con el cuidado y la conservación de los cuerpos de agua dulce y la vida acuática.

Se tomaron estos resultados porque se encontró características similares, como: los caudales, población y la carga contaminante, con la propuesta que se está realizando para la comunidad Sociedad Libre.

## TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS

### Lecho de secado

### Carga de sólidos que ingresa al sedimentador

$$C = \frac{793 \text{ hab} * 90 \text{grSS.} (\text{hab} * \text{día})}{1000}$$

**C= 71.37 kg SS/ día**

La carga de sólidos que ingresa al sedimentador es de 71.37 kg SS / día.

### Masa de sólidos que conforman los lodos

**Msd=** (0.5*0.7*0.5*71.37 Kg SS/día) + (0.5*0.3 *71.37 Kg SS/día)

**Msd = 23.20 kg SS/día**

La masa de solidos que conforman los lodos es de 23.20 kg SS/día

### Volumen diario de lodos digeridos

$$\mathbf{Vld} = \frac{23.20 \text{ kg SS/día}}{1.04 \text{ kg/ L} * (9\% \text{de Solidos}/100)}$$

**Vld= 247.81 l/día**

El volumen diario de lodos digeridos es de 247.81 l/día.

### Volumen de lodos a extraerse del tanque

$$\boldsymbol{Vel} = \frac{247.81 \text{ L/día } * 30 \text{ días}}{1000}$$

$$\mathbf{Vel = 7.43\ m^3}$$

El volumen de lodos a extraerse del tanque es de 7.43 $m^3$.

**Área del lecho de secado**

$$\mathbf{Als} = \frac{7.43 \text{m3}}{0.40 \text{m}}$$

$$\mathbf{Als = 18.59\ m^2}$$

El Área del lecho de secado es de 18.59 $m^2$.

De acuerdo con la Guía para el diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Laguna de estabilización de la Organización Panamericana de la Salud, (2005) se debe considerar lo siguiente:

- El ancho del Lecho de Secado será de 3 m.
- La capa de ladrillo que está ubicada encima de medio filtrante debe de ser de 15cm, con una separación de 2 a 3 cm. Llena de arena.
- La arena que se la utiliza como medio filtrante debe tener un tamaño de 0.3 a 1.3 mm y un coeficiente de uniformidad entre 2 y 5.
- Como primera capa antes de la arena se deberá colocar un estrato de graba entre 1.6 y 51 mm de 20cm de espesor.

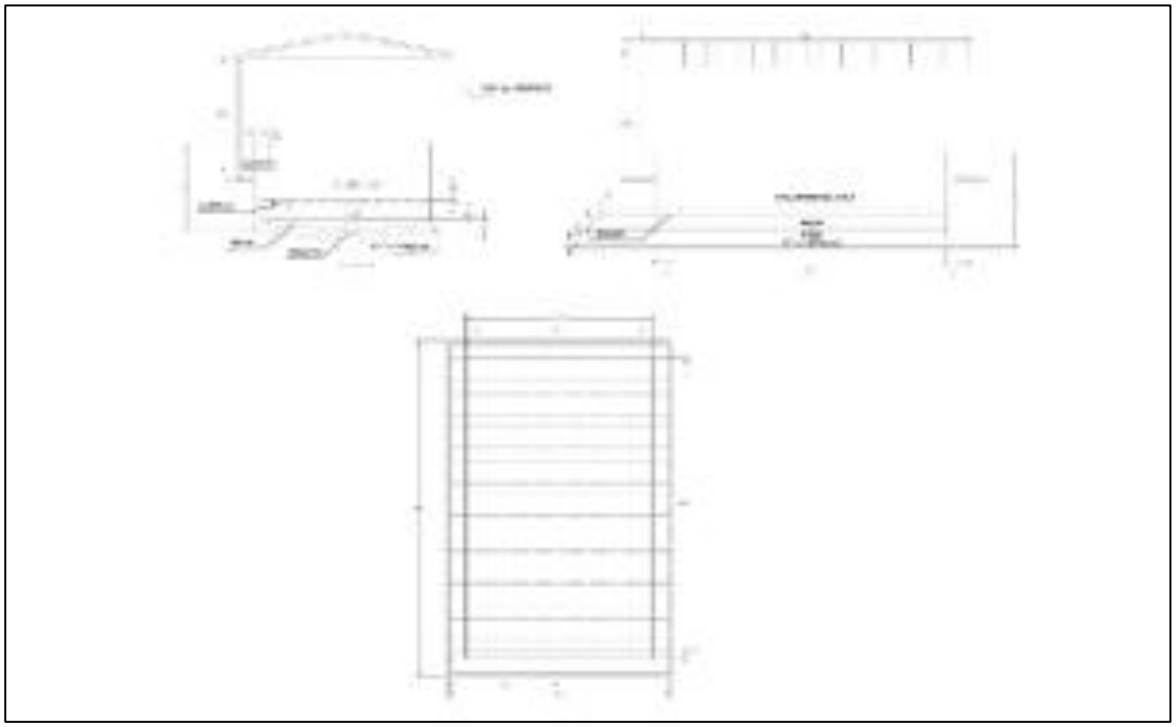


**Figura 14:** Representación gráfica del Lecho de Secado con su respectivo dimensionamiento
**Fuente:** Elaboración propia

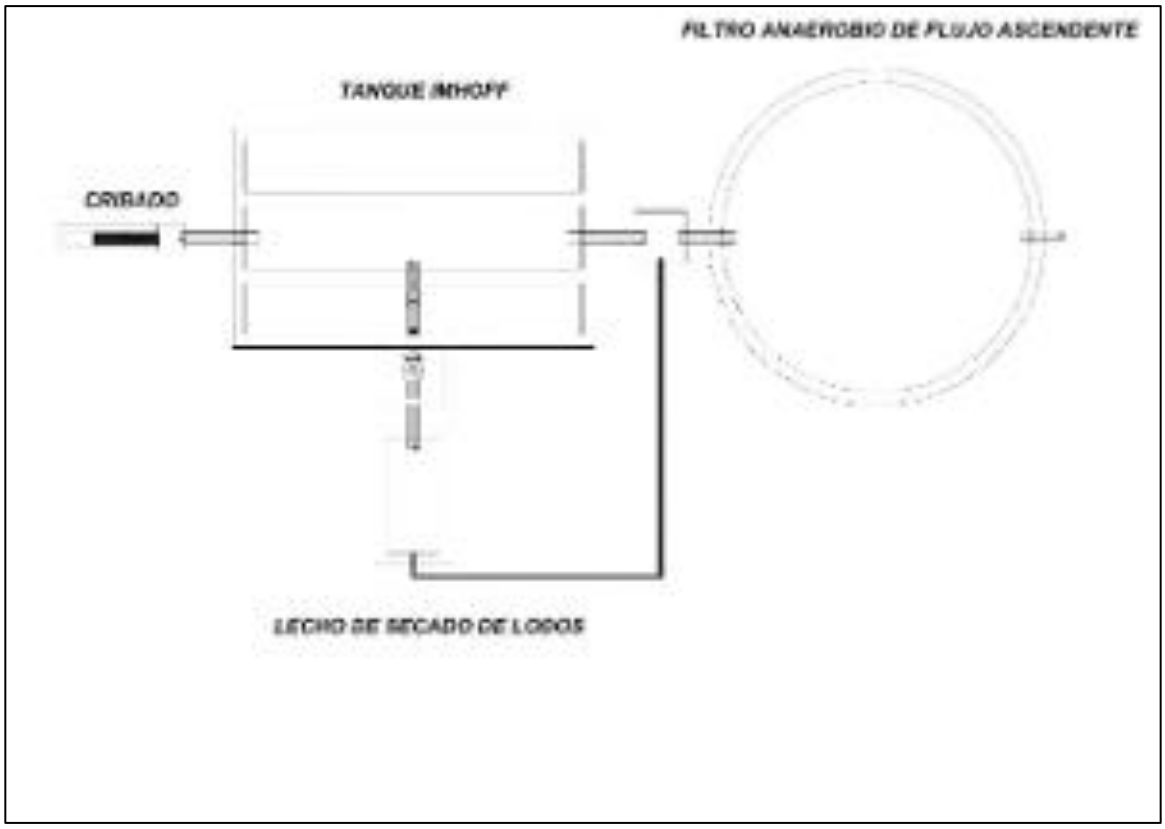



**Figura 15**: Esquema de Implementación de la PTAR
**Fuente:** Elaboración propia

### *4.2.2 Rendimiento del Proceso De Depuración*

**Remoción de Carga Contaminante en el Pretratamiento**

**Solidos suspendidos**

Para determinar carga contaminante en el efluente del pretratamiento se ha considerado una remoción del 3% para solidos suspendidos.

$$\text{Se} = \left(220mg/L * \frac{3\ \%}{100\%}\right) - 220mg/l$$

**Se= 213.4 mg/l**

El valor de la carga contaminantes de solidos suspendidos en el pretratamiento es de 213.4 mg/l.

Para los demás parámetros la remoción es despreciada

**Tabla 14:** Resultado de la carga contaminante en el afluente del pretratamiento

| Parámetro | Concentración del afluente (mg/l) | Remoción teórica asumida (%) | Concentración que pasa a la siguiente etapa (mg/l) |
|---|---|---|---|
| Grasas y aceites | 100 | - | 100 |
| DQO | 500 | - | 500 |
| DBO | 220 | - | 220 |
| **Sólidos Suspendidos** | **220** | **3** | **213.4** |

**Fuente:** Elaboración propia

**Remoción de Carga Contaminante en el Tratamiento Primario**

**Grasas y Aceites**

Para determinar carga contaminante en el efluente del tratamiento primario se ha considerado una remoción del 70% para grasas y aceites.

$$\text{Se} = \left(100mg/L * \frac{70\ \%}{100\%}\right) - 100mg/l$$

**Se= 30 mg/l**

El valor de la carga contaminante de grasas y aceites en el tratamiento primario es de 30 mg/l.

**Demanda Química de Oxígeno**

Para determinar carga contaminante en el efluente del tratamiento primario se ha considerado una remoción del 35% para la DQO.

$$\text{Se} = \left(500mg/L * \frac{35\ \%}{100\%}\right) - 500mg/l$$

**Se= 325 mg/l**

El valor de la carga contaminantes de la DQO en el tratamiento primario es de 325 mg/l.

**Demanda Biológica de Oxigeno**

Para determinar carga contaminante en el efluente del tratamiento primario se ha considerado una remoción del 35% para la DBO.

$$\text{Se} = \left(220mg/L * \frac{35\ \%}{100\%}\right) - 220mg/l$$

**Se= 143 mg/l**

El valor de la carga contaminantes de la DBO en el tratamiento primario es de 143 mg/l.

**Sólidos Suspendidos**

Para determinar carga contaminante en el efluente del tratamiento primario se ha considerado una remoción del 50% para sólidos suspendidos.

$$\text{Se} = \left(213.4\ mg/l * \frac{50\%}{100\%}\right) - 213.4mg/l$$

**Se= 106.7 mg/l**

El valor de la carga contaminantes de los sólidos suspendidos en el tratamiento primario es de 106.7 mg/l.

**Tabla 15:** Resultados del tratamiento primario

| Parámetro | Concentración del afluente (mg/l) | Remoción teórica asumida | Concentración que pasa a la siguiente etapa (mg/l) |
|---|---|---|---|
| Grasas | 100 | 70% | 30 |
| DQO | 500 | 35% | 325 |
| DBO | 220 | 35% | 143 |
| Sólidos Suspendidos | 220 | 50% | 106.7 |

**Fuente:** Elaboración propia

## Remoción de Carga Contaminante en el Tratamiento Secundario

### Grasas y Aceites

Para determinar carga contaminante en el efluente del tratamiento secundario se ha considerado una remoción del 70% para Grasas y Aceites.

$$\text{Se} = \left(30\ mg/L * \frac{70\ \%}{100\%}\right) - 30\ mg/L$$

**Se= 9 mg/L**

El valor de la carga contaminantes de los Grasas y Aceites en el tratamiento secundario es de 9 mg/l.

### Demanda Química de Oxígeno

Para determinar carga contaminante en el efluente del tratamiento secundario se ha considerado una remoción del 60% para DQO.

$$\text{Se} = \left(325 mg/L * \frac{60\ \%}{100\%}\right) - 325 mg/l$$

**Se= 130 mg/l**

El valor de la carga contaminantes de la DQO en el tratamiento secundario es de 130 mg/l.

**Demanda Biológica de Oxígeno**

Para determinar carga contaminante en el efluente del tratamiento secundario se ha considerado una remoción del 65% para DBO.

$$\text{Se} = \left(143mg/L * \frac{65\ \%}{100\%}\right) - 143mg/l$$

**Se= 50.05 mg/L**

El valor de la carga contaminantes de la DBO en el tratamiento secundario es de 50.05 mg/l.

**Sólidos Suspendidos**

Para determinar carga contaminante en el efluente del tratamiento secundario se ha considerado una remoción del 65% para Solidos Suspendidos.

$$\text{Se} = \left(106.7\ mg/l * \frac{60\%}{100\%}\right) - 213.4mg/l$$

**Se= 42.68 mg/l**

El valor de la carga contaminantes de la DBO en el tratamiento secundario es de 48.68 mg/l.

**Tabla 16:** Resultados del efluente en el tratamiento secundario

| Parámetro | Concentración del afluente (mg/l) | Remoción teórica asumida | Concentración del efluente (mg/l) |
|---|---|---|---|
| Grasas | 100 | 70% | 9 |
| DQO | 500 | 60% | 130 |
| DBO | 220 | 65% | 50.05 |
| Sólidos Suspendidos | 220 | 60% | 42.68 |

**Fuente:** Elaboración propia

**RENDIMIENTO TOTAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO**

A continuación, se presenta los valores de eficiencia de remoción que contará cada uno de los parámetros de los niveles de tratamiento que se propone.

**Grasas y Aceites**

$$Ep = \frac{100\ \cancel{mg/L} - 9\ \cancel{mg/L}}{100\ \cancel{mg/L}} * 100$$

**Ep= 91 %**

La eficiencia total de remoción para aceites y grasas es del 91%

**Demanda Química de Oxígeno**

$$Ep = \frac{500\ \cancel{mg/L} - 130\ \cancel{mg/L}}{500\ \cancel{mg/L}} * 100$$

Ep= 74%

La eficiencia total de remoción para la demanda química de oxígeno es del 74%

**Demanda Biológica de Oxígeno**

$$Ep = \frac{220\ \cancel{mg/L} - 50.05\ \cancel{mg/L}}{220\ \cancel{mg/L}} * 100$$

**Ep= 77.25 %**

La eficiencia total de remoción para Demanda Biológica de Oxígeno es del 77.25%

**Sólidos Suspendidos**

$$Ep = \frac{220\ \cancel{mg/L} - 42.68\ \cancel{mg/L}}{220\ \cancel{mg/L}} * 100$$

**Ep= 80.6 %**

La eficiencia total de remoción para Solidos Suspendidos es del 80.6%

**Tabla 17:** Resultados del rendimiento total de la planta

| Parámetro | Concentración del afluente (mg/l) | Concentración del efluente (mg/l) | Eficiencia total de la PTAR (%) |
|---|---|---|---|
| Grasas | 100 | 9 | 91 |
| DQO | 500 | 130 | 74 |
| DBO | 220 | 50.05 | 77.25 |
| Sólidos Suspendidos | 220 | 42.68 | 80.6 |

**Fuente:** Elaboración propia

## Verificación del Cumplimiento Con La Normativa Vigente

En la tabla 9 se puede observar los valores de la concentración inicial, concentración final de la planta de tratamiento, y los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097 A, - tabla 9, y la verificación del cumplimiento de dicha norma.

**Tabla 18:** Verificación del Cumplimiento la Normativa Ambiental

| Parámetro (mg/l) | Carga contaminante del agua residual-afluente (mg/l) | Concentración final - efluente (mg/l) | Límite máximo permisible (mg/l) | Cumplimiento |
|---|---|---|---|---|
| Grasas | 100 | 9 | 30 | Si cumple |
| DQO | 500 | 130 | 250 | Si cumple |
| DBO | 220 | 50.05 | 100 | Si cumple |
| Sólidos Suspendidos | 220 | 42.68 | 100 | Si cumple |

**Fuente:** Elaboración propia

## 4.3 Resultados Objetivo Específico 3

### *4.3.1 Elaborar una guía sobre los procedimientos de mantenimiento y operación para la planta de tratamientos de aguas residuales*

**Inicio de operación de la PTAR.**

**Guía de operación y mantenimiento de las – Rejas finas**

Para el inicio de una operación y control para la planta de Tratamiento de Agua Residuales se debe seguir los siguientes pasos:

Según el Manual de operación y Mantenimiento (2016), en las rejas de desbaste finas nos permite retener sólidos flotantes o suspendidos que contiene un agua residual, el cual debe ser removidos antes de ingresar a los demás tratamientos siguientes para evitar daños de tubería, cañerías, orificios, entre otros, en la planta de tratamiento el cual pueda afectar al proceso, para ello se debe seguir las siguientes recomendaciones:

- Realizar la limpieza de rejas con un rastrillo metálico especial, lo más recomendable es iniciar desde el fondo hacia arriba y dejar escurrir estos en una placa perforada, para así evitar la generación de malos olores.
- Limpiar las rejas de desbaste por lo menos dos veces al día cuando se presente una mayor cantidad de sólidos y basura, cuando sea una menor cantidad se podrá organizar en la semana cada tres días.
- Cuando observamos una irregularidad de las rejillas como una oxidación, se procede a cambiar con otro repuesto similar, además revisar las rejillas y compuertas que estén en buen estado para evitar deterioros, para asegurar que la estructura de la planta dure por más tiempo.

**Tratamiento primario**

**Guía de operación y mantenimiento del Tanque Imhoff**

Según la Municipalidad Districtal de Paico (2017) “El tanque Imhoff se lo utiliza para los tratamientos de aguas residuales domésticas provenientes de viviendas que cuentan con un sistema de alcantarillado.

Para el inicio de una operación se recomienda los siguientes pasos

- El operador, debe de realizar un procedimiento antes que el tanque Imhoff entre en funcionamiento, deberá llenar con agua limpia y agregar en el tanque de digestión inoculado un lodo proveniente de otro equipamiento similar para el desarrollo de los microorganismos anaeróbicos ya que estos son delegados de la mineralización de materia orgánica.
- Es recomendable que se realice este procedimiento en los meses que mayor temperatura, para favorecer al desarrollo del microorganismo.
- En la zona de sedimentación a lo largo de la operación deberá que la proporción de los sólidos sedimentables del agua residual se asientan a la altura de la estructura de ingreso, el cual se puede procrear un mal funcionamiento a la planta de tratamientos.
- En la zona de ventilación es cuando la digestión de los lodos se desarrolla de forma natural, el cual es reducido a la atención que se expone a la ventilación, donde si la nata persiste húmeda, con ello permanecerá conduciendo a la zona de ventilación y se irá sedimentándose adentro del comportamiento de digestión.
- El operador deberá estar pendiente que la capa de espuma debe ser rota o quebrada periódicamente y antes de que seque.
- Para la zona de digestión de lodos se operará en las épocas de primaveras o cercanas a las de verano.
- Para el desagüe de lodos es tener más tiempo posible en el área de digestión para lograr una buena mineralización. El cual el nivel de lodo debe ser mantenido entre 0.5 y en 1 metro por debajo de la ranura del sedimentador y de su deflector.

Para realizar el mantenimiento del Tanque Imhoff se deberá seguir las siguientes recomendaciones

- El operador deberá estar atento a que en la superficie el agua del sedimentador debe estar exento de la presencia de los sólidos flotantes, entre otros.
- Para recolectar el material flotante, se necesita de un desnatador que consiste en un instrumento de trabajo, el cual su descripción es de una paleta cuadrada de 0.45 x 0.45m construida por una malla de ¼ de abertura y acoplada a un listón de madera.

- El operador deberá realizar esta actividad periódicamente, mientras que las grasas y los sólidos que se almacenan en las paredes a la altura de línea de agua, deben ser agitadas con un raspador metálico.

Para la zona de digestión de lodos

- Debe ser constante el nivel de lodos que deben programarse su drenaje para el momento adecuado, el cual se propone que, en cada descarga de los lodos se tome a cargo la temperatura del material.

**Guía de operación y mantenimiento del Filtro Biológico de Flujo Ascendente**

Según Narváez (2020), **p**ara la guía de operación y mantenimiento del filtro Biológico de Flujo Ascendente se debe considerar los siguientes criterios:

Las aguas que ingresan provenientes del tanque Imhoff, la hacen por la solera del tanque, es decir, desde abajo y va ascendiendo (subiendo) lentamente a través de la grava, la cual logra que los materiales en suspensión vayan siendo detenidos en las capas del lecho filtrante.

**Operación**

Puesta en marcha

- El arranque del proceso biológico del tratamiento es un periodo que se debe dar para que los microorganismos inoculados o existentes se adapten con el fin que se multipliquen dentro de las características del ecosistema del medio filtrante en el que viven.

- Vigilar que la distribución del afluente sea homogénea.

- Observar la cantidad de agua que va al filtro, debe de circular por igual en cada tubería, si se encuentran mal niveladas es probable que se produzca taponamiento en las tuberías de distribución.

**Mantenimiento**

- Cuando se taponan los orificios de distribución por lo general es el producto de la operación deficiente del tanque Imhoff.

- Se debe realizar inspecciones en el sistema de distribución y reparar aquellos que se encuentren taponados o dañados, limpiar los orificios con un cepillo o gancho de alambre, y se puede aplicar por los orificios agua a presión con una manguera.

- En caso de ser necesario se implementará un techo de zinc o plástico de invernadero con la finalidad de contrarrestar las condiciones climáticas que se presenta en la región Amazonia.

- Es necesario que cada seis meses o primer año de funcionamiento se realice la limpieza de los materiales del filtro, es decir, abriendo la válvula de desagüe y enviar agua limpia por la parte alta del tanque la corriente lleve las arenas y lodos que se encuentren entre la grava.

- De existir obstrucciones por el uso y tiempo de servicio se procedería en último de los casos sacar todo el material filtrante lavarlo destapar la obstrucción y rellenar nuevamente el lecho con el mismo material o realizar la disposición del material filtrante**.**

Presencia de moscas

- La presencia de moscas en el filtro se debe a un excesivo crecimiento de larvas en el interior del filtro, estas se pueden presentar en la unidad, aunque esté funcionando correctamente, el exceso de mosca puede significar que la vida biológica del filtro no está en equilibrio. Para corregir este problema se debe asegurar que el sistema de distribución esté operando correctamente manteniendo las paredes del filtro mojadas, un remojo parejo del medio, o se deberá tener en cuenta una sobrecarga orgánica por deficiencia del tanque Imhoff.

- No se debe usar insecticidas para eliminar estas plagas al filtro infestado, ya que en su empleo provoca la producción de especies resistentes y además una dosificación demasiado fuerte puede exterminar toda la vida biológica que es necesaria y deseable en filtro.

Malos olores

Se origina cuando el proceso de tratamiento se vuelve insuficiente y se debe tomar en cuenta:

- Revisar la distribución del filtro y desagüe para determinar si hay obstrucciones en la circulación.

- Revisar si hay exceso de cultivos biológicos.

- Revisar el filtro y sus alrededores para determinar si hay cultivos o escombros.

Inundación o estancamiento

Resulta de la obstrucción de los vacíos en el filtro, puede ser provocado por excesivos cultivos biológicos. Cabe recalcar que el tratamiento biológico fallará si el tanque Imhoff que está lleno no se vacía inmediatamente, esta situación puede provocar obstrucción en el filtro. Para evitar se debe considerar las siguientes medidas:

- Quitar escombros de la superficie del medio, agitar, remover o reacomodar el medio filtrante con un rastrillo y aplicar de una corriente de agua de ser necesario a presión.

- Permitir que partes del filtro se seque por un par de hora para causar de desprendimiento del exceso de cultivos cuando se va a mojar.

- Administrar al filtro uno 5mg/l de cloro por unas pocas horas de la semana.

- Constatar el buen funcionamiento del tanque Imhoff y dar solución a los defectos de operación.

**Guía de operación y mantenimiento de Lecho de secado**

Según la Organización Panamericana de la Salud en la Guía para la operación y Mantenimiento de Tanques Septicos, Tanques Imhoff y lagunas de Estabilización, (2005), para la guía de operación y mantenimiento del Lecho de Secado se debe considerar los siguientes criterios:

Los lodos provenientes del tanque Imhoff, deben ser depositados en el lecho de secado. Es fundamental cada vez que se vaya a descargar los lodos hacia el lecho de secado, se halle adecuadamente acondicionado para su descarga.

**Operación del lecho del secado**

Para la operación del lecho de secado se debe seguir estos pasos:

- Remover todo el lodo antiguo que haya alcanzado el nivel de deshidratación.
- No disponer de lodo a un lecho que disponga ya de lodos.
- Se escarificará la superficie de arena del lecho de secado previo a la adición de lodo, con el fin de reducir la compactación de la capa superficial de arena mejorando la capacidad de infiltración.
- Una vez que se depositen los lodos en el lecho de secado se debe estabilizarlos con cal hidratada, con el fin de evitar que la biomasa se active y pueda haber un crecimiento de las bacterias.
- Descargar el lodo en un espesor de capa de lodo no mayor a 0.30m, se recomienda 0.25m.
- El volumen de lodos se reduce un 60% o más por medio de este método de deshidratado.

- El medio de soporte del lecho contará con una capa de 0,15 m conformada de ladrillos puestos sobre el medio filtrante, con una distancia entre ladrillos de 0,02 a 0,03 m llena de arena.

- No retener los lodos en el lecho de secado por tiempos prologados, para evitar el crecimiento de plantas.

- Revisar y limpiar las tuberías del drenado del lecho para evitar que se obstruyan con el mismo lodo.

**Mantenimiento del lecho de secado**

El mantenimiento que se le otorga al lecho de secado consiste en quitar el lodo deshidratado para darle una disposición final.

- El lodo que alcanzado de 60 a 70% de contenido de humedad en su deshidratación es quebradizo, de apariencia esponjosa y de fácil manejo con pala o rastrillo, si se deja secar hasta un 40% de humedad, el peso puede ser hasta la tercera parte y podrá ser manejado con mayor facilidad.

- Para la remoción de los lodos emplear una pala cuadrada y rastrillo.

- Depositar los lodos secos en sacos para su disposición final.

- Eliminar toda la cobertura vegetal para evitar proliferación dentro del lecho de secado.

- El personal encargado de los residuos sólidos dispondrá del lodo seco según la disposición final que se lo lleve a cabo.

### *4.3.2 Seguridad en el campo laboral y equipos a utilizar*

Existe muchos peligros al trabajar en una planta de tratamiento de aguas residuales, como:

- Heridas corporales, resbalones o caídas.
- Enfermedades contagiosas
- Gases o vapores tóxicos o explosivos

Es importante que solo las personas autorizadas ingresen a la planta, y deberá ser restringida para personas particulares, evitando así la inadecuada manipulación de los sistemas que se encuentran dentro de ello.

Es importante contar con equipos de protección de seguridad para el personal de la planta de tratamiento de agua residual, esto ayudará a prevenir riesgos laborales precautelando así a la integridad física del trabajador.

Para ello se detalla a continuación los equipos de seguridad que deberá portar el personal:

- Casco de seguridad
- Gafas de seguridad
- Mascarilla con triple filtro
- Guantes de Nitrilo
- Overol de dos piezas de PVC
- Botas de caucho con suela antideslizante

Otras acciones que debe cumplir el trabajador para asegurar su salud son las siguientes:

- El operador deberá de tener sus herramientas de trabajo limpias después de utilizarlas.
- Al culminar sus labores en la planta deberá lavarse las manos con agua y jabón y si es necesario aplicarse alcohol, antes de ingerir algún alimento.
- Se debe disponer en la planta de un botiquín básico si se presenta alguna situación inesperada contra la salud del trabajador.
- Durante el trabajo en la planta, el trabajador debe evitar llevarse la mano a la nariz, boca u oídos hasta que se haya lavado las manos.

## CONCLUSIONES

- Se realizó la caracterización de la población mediante entrevistas por medios electrónicos, se visitó la comunidad para constatar la información brindada, se pudo establecer que en la comunidad Sociedad Libre cuenta con una población de diseño de 793 habitantes, además se obtuvo los valores de la concentración media del agua residual doméstico del libro de Metcalf y Eddy, donde se asumen que estos valores se descargan directamente a la quebrada Sardinas.

- Para determinar los caudales se partió de la dotación media futura correspondiente a 170 l/hab/día, llegando a estimar que el caudal medio diario que llega a la planta de tratamientos de aguas residuales es de 12.27 $m^3$/ h, caudal mínimo de 3.68$m^3$/h, y un caudal máximo de 15.34 $m^3$/ h, estos datos son esenciales para desarrollar el respectivo dimensionamiento de la planta.

- La comunidad Sociedad libre cuenta con una extensión de territorio de 4.32 ha, se estableció un sistema de tratamiento de agua residual básico, como pretratamiento se diseñó un sistema de rejas finas, para el tratamiento primario un tanque Imhoff , acompañado de un lecho de secado utilizado para estabilizar los lodos, para el tratamiento secundario un Filtro Biológico de Flujo Ascendente, estos sistemas permite la eliminación de los contaminantes presentes en el agua residual, y de esta manera se puede cumplir con la normativa vigente de descarga a un cuerpo de agua dulce.

- A partir de los sistemas que cuenta la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR), se realizó una guía de operación y mantenimiento que ayude a ejecutar adecuadamente los diferentes equipos, garantizando su buen funcionamiento y de esta manera asegurar que los efluentes tratados cumplan con lo que exige la normativa vigente, además de asegurar la vida útil de la infraestructura.

## RECOMENDACIONES

- Que la comunidad Sociedad Libre presionen a las autoridades de turno para que se ejecute el proyecto de investigación, la cual será de beneficio de los habitantes, y además de esta forma se podrá prevenir riesgos sanitarios.

- Una vez implementada la planta de tratamiento de agua residual, realizar monitoreos periódicos a la planta, se contará con registros que ayude a identificar posibles fallas para poder actuar de manera inmediata dando solución a los posibles problemas que se presenten, con el fin de obtener un óptimo funcionamiento con cada una de las unidades del sistema.

- Capacitar a la población de la comunidad Sociedad libre para que sean ellos los que puedan dar un manejo adecuado y eficiente en la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.

- Se recomienda, además, una vez estabilizados los lodos en el lecho de secado estos sirvan como abono para los cultivos que tienen en la comunidad, específicamente para aquellas plantas que son de tallo alto, esta disposición final de los lodos resulta ser el más adecuado desde el punto ambiental y económico.

- Qué la Universidad Estatal Amazónica realice nuevos convenios con instituciones públicas y privadas, para que en su momento puedan brindar información, material y equipo a los estudiantes para que puedan realizar o ejecutar proyectos.

## REFERENCIAS


Acuerdo Ministerial 097-A. (2015). *Anexo1 del libro VI del texto unificado de legislacion secundaria del ministerio del ambiente.* Quito: Lexis.

Andrade, Y., & Castro, L. (2017). *Diseño hidráulico de una planta de tratamiento de agua residual en el hospital nuevo del municipio de Zipaquirá - Colombia* (Tesis de Pregrado). Recuperado de https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15258/1/Dise%C3%B1o%20hidraulico%20de%20una%20PTAR%20ZIPAQUIRA.pdf

Aqua España. (2018). *Aguas grises: Origen, composición y tecnologías para su reciclaje.* Obtenido de aguasresiduales.info/revista/blog/aguas-grises-origen-composicion-y-tecnologias-para-su-reciclaje

Barriga, W., & Sánchez, H. (2016). *Modelamiento hidráulico sistema de alcantarillado sanitario y planta de tratamiento de aguas residuales dómesticos del centro poblado Samne- Otuzco - La Libertad, Aplicando la normtativa del CEPIS* (Tesis de pregrado). Recuperado de http://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/4449?mode=full

Berjarano, M., & Carvajal, M. (2015). *Eficiencia del uso de microorganismos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en una planta de tratamiento de agua residual* (Tesis de pregrado). Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1298&context=ing_ambiental_sanitaria

Castellanos, J., Merchán, N., Galvis, J., & Manjarres, H. (2018). Deshidratación de los lodos en lecho de secado y su influencia sobre la actividad biológica de los microorganismos. *Gestión y Ambiente* . Recuperado de https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/75876/71759

Código Orgánico del Ambiente. (2017). *Título II: Sistema único de manejo ambiental; Art. 196.* Quito: Lexis.

Código Orgánico Organización Territorial Autonomía Descentralización. (2010). *Titulo III: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal. Art. 55.* Quito: Lexis.

Comisión Nacional del Agua. (2015). *Manual de Agua Potable, Alcantarilado y Saneamiento.* Recuperado de https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro4.pdf

Constitución de la Republica del Ecuador. (2008). *Capítulo IV: Régime de competencias. Art 264.* Recuperado de https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/09/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador.pdf

Díaz, E., Alvarado, A., & Camacho, K. (2014). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Quivera, vol, 14*(1), 81. Recuperado de https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf

García, J. (2018). *Evaluación y propuesta de mejora de la planta de tratameinto de agua residual domésticas de la ciudadela Cosmos en la Urbanización Villa Club ubicada en el Cantón Daule* (Tesis de pregrado). Recuperado de http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/32678/1/GARCÍA_JEFFERSON_TRABAJO_TITULACIÓN_SANITARIA_ENERO_2018.pdf

Gómez, J. (2016). *Diseño del Sistema de Alcantarillado Sanitario de la Comunidad de "Huaycopungo"* (Tesis de pregrado). Recuperado de https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/162/1/CD-0178.pdf

Guaquipana, E. (2016). *Diseño de un sistema de depuración de aguas residuales con metodología ambientalista para el sector de Guanujo, Alpachaca, primero de mayo y negro yacu del Cantón Guaranda Provincia de Bolívar* (Tesis pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato.

Hernandez, A., Lehmann, A., & Galán, P. (2004). *Manual de depuración iralita: Sistema para Depuracion de Aguas Residuales.* Madrid, España: International Thomson Editores Spain Paraninfo.

Inca, M., & Salambay, E. (2020). *Propuesta de un diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la lotización de empleados de la Cooperativa de la Pequeña Empresa de Pastaza LTDA* (Tesis pregrado). Universidad Estatal Amazónica, Pastaza.

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2020). *Gestión de Agua Potable y Alcantarillado.* Recuperado de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2018/Agua_potable_alcantarillado-2018/Boletin%20tecnico%20APA%202018_rev_corregido.pdf?fbclid=IwAR0uLuSmRLqPJbmv8DFOmoeeDoyYVax5KWkPPtSW0o4Lde8NAVsGc-jWC7Y

Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico. (2017). *Mapas Geológicos.* Recuperado de https://www.geoenergia.gob.ec/mapas-geologicos/

Isla de Juana, R. (2005). *Proyectos de plantas de tratamientos de aguas; Aguas de proceso, Residuales y de Refrigeración.* Bellisco Ediciones.

López, Á., & Zambrano , C. (2015). *Incidencia de las aguas residuales en la calidad socio ambiental del entorno de la parroquia Chone, Provincia de Manabí* (Tesis pregrado). Recuperado de http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/219/1/TMA69.pdf

López, M. (2018). *El impacto ambiental de la depuración de aguas residuales. Análisis de la internalización de costes ambientales en Alicante y la Comunidad Valenciana* (Tesis de maestría). Universidad de Alicante. Recuperado de https://fdocuments.ec/document/el-impacto-ambiental-de-la-depuracin-de-aguas-residuales-sit-estructuras.html

Lozano, W. (2012). *Diseño de plantas de tratamientos de aguas residuales.* Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/298354134_Diseno_de_Plantas_de_Tratamiento_de_Aguas_Residuales

Manual de operación y Mantenimiento. (2016). *Construcción Sistema de Alcantarillado Sanitario Cacerío Cabic, Petatán, Huehuetenango.* Recuperado de https://snip.segeplan.gob.gt/share/SCHE$SINIP/OTROS_DOCUMENTOS/243113-WQVTCHFBPY.pdf

Mendoza, A. (2020). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la empresa Procesadora y Empacadora de Mariscos Oymar* (Tesis de pregrado). Recuperado de http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/48727

Metcalf, & Eddy. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales; Tratamiento, vertido y reutilización.* Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España S. A.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2014). Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequellas poblaciones. España. Recuperado de https://www.aragon.es/documents/20127/24009052/Manual+CEDEX2.pdf/32188fba-b20f-ecac-fb01-49a15e0e3cd9?t=1578648844927

Municipalidad Districtal de Paico . (2017). *Manual de Operación y Mantenimiento de Tanques Imhoff y Lechos de Secado.* Recuperado de http://minos.vivienda.gob.pe:8081/Documentos_Sica/Modulos/FTA/SECCION%20IV/4.14/1058286575_manual%20de%20operaci%C3%B3n%20y%20mantenimiento.pdf

Narváez, J. (2020). *Planta de tratamiento de Lixiviados para el Relleno Sanitario del Cantón Archidona, Provincia de Napo.* Archidona.

Norma CO 10.07 - 601. (2014). *Normas para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes.* Quito. Recuperado de https://inmobiliariadja.files.wordpress.com/2016/09/norma-co-10-7-602-poblacion-mayor-a-1000-habitantes.pdf

Norma CO 10.7 - 602. (2014). *Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural.* Secretaría del Agua, Quito. Recuperado de https://inmobiliariadja.files.wordpress.com/2016/09/norma-co-10-7-602-area-rural.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2017). *Aguas Residuales el Recurso Desaprovechado* . Francia.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2020). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2020: agua y cambio climático.* Recuperado de UNESCO: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373611.locale=es

Organización Panamericana de la Salud. (2005). *Guía para la operación y mantenimiento de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización.* Recuperado de https://www.slideshare.net/EdwinMamaniVilcapaza/gua-para-la-operacin-y-mantenimiento-de-tanques-spticos-tanques-imhoff-y-lagunas-de-estabilizacin

Organización Panamericana de la Salud. (2005). *Guía para el Diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización.* Recuperado de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005.%20Gu%C3%ADa%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20tanques%20s%C3%A9pticos.pdf

Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Cotundo. (2019). Cotundo, Napo, Ecuador. Recuperado de https://odsterritorioecuador.ec/wp-content/uploads/2019/04/PDOT-PARROQUIA-COTUNDO-2015-2019.pdf

Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Archidona. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial.*

Portero, M., & Amat, V. (2017). *Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Babahoyo* (Tesis de pregrado). Recuperado de http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/9160

Prieto, J., & Rodríguez, S. (2015). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la unidad profesional interdisciplinaria de biotecnología* (Tesis de pregrado). Recuperado de https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/22057/ProyectoFIN.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Real, C. (2016). *Por qué es tan importante el tratamiento de aguas residuales* . Recuperado de iagua: https://www.iagua.es/blogs/carlota-real/que-es-tan-importante-tratamiento-aguas-residuales

Reglamento Nacional de Edificaciones. (2006). *Tratamiento primario; Tanque Imhoff.* Perú. Recuperado de https://www3.vivienda.gob.pe/Direcciones/Documentos/RNE_Actualizado_Solo_Saneamiento.pdf

Rivas, M. (1978). *Tratamiento de Aguas Residuales.* Caracas: Vega.

Romero, J. (2010). *Tratamiento de las Aguas Residuales; Teoría y principios de diseño.* Bogotá, Colombia: Editorial Escuela de Colombia de Ingeniería.

Ronces, M. (2018). *Evaluación de Funcionamiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de un Municipio del Sureste de México* (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma del Estado de México, México. Recuperado de http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/94946/Tesina%20Mayte%20Ronces.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sánchez, F. (2011). Estudio para el Sistema de Alcantarillado Sanitario y Tratamiento para el sector de Chinitahua de la Parroquia San Andres del Cantón Pillaro. *Memoria Técnica*. Pillaro.

Tanguila, P. (Febrero de 2021). Recoleccion de Información sanitaria de la comunidad Sociedad Libre. (D. Mora, Entrevistador)

Torres, L., & Delgado, D. (2020). *Propuesta de diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas a escala piloto en la UNEMI (*Tesis de pregrado). Recuperado de http://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/5124/1/PROPUESTA%20DE%20DISE%C3%91O%20DE%20UNA%20PLANTA%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20DOMESTICAS%20A%20ESCALA%20PILOTO%20EN%20LA%20UNEMI.pdf

Trojan. (2021). *Desinfección UV para Aguas Residuales.* Obtenido de https://www.trojanuv.com/es/aplicaciones/aguasresiduales/

Valencia, A. (2013). *Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la cabecera Parroquial de San Luis - Provincia de Chimborazo* (Tesis de pregrado). Recuperado de http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/3118/1/236T0084.pdf

# ANEXOS

**Anexo 1:** Tabla de Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce

| Parámetros | Expresados como | Unidad | Límite Máximo Permisible |
|---|---|---|---|
| Aceites y Grasas | Sustancias solubles de hexano | mg/l | 30.0 |
| Alkil mercurio | | mg/l | NO DETECTABLE |
| Aluminio | Al | mg/l | 5.0 |
| Arsénico Total | As | mg/l | 0.1 |
| Bario | Ba | mg/l | 2.0 |
| Boro total | B | mg/l | 2.0 |
| Cadmio | Cd | mg/l | 0.02 |
| Cianuro total | $CN^-$ | mg/l | 0.1 |
| Cinc | Zn | mg/l | 5.0 |
| Cloro activo | Cl | mg/l | 0.5 |
| Cloroformo | Extracto carbón cloroformo ECC | mg/l | 0.1 |
| Cloruros | $Cl^-$ | mg/l | 1 000 |
| Cobre | Cu | mg/l | 1.0 |
| Cobalto | Co | mg/l | 0.5 |
| Coliformes Fecales | NMP | NMP/100 ml | 2000 |
| Color real | Color real | Unidades de color | *Inapreciable en dilución: 1/20 |
| Compuestos fenólicos | Fenol | mg/l | 0.2 |
| Cromo hexavalente | $Cr^{+6}$ | mg/l | 0.5 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) | $DBO_5$ | mg/l | 100 |
| Demanda Química de Oxigeno | DQO | mg/l | 200 |
| Estaño | Sn | mg/l | 5.0 |
| Fluoruros | F | mg/l | 5.0 |
| Fosforo Total | P | mg/l | 10.0 |
| Hierro total | Fe | mg/l | 10.0 |
| Hidrocarburos Totales de Petróleo | TPH | mg/l | 20.0 |
| Manganeso total | Mn | mg/l | 2.0 |
| Materia flotante | Visibles | mg/l | Ausencia |
| Mercurio total | Hg | mg/l | 0.005 |
| Níquel | Ni | mg/l | 2.0 |
| Nitrógeno Amoniacal | N | mg/l | 30.0 |
| Nitrógeno Total Kiedahl | N | mg/l | 50.0 |
| Compuesto Organoclorados | Organoclorados totales | mg/l | 0.05 |
| Compuestos Organofosforados | Organofosforados totales | mg/l | 0.1 |
| Plata | Ag | mg/l | 0.1 |
| Plomo | Pb | mg/l | 0.2 |
| Potencial de hidrogeno | pH | mg/l | 6-9 |
| Selenio | Se | mg/l | 0.1 |
| Sólidos Suspendidos Totales | SST | mg/l | 130 |
| Sólidos totales | ST | mg/l | 1 600 |
| Sulfatos | SO4 | mg/l | 1 000 |
| Sulfuros | $S^=$ | mg/l | 0.5 |
| Temperatura | T | °C | Condición natural +-3 |
| Tensoactivos | Activas al azul de metileno | mg/l | 0.5 |
| Tetracloruro de carbono | Tetracloruro de carbono | mg/l | 1.0 |
| La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida | | | |

**Tomado de:** (Acuerdo Ministerial 097-A)

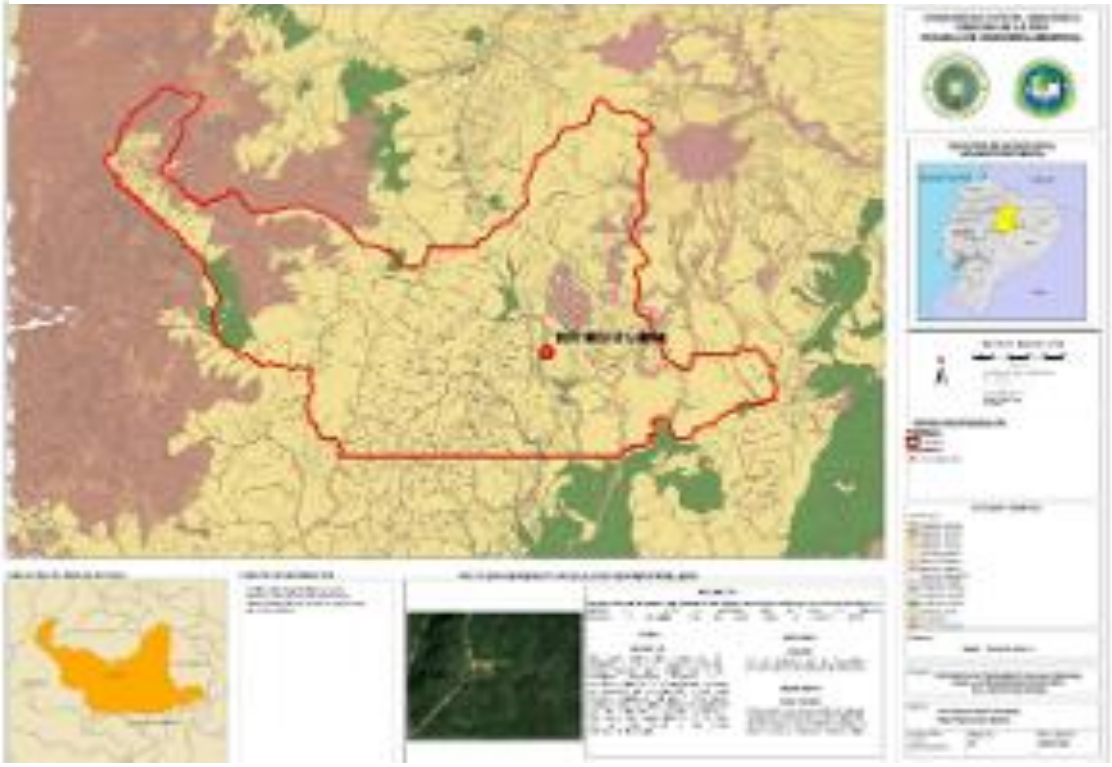
**Anexo 2:** Uso y Cobertura del Suelo



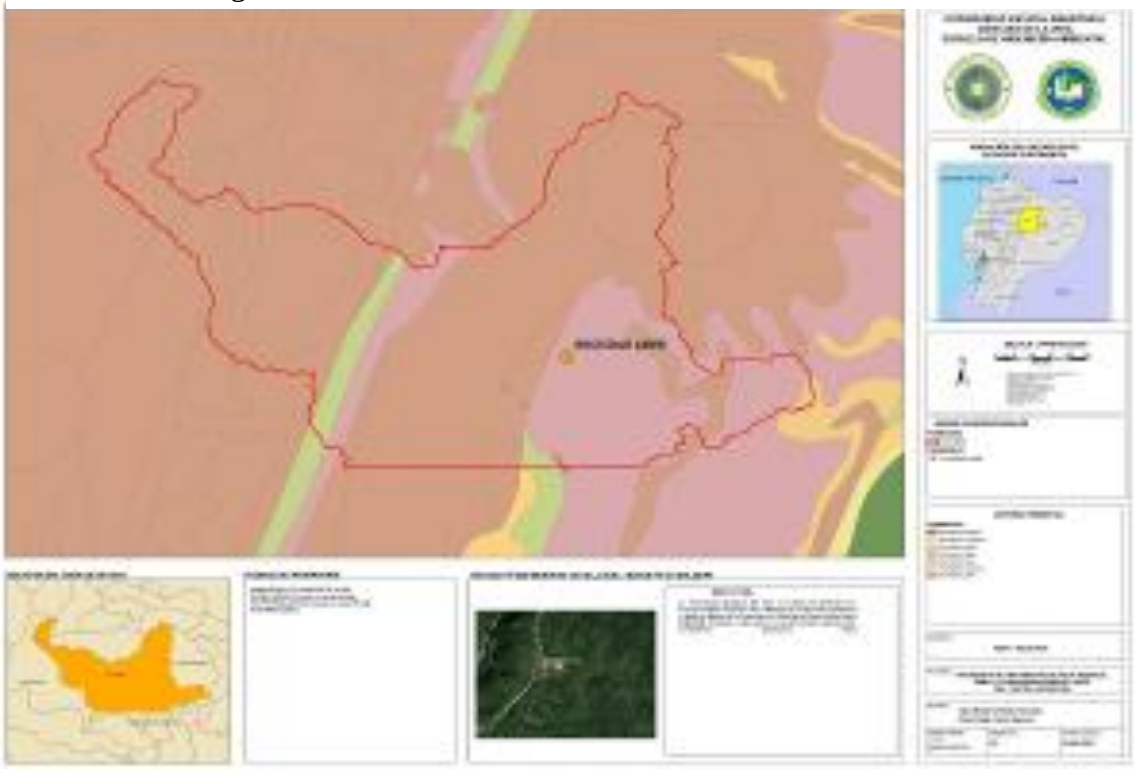
**Anexo 3**: Tipo de clima



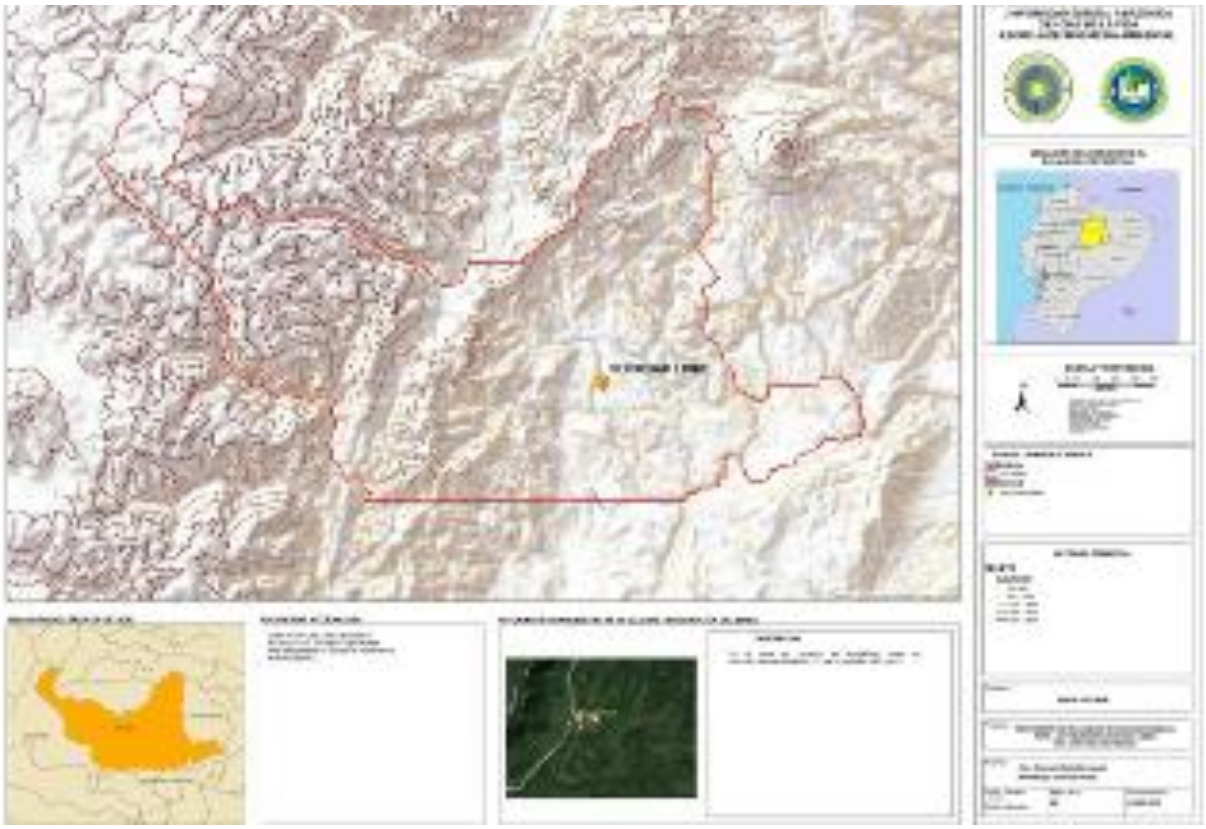
**Anexo 4:** Tipos de suelo



**Anexo 5:** Geología



**Anexo 6:** Relieve



**Anexo 7**: Pendiente



**Anexo 8**: Tabla resumen del dimensionamiento de Rejas Finas

**Dimensionamiento Rejas Finas**

| Criterio | Valor | Unidades |
|---|---|---|
| Caudal de diseño por línea | 12.27 | $m^3/h$ |
| Caudal máximo por línea | 15.33 | $m^3/h$ |
| Superficie útil del canal | 0.0075 | $m^2$ |
| Velocidad de paso entre barrotes a caudal de diseño con reja limpia | 0,63 | m/s |
| Velocidad de paso entre barrotes a caudal máximo con reja limpia | 0.79 | m/s |
| Velocidad de paso entre barrotes a caudal máximo con reja colmatada | 1.13 | m/s |
| Velocidad de aproximación por el canal a caudal de diseño | 0.45 | m/s |
| Velocidad de aproximación por el canal a caudal mínimo | 0.14 | m/s |
| Anchura del canal | 0.09 = 0,3 | m |
| Profundidad útil del canal | 0.09 = 0,4 | m |
| Profundidad total del canal | 0.39 = 0,6 | m |
| Producción normal de residuos | 0.003 | $m^3$/día |
| Producción máxima de residuos con tormenta | 0.0003 | $m^3/h$ |

**Fuente:** Elaboración propia

**Anexo 9:** Tabla resumen del dimensionamiento del Tanque Imhoff

**Dimensionamiento Tanque Imhoff - Resultados**

| Criterio | Valor | Unidad |
|---|---|---|
| **Cámara de sedimentación** | | |
| Área del sedimentador | 12.27 | $m^2$ |
| Ancho de la cámara del sedimentador | 1.75 | m |
| Longitud de la cámara del sedimentador | 7 | m |
| Volumen de la cámara del sedimentador | 24.53 | $m^3$ |
| Altura 1 del sedimentador | 1.04 | m |
| Volumen 1 de la cámara de sedimentación | 6.4 | $m^3$ |
| Altura 2 cámara de sedimentación | 1.48 | m |
| **Cámara de digestión** | | |
| Volumen para almacenar lodos | 38.86 | $m^3$ |
| Ancho total del tanque Imhoff | 4.25 m | m |
| Área superficial del tanque Imhoff | 29.75 | $m^2$ |
| Área de ventilación | 14 | $m^2$ |
| Alturas 1 del digestor | 1.23 | m |
| Volumen 1 del fondo de la cámara de digestión | 12.2 | $m^3$ |
| Altura 2 del digestor | 1 | m |
| Altura útil del tanque Imhoff | 4.75 | m |
| Altura total del tanque Imhoff | 5.05 | m |

**Fuente:** Elaboración propia

**Anexo 10:** Tabla resumen de dimensionamiento del Filtro Biológico de Flujo Ascendente

**Dimensionamiento del Filtro Biológico de Flujo Ascendente - Resultados**

| ***Parámetros*** | ***Valores*** | ***unidades*** |
|---|---|---|
| Caudal del filtro biológico | 154.38 | $m^3$/día |
| Volumen Filtro Biológico | 61.8 | $m^3$ |
| Área del filtro biológico | 19.3 | $m^2$ |
| Altura del filtro biológico | 2.4 | m |
| Diámetro del filtro biológico | 6 | m |
| Área real del filtro | 28.27 | $m^2$ |
| Volumen real del filtro | 67.86 | $m^3$ |
| Tiempo de retención | 10.5 | hora |
| Tasa de aplicabilidad hidráulica | 2.4 | m3/m2*día |

**Fuente:** Elaboración propia

**Anexo 11:** Tabla resumen de dimensionamiento del Lecho de Secado

| Lecho de secado | | |
|---|---|---|
| **Parámetro** | **Valor** | **unidad** |
| Carga de sólidos que ingresa al sedimentador | 71.37 | kg SS/ día |
| Masa de sólidos que conforman los lodos | 23.2 | kg SS/día |
| Volumen diario de lodos digeridos | 247.81 | l/día |
| Volumen de lodos a extraerse del tanque | 7.43 | $m^3$ |
| Área del lecho de secado | 18.59 | $m^2$ |
| Longitud del lecho | 6.2 | m |
| Ancho del lecho | 3 | m |

**Fuente:** Elaboración propia