UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TEMA

"PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PARA LA PARROQUIA LA JOYA DE LOS SACHAS DE LA PROVINCIA DE ORELLANA"

AUTORES:

LUIS DANIEL HIDALGO HUGO

EVELYN MISHELL REISANCHO REISANCHO

DIRECTOR DEL PROYECTO:

MSc. Pedro Andrés Peñafiel Arcos

Puyo - Ecuador

Febrero 2021

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quienes suscriben Luis Daniel Hugo Hidalgo con C.I. 220042738-9 y Evelyn Mishell Reisancho Reisancho con C.I. 175292690-5, hace constar que es autor/a del Proyecto de Integración Curricular titulado: **"PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PARA LA PARROQUIA LA JOYA DE LOS SACHAS DE LA PROVINCIA DE ORELLANA",** el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, MSc. Pedro Andrés Peñafiel Arcos. 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 15 días del mes de enero del 2020.

Hidalgo Hugo Luis Daniel
C.I: 2200427389

Reisancho Reisancho Evelyn Mishell
C.I: 1752926905

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 DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PARA LA PARROQUIA LA JOYA DE LOS SACHAS DE LA PROVINCIA DE ORELLANA"**



Firmado electrónicamente por:

PAUL MARCELO MANOBANDA PINTO

MSc. Paul Manobanda

Presidente del Tribunal



Firmado electrónicamente por:

ANDREA DANIELA MEJIA LOPEZ

MSc. Andrea Mejía

Miembro del Tribunal



Firmado electrónicamente por:

KAREM YAEL CAZARES CARRION

MSc. Karem Cazares

Miembro del Tribunal

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

Certificado No. 55-SAU-UEA-2021

Puyo, 19 de febrero de 2021

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente a los estudiantes: REISANCHO REISANCHO EVELYN MISHELL con C.I. 175292690-5 y HUGO HIDALGO LUIS DANIEL con C.I. 220042738-9, con el Tema: **"PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PARA LA PARROQUIA LA JOYA DE LOS SACHAS DE LA PROVINCIA DE ORELLANA.",** de la carrera, Ingeniería Ambiental. Director de la investigación Ing. Pedro Andrés Peñafiel Arcos, MSc., ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 8%, Informe generado con fecha 18 de febrero de 2021 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
ITALO MARCELO

Ing. Italo Marcelo Lara Pilco M.Sc.
ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .

DERECHOS DE AUTOR COPYRIGHT

©2020, Luis Daniel Hidalgo Hugo

©2020, Evelyn Mishell Reisancho Reisancho

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

AUTORES

Hidalgo Hugo Luis Daniel
C.I: 2200427389

Reisancho Reisancho Evelyn Mishell
C.I: 1752926905

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Luis Daniel Hidalgo Hugo y Evelyn Mishell Reisancho Reisancho, 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 autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular.

Hidalgo Hugo Luis Daniel
C.I: 2200427389

Reisancho Reisancho Evelyn Mishell
C.I: 1752926905

DEDICATORIA

Con profundo respeto, adoración y veneración dedico esta tesis a Dios por ser el creador de todo lo que existe y por el inmenso amor que nos brinda todos los días. A mis padres Luis y Marlene, que desde niño me inculcaron principios y valores como también el apoyo y comprensión durante toda mi carrera universitaria, gracias a su inmenso me convertiré en un profesional; espero no defraudarlos, os amo. Dedico, este trabajo a mis hermanos menores Jeison y Génesis, debido a que siempre pienso en ellos, como una motivación extra para poder seguir cosechando metas dentro de mi vida profesional. Además, quiero dedicar a mis padrinos, René y Martha, quienes fueron una motivación más, que con su ejemplo me incentivaron a seguir estudiando, tengo un poco de los dos dentro de mí, estoy seguro de que se sentirán orgullosos de mí, no solo como profesional si no como ser humano. Finalmente, quiero dedicar esta tesis a mi compañera de trabajo por la dedicación y el tiempo dedicado para terminar de hacerlo.

Luis Hidalgo

DEDICATORIA

¡Que nadie se quede afuera, se los dedico a todos!

Sobre todo, a mi amada madre que con su paciencia y amor decidió poner su fe en mí y apoyarme a pesar de todo. A mi querida Sheyla que siempre estuvo ahí para llenar mis días de esperanza y alegría, te lo dedico a ti por ser la mejor hermana que la vida me pudo brindar. A mi mejor amigo, compañero y cómplice por enseñarme tanto, por tu infinita ayuda y por creer en mi incluso cuando yo no creía. Se los dedico a todos por que en el camino todos contribuyeron de diferentes formas para que yo llegue hasta aquí, así que solo me queda darles mis más sinceras e infinitas gracias.

Mishell Reisancho

AGRADECIMIENTO

Primeramente, quiero agradecer a Dios, por habernos permitido llegar hasta este punto, por brindarnos salud para lograr nuestros objetivos, además de su infinita bondad y amor. Quiero agradecer a la Universidad Estatal Amazónica por haberme acogido durante toda la carrera universitaria, a sí mismo, a las personas que dirigen la universidad y la llevan hacia la excelencia. Agradezco a mis padres y hermanos por habernos apoyado todos los días y en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que nos ha permitido ser personas de bien, pero sobre todo por su amor. También agradezco a nuestro tutor y compañera de tesis, por el esfuerzo y dedicación realizada en este trabajo, así mismo, por sus consejos diarios, para no quebrantar y lograr nuestros objetivos, por sus palabras de ánimo y su cariño demostrado.

Luis Hidalgo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por acompañarme a lo largo de mi camino, siendo fuente de fortaleza e inspiración en los momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mi madre Narcisa Reisancho por confiar en mi por enseñarme que una mujer también puede cumplir sus sueños y anhelos si se esfuerza por ellos, gracias a mi padre Rodrigo Reisancho por sus consejos, por su paciencia tan absoluta hacia a mí por a acudir cada vez que lo necesite a pesar de su cansancio ocasionado por el trabajo.

Agradezco mucho a mis hermanas con las que siempre pude contar y que en momentos duros me alentaron a seguir adelante.

A la Universidad Estatal Amazónica que me acogió desde el primer año de carrera en donde encontré los mejores amigos y maestros los cuales no solo me inculcaron conocimientos sino también a formarme como un buen profesional y ético en el campo laboral, al MSc Pedro Peñafiel tutor de nuestro proyecto de investigación quien, con su dirección, conocimiento, enseñanza, permitió el desarrollo y culminación de este trabajo.

Mishell Reisancho

RESUMEN.

En el presente proyecto de investigación se planteó una propuesta para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para 11 barrios de la parroquia La Joya de los Sachas. El proyecto está diseñado especialmente para tratar aguas residuales de origen doméstico, debido a que en la zona de estudio existe la presencia de viviendas, locales comerciales e institucionales. La dotación de consumo de los habitantes de la parroquia se obtuvo mediante un documento digital emitido por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de La Joya de los Sachas (GADMJS), con el cual se estableció un caudal de diseño de 341.68 (m3/h), el cual es requerido para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales, además se estableció una población futura de 33,290 habitantes tomando en cuenta una tasa de crecimiento del 7.5% la cual fue establecida por el municipio en el año 2,012. El diseño cuenta con un (cribado, desarenador y desengrasador), en donde, se separan los sólidos gruesos, arenas y grasas presentes en el agua residual; el tratamiento primario (tanque Imhoff), el cual posee una remoción de hasta el 60% de los sólidos en suspensión mientras que para el tratamiento secundario se estableció una matriz de selección en donde se evaluaron varios parámetros (remoción de carga orgánica, costos de inversión, costos de mantenimiento, espacio, complejidad de operación y consumo energético) para determinar la mejor alternativa de entre las opciones (Lodos Activados de Tipo de Aireación Prolongada, Filtro Percolador, Humedal de Flujo Vertical Subsuperficial), en el cual se escogió al Filtro Percolador. Para el tratamiento final (Desinfección por Luz UV) se emplearon diez lámparas para la desinfección mediante radiación ultravioleta. Se realizó un presupuesto referencial para los costos de construcción del sistema de aguas residuales domésticas en donde estas puedan ser tratadas antes de vertirse al cuerpo de agua dulce del estero Quinchayacu.

PALABRAS CLAVES:

Aguas Residuales Domésticas, aguas negras, calidad de agua, tratamiento de agua, saneamiento, diseño.

ABSTRACT

This research project aims to propose a proposal for the design of a wastewater treatment plant for 11 neighborhoods of the parish La Joya de los Sachas. The project is specially designed to treat wastewater of domestic origin, because there is a presence of housing, commercial and institutional premises in the study area. The consumption of the inhabitants of the parish was obtained through a digital document issued by the Municipal Decentralized Autonomous Government of La Joya de los Sachas (GADMJS), with which a design flow of 341.68 (m3/h) could be established, which is required for the design of the wastewater treatment system, a future population of 33,290 was also established taking into account a growth rate of 7.5% which was established by the municipality in 2,012. The design has a (screening, disarming and degreaser), where the thick solids, sands and greases present in the wastewater are separated; the primary treatment (Imhoff tank), which has a removal of up to 60% of the suspended solids while for secondary treatment a selection matrix was established where several parameters were evaluated (organic load removal, investment costs, maintenance costs, space, operating complexity and energy consumption) to determine the best alternative among the options (Prolonged Aeration Type Activated Sludge, Percolator Filter, Subsurface Vertical Flow Wetland), in which the Percolator Filter was chosen. For the final treatment (UV Light Disinfection) ten lamps were used for disinfection by ultraviolet radiation. A reference budget was made for the construction costs of the domestic wastewater system where they can be treated before being discharged into the freshwater body of the Quinchayacu ester.

KEY WORDS: Domestic Wastewater, sewage, water quality, water treatment, sanitation, design.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I 1

1. INTRODUCCIÓN. 1

1.1. Planteamiento del Problema 1

1.2. Antecedentes Del Problema. 1

1.3. Diagnóstico y Situación del Problema. 2

1.4. Formulación Del Problema. 3

1.5. Objetivos. 3

1.5.1. Objetivo General. 3

1.5.2. Objetivos Específicos. 3

1.6. Justificación Del Problema. 3

CAPÍTULO II 5

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA. 5

2.1. Antecedentes. 5

2.2. Aguas Residuales 5

2.3. Agua Residencial Doméstica. 6

2.3.1. Aguas Negras 6

2.3.2. Aguas Grises 6

2.4. Componentes domésticos de las aguas residuales urbanas 6

2.5. Características de las aguas residuales. 7

2.5.1. Características Físicas 7

2.5.2. Características Químicas. 8

2.5.3. Características Biológicas 11

2.6. Características fisicoquímicas y biológicas de las aguas residuales domésticas. 12

2.7. Tipos de Tratamiento 14

2.7.1. Pretratamiento. 14

2.7.2. Tratamiento Primario. 14

2.7.3. Tratamiento Secundario. 14

2.7.4. Tratamiento Terciario o Avanzado. 14

2.8. Normativa ambiental Vigente. 15

2.9. Climatología. 16

CAPÍTULO III 17
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN. 17
3.1. Localización. 17
3.2. Tipo De Investigación. 18
3.3. Método De Investigación. 19
3.4. Diagnóstico de las condiciones demográficas y ambientales actuales en el marco del manejo de las aguas residuales. 19
3.4.1. Situación Actual De Las Aguas Residuales de los 11 barios. 19
3.4.2. Número De Habitantes. 19
3.4.3. Climatología de Área de Estudio. 20
3.4.4. Composición Del Agua Residual Doméstica. 20
3.5. Análisis de diferentes alternativas para el tratamiento secundario de las aguas residuales domésticas generadas por los 11 barrios que conforman la parroquia La Joya de Los Sachas. 20
3.5.1. Selección de la alternativa. 21
3.5.2. Criterios de selección. 21
3.6. Dimensionamiento de todas las etapas propuestas en la alternativa de tratamiento escogida en conjunto con sus costos de inversión. 23
3.6.1. Criterios de diseño. 23
3.6.2. Pretratamiento. 29
3.6.3. Tratamiento Primario. 44
3.6.4. Tratamiento Secundario. 54
3.6.5. Desinfección. 60
3.6.6. Análisis Técnico-Económico para el Dimensionamiento. 62
CAPÍTULO IV 63
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS. 63
4.1. Climatología. 63
4.1.1. Temperatura. 63
4.1.2. Precipitación. 63
4.2. Número de habitantes. 65
4.3. Composiciones principales de agua residual doméstica. 65
4.3.1. Concentración de potencial hidrógeno (pH). 66
4.3.2. Temperatura del agua residual. 66

4.3.3. Concentración de sólidos totales. 67
4.3.4. Aceites y grasas. 67
4.3.5. Sólidos suspendidos. 67
4.3.6. Demanda Bioquímica Oxígeno. 68
4.3.7. Demanda Química de Oxígeno. 68
4.3.8. Coliformes Fecales. 69
4.4. Comparación de alternativas para el tratamiento de aguas residuales domésticas. 69
4.5. Selección de la alternativa. 71
4.6. Dimensionamiento de la planta de tratamiento de Aguas Residuales. 71
4.6.1. Estimación de las poblaciones. 72
4.6.2. Cálculo de caudales. 73
4.7. Pretratamiento. 76
4.7.1. Canal de entrada 76
4.7.2. Pozo de gruesos. 78
4.7.3. Rejas 82
4.8. Tratamiento Primario. 88
4.8.1. Tanque Imhoff. 88
4.9. Tratamiento Secundario 102
4.9.1. Filtro Percolador. 102
4.9.2. Decantador secundario. 104
4.10. Tratamiento Terciario o Avanzado 107
4.10.1. Desinfección UV 107
4.11. Conclusiones 108
4.12. Recomendaciones. 109
5. REFERENCIAS 110
6. ANEXOS 117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Clasificación de las aguas por su Dureza. 9
Tabla 2-2: Composición típica del agua residual doméstica bruta. 13
Tabla 3-2: Unidades de Tratamiento de Aguas Residuales. 15
Tabla 4-2: Límites máximos permisibles para descargas de agua dulce para un agua residual doméstica..... 16
Tabla 5-3: Número de habitantes por barrio. 18
Tabla 6-3 Estimación de valores referenciales para los parámetros de la alternativa más adecuada..... 22
Tabla 7-3: Matriz para la toma de decisiones. 23
Tabla 8-3: Uso del suelo Comercial e Institucional. 26
Tabla 9-3: Fórmulas empíricas para el cálculo del caudal mínimo. 28
Tabla 10-3: Fórmulas para estimar el caudal de Punta. 29
Tabla 11-3: Criterios de diseño para el canal de entrada. 30
Tabla 12-3: Tipos de rejas según abertura entre barras. 36
Tabla 13-3: Rangos usuales y valores recomendados según el espesor de los barrotes. 37
Tabla 14-3: Rangos usuales y valores recomendados según la distancia entre los barrotes. 37
Tabla 15-3: Parámetros para obtener el factor de capacidad relativa. 47
Tabla 16-3: Parámetros para obtener el tiempo de digestión de lodos. 52
Tabla 17-4: Temperatura de la Estación Coca-Aeropuerto. 63
Tabla 18-4: Datos de la precipitación promedio (mm). 64
Tabla 19-4: Valores de Pluviosidad Anual (mm). 64
Tabla 20-4: Análisis físicos, químicos y microbiológicos de las muestras de aguas. ... 65
Tabla 21-4: Comparación del potencial hidrógeno (pH). 66
Tabla 22-4: Comparativa de la temperatura de la muestra de agua. 66
Tabla 23-4: Comparativa de los sólidos totales de la muestra de agua. 67
Tabla 24-4: Comparativa de los aceites y grasas de la muestra de agua. 67
Tabla 25-4: Comparativa de los sólidos suspendidos de la muestra de agua. 68
Tabla 26-4: Comparativa de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de la muestra de agua. 68
Tabla 27-4: Comparativa de los sólidos totales de la muestra de agua. 69
Tabla 28-4: Comparativa de los coliformes fecales de la muestra de agua. 69

Tabla 29-4: Comparación de las alternativas para el tratamiento biológico. 70
Tabla 30-4: Evaluación de las alternativas para el tratamiento secundario. 71
Tabla 31-4: Valores de partida para el dimensionamiento. 72
Tabla 32-4. Dimensionamiento del Canal de Entrada. 76
Tabla 33-4: Resumen de los criterios de diseño de pozo de gruesos. 81
Tabla 34-4: Resumen de los cálculos de pozo de gruesos. 81
Tabla 35-4: Resumen de los criterios de diseño de rejas de gruesos. 82
Tabla 36-4: Resumen de los cálculos de rejas de gruesos. 83
Tabla 37-4: Resumen de los criterios de diseño de pozo de finos. 84
Tabla 38-4: Resumen de los cálculos de rejas de finos. 85
Tabla 39-4: Resumen de los criterios de diseño del Desarenador. 86
Tabla 40-4: Resumen de los cálculos del Desarenador. 87
Tabla 41-4: Resumen de los criterios de diseño del Desengrasador. 88
Tabla 42-4: Resumen de los cálculos del Desengrasador. 88
Tabla 43-3: Resumen de los criterios de diseño del Tanque Imhoff. 96
Tabla 44-4: Resumen de los cálculos del Tanque Imhoff. 98
Tabla 45-4: Parámetro de partida de Lechos secados de lodos. 101
Tabla 46-4: Resultados de cálculo de Lecho secados de lodos. 102
Tabla 47-4: Parámetros de partida del Filtro Percolador. 103
Tabla 48-4: Resultados de cálculo del Filtro Percolador. 104
Tabla 49.4: Parámetros de partida del Decantador Secundario. 105
Tabla 50-4: Resultados de cálculo del Decantador Secundario. 105
Tabla 51-4: Parámetros de partida de Producción de Fangos. 106
Tabla 52-4: Resultados de cálculo de la Producción de Fangos. 106
Tabla 53-4: Especificaciones Técnicas. 107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Distribución del consumo de agua por actividad según la OMS. 7
Figura 2-3: Ubicación del Área de estudio. 17

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. Planteamiento del Problema

La falta de un sistema de tratamiento para la depuración de las aguas residuales domésticas de los 11 barrios de la parroquia La Joya de Los Sachas.

1.2. Antecedentes Del Problema.

Las aguas servidas de la parroquia La Joya de los Sachas han sido un problema de impacto ambiental constante, especialmente para la vida acuática y para la salud de los seres humanos debido al escaso control existente. Según los fundadores de la parroquia La Joya de los Sachas afirman que el primer sistema de tratamiento de saneamiento y descomposición de la materia residual fue la implementación de pozos sépticos en cada una de las viviendas. Los pozos sépticos ayudaban parcialmente con la depuración de las aguas residuales domésticas, pero la falta de saneamiento y mantenimiento generaron problemas medioambientales, especialmente la presencia de malos olores.

Con el paso del tiempo, la población de La Joya de los Sachas se incrementó, obligando a las autoridades municipales a implementar un nuevo sistema de tratamiento de aguas residuales. Por este motivo, las autoridades municipales, dieron lugar a las primeras plantas de tratamiento de aguas residuales en la ciudad. Al principio las plantas funcionaban con normalidad, pero conforme al mal manejo y escaso mantenimiento, fueron deteriorándose e incumpliendo con la normativa. La deficiencia provocó perjuicios a los 11 barrios de la Parroquia (Amazonas, Alborada, 1ro de mayo, 5 de Agosto, Luz de América, Central, Jaime Roldós, Machala, Oscar Romero, Lotización Olalla, 5 de Junio), para los cuales se pretende plantear el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales, que logre cumplir con un tratamiento eficiente.

Actualmente, la única Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en funcionamiento de la ciudad es la denominada “Pantanos Artificiales”, que consiste en un sistema de sedimentación y filtración. Esta planta tiene un rendimiento deficiente debido al escaso control, expulsando el efluente al estero Quinchayacu que posteriormente se conectan con las fuentes hídricas de la zona, sin cumplir con la normativa de calidad ambiental, generando un deterioro a la vida acuática y posibles enfermedades a la población.

1.3. Diagnóstico y Situación del Problema.

El presente estudio pretende comprender el análisis ambiental de las aguas residuales de 11 barrios (Amazonas, Alborada, 1ro de mayo, 5 de Agosto, Luz de América, Central, Jaime Roldós, Machala, Oscar Romero, Lotización Olalla y 5 de Junio), ubicados en la zona urbana. Según las proyecciones realizadas por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de La Joya de los Sachas (GADMJS) la población de los 11 barrios para el año 2,012 fue de 4,394 habitantes. Con estos datos se estimó la proyección de habitantes que se alcanzaría para el año 2,020, la cual ascenderá alrededor de 7,837 habitantes.

Se realizó un recorrido por los 11 barrios, en el cual no se observó la presencia de industrias; por el contrario, se encontró en mayor parte, viviendas, locales comerciales e institucionales que producen en su mayoría agua residual de origen doméstico. Según los técnicos responsables de la Gestión de tratamientos de aguas residuales del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de La Joya de los Sachas (GADMJS) afirmaron que anteriormente las aguas residuales de los 11 barrios eran dirigidas y tratadas a las Plantas de Tratamiento Alborada, Jaime Roldós y 5 de Junio; las cuales habían cumplido su tiempo de vida útil. Actualmente las aguas son llevadas mediante la red de alcantarillado hacia la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Pantanos Artificiales”, dicha planta tiene problemas con la remoción de carga orgánica incumpliendo con la normativa de descargas a un cuerpo de agua dulce.

La parroquia La Joya de los Sachas se ve en la necesidad de implementar un diseño de una nueva planta de tratamiento. La misma que debe cumplir con la depuración de las aguas servidas mediante la implementación de un sistema óptimo para que las aguas canalizadas no ocasionen alteraciones al ambiente al ser descargados en los cuerpos naturales de agua presentes en la parroquia. Con el objetivo de reducir la contaminación causada por el efecto de las descargas de las aguas residuales, es necesario contar con un tratamiento idóneo de aguas en la parroquia debido a que las aguas contaminadas pueden generar enfermedades para la salud humana y alteraciones negativas al ambiente. Por esta razón, es un derecho de la ciudadanía tener un eficiente sistema de saneamiento de aguas residuales, para precautelar el recurso vital.

1.4. Formulación Del Problema.

La parroquia La Joya de los Sachas se encuentra en constante crecimiento y genera elevadas descargas de aguas residuales domésticas por lo que requiere la implementación de una propuesta eficiente y práctica.

¿Cuál sería el diseño adecuado para una propuesta satisfactoria?

1.5. Objetivos.

1.5.1. *Objetivo General.*

Realizar una propuesta, para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, generadas por 11 barrios de la parroquia La Joya de los Sachas, Provincia de Orellana, con el fin de reducir las cargas contaminantes del efluente.

1.5.2. *Objetivos Específicos.*

- Realizar un diagnóstico de las condiciones demográficas y ambientales actuales en el marco del manejo de las aguas residuales domésticas generadas en los once barrios de estudio de la parroquia La Joya de los Sachas.
- Analizar las diferentes alternativas para el tratamiento secundario de las aguas residuales domésticas, generadas por los habitantes de los once barrios de estudio de la parroquia La Joya de los Sachas, mediante fuentes bibliográficas y consulta a expertos.
- Realizar el dimensionamiento de todas las etapas propuestas en la alternativa de tratamiento escogida en conjunto con sus costos de inversión.

1.6. Justificación Del Problema.

El agua es uno de los recursos más importantes para la vida en el planeta y los seres humanos dependemos de su disponibilidad no sólo para el consumo doméstico, sino también para el funcionamiento y la continuidad de las actividades agrícolas e industriales (Semarnat, 2012).

Los 11 barrios de la parroquia La Joya de los Sachas, Provincia de Orellana, actualmente cuentan con una población estimada de alrededor de 7,837 habitantes, los cuales consumen agua para realizar sus actividades diarias (alimentación, aseo personal, limpieza en el hogar). Cuando el agua es utilizada, se mezcla con otros componentes los

cuales modifican la composición física, química y biológica, posteriormente estas aguas residuales domésticas son desechadas por las tuberías o drenajes, llegando hasta el alcantarillado el cual conduce las aguas hasta una Planta de tratamiento la cual posee deficiencias en el proceso, estas aguas llegan a vertirse en el estero de Quinchayacu.

El sistema de tratamiento de aguas residuales tiene el propósito de eliminar la contaminación química y bacteriológica del agua que pueda ser nociva para los seres humanos, la flora y la fauna de manera que el agua sea dispuesta en el ambiente en forma segura. (Rodas, 2007)

En virtud de la diversidad de contaminantes que se pueden presentar en las aguas residuales, la forma de tratarlos es también muy amplia, y, por ende, las técnicas que se utilizan en estos procesos son diversas, estas se clasifican según su operación, en convencionales y alternativas. (Díaz, Alvarado y Camacho, 2012)

Al ser el agua un recurso indispensable para la vida se requiere su cuidado especial, sin embargo, su adecuado tratamiento es el mayor problema al que nos vemos enfrentados mundialmente, debido a que en la actualidad se ha recurrido a un sin número de investigaciones que contribuyan a la solución del problema. Teniendo en cuenta el diagnóstico y la situación actual de los 11 barrios hemos elaborado una propuesta en función a las características del sector, teniendo como prioridad mejorar la calidad de vida para las familias que habitan en la zona urbana de la parroquia La Joya de Los Sachas.

CAPÍTULO II

1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

2.1. Antecedentes.

Desde tiempos inmemoriales las diferentes culturas han utilizado las fuentes aledañas de aguas de su lugar de asentamiento para diferentes fines entre ellos para el consumo siendo este un líquido indispensable para la vida, al ser un recurso limitado, ha sido parte de una larga cadena en la cual es consumido y devuelto a la naturaleza. Al no contar con sistemas de depuración ni una cantidad excesiva de habitantes el agua usada llegaba a las fuentes naturales de agua y podía ser reutilizada por otros habitantes con mínimo riesgo de compuestos patógenos.

Sin embargo, con el pasar del tiempo la población al igual que las industrias han cambiado su nivel de vida y consumo, con ello generando mayor contaminación en las aguas que se devuelve a los cuerpos hídricos naturales sin que este tenga la capacidad para depurarla. El tratamiento de las aguas residuales nace por la necesidad de eliminar toda aquella sustancia o componente que pueda producir daños al medio ambiente y riesgos para la salud humana. "Su utilización comienza a finales del año 1,800 y principios del actual siglo, coincidiendo con la época de la higiene" (Cisneros, 2008).

El tratamiento de aguas residuales, para su disposición apropiada, constituye uno de los problemas de salud inherente a la actividad humana diaria. "Los procesos de tratamiento suponen inversiones de capital elevadas y altos costos de operación que la mayoría de las comunidades no están en capacidad de asumir ni de financiar" (Romero, 2000).

2.2. Aguas Residuales

"Expresa que las aguas residuales son aquellas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias" (Grefa, 2013). Según su origen, las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse

eventualmente al agua residual. (Romero, 2002)

2.3. Agua Residencial Doméstica.

Es la mezcla de los efluentes domésticos que consisten en aguas grises (baño y agua servidas de lavabo) y en aguas negras (orina, lodos fecales y excremento); agua de establecimientos comerciales e institucionales, incluidos hospitales; efluentes industriales, aguas pluviales y otras escorrentías urbanas; escorrentías agrícola, hortícola y acuícola. (Raschid y Jayakody, 2008)

Las aguas residuales domésticas están constituidas en un elevado porcentaje en peso por agua, cerca de 99.9% y apenas el 0.1% de sólidos suspendidos, colídales y disueltos. Esta pequeña fracción de solidos es la que presenta los mayores problemas en el tratamiento y su disposición. El agua es apenas el medio del transporte de los sólidos. Con el paso del tiempo el color cambia gradualmente de gris a negro, desarrollándose un olor desagradable. (Toalongo, 2012)

2.3.1. *Aguas Negras*

"Agua contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de vertidos humanos, orgánicos o animales. Su importancia es de tal manera que requiere de un sistema para poder ser desalojado y tratado" (Flores, 2016).

2.3.2. *Aguas Grises*

Son las aguas generadas al lavar alimentos, ropa y utensilios de cocina, así como de la regadera y la bañera. Pueden contener pequeñas cantidades de excremento y, por lo tanto, también contener patógenos. Las aguas grises abarcan aproximadamente el 60% de las aguas de disposición final producidas en las residencias con inodoros de agua. Contiene pocos patógenos y su contenido de nitrógeno es solo 10–20% del de las aguas negras. (CARE, 2012)

2.4. Componentes domésticos de las aguas residuales urbanas

La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece que las aguas residuales domésticas generadas especialmente en los baños es de 64%; el 40% corresponde a arrastre de excretas y orina, el 20% es generado por las duchas, el 4% pertenece al lavado

de manos; luego sigue en importancia el lavado de ropa con un 24% y en menor cuantía la limpieza de la casa y de utensilios con 4 y el 8% respectivamente.



Figura 1-2: Distribución del consumo de agua por actividad según la OMS.

Fuente. (Aguilar, Blanco, Lara y Velezmoro, 2014).

2.5. Características de las aguas residuales.

2.5.1. *Características Físicas*

- **Color:** Este puede variar de acuerdo con el tiempo, pero el patrón más común que suele presentar va del beige claro al negro. Esta coloración se encuentra determinada por la presencia de sólidos en el agua y debido a las condiciones de anaerobiosis y la descomposición de la materia orgánica. (Oropeza, 2006)

- **Olor:** El olor se produce por desprendimiento de gases de la descomposición de la materia orgánica presente en el agua residual. Una característica del olor es que las cantidades muy pequeñas de determinados compuestos pueden producir niveles elevados de olor; así como las aguas residuales frescas no presentan olores desagradables, y mientras que el tiempo avanza el olor aumenta, por desprendimiento de gases como sulfhídrico o compuestos amoniacales por descomposición anaerobia. (López, 2011)

- **Temperatura:** La temperatura del agua residual es por lo general mayor que la temperatura del agua para abastecimiento como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. Es un parámetro muy importante porque afecta directamente las reacciones químicas y las velocidades de reacción, la vida acuática y la adecuación del agua para fines benéficos. (Delgadillo, Camacho, Pérez y Andrade, 2010)

- **Turbidez:** Es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea remitida y no transmitida a través de la suspensión. La turbiedad en el agua puede ser ocasionada por una gran variedad de materiales en suspensión que varían en tamaño, desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otras arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos y microorganismos. (Romero, 2002)

- **Solidos totales:** Es el contenido total de la materia sólida en el agua, comprendiendo tanto materia orgánica como inorgánica, estos sólidos pueden encontrarse como: Sólidos Disueltos, Sólidos en Suspensión, Sólidos Sedimentables y Sólidos no Sedimentables.

  Los sólidos orgánicos proceden de la actividad humana, siendo de origen animal y/o vegetal, contienen principalmente C, H, O, así como N, S, P y K etc. Su característica es la posibilidad de degradación y descomposición por reacciones químicas o acciones enzimáticas de los microorganismos. Los sólidos inorgánicos son sustancias inertes y no degradables, tales como minerales arenas y tierras. (Flores, 2016)

2.5.2. *Características Químicas.*

- **Acidez y Alcalinidad:** "La acidez de un agua corresponde a la presencia de anhídrido carbónico libre, ácidos minerales y sales de ácidos fuertes y bases débiles. La alcalinidad de un agua corresponde a la presencia de los bicarbonatos y carbonatos de hidróxidos" (Rodas, 2007).

- **Dureza: "**La dureza del agua se entiende como una medida de su capacidad para

precipitar el jabón. El jabón es precipitado preferentemente por los iones calcio y magnesio" (Gutiérrez y Torres, 2013).

Se distingue tres tipos de dureza del agua como son Dureza Temporal que está determinada por el contenido de carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio que es equivalente a la alcalinidad total. Esta dureza se puede remover fácilmente con un simple proceso de ebullición. (Romero, 1999)

Tabla 1-2: Clasificación de las aguas por su Dureza.

Dureza mg/L de CaCO3	Clasificación
0 – 75	Agua Suave
75 a 150	Agua poco Dura
150 a 300	Agua Dura
>300	Agua muy dura

Fuente. Sierra 1987. (Análisis de Aguas y Aguas Residuales, Universidad de Antioquia, Medellín).

- **Grasas y Aceite:** El término grasa, de uso extendido, engloba las grasas animales, aceites, ceras y otros constituyentes presentes en las aguas residuales. Las grasas animales y los aceites son compuestos de alcohol ésteres glicerol (glicerina) y ácidos grasos. Los glicéridos de ácidos grasos que presentan un estado líquido a temperaturas normales se denominan aceites mientras que los que se presentan en estado sólido reciben el nombre de grasas.

  Químicamente son muy parecidos, y están compuesto por carbono, oxígeno, e hidrógeno en diferentes proporciones. Las grasas y aceites de animales alcanzan las aguas residuales en forma de mantequilla, manteca de cerdo, margarina y aceites y grasas vegetales. Grasas provienen habitualmente de carnes, gérmenes de cereales, semillas, nueces y ciertas frutas. (Flores, 2016)

- **Detergentes:** La estructura de los detergentes se compone de dos partes: una llamada lipofílica y la otra, hidrofílica.

  > Parte lipofílica: Tiene la afinidad con grasas y aceites y se encarga de ubicarlos cuando se aplica un detergente.

> **Parte hidrofílica:** Tiene la afinidad con el agua y les da a los detergentes la característica de mantener sus capacidades limpiadoras en el agua.

Por lo general se les atribuye a los detergentes la capacidad de modificar la tensión superficial del agua para llevar a cabo el proceso limpiador. Los detergentes contienen ácidos, fosfatos o álcalis y pueden llegar a utilizarse como elementos antisépticos. Tienen diferentes aplicaciones, que van desde los detergentes para lavar la ropa hasta detergentes para alfombras. (Quiminet, 2011)

- **Cloruros:** El ion cloruro (Cl-) es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua natural y residual. Las concentraciones de cloruro excesivas aumentan la velocidad de corrosión de los metales de los sistemas de distribución, aunque variarán en función de la alcalinidad del agua, lo que puede hacer que aumente la concentración de metales en el agua.

  El análisis del contenido de cloruros en aguas de abastecimientos públicos es un indicador de contaminación con aguas residuales ya que en las excretas humanas se eliminan cantidades casi iguales de cloruros a las ingeridas en la dieta, estas cantidades no sufren una alteración alguna en su trayecto por el sistema digestivo. (Gutiérrez y Torres, 2013)

- **Nitrógeno:** El nitrógeno es un elemento esencial para el crecimiento de plantas que junto con el fosforo constituyen los llamados nutrientes. En el agua residual el nitrógeno es de suma importancia ya que es necesario para el crecimiento de los microorganismos, y si no contiene suficiente nitrógeno pueden ocurrir dificultades en los tratamientos biológicos. Pero también el nitrógeno es un contribuyente especial para el agotamiento del oxígeno y la eutrofización de las aguas cuando se encuentra en elevadas concentraciones. (Grefa, 2013)

- **Fósforo:** "Es, junto con el nitrógeno, un nutriente esencial para el crecimiento de los microorganismos. No obstante, valores elevados pueden causar problemas de hipereutrofización en los cuerpos de agua lóticos (lagos, embalses, lagunas)" (Lozano, 2012).

- **pH:** El valor del pH es un parámetro de gran importancia para determinar la calidad del agua residual, debido a que el rango en el cual se desarrollan los procesos de tratamiento biológicos del agua corresponde a un intervalo estrecho y crítico (5.5 – 9.5), aunque determinados microorganismos pueden vivir a valores más extremos de los indicados. Se debe tener en cuenta que el pH del agua se ve afectada por la toxicidad de determinados productos químicos. (Sainz, 2005)

- **Gases:** Los gases que tienen presencia en la composición del agua residual se pueden clasificar en dos tipos, primero se ubican los gases que contenidos en toda agua expuesta al ambiente, estos son el nitrógeno, oxígeno y el anhídrido carbónico. Luego están los gases resultantes de la descomposición de la carga orgánica del agua residual, entre ellos los principales son el metano y el sulfuro de hidrogeno. (Espigares y Pérez, 2014)

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5):** Es la cantidad de oxígeno empleado por los microorganismos a lo largo de un período de cinco días para descomponer la materia orgánica de las aguas residuales a una temperatura de 20ºC. El DBO suele emplearse para comprobar la carga orgánica de las aguas residuales municipales e industriales biodegradables tratadas y sin tratar. (Rodas, 2007)

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO_2/l). (Freire, 2012)

2.5.1. *Características Biológicas*

- **Microorganismos:** Los principales grupos de organismos presentes en el agua residual como superficiales tenemos: organismos eucariotas, bacterias y arqueobacterias. Tanto en la naturaleza como en las plantas de tratamiento de aguas residuales, las bacterias cumplen un papel fundamental y de gran importancia en la descomposición y estabilización de la materia orgánica, por lo que es necesario conocer sus características, funciones, metabolismos y procesos

de síntesis. (Grefa, 2013)

- **Coliformes:** Son organismos patógenos que pueden existir en las aguas residuales son generalmente pocos y difíciles de aislar e identificar. Por esta razón, se prefiere utilizar los coliformes como organismo indicador de contaminación o, en otras palabras, como indicador de la existencia de organismos productores de enfermedades. (León, 2015)

  El grupo de coliformes totales, incluye los géneros *Escherichia* y *Aerobacter*. En general se considera el género *Escherichia*, especie *E. coli*, como la población de bacterias coliformes más representativa de contaminación fecal. El género *Aerobacter* y algunas *Escherichia* pueden crecer en el suelo.

  Lo cual implica que la presencia de coliformes no necesariamente representa la existencia de contaminación fecal humana. En la remoción de coliformes tiene efecto principal el tiempo de retención, la temperatura, la radiación ultravioleta, la concentración algar y el consumo por protozoos. (Vargas, 2012)

- **Algas:** Son de mucha importancia en lagunas de estabilización ya que la capacidad de las algas para generar oxigeno por fotosíntesis es vital para la ecología del medio ambiente acuático. Para que una laguna de oxidación aerobia o facultativa funcione adecuadamente, la presencia de algas es necesaria para suministrar el oxígeno a las bacterias heterótrofas aerobias. (Flores, 2016)

2.6. Características fisicoquímicas y biológicas de las aguas residuales domésticas.

La composición de las aguas residuales se refiere a las cantidades de constituyentes físicos, químicos y biológicos presentes en las aguas residenciales. La (Tabla 2-2) presenta datos típicos de los constituyentes encontrados en el agua residual doméstica. En función de las concentraciones de estos constituyentes, podemos clasificar como concentrada, media o débil. Tanto los constituyentes como sus concentraciones presentan variaciones en función a la hora del día, el día de la semana, el mes del año y otras condiciones locales, por ello estos datos pretenden servir de guía y no como base de

proyecto. En general, los constituyentes citados en la (Tabla 2-2) son aquellos cuyo análisis se suele hacer de forma más o menos rutinaria (Metcalf y Eddy, 1995)

Tabla 2-2: Composición típica del agua residual doméstica bruta.

Composición típica del agua residual doméstica bruta				
Contaminantes		**Concentración**		
	Unidad	**Débil**	**Media**	**Fuerte**
Sólidos Totales (ST)	mg/L	350	720	1200
Disueltos, totales (SDT)	mg/L	250	500	850
Fijos	mg/L	145	300	525
Volátiles	mg/L	105.5	200	325
Sólidos en suspensión (SS)	mg/L	100	220	350
Fijos	mg/L	20	55	75
Volátiles	mg/L	80	165	275
Sólidos sedimentables	mg/L	5	10	20
Demanda bioquímica de oxígeno, 5 días, 20°C (DBO5, 20°C)	mg/L	110	220	400
Carbono orgánico total (COT)	mg/L	80	160	290
Demanda química de oxígeno	mg/L	250	500	1,000
Nitrógeno (total en la forma N)	mg/L	20	40	85
Orgánico	mg/L	8	15	35
Amoníaco libre	mg/L	12	25	50
Nitritos	mg/L	0	0	0
Nitratos	mg/L	0	0	0
Fósforo (total en la forma P)	mg/L	4	8	15
Orgánico	mg/L	1	3	5
Inorgánico	mg/L	3	5	10
Cloruros	mg/L	30	50	100
Sulfato	mg/L	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO3)	mg/L	50	100	200
Grasa	mg/L	50	100	150
Coliformes totales	n.°/100 mL	10^6 - 10^7	10^7 - 10^8	10^7 - 10^9
Compuestos orgánicos volátiles	µg/l	< 100	100-400	> 400

Fuente. Metcalf y Eddy 1995. (Ingeniería de Aguas Residuales. Redes de Alcantarillado y Bombeo).

2.7.Tipos de Tratamiento

2.7.1. *Pretratamiento.*

El pretratamiento, aunque no se considera un tratamiento con el que se logre reducir la carga contaminante de los vertidos, si desempeña un papel fundamental en la medida en que elimina elementos que pueden causar descensos en la eficiencia del tratamiento y, quizá lo más importante, protege los equipos, partes y unidades de la depuradora de daños que pueden resultar funestos para el funcionamiento de la planta y del sistema de evacuación y transporte de aguas residuales, en general. (Lozano, 2012)

2.7.2. *Tratamiento Primario.*

Son operaciones físicas en el cual consiste en sedimentar la materia orgánica debido a la fuerza de la gravedad, con esto se produce la eliminación de los sólidos suspendidos. La remoción por lo general se lleva a cabo mediante el método de sedimentación y es considerada como la antesala del tratamiento secundario. Las cifras de remoción de aguas residuales municipales en la Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO5) es del 30% y en los sólidos suspendidos es del 60%. (Noyola, Morgan y Guereca, 2013)

2.7.3. *Tratamiento Secundario.*

El tratamiento secundario, conocido también como depuración o tratamiento biológico de las aguas residuales, es entendido como la eliminación de contaminantes mediante la actividad biológica de los microorganismos presentes en los reactores. La materia orgánica en suspensión y disuelta es convertida, mediante procesos de oxidación química, en biomasa y sólidos inorgánicos sedimentables. El tratamiento secundario o biológico busca remover, especialmente, la DBO soluble y los remanentes de materia en suspensión que escaparon del tratamiento primario. (Lozano, 2012)

2.7.4. *Tratamiento Terciario o Avanzado.*

Es un tratamiento que tiene la finalidad de eliminar compuestos suspendidos, nutrientes y la materia orgánica remanente no biodegradable. Este tratamiento es utilizado cunado deben cumplirse condiciones de descargas estrictas (remoción de nutrientes) o cuando el agua tratada está destinada a un uso en específico. (Noyola, Morgan y Guereca , 2013)

Tabla 3-2: Unidades de Tratamiento de Aguas Residuales.

Clasificación	Unidad de Tratamiento	Descripción
Pretratamiento	• Cribado • Desarenador • Desengrasador	Es el conjunto de unidades que tiene como finalidad de eliminar materiales gruesos, que podrían perjudicar el sistema de conducción de la planta.
Tratamiento primario	• Tanque Imhoff	La finalidad es de remover sólidos suspendidos removibles por medio de sedimentación, filtración, flotación y precipitación.
Tratamiento secundario	• Filtro percolador · • Decantador Secundario	La finalidad es de remover material orgánico y en suspensión. Se utiliza procesos biológicos, aprovechando la acción de microorganismos, que en su proceso de alimentación degradan la materia orgánica.
Tratamiento terciario	• Desinfección de radiación ultravioleta	Es el grado de tratamiento necesario para alcanzar una calidad fisicoquímica biológica alto para cuerpos de agua receptores sensitivos o ciertos tipos de reúso. Es el tratamiento adicional para remover patógenos.

Fuente. Ayala, R y Gonzáles, G (2008). Apoyo Didáctico de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

2.8. Normativa ambiental Vigente.

El estado ecuatoriano para controlar los límites de descargas de aguas residuales domésticas a un cuerpo de agua dulce establece mediante el Acuerdo Ministerial 097-A, de la Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA) un conjunto de valores máximos permisibles, el cual las plantas de depuración deben cumplir al momento de realizar una descarga de agua a un cuerpo receptor. Las concentraciones corresponden a valores medios diarios.

Tabla 4-2: Límites máximos permisibles para descargas de agua dulce para un agua residual doméstica.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/L	30
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 mL	2,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	DBO5	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	200
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Nitrógeno Amoniacal	N	mg/L	30
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/L	50
Potencial de Hidrógeno	pH		5 - 9
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	°C		Condición natural ± 3

Fuente. *(Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, 2015).*

2.9. Climatología.

El clima resulta de la interacción de diferentes atmósferas, biofísicos y geográficos que pueden cambiar en el tiempo y el espacio. Estos factores pueden ser la temperatura, precipitación, presión atmosférica, viento, humedad, latitud, altitud, la distancia al amar, el calor, las corrientes oceánicas, los ríos y la vegetación.

El clima de una zona se define mediante datos estadísticos de un período de tiempo mínimo de información climatológica (10 años), con lo que se pretende caracterizar la variación espacial y temporal de cada una de las variables climatológicas que cuenten con información confiable. (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, 2015)

CAPÍTULO III

1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

3.1. Localización.

En la provincia de Orellana se encuentra localizado la parroquia La Joya los Sachas que cuenta con una superficie de 1,205.6 Km^2 (0.5% del territorio nacional); limita al norte y al este con la provincia de Sucumbíos, al sur y oeste con el Cantón Puerto Francisco de Orellana, formando parte de la cuenca del río Napo. (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, 2015)

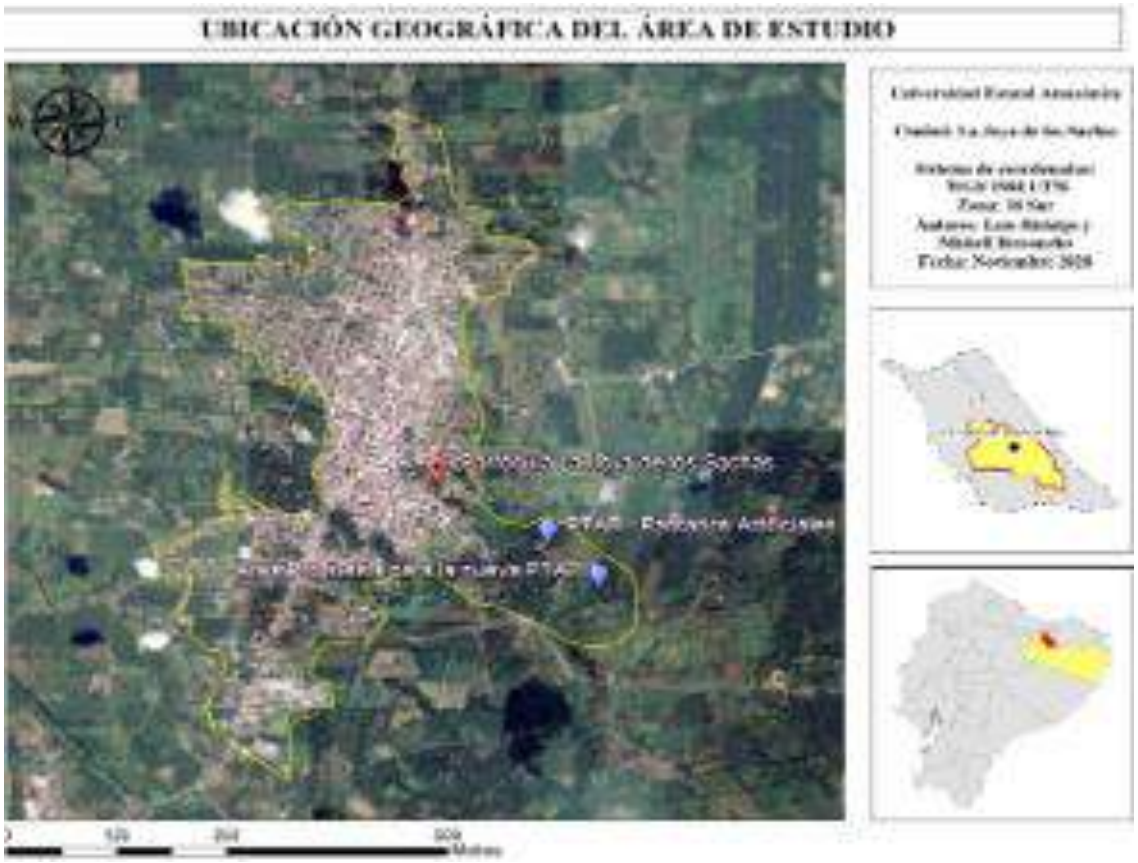


Figura 2-3: Ubicación del Área de estudio.

Realizado por: Mishell Reisancho y Luis Hidalgo, 2020.

(Cordova, 2013) afirma que la población de los 11 barrios en el cual se llevó a cabo el proyecto es de 4,394 habitantes según el último censo de población y vivienda, realizado por Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal (GADMJS) en el año 2,012. Para el año 2,020, se cuenta con una población de 7,837 habitantes. Esta población se distribuye en la zona urbana, con una tasa de crecimiento anual de 7.5%, según el nuevo límite urbano (Dirección de Planificación) se tiene un área total de 87.79 (ha). En

esta superficie se considera el área de algunos barrios y lotizaciones con baja densidad poblacional, pero con alto potencial de desarrollo En la (Tabla 5-3), se detalla el área de cada uno de los barrios de estudio, al igual que el número de habitantes.

Tabla 5-3: Número de habitantes por barrio.

Barrio	Área (ha)	Población (hab)
Amazonas	13.47	1,044
Alborada	12.14	443
1° de Mayo	20.19	1,042
5 de Agosto	0.87	27
Luz de América	20.03	584
Central	0.63	63
Jaime Roldós	6.32	453
Machala	1.58	100
Oscar Romero	6.12	246
Lot. Olalla	0.71	57
5 de Junio	5.73	335
Total	**87.79**	**4,394**

Fuente. (Cordova, 2013).

3.2. Tipo De Investigación.

La presente propuesta para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas para la parroquia La Joya de los Sachas, provincia de Orellana, se realizó mediante un proyecto de investigación Exploratoria cualitativa documental, debido a la presente pandemia por la que atraviesa el mundo nos limita a realizar un estudio de campo, la información del lugar fue encontrada mediante revisión bibliográfica.

Dicha información nos brinda un conocimiento más amplio sobre la problemática de la zona para dar una propuesta eficiente de un sistema de tratamiento de aguas residuales, que esté acorde a las necesidades de los 11 barrios urbanos de la parroquia anteriormente mencionados y cumpla con el reglamento para las descargas en cuerpos de agua dulce. Con la información recopilada sobre la problemática existente en la parroquia, se plantea una propuesta para el tratamiento de aguas residuales domesticas que beneficien a los habitantes del sector mientras se precautelan los recursos naturales.

3.3. Método De Investigación.

La presente investigación se realizó mediante el desarrollo de varios métodos como:

- **El método de observación:** Este método se utilizó para la recolección de información bibliográfica de forma sistemática para que esta pueda ser confiable e identificar las características del lugar logrando establecer una idea clara de la viabilidad de la propuesta del diseño e implementación.

- **El método comparativo:** Se utilizó para comparar la información obtenida por parte del municipio con la de otros autores para identificar el sistema más adecuado para el tratamiento de aguas residuales, tomando en cuenta las características y factores del lugar.

3.4. Diagnóstico de las condiciones demográficas y ambientales actuales en el marco del manejo de las aguas residuales.

3.4.1. *Situación Actual De Las Aguas Residuales de los 11 barios.*

Las aguas residuales de los 11 barrios son principalmente de origen doméstico, debido a que no existe industrias en la zona, mayormente son aguas provenientes de locales comerciales, tiendas, hoteles, viviendas, etc. Estas aguas son dirigidas a la planta de tratamiento “Pantanos Artificiales”, la cual ha estado en funcionamiento durante ocho años, sin embargo, debido a diferentes factores ha tenido un pronto deterioro en su funcionamiento lo cual ha provocado que no se abarque con la depuración de las aguas residuales que ingresan a la planta.

3.4.2. *Número De Habitantes.*

Para poder obtener la información del número de habitantes de los 11 barrios se realizaron entrevistas al jefe del área del departamento de aguas del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de La Joya de los Sachas (GADMJS), el cual nos comentó sobre el estado actual de las aguas residuales de la parroquia La Joya de los Sachas. Además, nos hizo la entrega de un documento digital, en el cual consta el número de habitantes encontrados por cada barrio en el año 2,012, con su respectivo valor de tasa de crecimiento.

3.4.3. *Climatología de Área de Estudio.*

Para obtener la información de la climatología de La Joya de los Sachas se realizaron consultas bibliográficas en la estación meteorológica más cercana a la zona de estudio, de las cuales, se escogieron los datos de la Estación Coca – Aeropuerto. Estos datos meteorológicos se obtuvieron mediante un estudio de Actualización y Fortalecimiento del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorrial (PDyOT) del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de La Joya de los Sachas (GADMJS). La estación Coca – Aeropuerto perteneciente a la Dirección General de Aviación Civil (GDAC), se encuentra localizada en el Aeropuerto de Puerto Francisco de Orellana. Con estos datos, podemos estimar la variación de temperatura, así mismo, los meses del año en el cual las precipitaciones tienden a subir y a bajar sucesivamente.

3.4.4. *Composición Del Agua Residual Doméstica.*

Los datos de la composición del agua residual doméstica bruta se obtuvieron mediante el libro de Ingeniería de Aguas Residuales de Red de Alcantarillado y Bombeo (Metcalf y Eddy, 1995), de las tesis de (Chimbo y Montero, 2018), cuyos análisis de agua fueron realizados en la parroquia San Luis de Armenia, correspondiente a Francisco de Orellana, de la tesis de (Andrade, 2015) correspondiente a la cabecera cantonal de Nueva Loja y de la tesis de (Vinueza, 2014) que realizó sus análisis en Francisco de Orellana respectivamente, cuyos lugares tienen características climatológicas similares a la zona de diseño del presente proyecto. Los autores realizaron una caracterización física, química y microbiológica de las aguas residuales domésticas.

El libro de Metcalf y Eddy es una guía internacional que expresa los análisis físicos, químicos y microbiológicos mediante valores de concentración fuerte, media y débil de los parámetros de muestras de agua que se encuentran presentes en el agua residual doméstica.

3.5. Análisis de diferentes alternativas para el tratamiento secundario de las aguas residuales domésticas generadas por los 11 barrios que conforman la parroquia La Joya de Los Sachas.

Para el cumplimiento del objetivo dos, se analizó el tratamiento secundario o biológico de las aguas residuales domésticas. Comprende una serie de reacciones

complejas de digestión y fermentación efectuadas por un huésped de diferentes especies bacterianas, el resultado neto es la conversión de materiales orgánicos en CO2 y gas metano, este último se puede separar y quemar como una fuente de energía. (Viteri, 2012)

3.5.1. *Selección de la alternativa.*

En busca de encontrar la mejor alternativa que se encargue de la depuración de materia orgánica en el tratamiento secundario o biológico de las aguas residuales domésticas de los 11 barrios de La Joya de los Sachas se realizaron consultas bibliográficas y entrevistas a expertos, de las cuales, se obtuvieron las siguientes alternativas de tratamiento (lodos activados de tipo aireación prolongada, filtro percolador o lecho bacteriano y Humedal de flujo vertical subsuperficial).

3.5.2. *Criterios de selección.*

Mediante un análisis realizado por los autores conjuntamente con el tutor de la investigación en busca de encontrar la mejor opción para el tratamiento secundario o biológico de las aguas residuales domésticas, se estableció una matriz con los siguientes parámetros de medición, el cual nos permitirá comparar y determinar al tratamiento óptimo que se acople a las necesidades de la parroquia.

- **Remoción de carga orgánica:** Para determinar la opción más viable en el tratamiento secundario o biológico, las alternativas seleccionadas deben eliminar la mayor cantidad posible de carga orgánica (DBO5) que se encuentran presentes en el agua residual doméstica.

- **Consumo de energía:** En este criterio, se debe tomar en cuenta el tipo de tratamiento secundario que genera un menor consumo energético. Con esta selección podemos ahorrar no solo en el consumo de energía que tendría el tratamiento para su funcionamiento, sino también se ahorraría el presupuesto de construcción del proyecto.

- **Costo de inversión:** Al momento de seleccionar la mejor alternativa se tomaron en cuenta las características del lugar al igual que el costo de los tratamientos secundarios biológicos que son necesarios para su instalación y funcionamiento,

los cuales no deben alcanzar altos costos ya que la población no cuenta con suficiente presupuesto.

- **Cantidad de espacio requerido:** Este parámetro es muy importante debido a que se analizó la cantidad de extensión requerida para el funcionamiento de cada uno de los tratamientos secundarios biológicos.

- **Costos de mantenimiento:** Para medir este criterio, se tomaron en cuenta la facilidad de mantenimiento que tiene cada tratamiento secundario, equipo, así mismo, en caso de existir algún problema con el funcionamiento del tratamiento, se determinó el costo de mantenimiento.

- **Complejidad de operación:** En este criterio se evaluó la operación de cada uno de los tratamientos secundarios biológicos, el cual se determinó el proceso que tiene una operación de funcionamiento sencillo.

La (Tabla 6-3) estable tres alternativas en cuanto a condiciones y valores para poder determinar matemáticamente cual sería la mejor opción para el tratamiento secundario del proyecto.

Tabla 6-3 Estimación de valores referenciales para los parámetros de la alternativa más adecuada.

Condiciones	Valor
Condición más favorable	1
Condición intermedia	0.5
Condición más negativa	0.1

Elaborado por: Peñafiel Pedro, Hidalgo Luis y Reisancho Mishell, 2020.

La (Tabla 7-3) indica una matriz de toma de decisiones para encontrar la alternativa más adecuada para el tratamiento secundario o biológico del diseño del proyecto propuesto. Los valores obtenidos en las columnas de la matriz fueron sumados para obtener un valor total de rendimiento. La sumatoria que obtuvo el mayor número fue el Filtro Percolador, siendo esta la alternativa óptima para el tratamiento secundario, tomando en consideración los parámetros expuestos a continuación.

Tabla 7-3: Matriz para la toma de decisiones.

Alternativas / **Criterios**	**Lodos Activados de tipo aireación prolongada**	**Filtro Percolador**	**Humedal de flujo vertical subsuperficial**
	Condición	Condición	Condición
Remoción de carga orgánica			
Costos de inversión			
Costos de mantenimiento			
Espacio			
Complejidad de operación			
Consumo energético			
Total			

Elaborado por: Peñafiel Pedro, Hidalgo Luis y Reisancho Mishell, 2020.

3.6. Dimensionamiento de todas las etapas propuestas en la alternativa de tratamiento escogida en conjunto con sus costos de inversión.

3.6.1. *Criterios de diseño.*

3.6.1.1.Dotación (D).

Para obtener la información de la dotación de los 11 barrios urbanos, se realizó un oficio al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de La Joya de los Sachas (GADMJS) solicitando que nos brinde dicha información, en respuesta al oficio se obtuvo la entrega de un documento digital en donde se proporcionó la información solicitada, obteniendo una dotación de 160 (L/hab.día).

3.6.1.2.Estimación de la Población Futura mediante el Método Geométrico (Pf).

Para la elaboración del diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas es fundamental realizar una estimación de la población futura. Para conocer la población futura de los 11 barrios se optó por realizar el cálculo mediante el método geométrico debido a que es útil en poblaciones que generen un apreciable desarrollo y que cuentan con importantes áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades. Para el cálculo se tomó como punto de partida el último censo poblacional de los 11 barrios urbanos de La Joya de los Sachas del año 2,012 con el que se pudo establecer la proyección poblacional para el año 2,020 al igual que para el

año de 2,040, año de diseño de vida útil de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), utilizando la Ecuación (1).

(Secretaria de Agua, 2012) en la Normativa para el Estudio y Diseño de Sistema de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1,000 habitantes afirma: "Establece que un periodo de diseño debe ser por lo menos de 15 años y se considera que la vida útil de los equipos es usualmente de 10 a 20 años". Para obtener el máximo provecho a la planta se realizó un análisis entre los autores conjuntamente con el apoyo del tutor llegando a la conclusión de establecer un periodo de tratamiento útil durante un periodo de diseño para 20 años.

$$\boldsymbol{Pf = Po * (1 + r)^n} \qquad \textbf{(1)}$$

Donde:

$\boldsymbol{Po}$ = Población actual *(hab)*.

$\boldsymbol{r}$ = Tasa de crecimiento anual de la población *(%)*.

$\boldsymbol{n}$ = Intervalo en años.

3.6.1.3.Coeficiente De Retorno (C_R)

"El coeficiente de retorno es la fracción porcentual del consumo total de agua potable que es usada en el hogar (e.g. descarga de sanitarios, ducha, lavado de manos) y que se transforma en agua residual" (Lozano, 2012). El porcentaje del coeficiente de retorno se obtuvo mediante la Normativa para el Estudio y Diseño de Sistema de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1,000 habitates estima un valor entre 70 al 85%, pero usualmente se utiliza 80%. (Secretaria de Agua, 2012)

Rango usual para este parámetro	0.70 – 0.85
Valor recomendado para este parámetro	0.80

3.6.1.4.Caudal doméstico (Q_{dom}).

El caudal domestico se obtuvo a partir de la dotación diaria de agua potable que proporciona el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de La Joya de los Sachas (GADMJS) a las viviendas para el uso de actividades cotidianas tomando en cuenta la

demanda, para ello se utilizó la Ecuación (2); los datos de consumo fueron otorgados por el (GADMJS). La fórmula para calcular el caudal doméstico se obtuvo de (Lozano, 2012).

$$\boldsymbol{Q_{dom} = D * P * C_R} \quad \textbf{(2)}$$

Donde:

$\boldsymbol{D}$ = Dotación de agua potable consumida por habitante y por día *(L/hab. día).*

$\boldsymbol{P}$ = Número de habitantes *(hab).*

$\boldsymbol{C_R}$ = Coeficientes de retorno *(adimensional).*

3.6.1.5.Caudal Industrial (Q_{ind}).

Es el caudal que proviene de las industrias, por lo general tiene altas cargas de concentración de Demanda Química de Oxígeno (DQO). Pueden estimarse unos valores de aporte de aguas residuales industriales de entre 0.4 a 1.5 (L/s) por hectárea de suelo de uso industrial, dependiendo del nivel de industrialización de la población (mayores valores para ciudades con mayores industrias). (Lozano, 2012)

3.6.1.6.Caudal comercial (Q_{com}).

(Lozano, 2012) afirma. "Es el caudal proveniente de los locales comerciales, puede adoptarse un valor de 0.5 (L/s) por hectárea de suelos de uso comercial como tiendas, supermercados, restaurantes". Se calculó con la Ecuación (3).

$$\boldsymbol{Q_{com} = A * 0.5\ \frac{L}{s}} \quad \textbf{(3)}$$

Donde:

$\boldsymbol{Q_{com}}$ = Caudal comercial de aguas residuales *(L/s).*

$\boldsymbol{A}$ = Área de suelo de uso comercial (m^2).

3.6.1.7.Caudal institucional (Q_{ins}).

"Puede adoptarse un valor de 0.5 (L/s) por hectárea de suelos de uso institucional el cual puede estar conformado por instituciones gubernamentales como hospitales, municipales u educativas, al igual que por instituciones privadas" (Lozano, 2012). Se calculó con la Ecuación (4).

$$Q_{ins} = A * 0.5 \frac{L}{s} \quad (4)$$

Donde:

Q_{ins} = Caudal institucional de aguas residuales *(L/s).*

$A =$ Área de suelo de uso comercial (m^2).

Tabla 8-3: Uso del suelo Comercial e Institucional.

Barrios	Área (ha)	Locales Comerciales (ha)	Instituciones (ha)
Amazonas	13.47	2	1.5
1ro de Mayo	20.19	2.3	2.33
Alborada	12.14	1.2	0.75
5 de Agosto	0.87	0	0
Luz de América	20.03	2.5	3
Central	0.63	0.5	0
Machala	1.58	0.25	0
Oscar Romero	6.12	1.6	0.4
Lot. Olalla	0.71	0	0
5 de Junio	5.73	0.3	0.4
Jaime Roldós	6.32	0.4	1.5
Total	**87.79**	**11.05**	**9.88**

Fuente: (Moscoso, 2013).

3.6.1.8.Caudal Medio Diario (Q_{md}).

Lozano (2012) afirma: Es el consumo obtenido en un periodo de 24 horas como resultado del consumo diario, conformado por caudal doméstico, conexiones e infiltración; para el cálculo se tomó como referencia a la Ecuación (5) de Fundamentos de Diseño de Plantas Depuradoras de Aguas Residuales. El caudal que se tomó en consideración es el doméstico, por el motivo que en la parroquia donde se realiza el estudio existe la presencia de viviendas, centros comerciales, instituciones públicas, etc.

$$Q_{md} = Q_{dom} + Q_{ind} + Q_{ins} + Q_{com} \quad (5)$$

Donde:

Q_{dom} = Caudal domestico de aguas residuales *(L/s).*

$\boldsymbol{Q_{ind}}$ = Caudal industrial de aguas residuales *(L/s).*

$\boldsymbol{Q_{ins}}$ = Caudal institucional de aguas residuales *(L/s).*

$\boldsymbol{Q_{com}}$ = Caudal comercial de aguas residuales *(L/s).*

3.6.1.9.Caudal de Infiltración (Q_{inf}).

"El caudal de infiltración se genera mediante las aguas que ingresan a una red de alcantarillado sanitario mediante juntas mal confeccionadas o de las paredes de los pozos de revisión" (Aldás, 2011). Dependiendo de estos parámetros se pudo determinar la facilidad con la que el agua se infiltra por el suelo. El caudal de infiltración se obtiene mediante la Ecuación (6).

$$\boldsymbol{Q_{inf} = 0,2\ \frac{L/s}{ha} * A} \qquad \textbf{(6)}$$

Donde:

A= Área de proyecto *(ha).*

3.6.1.10. Conexiones Erradas ($Q_{c.err}$).

"Las conexiones erradas (drenajes de aguas lluvias conectados a la red sanitaria en zonas donde hay alcantarillado separado), pueden sumar al flujo de aguas residuales, unos 0.2 (L/s*ha)" (Lozano, 2012). El caudal de las conexiones erradas o ilícitas se refiere a la posibilidad que ingresan aguas lluvias ilícitas a través de conexiones prohibidas ubicadas dentro de patios, de jardinerías, desde las cubiertas e inclusive a través de las tapas de los pozos o cajas de revisión del alcantarillado sanitario (Aldás, 2011). Para determinar el caudal conexiones erradas se obtuvo mediante con la Ecuación (7).

$$\boldsymbol{Q_{c.err} = 0.2\frac{L/s}{ha} * A} \qquad \textbf{(7)}$$

Donde:

A= Área de proyecto *(ha).*

3.6.1.11. Caudal de Diseño (Q_{dis}).

El caudal por utilizarse para el diseño de los colectores de aguas residuales es el resultante de la suma de los caudales de aguas residuales domésticas, comerciales e industriales, los

cuales son el resultado de la Ecuación (8) y de los caudales de infiltración y conexiones erradas. (Tenecota, 2015)

$$\boldsymbol{Q_{dis} = Q_{md} + Q_{inf} + Q_{c.err}} \qquad \textbf{(8)}$$

Donde:

$\boldsymbol{Q_{md}} =$ Caudal medio (*L/s).*

$\boldsymbol{Q_{inf}} =$ Caudal de infiltración (*L/s).*

$\boldsymbol{Q_{c.err}} =$ Caudal de conexiones erradas (*L/s).*

3.6.1.12. Caudal Mínimo (Q_{min}).

Este caudal suele ser inferior al caudal en promedio día, para su cálculo se tomó en cuenta la población de diseño para el año 2,040, misma que consta en la Ecuación (1), con un resultado de 33,290 habitantes esta cantidad comprende a los 11 barrios de la parroquia La Joya de los Sachas, teniendo un tamaño de población mediana. La fórmula para determinar el caudal mínimo se detalla en la (Tabla 9-3).

Tabla 9-3: Fórmulas empíricas para el cálculo del caudal mínimo.

Tamaño de la Población	**Caudal Mínimo (Q_{min})**
Pequeña (< 20,000 h-eq)	0.30 * Q_{dis}
Mediana (20,000 – 60, 000 h-eq)	0.45 * Q_{dis}
Grande (60,000 h-eq)	0.60 * Q_{dis}
Cualquier tamaño de Población	$Q_p = Q_{md} * (1.2 + \frac{2.6}{(Q_{md})^{0.25}})$

Fuente. (Lozano, 2012).

$$\boldsymbol{Q_{min} = 0.45 * Q_{med}} \qquad \textbf{(9)}$$

Donde:

$\mathbf{Q_{md}} =$ Caudal medio (*L/s).*

3.6.1.13. Caudal Punta (Q_{pun}).

Es el caudal horario punta que se da en un período de 24 horas, obtenido a partir de los

datos de explotación anuales. Para establecer el caudal de punta utilizamos el resultado de las Ecuación (8), la ecuación es escogida de acuerdo con la población de diseño que se estableció en la Ecuación (1), la cual tiene un tamaño de población mediana.

Tabla 10-3: Fórmulas para estimar el caudal de Punta.

Tamaño de la Población	Caudal de Punta
Pequeña (< 20,000 h-eq)	$Q_{pun} = 5 * Q_{dis}$
Mediano (20,000 – 60,000 h-eq)	$Q_{pun} = 3 * Q_{dis}$
Grande (<60,000 h-eq)	$Q_{pun} = 2 * Q_{dis}$

Fuente. (Lozano, 2012).

$$\boldsymbol{Q_{pun} = 3 * Q_{dis}} \qquad \textit{(10)}$$

Donde:

$\mathbf{Q_{dis}} =$ Caudal de diseño (*L/s).*

3.6.1.14. Caudal Máximo (Q_{maxd}).

"Es el registrado durante 24 horas, se utiliza como base la información obtenida durante el transcurso de todo el año" (Ortega, 2015). Este consumo también puede ser evaluado como el consumo máximo que se da por habitante en un día de máximo consumo, se calculó con el resultado obtenido del caudal de punta como lo indica en la Ecuación (10). Para obtener el caudal máximo se calculó con la Ecuación (11).

$$\boldsymbol{Q_{maxd} = Q_p * 2} \qquad \textit{(11)}$$

Donde:

$\mathbf{Q_p} =$ Caudal punta (*L/s).*

3.6.2. *Pretratamiento.*

3.6.2.1. Canal de Entrada.

"El canal de entrada es la estructura en la cual descarga la tubería del colector de conducción en la planta" (Galeano y Vivian, 2016). Por lo general el diseño de este canal es de forma rectangular el cual debe contar con un acceso adecuado para dar cabida a solidos que llegue y separarla mediante rejillas del agua residual.

Parámetros de partida:

Tabla 11-3: Criterios de diseño para el canal de entrada.

Parámetro	Valor o rango
Altura mínima de lámina de agua.	0.3 (m) (a caudal medio).
Velocidad de flujo en el canal.	0.6 a 1.0 (m/s) (caudal medio).
Borde libre por encima del caudal punta al final del periodo de diseño).	0.3 a 0.4 (m).
Coeficiente de rugosidad de Manning.	0.014 (independientemente del material de construcción).
Largo (valor adoptado).	1 (m)
Ancho (valor adoptado).	0.5 (m)

Fuente. (Lozano, 2012).

Parámetros de Cálculo:

- **Área (*A*).**

Para obtener las dimensiones rectangulares del canal de entrada se utilizó la fórmula de Manning. Con esta fórmula se debe tomar en consideración que tanto el ancho y la profundidad sean mínimos, con un área vertical que sobrepase a las dimensiones del colector de aguas residuales que es conducido por el caudal hacia la planta de depuración Lozano (2012). El área se calculó con la Ecuación (12).

$$\boldsymbol{A = \left(\frac{Q_{dis}}{V}\right)} \qquad \textbf{(12)}$$

Donde:

$\boldsymbol{Q_{dis}} =$ Caudal de diseño (m^3/s)

$\boldsymbol{A} =$ Área transversal (m^2)

- ***Radio Hidráulico (R_h).***

$$\boldsymbol{R_h = \left(\frac{A}{b + 2y}\right)} \qquad \textbf{(13)}$$

Donde:

$\boldsymbol{A}$ = Área (m^2)

$\boldsymbol{b}$ = Largo (m).

$\boldsymbol{y}$ = Ancho (*m).*

- ***Pendiente (S).***

"La Ecuación (14) de Manning es la más idónea para el cálculo de velocidad debido a que tiene resultados satisfactorios, la cual establece" (Lozano, 2012).

$$\boldsymbol{S} = \left(\frac{\boldsymbol{V} * \boldsymbol{n}}{\boldsymbol{R_h}^{\frac{2}{3}}} \right)^{\mathbf{2}} \qquad \textbf{(14)}$$

Donde:

$\boldsymbol{V}$ = Velocidad de flujo en el canal *(m/s).*

$\boldsymbol{R_h}$ = Radio Hidráulico *(m).*

$\boldsymbol{n}$ = Coeficiente de rugosidad de Manning.

3.6.2.2.Pozo de Gruesos

El pozo de gruesos es una zona del canal de llegada donde al ensancharse su sección se aumenta el tiempo de retención hidráulico (menor velocidad de desplazamiento del agua) hasta valores suficientemente bajos para que se depositen en su fondo los sólidos de gran tamaño y mayor densidad que el agua. (Fuentes, 2012)

Parámetros de partida:

- **Caudal de diseño *(Q_{dis}):*** *"*Caudal adoptado como base para el cálculo de los diferentes procesos" (Fuentes, 2012).

- **Caudal máximo *($Q_{máx}$)*:** "Es el caudal máximo que puede tratar la planta" (Fuentes, 2012).

- **Tiempo medio de residencia a caudal de diseño *(t_r)*:** "Tiempo medio que permanecerá el agua residual en la balsa cuando el caudal tratado coincide con el caudal de diseño" (Fuentes, 2012).

Rango usual para este parámetro	1 – 4
Valor recomendado para este parámetro	4

- **Velocidad ascensional a caudal de diseño (v_a):** "Velocidad media a la que asciende el agua por una superficie igual a la de la balsa cuando el caudal tratado coincide con el caudal de diseño" (Fuentes, 2012).

Rango usual para este parámetro	0.5 – 3
Valor recomendado para este parámetro	1

- **Relación longitud/anchura del pozo (r_{pozo}):** "Resultado de dividir la longitud de la balsa entre la anchura de la balsa" (Fuentes, 2012).

Rango usual para este parámetro	1 – 3
Valor recomendado para este parámetro	1

- **Metros cúbicos de arena y residuos por cada 1,000 metros cúbicos de agua residual a caudal de diseño ($r_{diseño}$):** "Metros cúbicos de arena y residuos que se recogen en el pozo de gruesos por cada 1,000 metros cúbicos de agua residual que atraviesa el pozo de gruesos cuando el caudal tratado coincide con el caudal de diseño" (Fuentes, 2012).

Rango usual para este parámetro	0.1 – 1
Valor recomendado para este parámetro	0.55

- **Metros cúbicos de arena y residuos por cada 1,000 metros cúbicos de agua residual con tormenta ($t_{diseño}$):** "Metros cúbicos de arena y residuos que se recogen en el pozo de gruesos por cada 1,000 metros cúbicos de agua residual que atraviesa el pozo de gruesos cuando hay tormenta. En este caso utilizaremos un valor de 1.30" (Fuentes, 2012).

Parámetros de Cálculo:

- **Volumen útil (V_{util}):** "Volumen útil del pozo de gruesos sin considerar resguardo (distancia desde la lámina de agua a la coronación del muro) ni tolva de almacenamiento de arena situada en el fondo del pozo" (Fuentes, 2012). Se calculó con la Ecuación (15)

$$\boldsymbol{V_{util} = (tr * Q_{dis})} \qquad \textbf{(15)}$$

Donde:

$\boldsymbol{tr} =$ Tiempo de residencia a caudal de diseño *(min).*

$\boldsymbol{Q_{dis}} =$ Caudal de diseño *(m^3/h).*

- **Superficie *(S)*: "**Superficie de rejas finas" (Fuentes, 2012).. Se calculó con la Ecuación (16)

$$\boldsymbol{S = \left(\frac{Q_{dis}}{V_a}\right)} \qquad \textbf{(16)}$$

Donde:

$\boldsymbol{Q_{dis}}$ = Caudal de diseño *(m^3/min).*

$\boldsymbol{V_a}$ = Tiempo de residencia a caudal de diseño *($\frac{m^3}{m^3 * min}$).*

- **Profundidad útil *($h_{útil}$)*:** "Profundidad del pozo de gruesos sin considerar la altura de resguardo ni de la tolva de arena" (Fuentes, 2012). Se calculó con la Ecuación (17).

$$\boldsymbol{h_{útil} = \left(\frac{V_{útil}}{S}\right)} \qquad \textbf{(17)}$$

Donde:

$\boldsymbol{V_{util}}$ = Volumen útil *(m^3).*

$\boldsymbol{S}$ = Superficie *(m^2).*

- **Longitud *(L)*:** "Longitud del pozo de gruesos" (Fuentes, 2012). Se calculó con la Ecuación (18).

$$\boldsymbol{L = \left(r_{pozo} * S\right)^{0.5}} \qquad \textbf{(18)}$$

Donde:

$\boldsymbol{r_{pozo}} =$ Relación longitud/anchura del pozo *(adimensional).*

$\boldsymbol{S}$ = Superficie *(m^2).*

- **Anchura *(a)*:** "Anchura del pozo de gruesos" (Fuentes, 2012). Se calculó con la Ecuación (19)

$$\boldsymbol{a = \left(\frac{S}{l}\right)} \qquad \textbf{(19)}$$

Donde:

$\boldsymbol{S}$ = Superficie (m^2).

$\boldsymbol{L}$ = Longitud *(m)*.

- **Tiempo medio de residencia a caudal máximo *($t_{r\,máx}$)*:** "Tiempo medio que permanecerá el agua residual en la balsa cuando el caudal tratado coincida con el caudal máximo" (Fuentes, 2012). Se calculó con la Ecuación (20).

$$\boldsymbol{t_{r\,máx} = \left(\frac{V_{util}}{Q_{máxd}}\right)} \qquad \textbf{(20)}$$

Donde:

$\boldsymbol{V_{util}}$ = Volumen útil (m^3).

$\boldsymbol{Q_{maxd}}$ = Caudal máximo $(\frac{m^3}{min})$.

- **Velocidad ascensional a caudal máximo *($V_{a\,max}$)*:** "Velocidad media a la que asciende el agua por una superficie igual a la de la balsa el caudal tratado coincida con el caudal máximo." (Fuentes, 2012). Se calculó con la Ecuación (21).

$$\boldsymbol{V_{a\,max} = \left(\frac{Q_{maxd}}{S}\right)} \qquad \textbf{(21)}$$

Donde:

$\boldsymbol{S}$ = Superficie (m^2).

$\boldsymbol{Q_{maxd}}$ = Caudal máximo $(\frac{m^3}{min})$.

- **Producción normal de arena y residuos secos *(r_{secos})*:** "Metros cúbicos de arena y residuos que se recogerán por hora cuando el caudal tratado coincida con el caudal de diseño" (Fuentes, 2012). Se calculó con la Ecuación (22).

$$r_{secos} = \left(\frac{Q_{dis} * r_{dis}}{1,000}\right) \quad (22)$$

Donde:

$Q_{dis} =$ Caudal de diseño *(m^3/d).*

$r_{dis} =$ Metros cúbicos de arena y residuos por cada 1,000 metros de agua residual a caudal de diseño *($r_{diseño}$).*

- **Producción máxima de arena y residuos secos con tormenta *($r_{sec.torm}$)*:** Metros cúbico de arena y residuos que se recogen por hora cuando el caudal tratado coincida con el caudal máximo y se produzca un aporte de agua en los colectores proveniente de escorrentía superficial del agua de lluvia. Esta circunstancia suele incrementar sustancialmente la cantidad de arena y residuos durante un periodo corto. (Fuentes, 2012). Se calculó con la Ecuación (23).

$$r_{sec.torm} = \left(\frac{Q_{maxd} * r_{torm}}{1,000}\right) \quad (23)$$

Donde:

$Q_{maxd} =$ Caudal máximo *($\frac{m^3}{min}$).*

$r_{torm} =$ Metros cúbicos de arena y residuos por 1,000 metros cúbicos de agua residual con tormenta.

- **Sistema de limpieza de pozo de gruesos:** "Las rejas deben mantenerse en un correcto estado de limpieza, pues los sólidos se quedan retenidos en ellas, disminuyen la sección útil del sistema, aumentando con ello la velocidad entre rejas y por consiguiente la perdida de carga" (Fuentes, 2012).

3.6.2.3.Rejas.

El desbaste mediante rejas es uno de los tratamientos más antiguos que se han realizado en el agua residual y su fin es proteger los equipos situados aguas abajo de daños y problemas debidos a sólidos de gran tamaño. Las rejas se pueden clasificar según la abertura libre entre barras como finas, medias y gruesas. El sistema de separación de rejillas consta primordialmente de barras de acero que según la dirección de flujo del agua con respecto al plano formado por las rejas. (Fuentes, 2012). La (Tabla 12-3) establece la

clasificación según la abertura de las barras:

Tabla 12-3: Tipos de rejas según abertura entre barras.

Tipos de Rejas	Abertura entre barras (cm)
Finas	d < 1.5
Medias	1.5 < d < 5.0
Gruesas	d > 5.0

Fuente. *(Fuentes, 2012).*

Parámetros de partida:

- **Caudal de diseño *(Q_{dis}):*** *"*Caudal adoptado como base para el cálculo de los diferentes procesos" (Fuentes, 2012).

- **Caudal máximo *($Q_{máx}$)*:** "Es el caudal máximo que puede tratar la planta" (Fuentes, 2012).

- **Caudal mínimo *(Q_{min})*:** "Caudal mínimo de entrada a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales" (Fuentes, 2012).

- **Velocidad de paso entre barrotes a caudal de diseño con reja sucia**: "Velocidad media de circulación del agua residual entre los barrotes de la reja cuando el caudal tratado coincida con el caudal de diseño y la reja este con la máxima colmatación definida entre dos limpiezas" (Fuentes, 2012).

Rango usual para este parámetro	0.8 - 1.0
Valor recomendado para este parámetro	0.9

- **Número de líneas de desbaste:** Número de líneas en paralelo por las que se reparte el caudal de agua a tratar. Las posibles líneas de reserva se consideran aparte de las indicadas en el cálculo". Para el cálculo de diseño se establecerá dos líneas de desbaste. (Fuentes, 2012)

- **Resguardo del canal:** "Altura libre desde la lámina de agua hasta la coronación

del muro" (Fuentes, 2012).

Rango usual para este parámetro	0.3 - 0.6
Valor recomendado para este parámetro	0.3

- **Espesor de los barrotes:**

Tabla 13-3: Rangos usuales y valores recomendados según el espesor de los barrotes.

Parámetros / Rejas	Rango usual para este parámetro	Valor recomendado para este parámetro
Reja de Gruesos	8 - 15	12
Reja de Finos	5 - 10	6

Fuente: *(Fuentes, 2012).*

- **Distancia entre barrotes:** "Se denomina "Luz" a la separación útil entre barras, y es el parámetro fundamental por definir en su diseño, en función del tamaño máximo de los sólidos que se van a dejar pasar al resto de la instalación" (Fuentes, 2012).

Tabla 14-3: Rangos usuales y valores recomendados según la distancia entre los barrotes.

Parámetros / Rejas	Rango usual para este parámetro	Valor recomendado para este parámetro
Reja de Gruesos	30 - 100	60
Reja de Finos	5 - 20	10

Fuente. *(Fuentes, 2012).*

- **Ángulo de inclinación de los barrotes:** "Ángulo formado entre el fondo del canal y los barrotes de la reja en grados sexagesimales" (Fuentes, 2012).

Rango usual para este parámetro	45° a 90°
Valor recomendado para este parámetro	60°

- **Máxima colmatación entre 2 limpiezas:** "Tanto por ciento de la superficie útil de la reja que se llega a cegar entre dos pasos del peine de limpieza" (Fuentes, 2012).

Rango usual para este parámetro	20% - 40%
Valor recomendado para este parámetro	30%

- **Relación profundidad útil/anchura del canal:** "Cociente entre la altura mojada del canal y la anchura del canal" (Fuentes, 2012).

Anchura mínima del canal recomendado para mantenimiento	1 (m)
Valor recomendado para este parámetro	0.3 (m)

- **Metros cúbicos de residuos por 1,000 metros cúbicos de agua residual a caudal de diseño:** "Metros cúbicos de residuos que se separan en las rejas de gruesos y de finos por cada 100 metros cúbicos de agua residual que pasa por las rejas" (Fuentes, 2012).

Rango usual para este parámetro	0.003 – 0.09
Valor recomendado para este parámetro	0.01

- **Metros cúbicos de residuos por 1,000 metros cúbicos de agua residual con tormenta:** Metros cúbicos de residuos que se separan entre las rejas de gruesos y de finos por cada 1,000 metros cúbicos de agua residual que pasa por las rejas cuando hay tormenta.

Rango usual para este parámetro	0.09 – 0.5

Parámetros de Cálculo:

- **Velocidad de paso entre barrotes a caudal de diseño con reja limpia:** "Velocidad media de circulación del agua residual entre los barrotes de la reja cuando el caudal tratado coincide con el caudal de diseño y la reja está limpia" (Fuentes, 2012).

- **Velocidad de paso entre barrotes a caudal máximo con reja colmatada: "**Velocidad media de circulación del agua residual entre los barrotes de la reja cuando el caudal máximo y la reja está con la máxima colmatación definida entre

dos limpiezas" (Fuentes, 2012).

- **Superficie útil del canal:** "Superficie mojada del canal igual a la anchura del canal por su profundidad útil" (Fuentes, 2012).

- **Velocidad de aproximación por el canal a caudal de diseño:** "Velocidad media de circulación del agua residual por el canal aguas arriba de la reja cuando el caudal tratado es el de diseño" (Fuentes, 2012).

- **Velocidad de aproximación por el canal a caudal mínimo:** "Velocidad media de circulación del agua residual por el canal aguas arriba de la reja cuando el caudal tratado coincide con el caudal mínimo. Se considera a efecto de evitar sedimentaciones de arena en el canal" (Fuentes, 2012).

Valor recomendado para este parámetro.	>0,3

- **Profundidad total del canal:** "Profundidad útil más resguardo del canal" (Fuentes, 2012).

- **Producción normal de residuos:** "Metros cúbicos de residuos que se recogen por día, en las rejas de gruesos y de finos, cuando el caudal tratado coincide con el caudal de diseño" (Fuentes, 2012).

- **Producción máxima de residuos de tormenta:** Metros cúbicos de residuos que se recogen por hora, em las rejas de gruesos y de finos, cuando el caudal coincide con el caudal máximo y se produce un aporte de agua en los colectores provenientes de escorrentía superficial del agua de lluvia. Esta circunstancia suele incrementar sustancialmente la cantidad de residuos durante un período corto. (Fuentes, 2012)

3.6.2.4.Desarenador.

El desarenador es un sistema basado en la eliminación por sedimentación de sólidos de dimensiones superiores a 0.25 mm de diámetro esférico equivalente y densidad de 2.65

kg/L (materia inorgánica arrastrada por el agua). Consiste en un ensanchamiento de la sección del canal de forma que el tiempo de retención hidráulica sea suficiente para que se depositen las arenas en el fondo del mismo. (Fuentes, 2012)

Parámetros de partida:

- **Caudal de diseño *(Q_{dis}):*** "Caudal adoptado como base para el cálculo de los diferentes procesos" (Fuentes, 2012).

- **Caudal máximo *($Q_{máx}$)*:** "Es el caudal máximo que puede tratar la planta" (Fuentes, 2012).

- **Velocidad ascensional a caudal de diseño:** "Velocidad media a la que asciende el agua por una superficie igual a la de la balsa cuando el caudal tratado coincide con el caudal de diseño" (Fuentes, 2012).

Rango usual para este parámetro	10 - 30

- **Velocidad de paso a caudal de diseño:** "Velocidad media a la que circularía el agua por una superficie igual a la sección transversal del desarenador cuando el caudal tratado coincida con el caudal de diseño" (Fuentes, 2012).

Rango usual para este parámetro	50 - 100

- **Tiempo medio de residencia a caudal de diseño:** "Tiempo medio que permanecerá el agua residual en la balsa cuando el caudal tratado coincide con el caudal de diseño" (Fuentes, 2012).

Rango usual para este parámetro	15 - 20

- **Metros cúbicos de aire por metro cuadrado de superficie y hora:** "Metros cúbicos por hora que es necesario alimentar los difusores de los desarenadores por cada metro cuadrado de superficie de los mismos" (Fuentes, 2012).

Rango usual para este parámetro	4 - 10
Valor recomendado para este parámetro	8

- **Metros cúbicos de arena por cada 1,000 metros cúbicos de agua residual a caudal de diseño:** "Metros cúbicos de arena y residuos que se recogerán en el desarenador por cada 1,000 metros cúbicos de agua residual que atraviesa el desarenador cuando el caudal tratado coincide con el caudal de diseño" (Fuentes, 2012).

Rango usual para este parámetro	0.004 - 0.2
Valor recomendado para este parámetro	0.02

- **Metros cúbicos de arena por 1,000 metros cúbico de agua residual con tormenta:** "Metros cúbicos de arena y residuos que se recogen en el desarenador por cada 1,000 metros cúbicos de agua residual que atraviesa el desarenador cuando hay tormenta" (Fuentes, 2012).

Rango usual para este parámetro	1 - 3

Parámetros de Cálculo:

- **Superficie horizontal:** Superficie en planta del desarenador (Fuentes, 2012).

- **Sección transversal:** Superficie vertical útil del desarenador excluido el resguardo y la tolva de arena (Fuentes, 2012).

- **Volumen útil unitario:** Volumen útil del desarenador excluido el resguardo y la tolva de arena (Fuentes, 2012).

- **Velocidad ascensional a caudal máximo: "**Velocidad media a la que asciende el agua por una superficie igual a la de la balsa cuando el caudal tratado coincida con el caudal máximo" (Fuentes, 2012).

- **Caudal total de aire necesario:** "Metros cúbicos de aire que es necesario

alimentar a los desarenadores por hora" (Fuentes, 2012).

- **Velocidad de paso a caudal máximo:** "Velocidad media a la que circula el agua por una superficie igual a la sección transversal del desarenador cuando el caudal tratado coincide con el caudal máximo" (Fuentes, 2012).

- **Tiempo medio de residencia a caudal máximo:** "Tiempo medio que permanecerá el agua residual en la balsa cuando el caudal tratado coincida con el caudal máximo" (Fuentes, 2012).

- **Producción normal de arena seca:** "Metros cúbicos de arena que se recogerán por hora cuando el caudal tratado coincida con el caudal de diseño" (Fuentes, 2012).

- **Producción máxima de arena y residuos secos con tormenta:** Metros cúbicos de arena y residuos que se recogen por hora cuando el caudal tratado coincida con el caudal máximo y se produzca un aporte de agua en los colectores proveniente de escorrentía superficial del agua de lluvia. Esta circunstancia suele incrementar sustancialmente la cantidad de arena y residuos durante un periodo corto. (Fuentes, 2012)

3.6.2.5.Desengrasador.

Parámetros de partida:

- **Caudal de diseño (Q_{dis}):** *"*Caudal adoptado como base para el cálculo de los diferentes procesos" (Fuentes, 2012).

- **Densidad del agua a la temperatura de diseño:** Este parámetro es propuesto por (Fuentes, 2012).

Valor recomendado para este parámetro	0.998 - 20

- **Densidad del aceite a la temperatura de diseño:** "Densidad del aceite o hidrocarburo contenido en el agua a tratar y que se desea separar" (Fuentes, 2012).

Rango usual para este parámetro	0.82 - 0.97

- **Viscosidad del agua a la temperatura de diseño:**

Rango usual para este parámetro	1 - 20

- **Relación profundidad anchura:** Resultado de dividir la profundidad útil entre la anchura.

Rango usual para este parámetro	0.3 - 0.5

- **Diámetro mínimo de las partículas a separar:** "Diámetro a partir del cual las partículas menores no dispondrán de tiempo suficiente para alcanzar la superficie del agua y por lo tanto saldrán del separador con el agua tratada" (Fuentes, 2012).

Valor recomendado para este parámetro	0.015

Nota: Método de cálculo desarrollado para esferas de 0,015 cm de diámetro.
Nota: Separador válido para aceites o hidrocarburos no miscibles y no emulsionados.

Parámetros de Cálculo:

- **Velocidad ascensional del aceite:** "Velocidad media a la que ascienden las partículas de aceite del diámetro mínimo especificado en el seno del agua a tratar" (Fuentes, 2012).

- **Velocidad transversal de agua:** "Velocidad media a la que circula el agua por una superficie igual a la sección transversal del desengrasador cuando el caudal tratado coincide con el caudal de diseño" (Fuentes, 2012).

- **Factor de turbulencia y cortocircuito:** "Factor de mayoración de la longitud del desengrasador en función de la turbulencia y los posibles cortocircuitos del agua en el desengrasador" (Fuentes, 2012).

3.6.3. *Tratamiento Primario.*

3.6.3.1.Tanque Imhoff.

Salas (2020) refiere que "El tanque Imhoff forma parte del tratamiento primario, uno de sus principales objetivos es la eliminación de sólidos suspendidos que se encuentran presentes en el agua residual, teniendo una capacidad de remoción del 60%, además tiene una eficiencia de remoción de DBO5 del 30%. Para obtener los parámetros de partida del tanque Imhoff tomamos como referencia al Reglamento Nacional de Edificaciones, Título II – Parte II.3. Norma OS.090. Plantas de Tratamiento De Aguas Residuales, las ecuaciones se determinaron mediante (León y Moscoso , 1996).

Parámetros de Cálculo:

- **Caudal medio Q_{med} (Qp):** Se calculó con la Ecuación (24).

$$Q_{med}(Q_p) = (P * D) \quad (24)$$

Donde:

$P =$ Población de diseño *(hab).*

$D =$ Dotación $(\frac{L}{hab*día})$.

El caudal medio obtenido es divido para cinco, debido a que se diseñaron cinco tanques Imhoff para el tratamiento del caudal. Por lo tanto.

$$\frac{Q_{med}(Q_p)}{5} \quad (25)$$

- **Caudal máximo (Q_{max}).** Se calculó con la Ecuación (26).

$$Q_{máx} = (Q_{med}(Q_p) * 1.916) \quad (26)$$

Donde:

$Q_{med}(Q_p)$ Caudal medio $(\frac{m^3}{día})$

$1.916 =$ Relación de caudal máximo a caudal de diseño (*Adimensional*).

- **Área del sedimentador *(A_s)*:** Se calculó con la Ecuación (27).

$$A_s = \left(\frac{Q_{med} Q_p}{C_s}\right) \quad (27)$$

Donde:

$Q_{med}\, Q_p =$ Caudal medio $(\frac{m^3}{día})$.

$C_s =$ Carga superficial.

Valor recomendado para este parámetro $1\ \frac{m^3}{m^2 * h}$

- **Volumen del sedimentador *(V_s)*:** Se calculó con la Ecuación (28).

$$V_s = \left(Q_{med}(Q_p) * R\right) \quad (28)$$

Donde:

$Q_{med}(Q_p) =$ Caudal medio $(\frac{m^3}{día})$.

$R =$ Periodo de retención hidráulico.

Rango usual para este parámetro	1.5 - 2.5 *(h)*
Valor recomendado para este parámetro	2 *(h)*

- **Ancho de zona del sedimentador (B):** Se calculó con la Ecuación (29).

$$B = \sqrt{\left(\frac{A_s}{Relación\ L/b}\right)} \quad (29)$$

Donde:

$A_s =$ Área del sedimentador (m^2).

$Relación \frac{L}{b} =$ 4

- **Largo de la zona del sedimentador (L):** Se calculó con la Ecuación (30)

$$\boldsymbol{L = \left(\frac{A_s}{B}\right)} \qquad \textit{(30)}$$

Donde:

$\boldsymbol{A_s =}$ Área del sedimentador *(m^2).*

$\boldsymbol{B =}$ Ancho de zona del sedimentador *(m).*

- **Profundidad de la zona del sedimentador (H):** Para obtener este parámetro, se calculó con la Ecuación (31).

$$\boldsymbol{H = (P_r * T_{sed})} \qquad \textit{(31)}$$

Donde:

$\boldsymbol{T_{sed}}$ = Tasa de sedimentación.

Valor recomendado para este parámetro 1 ($\frac{m^3}{m^2 * h}$).

$\boldsymbol{P_r =}$ Periodo de retención.

Rango usual para este parámetro	1.5 - 2.5 *(h)*
Valor recomendado para este parámetro	1.5 *(h)*

- **Ángulo de fondo de la zona del sedimentador (∡):** Se calculó con la Ecuación (32).

$$\measuredangle = \left(\frac{\angle}{\mathbf{180°}} * \ \boldsymbol{\pi}\right) \qquad \textit{(32)}$$

Donde:

$\measuredangle =$ El fondo del tanque es de sección transversal en forma de V y la pendiente de los lodos respecto a la horizontal es de 50° a 60°.

- **Altura de fondo del sedimentador (H_f):** Se calculó con la Ecuación (33).

$$\mathbf{H_f} = \left(\mathbf{t_g}(\measuredangle) * \frac{\mathbf{B}}{\mathbf{2}}\right) \qquad \textit{(33)}$$

Donde:

$\measuredangle =$ Ángulo de fondo de la zona del sedimentador (rad).

$\boldsymbol{B}$ = Ancho del sedimentador (m).

- **Altura total del sedimentador (h_T):** Se calculó con la Ecuación (34).

$$\boldsymbol{h_T} = \left(\boldsymbol{B_L} + \boldsymbol{H_f} + \boldsymbol{H}\right) \qquad \textit{(34)}$$

Donde:

$\boldsymbol{H_f}$ = Altura de fondo del sedimentador (m).

$\boldsymbol{H}$ = Profundidad de la zona del sedimentador (m).

$\boldsymbol{B_L} =$ Borde libre.

Valor recomendado para este parámetro. 0.3 (m)

- **Volumen de almacenamiento y digestión (V_d):** Para obtener el volumen de almacenamiento y digestión se tomó como referencia la (Tabla 15-3).

Tabla 15-3: Parámetros para obtener el factor de capacidad relativa.

Temperatura (°C)	Factor capacidad (Relativa)
5	2
10	1.4
15	1
20	0.7
>25	0.5

Fuente: RNE, 2006. (Norma OS.090. Planta de tratamientos de aguas residuales).

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorrial (2015) afirma que "la

temperatura media de la parroquia La Joya de los Sachas es de 26.7°C", por lo tanto, el valor de la capacidad relativa (for) es de 0.5. Para la obtención del volumen de almacenamiento y digestión se calculó mediante la Ecuación (35).

$$V_d = \frac{70 * P * for}{1,000} \quad (35)$$

Donde:

$P =$ Población de diseño *(hab)*.

$for =$ Factor de capacidad relativa ($adimensional$).

- **Ancho del Tanque Imhoff (B_{im}):** Se calculó con la Ecuación (36).

$$B_{im} = B + 2(E_{el}) + 2(E_{sed}) \quad (36)$$

Donde:

$B =$ Ancho de zona del sedimentador (m).

$E_{el} =$ Espesor de muros de sedimentador (m).

Valor recomendado 1.5

$E_{sed} =$ Espaciamiento libre de la pared del digestor (m).

Valor recomendado 0.8

- **Inclinación de tolva en digestor ($\measuredangle$):** Se calculó con la Ecuación (37).

$$\measuredangle = \left(\frac{\angle}{180°} * \pi\right) \quad (37)$$

Donde:

$\angle =$ Inclinación de tolva en digestor.

Rango usual para este parámetro	15° - 30°
Valor recomendado para este parámetro	15°

- **Volumen de lodos en digestor *($V_{digestor}$)*:** Se calculó con la Ecuación (38).

$$V_{dig} = \left(\left(B_{im} * L * H_{dig}\right) + N_{TL} * N_{TA} * \left(\frac{\left(\frac{B_{im}}{N_{TA}}\right)^2}{4} \right) * \frac{L}{N_{TL}} * t_n(0.26) \right) \qquad (38)$$

Donde:

$V_{dig} =$ Volumen de lodos en digestor *(m^3)*

$B_{im} =$ Ancho del Tanque Imhoff *(m).*

$L =$ Longitud *(m).*

$H_{dig} =$ Altura de lodos en el digestor *(m).*

Valor recomendado para este parámetro. 2 *(m)*

$N_{TL} =$ Número de troncos de pirámide en el largo.

Valor recomendado para este parámetro. 2

$N_{TA} =$ Número de troncos de pirámide en el ancho.

Valor recomendado para este parámetro. 1

- **Superficie (*S*):** Se calculó mediante la Ecuación (39).

$$S = \left(\frac{2 * E_{sed} * L}{B_{im} * L} \right) \qquad (39)$$

Donde:

$B_{im} =$ Ancho del Tanque Imhoff *(m).*

$L =$ Longitud *(m).*

$E_{sed} =$ Espaciamiento libre de la pared del digestor *(m).*

- **Altura total del tanque Imhoff *($H_{T.imhoff}$)*:** Se calculó con la Ecuación (40).

$$H_{T.imhoff} = (H_T + H_{dig} + H_{(FD)} + D_{sed}) \quad \textit{(40)}$$

Donde:

$H_T =$ Altura total del sedimentador *(m).*

$H_{dig} =$ Altura de lodos en digestor *(m).*

$H_{(FD)} =$ Altura del fondo del digestor *(m).*

$D_{sed} =$ Distancia del fondo del sedimentador a altura máximo de lodos *(m).*

- **Altura del fondo del digestor *($H_{(FD)}$)*:** Se calculó con la Ecuación (41).

$$H_{(FD)} = \left(\frac{B_{im}/2}{N_{TA}} * t_{an}(\measuredangle)\right) \quad \textit{(41)}$$

Donde:

$B_{im} =$ Ancho del Tanque Imhoff *(m).*

$N_{TA} =$ Número de troncos de pirámide en el ancho.

$\measuredangle =$ Ángulo *(rad).*

- **Remoción de sólidos suspendidos en el Tanque Imhoff (SS_{rem}):** Se calculó con la Ecuación (42).

$$SS_{rem} = (SS_{ent} * \%_{rem}) \quad \textit{(42)}$$

Donde:

$SS_{ent} =$ Sólidos suspendidos que ingresa al Tanque Imhoff *(mg/L).*

$\%_{rem} =$ Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos en el Tanque Imhoff *(%).*

Rango usual para este parámetro.	55 – 65%
Valor promedio.	60%

- **Sólidos suspendidos de salida ($SS_{sál}$):** Se calculó con la Ecuación (43).

$$SS_{sál} = (SS_{ent} - SS_{rem}) \quad (43)$$

Donde:

$SS_{rem} =$ Remoción de sólidos suspendidos en el Tanque Imhoff *(mg/L).*

$SS_{ent} =$ Sólidos suspendidos que ingresa al Tanque Imhoff *(mg/L).*

- **Remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno ($DBO5_{rem}$):** Se calculó con la Ecuación (44).

$$DBO5_{rem} = (DBO5_{ent} * \%_{rem}) \quad (44)$$

Donde:

$DBO5_{ent} =$ Demanda Bioquímica de Oxígeno que ingresa al Tanque Imhoff (*mg/L).*

$\%_{rem}$= Porcentaje de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Rango usual para este parámetro.	25 – 35%
Promedio de rango usual.	30%

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno de salida ($DBO5_{sal}$):** Se calculó con la Ecuación (45).

$$DBO5_{sál} = (DBO5_{ent} - DBO5_{rem}) \quad (45)$$

Donde:

$DBO5_{rem} =$ Remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (*mg/L).*

$DBO5_{ent} =$ Demanda Bioquímica de Oxígeno que ingresa al Tanque Imhoff (*mg/L).*

- **Frecuencia del retiro de lodos:** La frecuencia de remoción de lodos deberá calcularse en base a estos tiempos referenciales, considerando que existiría una

mezcla de lodos frescos y lodos dirigidos, estos últimos ubicados al fondo del digestor. De este modo el intervalo de tiempo entre extracciones de lodos sucesivas deberá ser por lo menos el tiempo de digestión a excepción de la primera extracción en la que se deberá esperar el doble de digestión (RNE, 2006)

- **Tiempo requerido para la digestión de lodos:** Para obtener el tiempo requerido para la digestión de lodos nos basamos mediante la Tabla (16-3). Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorrial (2015) afirma que "la temperatura media de la parroquia La Joya de los Sachas es de 26.7°C", por lo tanto, el tiempo de digestión de lodos es de 30.

Tabla 16-3: Parámetros para obtener el tiempo de digestión de lodos.

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

Fuente: RNE, 2006. Norma OS.090. Planta de tratamientos de aguas residuales.

3.6.3.2.Diseño del Lecho de Secado de Lodos.

- **Producción per cápita de sólidos *(C_{per}):*** Se calculó con la Ecuación (46).

$$C_{per} = \left(\frac{SS * Q_{med}}{P_{actual}}\right) \qquad (46)$$

Donde:

$SS =$ Sólidos suspendidos (g/m^3).

$Q_{med} =$ Caudal medio $(m^3/día)$

$P_{actual} =$ Población actual *(hab).*

- **Carga de sólidos que ingresan a la cámara de sedimentación *(C)*:** Se calculó con la Ecuación (47)

$$\boldsymbol{C = (P_{diseño} * C_{per})} \qquad \textbf{(47)}$$

Donde:

$\boldsymbol{P_{diseño} =}$ Población de diseño *(hab).*

$\boldsymbol{C_{per} =}$ Producción per cápita de sólidos $(\frac{g\ SS}{día*hab})$.

- **Masa de sólidos que conforman los lodos (M_{sd}):** Se calculó con la Ecuación (48).

$$\boldsymbol{M_{sd} = (0.5 * 0.7 * 0.5 * C + 0.5 * 0.3 * C)} \qquad \textbf{(48)}$$

Donde:

$\boldsymbol{C =}$ Carga de sólidos que ingresan a la cámara de sedimentación $(\frac{kg\ SS}{hab*día})$.

- **Volumen diario de lodos digeridos (V_{ld}):** Se calculó con la Ecuación (49).

$$\boldsymbol{V_{ld} = \left(\frac{M_{sd}}{P_{lodo} * \%_{sólidos}}\right)} \qquad \textbf{(49)}$$

Donde:

$\boldsymbol{P_{lodo} =}$ Densidad de los lodos.

Valor recomendado para este parámetro 1.04 $(\frac{kg}{L})$.

$\%_{sólidos} =$ Porcentaje de sólidos contenidos en el lodo.

Rango usual para este parámetro 8 – 12 *(%).*

$\boldsymbol{M_{sd} =}$ Masa de sólidos que conforman los lodos $(\frac{kg\ SS}{día})$.

Rango usual para este parámetro 15° - 30°

- **Volumen de lodos al extraerse del tanque (V_{ol}):** Se calculó con la Ecuación (50).

$$V_{ol} = (V_{ld} * T_d) \quad (50)$$

Donde:

$V_{ld} =$ Volumen diario de lodos digeridos $(\frac{L}{día})$.

$T_d =$ Tiempo de digestión (d)

- **Área del lecho de secado (A_{ls}):** Se calculó con la Ecuación (51).

$$A_{ls} = \left(\frac{V_{ol}}{H_a}\right) \quad (51)$$

Donde:

V_{ol} = Volumen de lodos al extraerse del tanque (m^3).

$H_a =$ Profundidad de aplicación.

Rango usual para este parámetro 0.20 – 0.40 *(m)*

- **Longitud del lecho de secado (L_{argo}):** Se calculó con la Ecuación (52).

$$L_{argo} = \left(\frac{A_{ls}}{A_{ncho}}\right) \quad (52)$$

Donde:

A_{ls} = Área del lecho de secado (m^2).

$A_{ncho} =$ Ancho de lecho

Rango usual para este parámetro 3 – 6 *(m)*

3.6.4. *Tratamiento Secundario.*

3.6.4.1.Filtro Percolador.

Los filtros biológicos, percoladores o biológicos son tratamientos de oxidación de

materia orgánica mediante bacterias en el que la diferencia fundamental con los lodos es que las bacterias están sujetas a un soporte en vez de su suspensión en el fluido. En los biofiltros el soporte no está sumergido, sino que el agua a tratar se riega sobre el mismo y escurre sobre su superficie a la vez que el aire circula por los huecos del soporte. (Isla, 2005)

Salas (2018) refiere que el filtro percolador o también llamado lecho bacteriano tiene una eficacia de remoción del 85% de DBO5. Para obtener los parámetros del diseño del filtro percolador nos basamos mediante el libro de Proyecto de Plantas de Tratamiento de Aguas. Aguas de Proceso, Residuales y Refrigeración (Isla, 2005).

Parámetros de Partida:

- **Caudal de Diseño (Q_{dis}):** Es el caudal adoptado como base para el cálculo.

- **Caudal máximo (Q_{maxd}):** Es el caudal máximo que entra al tratamiento.

- **Concentración de DBO de entrada:** Es la concentración de DBO en el agua que entra al filtro antes de mezclarla con el efluente recirculado. En condiciones de diseño.

  Valor recomendado para este parámetro < 400 mg/L

- **Concentración de DBO de salida:** Es la concentración de DBO en el agua efluente del decantador secundario.

- **Coeficiente de Temperatura:** Fija el grado en que la velocidad de reacción se ve afectada por la temperatura. Para un valor de 1 el proceso no se ve afectado por cambios de temperatura.

  Valor recomendado para este parámetro 1.035

- **Coeficiente (K_{C20}):** Coeficiente normalizado función del tipo de relleno y del tipo de agua a tratar, para una temperatura de 20 °C.

Rango usual para este parámetro	0.11 - 0.25

- **Profundidad útil del filtro:** Altura del relleno.

Valor recomendado para este parámetro	>4

- **Coeficiente n:** Coeficiente característico del medio filtrante.

Valor recomendado para este parámetro	0.5

- **Temperatura del agua:** Es la temperatura del agua alimentada al filtro biológico. Para obtener el valor de la temperatura del agua residual nos basamos en base a la temperatura promedio de los análisis de laboratorio de las muestras de agua de las tesis de (Andrade, 2015), (Chimbo y Montero, 2018), (Vinueza, 2014) y (Metcalf y Eddy, 1995), como lo indica la (Tabla 20-4).

- **Diámetro de la columna central del filtro:** Diámetro externo de la columna central de alimentación y soporte del mecanismo distribuidor.

- **Carga hidráulica con recirculación:** Es la velocidad media a la que desciende el agua por una superficie igual a la del filtro, incluido el caudal de recirculación. Cuando el caudal tratado coincide con el caudal de diseño

Valor recomendado para este parámetro	>0.5

Parámetros de Cálculo:

- **Carga hidráulica sin recirculación:** Velocidad media a la que descendería el agua por una superficie igual a la del filtro, cuando el caudal tratado coincide con el caudal de diseño.

- **Carga hidráulica a caudal máximo sin recirculación**: Velocidad media a la que desciende el agua por una superficie igual a la del filtro, cuando el caudal tratado

coincide con el caudal máximo.

- **Coeficiente (K_{C20}):** Coeficiente función de K_{C20} la profundidad del filtro y DBO influente.

- **Superficie útil por filtro:** Superficie interna del filtro sin incluir la superficie de la columna.

3.6.4.2.Decantador Secundario.

Para realizar el diseño del decantador secundario nos basamos mediante el libro de Proyecto de Plantas de Tratamiento de Aguas, Aguas de Proceso, Residuales y Refrigeración (Isla, 2005), el cual indica los parámetros de partida utilizados en el cálculo para el decantador secundario.

Parámetros de Partida:

- **Caudal de diseño:** Caudal adoptado como base para el cálculo.

- **Caudal máximo:** Caudal máximo que puede entrar al tratamiento.

- **Velocidad ascensional a caudal de diseño:** Velocidad media a la que asciende al agua por una superficie igual a la del decantador cuando el caudal tratado coincide con el caudal de diseño.

  Decantadores primarios:

Rango usual para este parámetro.	1.0 - 1.5
Valor recomendado para este parámetro.	1.3

  Decantador secundario:

Rango usual para este parámetro.	0.5 - 1.0
Valor recomendado para este parámetro.	0.8

- **Tiempo medio de residencia a caudal de diseño:** Tiempo medio que permanecerá el agua residual en el decantador cuando el caudal tratado coincide con el caudal de diseño.

  Decantadores primarios:

Rango usual para este parámetro.	2 - 4
Valor recomendado para este parámetro.	2.5

  Decantador secundario:

Rango usual para este parámetro.	3 - 6
Valor recomendado para este parámetro.	5

- **Distancia desde el vertedero a la pared interna de la cuba:** Distancia desde el vertedero perimetral del decantador hasta la pared del decantador. Cuando el canalillo sea exterior al muro este valor será cero.

Parámetros de Cálculo:

- **Caudal de diseño por línea:** Caudal adoptado como base para el cálculo de cada línea.

- **Caudal máximo por línea:** Caudal máximo que puede entrar al tratamiento por una línea.

- **Superficie del decantador:** Superficie horizontal del decantador.

- **Velocidad ascensional a caudal máximo:** Velocidad media a la que asciende el agua por una superficie igual a la de la balsa cuando el caudal tratado coincida con el caudal máximo.

- **Volumen cilíndrico útil:** Volumen del decantador excluido el resguardo y el cono de fangos.

- **Profundidad cilíndrica útil:** Profundidad del decantador excluido el resguardo y el cono de fangos.

- **Tiempo medio de residencia a caudal máximo:** Tiempo medio que permanecerá el agua residual en la balsa cuando el caudal tratado coincida con el caudal máximo.

- **Longitud del vertedero:** Longitud del vertedero perimetral de un decantador, por el que sale el agua tratada en el mismo.

- **Carga máxima sobre vertedero:** Metros cúbicos de agua tratada en el decantador que salen por cada metro lineal de vertedero una hora a caudal máximo.

3.6.4.3.Producción de Fangos

A continuación, se comentan los parámetros utilizados en el cálculo para la producción de fangos.

Parámetros de Partida:

- **Eliminación de sólidos en suspensión:** Tanto por ciento de reducción de los sólidos en suspensión del agua residual en el decantador primario.

Rango usual para este parámetro.	50 - 70
Valor recomendado para este parámetro.	66

- **Eliminación de DBO:** Tanto por ciento de reducción de la DBO del agua residual en el decantador primario.

Rango usual para este parámetro.	20 - 40
Valor recomendado para este parámetro.	33

- **Concentración del fango decantado:** Concentración alcanzada por los SS decantados en la salida del propio decantador primario, constituye el fango

primario.

Rango usual para este parámetro.	10 - 30
Valor recomendado para este parámetro.	15

Parámetros de Cálculo:

- **Producción de fangos primarios:** Caudal másico de fangos primarios. Kilos de sólidos en suspensión contenidos en los fangos producidos en 24 horas.

- **Producción media de fangos primarios**: Caudal másico medio de fangos primarios.

- **Caudal medio de fangos primarios:** Metros cúbicos de fangos primarios producidos en una hora con la concentración indicada en los parámetros de partida.

- **Concentración de sólidos en suspensión a la salida de decantación:** Concentración de SS en el agua decantada efluente del decantador primario.

- **Concentración de DBO a la salida de decantación:** Concentración de DBO en el agua decantada efluente del decantador primario.

3.6.5. *Desinfección.*

En el tratamiento terciario tenemos a la desinfección ultravioleta UV, este método se encarga de destruir a los organismos patógenos que no se han podido eliminar en los anteriores tratamientos evitando así la dispersión de enfermedades que son transmitidas por el agua residual.

La vida promedio útil de las lámparas fluctúa entre 8,760 a 14,000 horas de funcionamiento, y generalmente las lámparas se reemplazan después de 12,000 horas de uso. El sistema de desinfección con luz ultravioleta (UV) transfiere energía electromagnética desde una lámpara de vapor de mercurio al material genético del

organismo (ADN o ARN). Cuando la radiación UV penetra en las paredes de la célula de un organismo, esta destruye la habilidad de reproducción de la célula. (EPA, 1999)

$$\boldsymbol{N\acute{u}mero\ de\ Lamparas_{MODELO}} = \frac{\boldsymbol{Q_{dis}}}{\boldsymbol{Tasa\ de\ Flujo\ (m^3/h)}} \qquad \textbf{(53)}$$

Donde:

$\boldsymbol{P} =$ Población de diseño *(hab).*

$\boldsymbol{D} =$ Dotación ($\frac{L}{hab*día}$).

Ventajas.

- La desinfección con luz UV es eficaz para la desactivación de la mayoría de los virus, esporas y quistes.
- La desinfección con luz UV es más un proceso físico que una desinfección química, lo cual elimina la necesidad de generar, manejar, transportar, o almacenar productos químicos tóxicos, peligrosos o corrosivos.
- No existe ningún efecto residual que pueda afectar a los seres humanos o cualquier organismo acuático.
- La desinfección con luz UV es de uso fácil para los operadores.
- La desinfección con luz UV tiene un período de contacto más corto en comparación con otros desinfectantes (aproximadamente de 20 a 30 segundos con la utilización de las lámparas de baja presión).
- El equipo de desinfección con luz UV requiere menos espacio que otros métodos.

Desventajas.

- La baja dosificación puede no desactivar efectivamente algunos virus, esporas y quistes.
- Algunas veces los organismos pueden reparar o invertir los efectos destructivos de la radiación UV mediante un "mecanismo de reparación", también conocido como foto reactivación o, en ausencia de radiación, como "reparación en oscuro".
- Un programa de mantenimiento preventivo es necesario para controlar la acumulación de sólidos en la parte externa de los tubos de luz.

- La turbidez y los sólidos suspendidos totales (SST) en el agua residual hacen que la desinfección con luz UV sea ineficaz. El uso de la desinfección con lámparas UV de baja presión no es tan efectivo en el caso de efluentes secundarios con niveles de SST mayores a 30 mg/L.
- La desinfección con luz UV no es tan económica como la desinfección con cloro, pero los costos son competitivos cuando la cloración requiere descloración y se cumple con los códigos de prevención de incendios. (EPA, 1999)

3.6.6. *Análisis Técnico-Económico para el Dimensionamiento.*

Una vez establecido el dimensionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales, se procede a realizar la debida cotización para la implementación de equipos y de la estructura de la planta. Para obtener la estimación del análisis-técnico económico correspondiente al dimensionamiento de la planta de tratamientos de agua residuales no está basada en una metodología específica que permita determinar los valores monetarios, sin embargo se consultó a personas expertas en construcción y a empresas que prestan servicios sobre el dimensionamiento de equipos, los cuales nos brindaron información sobre la cotización de los equipos para el tratamiento de aguas residuales, con esta información se realizó una gestión sobre los recursos económicos que requiere el diseño de la planta. Cabe mencionar que los costos por equipo incluyen el precio del IVA, el cual es del 12%.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.1. Climatología.

La Joya de los Sachas es una de las zonas más lluviosas del país y de las que mayores temperaturas tiene, cuenta con un tipo de clima tropical cálido húmedo; sin embargo, la presencia de los macizos montañosos del Sumaco y la cordillera de Galeras producen una serie de microclimas a lo largo de todo el gradiente altitudinal. (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Orellana, 2015)

4.1.1. *Temperatura.*

Las temperaturas medias mensuales tienen una distribución uniforme al interior del año. Las mayores temperaturas se registran en los meses de septiembre a enero y las menores en el mes de julio. La estación Coca – Aeropuerto mostró una temperatura media anual de 26.7°C. (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, 2015)

Tabla 17-4: Temperatura de la Estación Coca-Aeropuerto.

Mes	Media	Mx. Med.	Mn. Med
Enero	27.3	35.0	20.5
Febrero	26.9	35.2	20.4
Marzo	26.6	34.7	20.5
Abril	26.4	34.3	20.5
Mayo	26.3	33.7	20.4
Junio	25.6	33.0	18.9
Julio	25.5	33.3	18.9
Agosto	26,4	34.7	19.7
Septiembre	27.0	35.1	19.3
Octubre	27.3	35.5	20.2
Noviembre	27.2	34.8	20.4
Diciembre	27.3	34.5	34.5
Media	26.7	34.5	20.1

Fuente. INAMHI. (Anuarios Meteorológicos. Estación Coca Aeropuerto 1981-2011).

4.1.2. *Precipitación.*

La precipitación es uno de los parámetros climatológicos determinantes del ciclo del agua en una región, así como también de la ecología, paisaje y usos de suelo. Los valores

de pluviosidad de la zona comparados con las otras regiones de Ecuador fueron elevados, generalmente mayores a 150 mm mensuales. En la distribución al interior del año de las precipitaciones, se observó en general dos períodos húmedos que corresponden a los meses de febrero a julio y entre septiembre a diciembre con un pico máximo en abril y mayo. (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, 2015)

Tabla 18-4: Datos de la precipitación promedio (mm).

Mes	**Precipitación promedio (mm)**
Enero	187.4
Febrero	238.1
Marzo	299.6
Abril	318.4
Mayo	327.4
Junio	304.9
Julio	237.6
Agosto	173.8
Septiembre	215.7
Octubre	266.4
Noviembre	289.4
Diciembre	264.4
Media anual	260.2

Fuente. INAMHI. (Anuarios Meteorológicos. Estación Coca Aeropuerto 1981-2011).

"En enero y agosto se presentan los períodos de menor precipitación; siendo el mes de agosto el de menores precipitaciones. El valor anual de precipitación es de 3,122.7 mm" (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, 2015).

Tabla 19-4: Valores de Pluviosidad Anual (mm).

Estación	**Lluvia Anual (mm)**		
	Media	**Mínima**	**Máxima**
Coca Aeropuerto	3,122.7	1,546	4,4307

Fuente. INAMHI. (Anuarios Meteorológicos. Estación Coca Aeropuerto 1981-2011).

4.2. Número de habitantes.

La población de los 11 barrios (Amazonas, Alborada, 1ro de mayo, 5 de Agosto, Luz de América, Central, Jaime Roldós, Machala, Oscar Romero, Lotización Olalla, 5 de Junio) para el año 2,012 fue de 4,394 habitantes" (Cordova, 2013). Tomando en cuenta que la tasa de crecimiento poblacional es 7.5% se estimó la proyección de habitantes para el año 2,020, la cual asciende alrededor de 7,837 habitantes.

4.3. Composiciones principales de agua residual doméstica.

Tabla 20-4: Análisis físicos, químicos y microbiológicos de las muestras de aguas.

Composición típica del agua residual doméstica						
Parámetros	**Unidad**	**Chimbo y Montero, 2018**	**Andrade, 2015**	**Vinueza, 2014**	**Metcalf y Eddy, 1995**	**Concentración Promedio**
pH	-	7.26	6	-	-	**6.63**
Temperatura	°C	-	-	27	-	**27**
Sólidos totales	mg/L	560.44	825.86	-	720	**702.1**
Aceites y grasas	mg/L	10.41	-	38	100	**49.47**
Sólidos suspendidos	Mg/L	-	-	188	220	**204**
DBO5	mg/L	214	124	269	220	**206.75**
DQO	mg/L	775	381.41	484	500	**535.10**
Coliformes Totales	NMP/100 mL	$4.68*10^6$	$8.4*10^6$	-	$10^7 - 10^8$	**$6.80*10^7$**

Fuente. *(Andrade, 2015)*, (Chimbo y Montero, 2018), *(Vinueza, 2014)* y (Metcalf y Eddy, 1995).

Para poder obtener el promedio de las principales composiciones del agua residual doméstica se realizó una revisión bibliográfica del análisis de muestras de aguas residuales de origen doméstico mediante exámenes realizados en el laboratorio que fueron muestreados en lugares cercanos a La Joya de los Sachas. Los resultados de los análisis de laboratorio pertenecen a los trabajos de (Chimbo y Montero, 2018), (Andrade, 2015), (Vinueza, 2014) y (Metcalf y Eddy, 1995), posteriormente se procedió a realizar

un promedio con estos valores para luego ser comparados con las cifras que establece la normativa del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA), determinando si los parámetros cumplen con la normativa establecida como se indica en la (Tabla 20-4).

4.3.1. *Concentración de potencial hidrógeno (pH).*

Según lo establece la normativa de Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente TULSMA (2015) los valores de pH permitidos para un cuerpo de agua dulce estan dentro de un rango de 6 a 9. La concentración promedio de pH es de 6.63, considerado como un ácido débil, por lo tanto, este parámetro cumple con las normativa establecida. La comparación del promedio de la concentración del pH de las aguas residuales domésticas con los límites máximos permisibles se muestra en la siguiente tabla, como lo indica la (Tabla 21-4).

Tabla 21-4: Comparación del potencial hidrógeno (pH).

Potencial de Hidrógeno		
Promedio	**Valores máximos permisibles**	**Interpretación**
6.63	6-9	Cumple

Fuente. *(Andrade, 2015)*, (Chimbo y Montero, 2018), *(Vinueza, 2014)* y (Metcalf y Eddy, 1995).

4.3.2. *Temperatura del agua residual.*

La concentración promedio de la temperatura del agua residual doméstica es de 27°C, por lo tanto, el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA) establece que la temperatura debe estar a temperatura ambiente más menos 3 (°C). Según Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (2015) la temperatura media de la parroquia La Joya de los Sachas es de 26.7 (°C), cumpliendo con la normativa establecida, como lo indica la (Tabla 22-4).

Tabla 22-4: Comparativa de la temperatura de la muestra de agua.

Temperatura		
Promedio (°C)	**Valores máximos permisibles (°C)**	**Interpretación**
27	Condición natural ± 3	Cumple

Fuente. *(Andrade, 2015)*, (Chimbo y Montero, 2018), *(Vinueza, 2014)* y (Metcalf y Eddy, 1995).

4.3.3. *Concentración de sólidos totales.*

La concentración de los sólidos totales presentes en el agua residual doméstica es de 702.1 (mg/L), por lo tanto, se considera que esta dentro de los límites permisibles que establecen el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA). Los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce de sólidos totales es de 1,600 (mg/L). La comparación entre el promedio de los análisis de las muestras de aguas de los sólidos totales con los valores máximos permisibles se muestra en la (Tabla 23-4).

Tabla 23-4: Comparativa de los sólidos totales de la muestra de agua.

Sólidos Totales		
Promedio (mg/L)	**Valores máximos permisibles (mg/L)**	**Interpretación**
702.1	1,600	Cumple

Fuente. (Andrade, 2015), (Chimbo y Montero, 2018), (Vinueza, 2014) y (Metcalf y Eddy, 1995).

4.3.4. *Aceites y grasas.*

La concentración de aceites y grasas presentes en el agua residual doméstica es de 49.47 mg/L. Los límites permisibles que establece el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA) determina que la descarga a un cuerpo dulce de aceites y grasas es de 30 mg/L, por lo tanto, no cumple con los valores establecidos. La comparación entre el promedio de los análisis de las muestras de aguas de aceites y grasas con los valores máximos permisibles se detallan en la (Tabla 24-4).

Tabla 24-4: Comparativa de los aceites y grasas de la muestra de agua.

Aceites y grasas		
Promedio (mg/L)	**Valores máximos permisibles (mg/L)**	**Interpretación**
49.47	30	No Cumple

Fuente. *(Andrade, 2015)*, (Chimbo y Montero, 2018), *(Vinueza, 2014)* y (Metcalf y Eddy, 1995).

.

4.3.5. *Sólidos suspendidos.*

La concentración sólidos suspendidos presentes en el agua residual doméstica es de 204 (mg/L). Los límites permisibles que establece el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA) determina que la descarga a un cuerpo dulce de sólidos suspendidos es 130 (mg/L), por lo tanto, se concluye que no cumple con los valores establecidos. La comparación del promedio de la concentración de los sólidos

suspendidos de las aguas residuales domésticas con los límites máximos permisibles se muestra en la (Tabla 25-4).

Tabla 25-4: Comparativa de los sólidos suspendidos de la muestra de agua.

Sólidos suspendidos		
Promedio (mg/L)	**Valores máximos permisibles (mg/L)**	**Interpretación**
204	130	No Cumple

Fuente. (Andrade, 2015), (Chimbo y Montero, 2018), (Vinueza, 2014) y (Metcalf y Eddy, 1995).

4.1.6. *Demanda Bioquímica Oxígeno.*

La concentración demanda bioquímica de Oxígeno (DBO5), presentes en el agua residual doméstica es de 206.75 (mg/L). Los límites permisibles que establecen el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA) determina que la descarga a un cuerpo dulce de DBO5 es de 100 (mg/L), por lo tanto, se concluye que no cumple con los valores establecidos. La comparación del promedio de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de las aguas residuales domésticas con los límites máximos permisibles se muestra en la siguiente (Tabla 26-4).

Tabla 26-4: Comparativa de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de la muestra de agua.

Demanda Bioquímico Oxígeno		
Promedio (mg/L)	**Valores máximos permisibles (mg/L)**	**Interpretación**
206.75	100	No Cumple

Fuente. (Andrade, 2015), (Chimbo y Montero, 2018), (Vinueza, 2014) y (Metcalf y Eddy, 1995).

4.1.7. *Demanda Química de Oxígeno.*

La concentración Demanda Química de Oxígeno (DQO), presentes en el agua residual doméstica es de 535.10 (mg/L). Los límites permisibles que establece el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA) determina que la descarga a un cuerpo dulce de DQO es de 100 (mg/L), por lo tanto, no cumple con los valores establecidos. La comparación del promedio de los análisis de las muestras de aguas de la demanda química de oxígeno con los valores máximos permisibles se muestra en la siguiente (Tabla 27-4).

Tabla 27-4: Comparativa de los sólidos totales de la muestra de agua.

Demanda Química de Oxígeno		
Promedio (mg/L)	**Valores máximos permisibles (mg/L)**	**Interpretación**
535.10	200	No Cumple

Fuente. (Andrade, 2015), (Chimbo y Montero, 2018), (Vinueza, 2014) y (Metcalf y Eddy, 1995).

4.3.8. *Coliformes Fecales.*

La concentración de coliformes fecales, presentes en el agua residual doméstica es de $6.80*10^7$ NMP/100 ml. Los límites permisibles que establecen el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA) determina que la descarga a un cuerpo dulce coliformes fecales es de 1,600 (NMP/100 mL), por lo tanto, se determina que no cumple con los valores establecidos. Los coliformes fecales presentes en el agua en cantidades excesivas nos indican que existe gran abundancia de materia fecal disuelta en el agua la cual causa graves daños a la salud y al ambiente convirtiéndose en materia orgánica que aumenta la proliferación de bacterias. La comparación del promedio de los análisis de las muestras de aguas de la coliformes fecales con los valores máximos permisibles se muestra en la (Tabla 28-4).

Tabla 28-4: Comparativa de los coliformes fecales de la muestra de agua.

Coliformes Fecales		
Promedio (NMP/100ml)	**Valores máximos permisibles (NMP/100ml)**	**Interpretación**
$6.80*10^7$	1,600	No Cumple

Fuente. (Andrade, 2015), (Chimbo y Montero, 2018), (Vinueza, 2014) y (Metcalf y Eddy, 1995).

4.4. Comparación de alternativas para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

En la (Tabla 27-4) podemos observar los siguientes parámetros: remoción de carga orgánica, costos de inversión, costos de mantenimiento, espacio, complejidad de operación y consumo energético de las alternativas propuestas para el modelo de la planta de depuración. Para poder establecer los criterios se realizó una investigación bibliográfica de varios autores y expertos para determinar al tratamiento óptimo para el proyecto de investigación.

Tabla 29-4: Comparación de las alternativas para el tratamiento biológico.

Alternativas / Criterios	Lodos Activados de tipo de aireación prolongada	Filtro Percolador	Humedal de flujo vertical subsuperficial
Remoción de carga orgánica	Altamente eficiente en la remoción de contaminantes (Villacis, 2011).	Se consiguen rendimientos del 80% y del 90% de remoción (Salas, 2018).	El rendimiento de eliminación de la carga orgánica es del 90 al 95% (Salas, 2020).
Costos de inversión	Alto costo de construcción (Villacis, 2011).	Tienen un costo de inversión alto en comparación con la implantación de los lodos activados (Salas, 2018).	Bajo costo de construcción (Lovato , 2018).
Costos de mantenimiento	Alto costo de mantenimiento (Villacis, 2011).	Bajos costos de mantenimiento en comparación con la aireación prolongada (Salas, 2020).	Bajo costo de mantenimiento (Lovato , 2018)
Espacio	Requiere de poca área de construcción (Villacis, 2011).	Bajo requisitos de superficie, no se requiere de mucho de espacio (Salas, 2020).	Requiere un área extensa en comparación con los sistemas mecánicos convencionales (Lovato , 2018).
Complejidad de operación	Difícil operación de funcionamiento (Salas, 2020).	Tiene una operación sencilla de funcionamiento en comparación a la de aireación prolongada (Salas, 2018).	Tiene una operación simple (Salas, 2020).
Consumo energético	Elevado gasto energético-suministro de aire, equipos, otros (Villacis, 2011).	Reducido consumo de energía en comparación a lodos activados (Salas, 2018).	Valores de consumo de energéticos bajos (Salas, 2020).

4.5. Selección de la alternativa.

En la (Tabla 30-4) se analiza cual es la mejor alternativa en base a los criterios, tomando como datos de evaluación 1.0 como el mejor criterio, 0.5 criterio intermedio y 0.1 como el criterio menos favorable, por lo tanto, al momento de realizar el análisis nos indica que la mejor alternativa para el tratamiento secundario es el Filtro Percolar o Lecho Bacteriano teniendo un alto porcentaje de remoción de carga orgánica, los costos de operación y mantenimiento son bajos, tiene un precio de inversión elevado pero sin embargo, ocupa poco espacio para su funcionamiento, además es adecuada para poblaciones elevadas.

Tabla 30-4: Evaluación de las alternativas para el tratamiento secundario.

Alternativas / Criterios	Lodos Activados de tipo de aireación prolongada	Filtro Percolador	Humedal de flujo vertical subsuperficial
	Condición	Condición	Condición
Remoción de carga orgánica	1.0	0.5	0.5
Costos de inversión	0.5	0.5	0,5
Costos de mantenimiento	0.5	1.0	0,5
Espacio	1.0	1.0	0.1
Complejidad de operación	0.1	0.5	1.0
Consumo energético	0.1	0.5	1.0
Total	3.2	4.0	3.6

Realizado por: Mishell Reisancho y Luis Hidalgo, 2020.

4.6. Dimensionamiento de la planta de tratamiento de Aguas Residuales.

Para el dimensionamiento de la planta de tratamientos de aguas residuales se tomaron los siguientes parámetros de partida: población, dotación, período de diseño de vida útil de la planta y el coeficiente de retorno. Como se indica en la (Tabla 31-4).

Tabla 31-4: Valores de partida para el dimensionamiento.

Parámetros de Partida		
Población 2,012.	4,394	(hab)
Dotación.	160	(L/hab*día)
Período de diseño de vida útil.	20	(Años)
Coeficiente de retorno.	0.8	(Adimensional)

Realizado por: Mishell Reisancho y Luis Hidalgo, 2020.

4.6.1. *Estimación de las poblaciones.*

4.6.1.1. Estimación de población para el año 2,020 (Pf).

Po = 4,394 (*hab).*

r = 7.5 *%* = 0.075

n = (2,020 – 2,012) = 8 (*años)*

$$\boldsymbol{Pf} = (\boldsymbol{Po}\ (\ \mathbf{1} + \boldsymbol{r}\ )^{\boldsymbol{n}})$$

$$\boldsymbol{Pf} = (4{,}394\ hab\ (\ 1 + 0.075\ )^{8})$$

$$.\boldsymbol{Pf} = (7{,}837\ habitantes\ para\ el\ año\ 2{,}020)$$

4.6.1.2. Estimación de población futura para el año 2,040 (Pf).

Po = 7,837 (*hab).*

r = 7.5 *%* = 0.075

n = (2,040 – 2,020) = 20 (*años).*

$$\boldsymbol{Pf} = (\boldsymbol{Po} * (\ \mathbf{1} + \boldsymbol{r}\ )^{\boldsymbol{n}})$$

$$\boldsymbol{Pf} = (7{,}837\ hab * \ (1 + 0.075)^{20})$$

$$\boldsymbol{Pf} = (33{,}290\ habitantes\ para\ el\ año\ 2{,}040)$$

La población de los 11 barrios para el año 2,020 mediante el método geométrico es de 7,837 habitantes. El tiempo de vida de la planta es de 20 años, por consiguiente, el dimensionamiento se realizó como referencia a una población de los 11 barrios para el año 2,040, siendo de 33,290 habitantes, los barrios con mayor número de habitantes son 1ro de Mayo y Amazonas, mientras que los de menor población son 5 de Agosto y Lotización Olalla.

4.6.2. *Cálculo de caudales.*

- **Caudal doméstico (Q_{dom}).**

$\boldsymbol{D}$ = 160 *(L/hab*día).*

$\boldsymbol{Pf_{2,040}}$ = 33,290 *(hab).*

$\boldsymbol{C_R}$ = 0.8

$$\boldsymbol{Q_{dom}} = (\boldsymbol{D} * \boldsymbol{P} * \boldsymbol{C_R})$$

$$\boldsymbol{Q_{dom}} = \left(160 \frac{L}{hab * día} * \ 33{,}290 \ hab * \ 0.8\right)$$

$$\boldsymbol{Q_{dom}} = \left(4'261{,}120 \ \frac{L}{día}\right)$$

$$\boldsymbol{Q_{dom}} = \left(49.32 \ \frac{L}{s}\right)$$

- **Canal industrial (Q_{ind}).**

Expresado como (Q_{ind}), el caudal industrial tiene un valor de 0 L/s debido a que en la zona de estudio no cuenta con la presencia de industrias que generen algún tipo de agua residual industrial.

- **Caudal comercial (Q_{com}).**

$\boldsymbol{A}$ = 11.05 *(ha)*

$$\boldsymbol{Q_{com}} = \left(\boldsymbol{A} * \boldsymbol{0.5} \ \frac{\boldsymbol{L}}{\boldsymbol{s} * \boldsymbol{ha}}\right)$$

$$\boldsymbol{Q_{com}} = \left(11.05 \ ha * 0.5 \ \frac{L}{s * ha}\right)$$

$$\boldsymbol{Q_{com}} = \left(5.53 \ \frac{L}{s}\right)$$

- **Caudal institucional (Q_{ins}).**

$\boldsymbol{A}$ = 9.88 *(ha).*

$$\boldsymbol{Q_{ins}} = \left(\text{Á}\boldsymbol{rea} * \boldsymbol{0.5} \ \frac{\boldsymbol{L}}{\boldsymbol{s} * \boldsymbol{ha}}\right)$$

$$\boldsymbol{Q_{ins}} = \left(9.88\ ha * 0.5\ \frac{L}{s * ha}\right)$$

$$\mathbf{Q_{ins}} = \left(4.94\ \frac{L}{s}\right)$$

- **Caudal medio diario ($\boldsymbol{Q_{md}}$)**

$\boldsymbol{Q_{dom}} =$ 49.32 *(L/s).*

$\boldsymbol{Q_{ind}} =$ 0 (*L/s).*

$\boldsymbol{Q_{ins}}$ = 4.94 (*L/s).*

$\boldsymbol{Q_{com}}$ = 5.53 (*L/s).*

$$\boldsymbol{Q_{md}} = (\boldsymbol{Q_{dom}} + \boldsymbol{Q_{ind}} + \boldsymbol{Q_{ins}} + \boldsymbol{Q_{com}})$$

$$\boldsymbol{Q_{md}} = \left(49.32\ \frac{L}{s} + 0\ \frac{L}{s} + 4.94\ \frac{L}{s} + 5.53\ \frac{L}{s}\right)$$

$$\boldsymbol{Q_{md}} = \left(59.79\ \frac{L}{s}\right)$$

- **Caudal de infiltración ($\mathbf{Q_{inf}}$).**

$\boldsymbol{A} =$ 87.79 *(ha)*

$$\boldsymbol{Q_{inf}} = \left(\mathbf{0.2}\ \frac{\boldsymbol{L}}{\boldsymbol{s} * \boldsymbol{ha}} * \text{Á}\boldsymbol{rea}\right)$$

$$\boldsymbol{Q_{inf}} = \left(0.2\ \frac{L}{s * ha} * 87.79\ ha\right)$$

$$\boldsymbol{Q_{inf}} = \left(17.56\ \frac{L}{s}\right)$$

- **Caudal de conexiones erradas ($\mathbf{Q_{c.err}}$).**

$\boldsymbol{A} =$ 87.79 *(ha).*

$$\boldsymbol{Q_{c.err}} = \left(\mathbf{0.2}\ \frac{\boldsymbol{L}}{\boldsymbol{s} * \boldsymbol{ha}} * \text{Á}\boldsymbol{rea}\right)$$

$$\boldsymbol{Q_{c.err}} = \left(0.2 \frac{L}{s * ha} * 87.79\ ha\right)$$

$$\boldsymbol{Q_{c.err}} = \left(17.56\ \frac{L}{s}\right)$$

- **Caudal de diseño (Q_{dis}).**

$\boldsymbol{Q_{md}} =$ 59.79 *(L/s).*

$\boldsymbol{Q_{inf}} =$ 17.56 *(L/s).*

$\boldsymbol{Q_{c.err}} =$ 17.56 *(L/s).*

$$\boldsymbol{Q_{dis}} = (\boldsymbol{Q_{md}} + \boldsymbol{Q_{inf}} + \boldsymbol{Q_{c.err}})$$

$$\boldsymbol{Q_{dis}} = (59.79\ \frac{L}{s} + 17.56\ \frac{L}{s} + 17.56\ \frac{L}{s})$$

$$\boldsymbol{Q_{dis}} = \left(91.91 \frac{L}{s}\right)$$

$$\boldsymbol{Q_{dis}} = \left(341.68 \frac{m^3}{h}\right)$$

- **Caudal mínimo (Q_{min}).**

$\boldsymbol{Q_{dis}} =$ 94.91 *(L/s).*

$\boldsymbol{Pf} =$ 33,290 *(hab).*

$$\boldsymbol{Q_{min}} = (\mathbf{0.45} * \boldsymbol{Q_{dis}})$$

$$\boldsymbol{Q_{min}} = \left(0.45 * 94.91\ \frac{L}{s}\right)$$

$$\boldsymbol{Q_{min}} = \left(42.71\ \frac{L}{s}\right)$$

- **Caudal de punta (Q_{pun}).**

$\boldsymbol{Q_{dis}} =$ 94.91 *(L/s).*

$\boldsymbol{Pf} =$ 33,290 *(hab).*

$$\boldsymbol{Q_{pun}} = (\mathbf{3} * \boldsymbol{Q_{dis}})$$

$$\boldsymbol{Q_{pun}} = \left(3 * 94.91\ \frac{L}{s}\right)$$

$$\boldsymbol{Q_{pun}} = \left(284.73\ \frac{L}{s}\right)$$

- **Caudal máximo (Q_{maxd}).**

$\boldsymbol{Q_{pun}}$ = 284.73 *(L/s).*

$$\boldsymbol{Q_{maxd}} = (\boldsymbol{Q_{pun}} * \mathbf{2})$$

$$\boldsymbol{Q_{maxd}} = \left(284.73\ \frac{L}{s} * 2\right)$$

$$\boldsymbol{Q_{maxd}} = \left(569.46\ \frac{L}{s}\right)$$

$$\boldsymbol{Q_{maxd}} = \left(2{,}050.06\ \frac{m^3}{h}\right)$$

4.7. Pretratamiento.

4.7.1. *Canal de entrada.*

El canal de entrada recibe los caudales domésticos, institucionales, comerciales, de infiltración y de conexiones erradas, en su trayecto se arrastran residuos gruesos, con estos caudales obtuvimos un caudal de diseño de 341.68 (m3/h) que ingresa al sistema de tratamiento de aguas residuales y con ello permite el dimensionamiento del canal de entrada, el cual cuenta con una longitud de 1 (m), con una profundidad de 0.7 (m) y una anchura de 0.5 (m).

Tabla 32-4. Dimensionamiento del Canal de Entrada.

Parámetro	**Valor o rango**
Altura.	0.7 (m)
Largo.	1 (m)
Ancho.	0.5 (m)

Fuente. (Lozano, 2012).

- **Área (A).**

$\boldsymbol{Q_{dis}}$ = 284.37 *(L/s).*

$\boldsymbol{V}$ = 0.6 *(m/s).*

$\boldsymbol{b}$ = 1 *(m).*

$\boldsymbol{y}$ = 0.5 *(m).*

$$\boldsymbol{Q_{dis}} = (\boldsymbol{A} * \boldsymbol{V})$$

$$\boldsymbol{A} = \left(\frac{\boldsymbol{Q_{dis}}}{\boldsymbol{V}}\right)$$

$$\boldsymbol{A} = \left(\frac{0.094\frac{m^3}{s}}{0.6\frac{m}{s}}\right)$$

$$\boldsymbol{A} = (0.16\, m^s)$$

- **Radio Hidráulico ($\mathbf{R_h}$).**

$\boldsymbol{A}$ = 0.16 *(m^2).*

$\boldsymbol{b}$ = 1 *(m).*

$\boldsymbol{y}$ = 0.5 *(m).*

$$\boldsymbol{R_h} = \left(\frac{\boldsymbol{A}}{\boldsymbol{b} + \boldsymbol{2y}}\right)$$

$$\boldsymbol{R_h} = \left(\frac{0.16\, m2}{1\, m + 2(0.5\, m)}\right)$$

$$\boldsymbol{R_h} = (0.07m)$$

- **Pendiente ($\boldsymbol{S}$).**

$\boldsymbol{V}$ = *0.*6 *(m/s)*

$\boldsymbol{R_h}$ = 0.07 *(m)*

$\boldsymbol{n}$ = 0.014

$$\boldsymbol{V} = \left(\frac{(\boldsymbol{R_h})^{\frac{2}{3}}}{\boldsymbol{n}}\right) * \boldsymbol{S^{0.5}}$$

$$\boldsymbol{S} = \left(\frac{(\boldsymbol{V} * \boldsymbol{n})}{\boldsymbol{R_h}^{\frac{2}{3}}}\right)^2$$

$$\boldsymbol{S} = \left(\frac{\left(0.6\frac{m}{s} * 0.014\right)}{(0.07\, m)^{\frac{2}{3}}}\right)^2$$

$$\boldsymbol{S} = (2.10 * 10^{-3})$$

$$\boldsymbol{S} = (0.21\ \%)$$

4.7.2. *Pozo de gruesos.*

- ***Volumen útil (V útil).***

$\boldsymbol{Q_{dis}} =$ 341.68 (m^3/h) = 5.69 (m^3/min)

$\boldsymbol{tr}$ = (4 *min*)

$$\boldsymbol{V_{util}} = (\boldsymbol{tr} * \boldsymbol{Q_{dis}})$$

$$\boldsymbol{V_{util}} = \left(4\ min\ * 5.69\ \frac{m^3}{min}\right)$$

$$\boldsymbol{V_{util}} = (22.78\ m^3)$$

- ***Superficie (S).***

$\boldsymbol{Q_{dis}}$ = 341.68 $(\frac{m^3}{h})$ = 5.69 $(\frac{m^3}{min})$

$\boldsymbol{V_a}$ = 1 $(\frac{m^3}{m^2 * min})$

$$\boldsymbol{S} = \left(\frac{\boldsymbol{Q_{dis}}}{\boldsymbol{V_a}}\right)$$

$$\boldsymbol{S} = \left(\frac{5.69\ \frac{m^3}{min}}{1\ \frac{m^3}{m^2 * min}}\right)$$

$$\boldsymbol{S} = (5.69\ m^2)$$

- ***Profundidad útil ($\boldsymbol{h}_{útil}$).***

$\boldsymbol{V_{util}}$ = 22.78 m^3

$\boldsymbol{S}$ = 5.69 m^2

$$\boldsymbol{h}_{útil} = \left(\frac{\boldsymbol{V}_{útil}}{\boldsymbol{S}}\right)$$

$$\boldsymbol{h}_{útil} = \left(\frac{22.78\ m^3}{5.69\ m^2}\right)$$

$$\boldsymbol{h}_{útil} = (4\ m)$$

- ***Longitud (L)***

$\boldsymbol{r_{pozo}} =$ 1

$\boldsymbol{S}$ = 5.69 (m^2)

$$\boldsymbol{L} = \left(\boldsymbol{r_{pozo}} * \boldsymbol{S}\right)^{\mathbf{0.5}}$$

$$\boldsymbol{L} = (1 * \ 5.69\ m^2)^{0.5}$$

$$\boldsymbol{L} = (2.39\ m)$$

- ***Anchura (a).***

$\boldsymbol{S}$ = 5.69 (m^2).

$\boldsymbol{L}$ = 2.39 *(m).*

$$\boldsymbol{a} = \left(\frac{\boldsymbol{S}}{\boldsymbol{l}}\right)$$

$$\boldsymbol{a} = \left(\frac{5.69\ m^2}{2.39\ m}\right)$$

$$\boldsymbol{a} = (2.39\ m)$$

- ***Tiempo medio de residencia a caudal máximo ($t_{r\ máx}$).***

$\boldsymbol{V_{util}}$ = 22.78 (m^3).

$\boldsymbol{Q_{maxd}} =$ 2,050.06 $(\frac{m^3}{h})$ = 34.17$(\frac{m^3}{min})$

$$\boldsymbol{t_{r\ máx}} = \left(\frac{\boldsymbol{V_{util}}}{\boldsymbol{Q_{máxd}}}\right)$$

$$\boldsymbol{t_{r\ máx}} = \left(\frac{22.78\ m^3}{34.17\ \frac{m^3}{min}}\right)$$

$$\boldsymbol{t_{r\ máx}} = 0.67\ min$$

- ***Velocidad ascensional a caudal máximo ($V_{a\ max}$).***

$\boldsymbol{S}$ = 5.69 (m^2).

$\boldsymbol{Q_{maxd}} =$ 2,050.06 $(\frac{m^3}{h})$ = 34.17$(\frac{m^3}{min})$.

$$\boldsymbol{V_{a\,max}} = \left(\frac{\boldsymbol{Q_{maxd}}}{\boldsymbol{S}}\right)$$

$$\boldsymbol{V_{a\,max}} = \left(\frac{34.17\,\frac{m^3}{min}}{5.69\,m^2}\right)$$

$$\boldsymbol{V_{a\,max}} = \left(6\ \frac{m^3}{m^2 * min}\right)$$

- ***Producción normal de arena y residuos secos (r_{secos}).***

$\boldsymbol{Q_{dis}} =$ 341.68 (m^3/h) = 8,200.32 (m^3/d).

$\boldsymbol{r_{dis}}$ = 0.55

$$\boldsymbol{r_{secos}} = \left(\frac{\boldsymbol{Q_{dis}} * \boldsymbol{r_{dis}}}{\mathbf{1,000}}\right)$$

$$\boldsymbol{r_{secos}} = \left(\frac{8{,}200.32\,\frac{m^3}{d} * 0.55}{1{,}000}\right)$$

$$\boldsymbol{r_{secos}} = \left(4.51\,\frac{m^3}{d}\right)$$

- ***Producción máxima de arena y residuos secos con tormenta ($r_{sec.torm}$).***

$\boldsymbol{Q_{maxd}}$ = 2,050.06 $\frac{m^3}{h}$

$\boldsymbol{r_{torm}}$ = 1.30

$$\boldsymbol{r_{sec.torm}} = \left(\frac{\boldsymbol{Q_{maxd}} * \boldsymbol{r_{torm}}}{\mathbf{1,000}}\right)$$

$$\boldsymbol{r_{sec.torm}} = \left(\frac{2{,}050.06\ \frac{m^3}{h} * 1.30}{1{,}000}\right)$$

$$\boldsymbol{r_{sec.torm}} = \left(2.67\ \frac{m^3}{h}\right)$$

Tabla 33-4: Resumen de los criterios de diseño de pozo de gruesos.

N	Parámetros De Partida	Valor
1	Caudal de diseño (m3/h).	341.68
2	Caudal máximo (m3/h).	2,050.06
3	Tiempo medio de residencia a caudal de diseño (min).	4
4	Velocidad ascensional a caudal de diseño (m3 /m2. min).	1
5	Relación longitud/anchura del pozo.	1
6	Metros cúbicos de arena y residuos por 1,000 m3 de agua residual a caudal de diseño.	0.55
7	Metros cúbicos de arena y residuos por 1,000 m3 de agua residual a caudal con tormenta (máximo).	1.30

Realizado por: Mishell Reisancho y Luis Hidalgo, 2020**.**

El sistema de pozos de gruesos consta de una reja de acero inoxidable con barrotes de pulgada de espesor y una separación entre barras 0.10 (m). El agua que se filtra a través de los barrotes cae al pozo de gruesos que cuenta una superficie de 5.69 (m2), teniendo 2.39 (m) de ancho y largo, con una profundidad útil de 4 (m). Los sólidos gruesos que se precipitan al fondo del pozo son extraídos mediante un puente grúa que sostiene a una cuchara bivalva que procede con la retirada de estos. Las rejas tienen una altura de 1 (m) y un ancho de 2.39 (m)

Tabla 34-4: Resumen de los cálculos de pozo de gruesos.

N	Resultado de Cálculo	Valor
8	Volumen útil (m3).	22.78
9	Superficie (m2).	5.69
10	Profundidad útil (m).	4
11	Longitud (m).	2.39
12	Anchura (m).	2.39
13	Tiempo medio de residencia a caudal máximo (min).	0.67
14	Velocidad ascensional a caudal máximo (m3 /m2* min).	6
15	Producción normal de arena y residuos secos (m3 /día).	4.51
16	Producción máxima de arena y residuos secos con tormenta (máximo) (m3 /h).	2.67

Realizado por: Mishell Reisancho y Luis Hidalgo, 2020.

4.7.3. *Rejas*

4.7.3.1.Rejas de Gruesos.

El sistema de rejas gruesos está constituido por dos líneas de desbaste, esta división de rejas provoca que el caudal de diseño se divida para dos, por lo tanto, el caudal de diseño que ingresa por cada canal es de 170.84 (m3/h). Los barrotes tienen una separación entre sus barras de 0.06 (m) y un espesor de 0.012 (m), según lo establece (Fuentes, 2012).

El sistema de limpieza de las rejas gruesos es de manera manual, por consiguiente, cuando las rejas se empiecen a colmatar por acción de la acumulación de los residuos se debe realizar una correcta limpieza mediante rastrillos. La (Tabla 35-4) representa los parámetros de partida para el diseño de rejas de gruesos.

Tabla 35-4: Resumen de los criterios de diseño de rejas de gruesos.

N°	Parámetros de Partida	Valor
1	Caudal de diseño (m3/h).	341.68
2	Caudal máximo (m3/h).	2,050.06
3	Caudal mínimo (m3/h).	153.76
4	Velocidad de paso entre los barrotes a caudal de diseño con reja sucia (m/s)	0.90
5	Número de líneas de desbaste	2
6	Espesor de los barrotes (mm)	12
7	Distancia entre los barrotes (luz) (mm)	60
8	Resguardo del canal (m)	0.30
9	Angulo de inclinación de los barrotes (grados)	60
10	Máxima colmatación entre dos limpiezas %	30
11	Relación profundidad útil/anchura del canal	1

Realizado por: Mishell Reisancho y Luis Hidalgo, 2020.

La (Tabla 36-4) representa los cálculos en el dimensionamiento del sistema de rejas de gruesos, el cual nos indica que cada una de las líneas de desbaste cuenta con una superficie útil de canal de 0.078 (m2), teniendo 0.28 (m) de ancho, 0.58 (m) de profundidad útil y 2 (m) de separación entre rejas gruesas y finas. Las aguas residuales pasan por este sistema y se dirigen hacia las rejas de finos. El ángulo de inclinación formado entre los barrotes de la reja y el fondo del canal es de 60°.

Tabla 36-4: Resumen de los cálculos de rejas de gruesos.

N°	Resultados de Cálculo	Valor	Formula
12	Caudal de diseño por línea (m3/h).	170.84	(L1/L5)
13	Caudal máximo por línea (m3/h).	1,025.03	(L2/L5)
14	Superficie útil del canal (m2).	0.078	((L12/3,600) /L4)*((L7+L6)/L7))*(1/(1-L10/100))*SENO((L9*2*PI)/360)
15	Velocidad de paso entre barrotes a caudal de diseño con reja limpia (m/s).	0.63	(L4*((100-L10) /100))
16	Velocidad de paso entre barrotes a caudal máximo con reja limpia (m/s).	3.78	(L15*(L13/L12))
17	Velocidad de paso entre barrotes a caudal máx. con reja colmatada (m/s).	5.40	(L4*(L13/L12))
18	Velocidad de aproximación por el canal a caudal de diseño (m/s).	0.61	((L12/3,600)/L14))
19	Velocidad de aproximación por el canal a caudal mínimo (m/s).	0.27	(((L3/L5) /3,600) /L14)
20	Anchura del canal (m).	0.28	((L14/L11) ^0.5)
21	Profundidad útil del canal (m).	0.28	(L14/L20)
22	Profundidad total del canal (m).	0.58	(L14/L20) +L8

Realizado por: Mishell Reisancho y Luis Hidalgo, 2020.

Nota: "L" representa el número de línea. Por ejemplo, L1 representa la línea 1 de los parámetros de entrada.

4.7.3.2.Rejas de Finos.

El dimensionamiento de rejas de finos es similar a la de rejas de gruesos, tienen la misma función de separar los residuos que se encuentran presentes en el agua residual para evitar obstrucciones en los procesos posteriores. Esta etapa se divide en dos líneas de desbaste, repartiéndose el caudal de diseño de 341.68 (m3/h) por los dos canales, quedando un caudal de 170.84 (m3/h) por cada lado.

La limpieza de las rejas es de manera manual, las rejas deben mantenerse en un correcto estado de limpieza, debido a que los sólidos generan un aumento en el volumen del agua residual provocando un considerable aumento del caudal de diseño y de la

velocidad entre rejas disminuyendo la eficacia de retención de los residuos. Las rejas tienen un grado de inclinación del 60°. Los barrotes tienen 0.006 (m) de espesor y la distancia entre las barras es de 0.01 (m) según lo establece (Fuentes, 2012). En la (Tabla 37-4) nos indica los parámetros de partida para estimar el dimensionamiento del sistema de pozos de finos.

Tabla 37-4: Resumen de los criterios de diseño de pozo de finos.

N°	Parámetros de Partida	Valores
1	Caudal de diseño (m3/h).	341.68
2	Caudal máximo (m3/h).	2,050.06
3	Caudal mínimo (m3/h).	153.76
4	Velocidad de paso entre los barrotes a caudal de diseño con reja sucia (m/s).	0.9
5	Número de líneas de desbaste.	2
6	Espesor de los barrotes (mm).	6
7	Distancia entre los barrotes (luz) (mm).	10
8	Resguardo del canal (m).	0.3
9	Angulo de inclinación de los barrotes (grados).	60
10	Máxima colmatación entre dos limpiezas (%).	30
11	Relación profundidad útil/anchura del canal.	1
12	Metros cúbicos de residuos por 1,000 m3 de agua residual a caudal de diseño.	0.01
13	Metros cúbicos de residuos por 1,000 m3 de agua residual con tormenta (máximo).	0.5

Realizado por: Mishell Reisancho y Luis Hidalgo, 2020.

La (Tabla 38-4) nos permite determinar el dimensionamiento del sistema de rejas de finos. Cada una de las rejas de finos cuenta con una superficie útil de canal de 0.104 (m2), con una anchura de 0.32 (m) y una profundidad total de 0.623 (m), cabe recalcar que la profundidad útil es de 0.32 (m), siendo el espacio ocupado por el agua residual que se dirige a las rejas de finos para posteriormente encaminarse hacia desarenador-desengrasador. El ángulo de inclinación formado entre los barrotes de la reja y el fondo del canal es de 60°. La producción normal de residuos que incluyen gruesos y finos es de 0.08 (m3/día) y cuando existe una producción máxima de residuos con tormenta es de 1.02 (m3/día).

Tabla 38-4: Resumen de los cálculos de rejas de finos.

N°	Resultados de Cálculo	Valor	Formula
14	Caudal de diseño por línea (m3/h).	170.84	(L1/L5)
15	Caudal máximo por línea (m3/h).	1,025.03	L2/L5
16	Superficie útil del canal (m2).	0.104	(((L14/3600) /L4) *((L7+L6)/L7))*(1/(1-L10/100))*SEN (O((L9*2*PI)/360))
17	Velocidad de paso entre barrotes a caudal de diseño con reja limpia (m/s).	0.63	((L4*((100-L10) /100)))
18	Velocidad de paso entre barrotes a caudal máximo con reja limpia (m/s).	3.78	((L17*(L15/L14)))
19	Velocidad de paso entre barrotes a caudal máx. con reja colmatada (m/s).	5.40	((L4*(L15/L14)))
20	Velocidad de aproximación por el canal a caudal de diseño (m/s).	0.45	((L14/3,600) /L16
21	Velocidad de aproximación por el canal a caudal mínimo (m/s).	0.20	((L3/L5) /3,600) /L16
22	Anchura del canal (m).	0.32	((L16/L11)^0.5)
23	Profundidad útil del canal (m).	0.32	(L16/L22)
24	Profundidad total del canal (m).	0.623	((L16/L22)+L8)
25	Producción normal de residuos (m3/día) (Gruesos + Finos).	0.08	((L1*L12*24) /1,000)
26	Producción máxima de residuos con tormenta (máximo) (m3/día) (Gruesos + Finos).	1.02	((L2*L13) /1,000)

Realizado por: Mishell Reisancho y Luis Hidalgo, 2020.

Nota: "L" representa el número de línea. Por ejemplo, L1 representa la línea 1 de los parámetros de entrada.

4.7.3.3. Desarenador.

El desarenador es un sistema el cual tiene el objetivo de eliminar por la acción de la sedimentación a los sólidos de dimensiones superiores a 0.25 (mm) de diámetro esférico. Los metros cúbicos de arena y residuos que recoge el desarenador por cada 1,000 metros cúbicos de agua residual en el diseño es de 0.02 y los metros cúbicos de arena y residuos que recoge el desarenador por cada 1,000 metros cúbicos de agua residual cuando existe

la presencia de tormenta es de 3 (m), según lo establece (Fuentes, 2012).

Esta etapa está constituida por dos números de líneas, en el caso que un canal se obstruya, existe el otro canal como auxiliar, por consiguiente, el caudal de diseño se divide teniendo cada lado un caudal de 170.84 (m/h), el caudal máximo es de 2,050.06 (m3/h), en términos de caudales es lo máximo que es capaz de trabajar la planta. La (Tabla 39-4) nos indica los parámetros de partida para el diseño del desarenador.

Tabla 39-4: Resumen de los criterios de diseño del Desarenador.

N°	Parámetros de Partida	Valores
1	Caudal de diseño (m3/h).	341.68
2	Caudal máximo (m3/h).	2,050.06
3	Velocidad ascensional a caudal de diseño (m3/m2.h).	10
4	Velocidad de paso a caudal de diseño (m3/m2.h).	50
5	Tiempo medio de residencia a caudal de diseño (min).	15
6	Número de líneas.	2
7	Metros cúbicos de aire por metro cuadrado de superficie y hora.	8
8	Metros cúbicos de arena por 1,000 m3 de agua residual a caudal de diseño.	0.02
9	Metros cúbicos de arena por 1,000 m3 de agua residual con tormenta.	3

Realizado por: Mishell Reisancho y Luis Hidalgo, 2020.

La (Tabla 40-4) describe los parámetros utilizados en el cálculo para el dimensionamiento del desarenador. Este proceso consiste en el ensanchamiento del canal, con la finalidad que el tiempo de retención hidráulica sea suficiente para que se puedan depositar las arenas en el fondo de este.

Cuando las arenas se encuentren en el fondo se procede a su eliminación mediante la succión y deposición en un canal lateral en donde está diseñada para almacenar la mezcla de arena, materia orgánica y agua. Cada desarenador cuenta con una superficie horizontal de 17.08 (m2), con una anchura de 1.37 (m), una longitud de 12.50 (m) y con una

profundidad útil de 2.5 (m).

Tabla 40-4: Resumen de los cálculos del Desarenador.

N°	Resultados de Cálculo	Valores	Formula
10	Caudal de diseño por línea (m3/h).	170.84	L1/L6
11	Caudal máximo por línea (m3/h).	1,025.03	L2/L6
12	Superficie horizontal (m2).	17.08	L10/L3
13	Sección transversal (m2).	3.42	L10/L4
14	Volumen útil unitario (m3).	42.71	((L5/60) *L10)
15	Longitud (m).	12.50	(L14/L13)
16	Profundidad útil (m).	2.5	(L14/L12)
17	Anchura (m).	1.37	(L14/(L15*L16))
18	Velocidad ascensional a caudal máximo (m3/m2.h).	60.00	(L11/L12)
19	Velocidad de paso a caudal máximo (m3/m2.h).	300.00	(L11/L13)
20	Tiempo medio de residencia a caudal máximo (min).	2.50	(L14/L11)*60
21	Caudal total de aire necesario (m3/h).	273.28	(L7*L12)*L6
22	Producción normal de arena seca (m3/día).	0.16	(L1*L8*24)/1,000
23	Producción máxima de arena seca con tormenta (m3/h).	6.15	(L2*L9)/1,000

Realizado por: Mishell Reisancho y Luis Hidalgo, 2020.

Nota: "L" representa el número de línea. Por ejemplo, L1 representa la línea 1 de los parámetros de entrada.

4.7.3.4. Desengrasador.

El desengrasador forma parte del mismo equipo que el desarenador, por ende, ambos equipos van a tener las mismas dimensiones y número de líneas. El proceso ocurre mediante la separación entre el agua y las grasas u aceites que flotan en la superficie donde son retirados mediante el desnatador. Las grasas se encuentran en sólidos o pastas mientras que los aceites se encuentran en estado líquido. La (Tabla 41-4) muestra los parámetros de partida del desengrasador, en algunos casos incluye información sobre el rango habitual del parámetro o el valor remendado para utilizar, según lo estable *(Fuentes, 2012)*.

Tabla 41-4: Resumen de los criterios de diseño del Desengrasador.

N°	Parámetros de Partida	Valor
1	Caudal de diseño (m3/h).	341.68
2	Número de líneas.	2
3	Densidad del agua a la temperatura de diseño (Kg/l).	10
4	Densidad del aceite a la temperatura de diseño (Kg/l).	0.89
5	Viscosidad del agua a la temperatura de diseño (cp).	10
6	Relación profundidad anchura.	0.4
7	Diámetro mínimo de las partículas a separar (cm).	0.015

Realizado por: Mishell Reisancho y Luis Hidalgo, 2020.

La (Tabla 42-4) nos indica los parámetros de cálculo del desengrasador, teniendo una velocidad ascensional de aceite de 40.17 (m/h), este valor significa la velocidad con la asciende las partículas de aceite por el sistema de desengrasador, mientras que el diseño cuenta con una velocidad transversal de 54.86 (m/h), representa la velocidad media a la que circula el agua por una superficie igual a la sección transversal del desengrasador cuando el caudal tratado coincide con el caudal de diseño, la turbulencia del agua en este diseño es de 1.25.

Tabla 42-4: Resumen de los cálculos del Desengrasador.

N°	Resultados de Cálculo	Valor	Formula
8	Caudal de diseño por línea (m3/h).	170.84	L1/L2
9	Velocidad ascensional de aceite (m/h).	40.17	99,560*((L3-L4)/(L5/100))* (60/3.2808)*(L7^2)/30.4804^2
10	Velocidad transversal del agua (m/h).	54.86	SI(15*L9>54.8647;54.8647;15*L9)
11	Factor de turbulencia y cortocircuito.	1.25	1.2164+0.027366*(L10/L9)

Realizado por: Mishell Reisancho y Luis Hidalgo, 2020.

4.8.Tratamiento Primario.

4.8.1. *Tanque Imhoff.*

- ***Cálculos de caudales Q_{med} (Qp).***

$\boldsymbol{P_{2,040}} =$ 33,290 *(hab).*

$\boldsymbol{D} =$ 160 $(\frac{L}{hab*día})$ = 0.16 $(\frac{m^3}{hab*día})$

$\boldsymbol{Q_{fangos}} =$ 29.52 $(\frac{m^3}{día})$

$$\boldsymbol{Q_{med}(Q_p)} = ((\boldsymbol{P} * \boldsymbol{D}) + \boldsymbol{Q_{fangos}})$$

$$\boldsymbol{Q_{med}(Q_p)} = \left(\left(33{,}290\ hab * 0.16 \frac{m^3}{hab * día}\right) + 29.52 \frac{m^3}{día}\right)$$

$$\boldsymbol{Q_{med}(Q_p)} = \left(5{,}326.4\ \frac{m^3}{día} + 29.52 \frac{m^3}{día}\right)$$

$$\boldsymbol{Q_{med}(Q_p)} = \left(5{,}355.92\ \frac{m^3}{día}\right)$$

Al caudal medio se suma el caudal de fangos producidos por el decantador secundario, posteriormente es divido para cinco, debido a que se diseñaron cinco tanques Imhoff. Por lo tanto, el caudal de diseño en cada tanque es de 1,071.18 m3/día.

$$\boldsymbol{Q_{med}(Q_p)} = \left(\frac{5{,}355.92\ \frac{m^3}{día}}{5}\right)$$

$$\boldsymbol{Q_{med}(Q_p)} = \left(1{,}071.18\ \frac{m^3}{día}\right)$$

Con una relación de caudal máximo a caudal de diseño de 1.916.

$\boldsymbol{Q_{med}(Q_p)} = 1{,}071.18\ (\frac{m^3}{día})$

$$\boldsymbol{Q_{máx}} = (\boldsymbol{Q_{med}(Q_p)} * \boldsymbol{1.916})$$

$$\boldsymbol{Q_{máx}} = \left(1{,}071{,}18 \frac{m^3}{día} * 1.916\right)$$

$$\boldsymbol{Q_{máx}} = \left(2{,}041.08 \frac{m^3}{día}\right)$$

- ***Área del sedimentador (A_s).***

$\boldsymbol{Q_{med}}\ \boldsymbol{Q_p} =$ 1,071.18 $(\frac{m^3}{día})$.

$\boldsymbol{C_s} =$ 1 $(\frac{m^3}{m^2 * h})$ = 24 $(\frac{m^3}{m^2 * día})$.

$$\boldsymbol{A_s} = \left(\frac{\boldsymbol{Q_{med}}\boldsymbol{Q_p}}{\boldsymbol{C_s}}\right)$$

$$\boldsymbol{A_s} = \left(\frac{1{,}071.18\ \frac{m^3}{día}}{24\ \frac{m^3}{m^2 * día}}\right)$$

$$\boldsymbol{A_s} = (44.63\ m^2)$$

- ***Volumen del sedimentador (V_s).***

$\boldsymbol{Q_{med}}\boldsymbol{(Q_p)} =$ 1,071.18 $(\frac{m^3}{día})$ = $(44.63\ \frac{m^3}{h})$.

$\boldsymbol{R} =$ 2 (h).

$$\boldsymbol{V_s} = \left(\boldsymbol{Q_{med}}\boldsymbol{(Q_p)} * \boldsymbol{R}\right)$$

$$\boldsymbol{V_s} = \left(44.63\frac{m^3}{h} * 2h\right)$$

$$\boldsymbol{V_s} = (89.27\ m^3)$$

- ***Ancho de zona del sedimentador (B).***

$\boldsymbol{A_s} =$ 44.63 (m^2)

$\boldsymbol{Relación\ \frac{L}{b}} =$ 4

$$\boldsymbol{B} = \sqrt{\left(\frac{\boldsymbol{A_s}}{\boldsymbol{Relación\ L/b}}\right)}$$

$$\boldsymbol{B} = \sqrt{\left(\frac{44.63\ m^2}{4}\right)}$$

$$\boldsymbol{B} = (3.34\ m).$$

- ***Largo de la zona del sedimentador (L).***

$\boldsymbol{A_s} =$ 44.63 (m^2).

$\boldsymbol{B}$ = 3.34 (m).

$$\boldsymbol{L} = \left(\frac{\boldsymbol{A_s}}{\boldsymbol{B}}\right)$$

$$\boldsymbol{L} = \left(\frac{44.63\ m^2}{3.34\ \text{m}}\right)$$

$$\boldsymbol{L} = (13.36\ m)$$

- ***Profundidad de la zona del sedimentador (H).***

$\boldsymbol{P_r} =$ 1.50 (h).

$\boldsymbol{T_{sed}}$ = 1.0 $(\frac{m^3}{m^2 * h})$

$$\boldsymbol{H} = (\boldsymbol{P_r} * \boldsymbol{T_{sed}})$$

$$\boldsymbol{H} = \left(1.50\ h * 1{,}0\ \frac{m^3}{m^2 * h}\right)$$

$$\boldsymbol{H} = (1.50\ m).$$

- ***Ángulo de fondo de la zona del sedimentador ($\measuredangle$).***

El fondo del tanque es de sección transversal en forma de V y la pendiente de los lodos respecto a la horizontal es de 50° a 60°.

$\angle =$ 50°.

$$\measuredangle = \left(\frac{\angle}{\mathbf{180°}} * \ \boldsymbol{\pi}\right)$$

$$\measuredangle = \left(\frac{50°}{180°} * \ \pi\right)$$

$$\measuredangle = (0.87 \text{ radianes}).$$

- ***Altura de fondo del sedimentador (H_f).***

$\measuredangle =$ 0.87 (rad).

$\boldsymbol{B}$ = 3.34 *(m).*

$$\boldsymbol{H_f} = \left(\boldsymbol{t_g}(\measuredangle) * \frac{\boldsymbol{B}}{\boldsymbol{2}}\right)$$

$$\boldsymbol{H_f} = \left(t_g(0.87) * \frac{3.34\ \text{m}}{2}\right)$$

$$\boldsymbol{H_f} = (1.99\ m)$$

- ***Altura total del sedimentador (h_T).***

$\boldsymbol{B_L}$ = 0.3 *(m).*

$\boldsymbol{H_f}$ = 1.99 *(m).*

$\boldsymbol{H}$ = 1.50 *(m).*

$$\boldsymbol{h_T} = \left(\boldsymbol{B_L} + \boldsymbol{H_f} + \boldsymbol{H}\right)$$

$$\boldsymbol{h_T} = (0.3\ m + 1.99\ m + 1.50\ m)$$

$$\boldsymbol{h_T} = (3.79\ m)$$

- ***Volumen de almacenamiento y digestión (V_d).***

$\boldsymbol{P}$ = 33,290 *(hab).*

$\boldsymbol{for}$ = 0.5

$$\boldsymbol{V_d} = \frac{\boldsymbol{70 * P * for}}{\boldsymbol{1,000}}$$

$$\boldsymbol{V_d} = \left(\frac{70 * 33{,}290\ hab * 0.5}{1{,}000}\right)$$

$$\boldsymbol{V_d} = (1{,}165.15\ m^3)$$

- ***Ancho del Tanque Imhoff (B_{im}).***

$\boldsymbol{B}$ = 3.34 *(m).*

$\boldsymbol{E_{el}}$ = 0.15 *(m).*

$\boldsymbol{E_{sed}}$ = 0.8 *(m).*

$$\boldsymbol{B_{im}} = \boldsymbol{B} + \boldsymbol{2}(\boldsymbol{E_{el}}) + \boldsymbol{2}(\boldsymbol{E_{sed}})$$

$$\boldsymbol{B_{im}} = (3.34\ m + 2(0.15\ m) + 2(0.8\ m))$$

$$\boldsymbol{B_{im}} = (5.24\ m).$$

- ***Inclinación de tolva en digestor (∡).***

$\angle =$ 15°.

$$\measuredangle = \left(\frac{\angle}{\mathbf{180°}} * \ \boldsymbol{\pi}\right)$$

$$\measuredangle = \left(\frac{15°}{180°} * \ \pi\right)$$

$$\measuredangle = (0.26\ rad)$$

- ***Volumen de lodos en digestor ($V_{digestor}$).***

$\boldsymbol{B_{im}} =$ 5.24 *(m).*

$\boldsymbol{L} =$ 13.36 *(m).*

$\boldsymbol{H_{dig}} =$ 2 *(m).*

$\boldsymbol{N_{TL}} =$ 2

$\boldsymbol{N_{TA}} =$ 1

$$\boldsymbol{V_{digestor}} = \left(\left(\boldsymbol{B_{im}} * \boldsymbol{L} * \boldsymbol{H_{dig}}\right) + \boldsymbol{N_{TL}} * \boldsymbol{N_{TA}} * \left(\frac{\left(\frac{\boldsymbol{B_{im}}}{\boldsymbol{N_{TA}}}\right)^{\mathbf{2}}}{\mathbf{4}} \right) * \frac{\boldsymbol{L}}{\boldsymbol{N_{TL}}} * \boldsymbol{t_n}(\mathbf{0.26}) \right)$$

$$\boldsymbol{V_{dig}} = \left((5.24\ m * 13.36\ m * 2\ m) + \ 2 * 1 * \left(\frac{\left(\frac{5.24\ m}{1}\right)^{2}}{4} \right) * \frac{13.32\ m}{2} * t_n(0.26) \right)$$

$$\boldsymbol{V_{dig}} = (164.44\ m^3)$$

- ***Superficie (S).***

$\boldsymbol{B_{im}} =$ 5.24 *(m).*

$\boldsymbol{L} =$ 13.36 *(m).*

$\boldsymbol{E_{sed}} =$ 0.8 *(m).*

$$\boldsymbol{S} = \left(\frac{\boldsymbol{2} * \boldsymbol{E_{sed}} * \boldsymbol{L}}{\boldsymbol{B_{im}} * \boldsymbol{L}}\right)$$

$$\boldsymbol{S} = \left(\frac{2 * 0.8\ m * 13.32\ m}{5.23m * 13.32\ m}\right)$$

$$\boldsymbol{S} = (0.31)$$

$$\boldsymbol{S} = (31\ \%)$$

- ***Altura del fondo del digestor ($H_{(FD)}$).***

$\boldsymbol{B_{im}} =$ 5.26 *(m).*

$\boldsymbol{N_{TA}} =$ 1

$\measuredangle =$ 0.26 *(rad).*

$$\boldsymbol{H_{(FD)}} = \left(\frac{\frac{\boldsymbol{B_{im}}}{\boldsymbol{2}}}{\boldsymbol{N_{TA}}} * \boldsymbol{t_{an}}(\measuredangle)\right)$$

$$\boldsymbol{H_{(FD)}} = \left(\frac{\frac{5.26\ m}{2}}{1} * t_{an}(0.26\ rad)\right)$$

$$\boldsymbol{H_{(FD)}} = (0.70\ m)$$

- ***Altura total del tanque Imhoff ($H_{T.imhoff}$).***

$\boldsymbol{H_T} =$ 3.79 *(m).*

$\boldsymbol{H_{dig}} =$ 2 *(m).*

$\boldsymbol{H_{(FD)}} =$ 0.70 *(m).*

$\boldsymbol{D_{sed}} =$ 0.50 *(m).*

$$\boldsymbol{H_{T.imhoff}} = (\boldsymbol{H_T} + \boldsymbol{H_{dig}} + \boldsymbol{H_{(FD)}} + \boldsymbol{N_{TL}})$$

$$\boldsymbol{H_{T.imhoff}} = (3.77\ m + 2\ m + 0.70\ m + 0.50\ m)$$

$$\boldsymbol{H_{T.imhoff}} = (6.99\ m)$$

- ***Remoción de sólidos suspendidos en el Tanque Imhoff (SS_{rem}).***

$\boldsymbol{SS_{ent}} =$ 204 *(mg/L).*

$\%_{\boldsymbol{rem}} =$ 60 *(%).*

$$\boldsymbol{SS_{rem}} = (\boldsymbol{SS_{ent}} * \ \%_{\boldsymbol{rem}})$$

$$\boldsymbol{SS_{rem}} = (204\frac{mg}{L}.* \ 0.6\%)$$

$$\boldsymbol{SS_{rem}} = (122.4\ mg/L)$$

- ***Tiempo requerido para digestión de lodos.***

El tiempo de retención hidráulica tomando en consideración según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (2015) afirma que la temperatura promedio de la parroquia La Joya de los Sachas es de 26.7°C, por lo tanto, se obtiene un tiempo de digestión de 30 días.

- ***Sólidos suspendidos de salida ($\boldsymbol{SS_{sál}}$).***

$\boldsymbol{SS_{rem}} =$ 122 *(mg/L).*

$\boldsymbol{SS}_{ent} =$ 204 *(mg/L).*

$$\boldsymbol{SS_{sál}} = \ (\boldsymbol{SS_{ent}} - \boldsymbol{SS_{rem}})$$

$$\boldsymbol{SS_{sál}} = \left(204\frac{mg}{L} - 122\ \frac{mg}{L}\right)$$

$$\boldsymbol{SS_{sál}} = \left(81.6\ \frac{mg}{L}\right)$$

- ***Remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno ($\boldsymbol{DBO5_{rem}}$).***

$\boldsymbol{DBO5_{ent}} =$ 206.75 *(mg/L).*

$\%_{\boldsymbol{rem}}=$ 30 % = 0.3.

$$\boldsymbol{DBO5_{rem}} = (\boldsymbol{DBO5_{ent}} * \ \%_{\boldsymbol{rem}})$$

$$\boldsymbol{DBO5_{rem}} = \left(206.75\frac{mg}{L} * 0.3\right)$$

$$\boldsymbol{DBO5_{rem}} = \left(62.03\ \frac{mg}{L}\right)$$

- ***Demanda Bioquímica de Oxígeno de salida ($\boldsymbol{DBO5_{sál}}$).***

$\boldsymbol{DBO5_{rem}} =$ *(*62.02 *mg/L)*

$\boldsymbol{DBO5}_{ent} =$ *(*206.75 *mg/L)*

$$\boldsymbol{DBO5_{sál} = (DBO5_{ent} - DBO5_{rem})}$$

$$\boldsymbol{DBO5_{sál}} = \left(206.75\frac{mg}{L} - 62.02\frac{mg}{L}\right)$$

$$\boldsymbol{DBO5_{sál}} = \left(144.73\ \frac{mg}{L}\right)$$

Tabla 43-3: Resumen de los criterios de diseño del Tanque Imhoff.

N°	Parámetros de Partida	Valor
1	Población futura (hab).	33,290
2	Dotación (l/hab.día).	160
3	Relación de caudal máximo a caudal de diseño.	1.916
4	Periodo de retención hidráulico (h).	2
5	Relación largo ancho (m).	4
6	Periodo de retención (h)	1.5
7	Tasa de sedimentación (m3/m2.h)	1
8	Ángulo fondo sedimentador (°)	50
9	Borde libre (m).	0.3
10	Factor de capacidad relativa.	0.5
11	Espesor muros sedimentador.	0.15
12	Esparcimiento libre pared digestor.	0.8
13	Inclinación de tolva en digestor (grados)	15
14	Número de troncos de pirámide en el largo	2
15	Número de troncos de pirámide en el ancho	1
16	Altura de lodos en digestor (m)	2
17	Espacio libre pared digestor	0.8
18	Distancia fondo sedimentador a altura máxima de lodos (m)	0.5
19	Tiempo de digestión (días)	30
20	Solidos Suspendidos (mg/L)	204
21	Porcentaje de remoción de SS	60
22	Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días (mg/L)	206.75
23	Porcentaje de remoción de DBO5	30

Realizado por: Mishell Reisancho y Luis Hidalgo, 2020.

El tanque Imhoff está compuesto por un depósito que se encuentra divido mediante dos cámaras superpuestas, en la parte superior tiene lugar la retención de espumas, la cámara de sedimentación y las grasas en la superficie, mientras que en la parte inferior se encuentra la cámara de digestión anaerobia y la acumulación de sólidos separados. La (Tabla 43-4) representa los parámetros de partida utilizados para el dimensionamiento del tanque Imhoff según lo estable *(Isla, 2005)*.

El caudal medio de diseño que ingresa en este tratamiento es de 5,355.9 (m3/día), se realizaron cinco tanques Imhoff, por consiguiente, el caudal medio de diseño se dividió para cinco, teniendo un caudal por cada tanque de 1,071.18 (m3/día). El tanque Imhoff cuenta con un ancho de 5.24 (m), con un largo de 13.36 (m) y con una profundidad total de 6.99 (m). El agua residual para tratar ingresa al tanque Imhoff por la parte de la cámara de sedimentación, los sólidos suspendidos por la acción de la gravedad se precipitan y se van acumulando en forma de lodos en la zona de digestión. Por otra parte, los sólidos flotantes, los aceites y las grasas se acumulan en la parte superficial de la zona de sedimentación. En el proceso biológico la fracción orgánica (DBO5) de los sólidos sedimentables que se acumulan en el fondo del tanque experimental reacciones de degradación anaerobia, esto ocasiona que se reduzca su volumen.

El tanque Imhoff tiene una eficiencia de remoción del 60 (%) para sólidos suspendidos y del 30 (%) para DBO5, como lo establece *(Salas, 2020)*. El agua residual que ingresa al tanque tiene en su composición 204 (mg/L) de sólidos suspendidos y 206.75 (mg/L) de DBO5, como lo indica la (Tabla 20-4). El agua residual en la salida de este tratamiento cuenta con 81.6 (mg/L) de sólidos suspendidos y 144.73 (mg/L) de DBO5. Las partículas que son removidas son dirigidas al lecho de secado de lodos.

La cámara de sedimentación cuenta una profundidad total de 3.79 (m), un ancho de 3.34 (m) y un largo de 13.36 (m), teniendo con un ángulo de inclinación de fondo del sedimentador de 50°. En la parte del fondo de tanque Imhoff se encuentra la cámara de digestión, cuenta con una altura de 0.7 (m), con un ancho de 5.24 (m) y una longitud de 13.36 (m), con un ángulo de inclinación de 50°, abasteciendo un volumen de lodos de 164.44 (m3). La (Tabla 44-4) permite determinar el dimensionamiento del tanque Imhoff.

Tabla 44-4: Resumen de los cálculos del Tanque Imhoff.

N°	Resultados de Cálculo	Valor	Formula
24	Caudal medio de diseño (m3/día).	1,071.18	(((L1*L2)/1,000)/5)+29.52)
25	Caudal máximo (m3/día).	2,052.39	(L24*L3)
26	Área del sedimentador (m2).	44.63	(L24)/24
27	Volumen del sedimentador (m3).	89.27	(L24/24)*L4
28	Ancho de zona del sedimentador (m).	3.34	RAIZ(L26/L5)
29	Largo de la zona del sedimentador (m).	13.36	(L26/L28)
30	Profundidad de la zona del sedimentador (m).	1.5	(L6*L7)
31	Ángulo de fondo de la zona del sedimentador (rad).	0.87	(L8/180)*3.141592
32	Altura de fondo sedimentador (m).	1.99	(TAN(L31))*(L28/2)
33	Altura total del sedimentador (m).	3.79	(L9+L32+L30)
34	Volumen de almacenamiento y digestión (m3).	1,165.15	(70*L1*L10)/1,000
35	Ancho tanque Imhoff (m).	5.24	L28+(2*L11)+(2*L12)
36	Inclinación de tolva en digestor (ángulo).	0.26	(L13/180)*PI
37	Volumen de lodos en digestor (m3).	164.44	(L35*L29*L14)+(L14)*(L15)*(((L35/L15)^2)/4)*(L29/L14)*TAN(0,26)
38	Superficie (%).	0.31	(2*L17*L29)/(L36*L29)
39	Altura del fondo del digestor.	0.70	((L35/2)/L15)*TAN(L36)
40	Altura total tanque Imhoff (m).	6.99	L33+L16+L39+L18
41	Remoción de sólidos suspendidos en el Tanque Imhoff.	122.4	(L20*L21)/100
42	Solidos suspendidos de salida (mg/L)	81.6	L20-L41
43	Remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L).	62.03	(L22*L23)/100
44	Demanda Bioquímica de Oxígeno de salida en cinco días (mg/L).	144.73	L22-L43

Realizado por: Mishell Reisancho y Luis Hidalgo, 2020.

Nota: "L" representa el número de línea. Por ejemplo, L1 representa la línea 1 de los parámetros de entrada.

4.8.1.1.Lecho de secado de lodos.

- ***Producción per cápita de sólidos (C_{per}).***

$\boldsymbol{SS} =$ 122.4 *(mg/L) = 122.4 (g/m^3).*

$\boldsymbol{Q_{med}} =$ 1,071.18 *($m^3/día$).*

$\boldsymbol{P_{actual}} =$ 7,837 *(hab).*

$$\boldsymbol{C_{per}} = \left(\frac{\boldsymbol{SS} * \boldsymbol{Q_{med}}}{\boldsymbol{P_{actual}}}\right)$$

$$\boldsymbol{C_{per}} = \left(\frac{122.4\,\frac{g}{m^3} * 1{,}071.18\,\frac{m^3}{día}}{7{,}837\ hab}\right)$$

$$\boldsymbol{C_{per}} = \left(16.73\ \frac{g\ SS}{día * hab}\right)$$

- ***Carga de sólidos que ingresan a la cámara de sedimentación (C).***

$\boldsymbol{P_{diseño}} =$ 33,290 *(hab).*

$\boldsymbol{C_{per}} =$ *16.73 ($\frac{g\ SS}{día*hab}$).*

$$\boldsymbol{C} = (\boldsymbol{P_{diseño}} * \boldsymbol{C_{per}})$$

$$\boldsymbol{C} = \left(33{,}290\ hab * 16.73\ \frac{g\ SS}{día * hab}\right)$$

$$\boldsymbol{C} = \left(556{,}939.24\ \frac{g\ SS}{día}\right)$$

$$\boldsymbol{C} = 556.94\ \frac{kg\ SS}{día}$$

- ***Masa de sólidos que conforman los lodos (M_{sd}).***

$\boldsymbol{C} =$ 556.94 ($\frac{kg\ SS}{día}$)

$$\boldsymbol{M_{sd}} = (\boldsymbol{0.5} * \boldsymbol{0.7} * \boldsymbol{0.5} * \boldsymbol{C} + \boldsymbol{0.5} * \boldsymbol{0.3} * \boldsymbol{C})$$

$$\boldsymbol{M_{sd}} = \left(0.5 * 0.7 * 0.5 * 556.94\ \frac{kg\ SS}{día} + 0.5 * 0.3 * 556.94\ \frac{kg\ SS}{día}\right)$$

$$\boldsymbol{M_{sd}} = \left(180.01\ \frac{kg\ SS}{día}\right)$$

- ***Volumen diario de lodos digeridos (V_{ld}).***

$\boldsymbol{P_{lodo}} =$ 1.04 $(\frac{kg}{L})$

$\%_{\boldsymbol{sólidos}} =$ 12% = 0.12

$\boldsymbol{M_{sd}} =$ 180.01 $(\frac{kg\ SS}{día})$.

$$\boldsymbol{V_{ld}} = \left(\frac{\boldsymbol{M_{sd}}}{\boldsymbol{P_{lodo}} * \%_{\boldsymbol{sólidos}}}\right)$$

$$\boldsymbol{V_{ld}} = \left(\frac{180.01\ \frac{kg\ SS}{día}}{1.04\ \frac{kg}{L} * 0.12}\right)$$

$$\boldsymbol{V_{ld}} = \left(1{,}450.37\ \frac{L}{día}\right)$$

- ***Volumen de lodos al extraerse del tanque (V_{ol}).***

$\boldsymbol{V_{ld}} =$ 1,450.37 $(\frac{L}{día})$

$\boldsymbol{T_d} =$ 30 *(días).*

$$\boldsymbol{V_{ol}} = (\boldsymbol{V_{ld}} * \boldsymbol{T_d})$$

$$\boldsymbol{V_{ol}} = (1{,}450.37 \frac{L}{día} * 30\ días)$$

$$\boldsymbol{V_{ol}} = (43{,}511.1\ L)$$

$$\boldsymbol{V_{ol}} = (43.51\ m^3)$$

- ***Área del lecho de secado (A_{ls}).***

$\boldsymbol{V_{ol}} =$ 43.51 (m^3)

$\boldsymbol{H_a} =$ 0.40 (m).

$$\boldsymbol{A_{ls}} = \left(\frac{\boldsymbol{V_{ol}}}{\boldsymbol{H_a}}\right)$$

$$\boldsymbol{A_{ls}} = \left(\frac{43.51\ m^3}{0.40\ m}\right)$$

$$\boldsymbol{A_{ls}} = (108.78\ m^2)$$

- ***Longitud del lecho de secado (L_{argo}).***

$\boldsymbol{A_{ls}}$ = 108.78 (m^2)

$\boldsymbol{A_{ncho}}$ = 6 (m).

$$\boldsymbol{L_{argo}} = \left(\frac{\boldsymbol{A_{ls}}}{\boldsymbol{A_{ncho}}}\right)$$

$$\boldsymbol{L_{argo}} = \left(\frac{108.78\ m^2}{6\ m}\right)$$

$$\boldsymbol{L_{argo}} = (18.13\ m)$$

Los lodos que son expulsados en el sistema de tanque Imhoff son dirigidos hacia lecho de secado de lodos en donde deben estar esparcidos uniformemente. Cuando los lodos reposan en el lecho se procede a su debido secamiento con energía solar y con ayuda de la infiltración a través de capas de arena. Una vez que los lodos se encuentren secos pueden ser utilizados como fertilizante para la agricultura o pueden ser recogidos por un carro recolector para posteriormente ser llevados hacia un relleno sanitario, pero primero estos lodos deben ser neutralizados con cal para asegurar la eliminación de patógenos como virus, bacterias y parásitos intestinales. La (Tabla 45-4) nos indica los parámetros de partida para el lecho de secados de lodos. La población de diseño según el método geométrico es de 33,290 habitantes. El lecho de secado de lodos cuenta con un ancho de 6 (m) y con una profundidad de 0.4 (m), según lo establece (RNE, 2006)

Tabla 45-4: Parámetro de partida de Lechos secados de lodos.

N°	Parámetros de partida	Valor
1	Solidos Suspendidos (mg/L).	122.4
2	Caudal medio de diseño (m3/día).	1,071.18
3	Población actual (hab).	7,837
4	Población futura (hab).	33,290
5	Densidad de lodos (Kg/l).	1,04
6	Porcentaje de solidos contenidos en el lodo (%).	12
7	Profundidad de aplicación (m).	0.4
8	Ancho del lecho de lodos (m).	6
9	Tiempo de digestión (día).	30

Realizado por: Mishell Reisancho y Luis Hidalgo, 2020.

En este proceso se diseñaron cinco lechos de secado de lodos, cada lecho tiene un caudal medio de diseño de 1,071.18 (m3/día), con una superficie unitaria de 108.78 (m2), teniendo una longitud de 18.13 (m). La producción per cápita de sólidos que se genera es de 16.73 (g SS/día*hab). La (Tabla 46-4) representa los cálculos del dimensionamiento del lecho de secado de lodos

Tabla 46-4: Resultados de cálculo de Lecho secados de lodos.

N°	Resultados de Cálculo	Valor	Fórmula
10	Producción per cápita de sólidos (g SS/día*hab).	16.73	(L1*L2)/L3
11	Carga de solidos que ingresan a la cámara de sedimentación (g SS/día*hab).	556.94	(L4*L10)/1,000
12	Masa de solidos que conforman los lodos (kg SS/día).	180.01	(0.5*0.7*0.5*L11+0.5* 0.3*L11)
13	Volumen diario de lodos digeridos (l/día).	1,450.37	(L12/((L5)*(L6/100)))
14	Volumen de lodos a extraerse del tanque (m3).	43.51	((L13*L9)/1,000)
15	Área del lecho de secado (m2).	108.78	(L14/L7)
16	Longitud del lecho de secado de lodos (m).	18.13	(L15/L8)

Realizado por: Mishell Reisancho y Luis Hidalgo, 2020.

Nota: "L" representa el número de línea. Por ejemplo, L1 representa la línea 1 de los parámetros de entrada.

4.9.Tratamiento Secundario

4.9.1. *Filtro Percolador.*

- ***Remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno en el Filtro Percolador ($DBO5_{rem}$).***

$\boldsymbol{DBO5_{ent}} =$ 144.73 *(mg/L).*

$\%_{rem}$= 85 % = 0.85.

$$\boldsymbol{DBO5_{rem} = (DBO5_{ent} * \%_{rem})}$$

$$DBO5_{rem} = \left(144.73\ \frac{mg}{L} * 0.85\right)$$

$$DBO5_{rem} = \left(123.02\ \frac{mg}{L}\right)$$

- ***Demanda Bioquímica de Oxígeno de salida del Filtro Percolador ($DBO5_{sál}$).***

$\boldsymbol{DBO5_{rem}} =$ 123.02 *(mg/L).*

$\boldsymbol{DBO5_{ent}} =$ 144.73 *(mg/L).*

$$\boldsymbol{DBO5_{sál}} = (\boldsymbol{DBO5_{ent}} - \boldsymbol{DBO5_{rem}})$$

$$\boldsymbol{DBO5_{sál}} = \left(144.73\ \frac{mg}{L} - 123.02\ \frac{mg}{L}\right)$$

$$\boldsymbol{DBO5_{sál}} = \left(21.71\ \frac{mg}{L}\right)$$

- ***Cálculos del Filtro Percolador.***

Tabla 47-4: Parámetros de partida del Filtro Percolador.

N°	Parámetros de partida	Valor
1	Caudal de diseño (m3/h).	341.68
2	Caudal máximo (m3/h).	2,050.06
3	Número de líneas.	2
4	Concentración de DBO a la entrada del equipo (mg/L).	144.73
5	Concentración de DBO en la salida del biológico (salida de la decantación secundaria) (mg/L).	21.71
6	Coeficiente de temperatura.	1.035
7	Coeficiente kc20 (((L/s)^n)/m2) (Función del tipo de relleno).	0.25
8	Profundidad útil del filtro (m).	5
9	Coeficiente (n).	0.5
10	Temperatura del agua (°C).	27
11	Diámetro de la columna central del filtro (m).	1
12	Carga hidráulica con recirculación (L/m2.s)	0.6

Realizado por: Mishell Reisancho y Luis Hidalgo, 2020.

El filtro percolador recibe un caudal de diseño de 341.68 (m/h), debido a que se van a diseñar dos filtros, el caudal se va a dividir para dos, teniendo un caudal por cada filtro de 170.84 (m3/h). El agua residual proviene del tanque Imhoff tiene una concentración de 144.73 (mg/L) de DBO5, el filtro percolador tiene una eficacia de remoción del 85% de DBO5, según lo establece (Salas, 2018).

La cantidad de DBO5 removida en este proceso es de 123.02 (mg/L), por lo que el agua residual de salida del filtro contiene 21.71 (mg/L) de DBO5. El filtro percolador cuenta con una superficie unitaria de 54.46 (m2), teniendo una profundidad útil por filtro de 5 (m), con un diámetro unitario de 8.39 (m). En esta etapa, la recirculación es 0 (m3/h), por lo tanto, no existe ninguna necesidad de recircular los lodos producidos en este proceso. La (Tabla 48-4) indica los cálculos para el dimensionamiento del filtro.

Tabla 48-4: Resultados de cálculo del Filtro Percolador.

N°	Resultados de Cálculo	Valor	Fórmula
13	Caudal de diseño unitario (m3/h)	170.84	L1/L3
14	Caudal máximo unitario (m3/h)	1,025.03	L2/L3
15	Coeficiente k20 (((L/s)^n)/m2)	0.28	L7*((6,1/L8)^0,5)*((150/L4)^0,5)
16	Carga hidráulica sin recirculación (L/m2.s)	0.87	(((L15/2,727)*((L6)^(L10-20))* L8*3,28)/LN(L4/L5))^(1/L9)*0,6 778
17	Superficie útil por filtro (m2)	54.46	(L13/L16)*1,000/3,600
18	Diámetro unitario (m)	8.39	(((4*L17/PI)+L11^2))^0,5
19	Volumen de relleno por filtro (m3)	272.32	L17*L8
20	Volumen de relleno total (m3)	544.64	L19*L3
21	Recirculación mínima recomendable por filtro (m3/h)	FALSO	SI(((L12-L16)*L17*3,600/1,000) >0;((L12-L16)*L17*3,600/1,000))
22	Recirculación mínima recomendable total (m3/h)	0	L21*L3
23	Carga hidráulica a caudal máximo sin recirculación (L/m2*s)	5.23	(L14/L17)/3,6

Realizado por: Mishell Reisancho y Luis Hidalgo, 2020.

4.9.2. *Decantador secundario.*

El decantador secundario está diseñado para remover la materia orgánica soluble y coloidal que se encuentra presente en las aguas residuales, eliminando en forma de lodos sedimentado. (La Tabla 49-4) nos indica los parámetros de partida del decantador secundario. El caudal de diseño en este proceso es de 341.68 (m/h), debido a que se va a diseñar dos números de líneas de decantadores, por ende, el caudal unitario es de 170.84 (m3/h). El tiempo medio de residencia a caudal de diseño es de 5 (h) con una distancia

entre el vertedero a la pared interna de la cuba de 0.5 (m), según lo establece *(Isla, 2005)*.

Tabla 49.4: Parámetros de partida del Decantador Secundario.

N°	Parámetros de partida	Valor
1	Caudal de diseño (m3/h)	341.68
2	Caudal máximo (m3/h)	2,050.06
3	Carga superficial a caudal de diseño (m3/m2.h)	1
4	Tiempo medio de residencia a caudal de diseño (h)	5
5	Número de líneas o decantadores	2
6	Distancia desde el vertedero a la pared interna del decantador (m)	0.5

Realizado por: Mishell Reisancho y Luis Hidalgo, 2020.

La (Tabla 50-4) indica los cálculos para el dimensionamiento del decantador secundario, teniendo un volumen unitario de cilindro útil de 854.2 (m3), con un diámetro interno de 14.75 (m) y una profundidad cilíndrica útil de 5 (m). La cantidad de agua tratada es de 16.59 (m3/m.h), teniendo una longitud de vertedero de 61.78 (m), por este sitio sale el agua residual tratada para posteriormente ser tratada por radiación UV.

Tabla 50-4: Resultados de cálculo del Decantador Secundario.

N°	Resultados de Cálculo	Valor	Ecuación
7	Caudal de diseño por línea (m3/h)	170.84	L1/L3
8	Caudal máximo por línea (m3/h)	1,025.03	L2/L5
9	Superficie del decantador (m2)	170.84	L7/L3
10	Diámetro interno (m)	14.75	(L9*4/PI)^0,5
11	Volumen cilíndrico útil (m3)	854.2	L7*L4
12	Profundidad cilíndrica útil (m)	5	L11/L9
13	Carga superficial a caudal máximo (m3/m2.h)	6.00	L8/L9
14	Tiempo de retención hidráulico a caudal máximo (h)	0.83	L11/L8
15	Longitud de vertedero por decantador (m)	61.78	2*PI*(L10/(2-L6))
16	Carga máxima sobre vertedero (m3/m.h)	16.59	L8/L15

Realizado por: Mishell Reisancho y Luis Hidalgo, 2020.

Nota: "L" representa el número de línea. Por ejemplo, L1 representa la línea 1 de los parámetros de entrada.

4.9.2.1. Producción de fangos

La (Tabla 51-4) nos indica los parámetros de partida, según establece (Isla, 2005). La producción de fangos tiene una eficacia de 66% remoción de sólidos suspendidos y 33% para DBO5. En este proceso ingresa una concentración de sólidos suspendidos de 81.6 (mg/L) y de DBO5 de 21.71 (mg/L).

Tabla 51-4: Parámetros de partida de Producción de Fangos.

N°	Parámetros de partida	Valor
17	Eliminación de sólidos en suspensión (%).	66
18	Eliminación de DBO5 (%).	33
19	Concentración de sólidos en suspensión a la entrada de la decantación (mg/l).	81.6
20	Concentración de DBO5 a la entrada de la decantación (mg/L).	21.71
21	Concentración del fango decantado (kg/m3).	15

Realizado por: Mishell Reisancho y Luis Hidalgo, 2020.

La (Tabla 52-4) nos permite determinar la producción de fangos en este proceso, teniendo un valor de 441.64 (kg/d de sólidos). La producción media de fangos de 18.40 (kg/h) de sólidos, la cantidad de metros cúbicos de fangos secundarios producidos por el decantador en una hora es de 1.23 (m3/h). El agua residual de salida contiene 24.74 (mg/L) de sólidos suspendidos y 14.55 (mg/L) de DBO5.

Tabla 52-4: Resultados de cálculo de la Producción de Fangos.

N°	Resultados de Cálculo	Valor	Ecuación
22	Producción de fangos secundarios (kg/d de sólidos).	441.64	(((L1*L19)*(L17/100))/1,000)*24
23	Producción media de fangos secundarios (Kg/h de sólidos).	18.40	L22/24
24	Caudal medio de fangos secundarios (m3/h).	1.23	(L22/24)/L21
25	Concentración de sólidos en suspensión en salida de decantación (mg/L).	27.74	(L19*((100-L17)/100))
26	Concentración de DBO en la salida de decantación (mg/L).	14.55	L20*((100-L18)/100)

Realizado por: Mishell Reisancho y Luis Hidalgo, 2020.

Nota: "L" representa el número de línea. Por ejemplo, L1 representa la línea 1 de los parámetros de entrada.

4.10. Tratamiento Terciario o Avanzado

4.10.1. *Desinfección UV*

La empresa "SANITRON Ingeniería de Purificación" cuenta con varios modelos de lámparas UV para Desinfección de aguas municipales tomando en cuenta las características de esta, para nuestra propuesta de diseño escogimos el modelo SLT150 cuyas especificaciones técnicas se detallan en la (Tabla 53-4).

Tabla 53-4: Especificaciones Técnicas.

Modelo	**SLT150**
Tasa de flujo	150 gmp (34 m3/h)
Entrada/puertos de salida	3°
Dimensiones	92.5*32*41 (cm)
Material	Acero inoxidable #304
Vida Nominal	10,000 hr
Consumo de energía	590 w
Parte de la manga de cuarzo	QS890. Longitud 890 mm
Parte de lastre	GDB80095L2. 100V.-240V. / (50-60 Hz)

Fuente. *(SANITRON, 2016)*

- **Número de Lámparas**

$\boldsymbol{Q_{dis}} =$ 341.68 (m^3/h).

$\boldsymbol{T_F}$ = 34 (m^3/h).

$$\boldsymbol{Número\ de\ Lámparas_{SLT150}} = \frac{\boldsymbol{Q_{dis}}}{\boldsymbol{T_F}}$$

$$\boldsymbol{Número\ de\ Lámparas_{SLT150}} = \left(\frac{341.68\ (m^3/h)}{34\ (m^3/h)}\right) = (10)$$

La estimación del caudal de diseño es de 341.68 (m^3/h), se determinó que el modelo SLT150 es el más idóneo según la empresa "SANITRON" para la desinfección mediante UV, debido a que es capaz de tratar hasta 150 (gpm) o 34 (m^3/h). Se necesitan 10 lámparas UV cumplir con la demanda de tratamiento para desinfección.

4.11. Conclusiones.

- La Joya de los Sachas es una de las zonas más lluviosas país, cuenta con una precipitación anual de 3,122.7 mm, siendo los meses de febrero a julio y de septiembre a diciembre los que mayor precipitación presentan y los meses de enero y agosto los de menor precipitación. La temperatura media anual es de 26.7 °C, los meses más calurosos parten desde septiembre hasta enero y el mes menos caluroso es julio. El tipo de clima es tropical cálido húmedo. La población de los 11 barrios para el año 2,020 es de 7,837 habitantes, teniendo una tasa de crecimiento anual de 7.5%.

- Mediante investigaciones bibliográficas, consultas y entrevistas se seleccionó al Filtro Percolador como la alternativa más eficiente para el diseño del tratamiento secundario de las aguas residuales domésticas de los 11 barrios de la parroquia La Joya de los Sachas, siendo la opción más viable en cuanto a los criterios de comparación establecidos como la cantidad de remoción de carga orgánica, costos de inversión, espacio y mantenimiento.

- La planta de tratamiento de aguas residuales está diseñada para una población de diseño de 33,290 habitantes y para un periodo de vida útil de 20 años. El dimensionamiento de la planta cuenta con un caudal de diseño de 341.68 m3/h, teniendo una dotación de los 11 barrios de 160 L/hab. día. El diseño cuenta con un canal de entrada en donde recibe el agua residual que llega a la planta, pasa por el pozo de gruesos en donde los residuos gruesos son separados del agua mediante una cuchara bivalva, posteriormente el diseño cuenta con sistema de rejas de gruesos y finos llegando hasta desarenador desengrasador donde el desnatador recoge las grasas, las arenas se precipitan y son retiradas posteriormente, llegando al tanque Imhoff, en donde se remueven lodos que posteriormente son tratados en los lechos de secados de lodos, el filtro percolador se encarga de la remoción del DBO5, el decantador secundario remueve la materia orgánica soluble y coloidal, finalmente el diseño cuenta con sistema de lámparas UV para la desinfección del agua residual. El presupuesto total del proyecto es de $ 1’576,522,15 como se muestra en el (Anexo 10).

4.12. Recomendaciones.

- Para el dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales se requirió información por parte del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de La Joya de los Sachas (GADMJS), ya que los datos en cuanto a dotación, población y área son parte de los archivos del municipio, por lo que se recomienda realizar solicitudes para que se proporcione información al igual que entrevistas a los técnicos para que proporcionen una mejor explicación de la situación actual de la ciudad, estos conocimientos son necesarios para realizar un dimensionamiento correcto el cual debe ser preciso, debido a que, si los datos de partida son erróneos, el diseño no será el mismo y por ende condenaría al fracaso todo el proyecto.

- Se recomienda evaluar las mejores alternativas que estén de acorde a las características de la ciudad, ya que de acuerdo con eso se buscara información bibliográfica que cuente con condiciones similares a las de la ciudad para que puedan ser utilizadas con guía para la elaboración del proyecto de titulación al igual que para el diseño de los tratamientos requeridos para recaudar el agua residual de la ciudad.

- En el diseño del sistema de desinfección mediante lámparas UV se requiere asesoramiento de empresas expertas en la confección e instalación de los equipos para que estos tengas un funcionamiento óptimo en la planta.

- Se debe ser precisos en cuando al dimensionamiento de cada tratamiento de la planta, se recomienda tomar en cuenta todos los parámetros de partida de cada diseño, esto garantizara que la propuesta este acorde a las necesidades de los 11 barrios de la zona urbana de la ciudad de La Joya de los Sachas y que se cumpla con los límites permisibles de descarga para el estero Quinchayacu.

5. REFERENCIAS

Aguilar, V. H., Blanco, H. A., Lara, M. S., & Velezmoro, A. C. (2014). *Consumo de agua en actividades domésticas. Caso de estudio: Estudiantes de la asignatura saneamiento ambiental de la UCV.* Caracas: Universidad de Venezuela.

Aldás, J. C. (2011). *Diseño del Alcantarrillado Sanitario y Pluvial y Tratamiento de Aguas Servidas de 4 lotizaciones Unidas.* Quito: Pontifica Universidad Católica del Ecuador.

Amancha, W. (2015). *Las Aguas Residuales y la Incidencia en la Condición Sanitaría de los Moradores de los Barrios La Floresta, Quebradapalahua y sus Alrededores, Cantón Cevallos, Provincia de Tungurahua.* Ambato: UTA.

Andrade, K. C. (2015). *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Eichhornia crassipes Mart. (Jacinto de Agua), Pistia stratiotes L. (Lechuga de Agua9 en el tratamiento de Aguas Residuales Domésticas procedentes de la Planta de Tratamiento.* Nueva Loja: Universidad Nacional de Loja. Obtenido de https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11868/1/Kelvin%20Cristian%20Andrade%20Jim%c3%a9nez.pdf

Calderón, G. (2014). *Diseño y construcción del prototipo en línea de un sistema de tratamiento de aguas residuales a base de luz ultravioleta.* Cuenca: UPS .

CARE. (2012). *Sistema de Saneamiento Ambiental.* Cuenca: Programa Unificado de Fortalecimiento de Capacidades. Obtenido de http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/sistemas_de_saneamiento_ambiental.pdf

Chimbo, G. P., & Montero, G. G. (2018). *Diseño y Construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas con Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial en la Parroquia San Luis de Armenia,Comunindad San Luis de Armenia, Provincia de Orellana.* San Luis de Armenia. Provincia de Orellana: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Obtenido de http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/8944/1/236T0341.pdf

Cisneros, B. (2008). *Teorema Ambiental.* Mexico. Recuperado el 01 de abril de 2008, de http://www.teorema.com.mx/agua/antecedentes-de-la-contaminacion-del-agua/

Cordova, A. M. (2013). *Evaluación, mejoramiento, ampliación y diseño definitivo de los sistemas de alcantarillado sanitario de los barrios Amazonas, Alborada, Cinco de junio y Jaime Roldós, cantón La Joya de los Sachas, Prov. de Orellana.* La Joya de los Sachas. Orellana: Gobierno Autonomo Descentralizaado Cantonal La Joya de los Sachas.

Cuyuja, P. (2012). *Estudio de Impacto Ambiental Alcantarillado.* CELEC EP ENERNORTE.

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales.* (N. A. Durán, Ed.) Cochabamba, Bolivia. Obtenido de https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf

Díaz, E., Alvarado, A., & Camacho, K. (Enero de 2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible. *Quivera, 14*(1), 81. Recuperado el 19 de noviembre de 2020, de https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf

Dirección General de Aviación Civil. (2013). *Información Meteorológica de la Joya de los Sachas.* Sacha: Dirección General de Aviación Civil.

EPA. (1999). *Folleto informativo de Tecnología de Aguas Residuales.* Washington: United States Environmental Protection Agency. Obtenido de https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/cs-99-064.pdf

Espigares, M., & Pérez, J. (2014). *Aguas Residuales composicion.* Colombia: Universidad de Córdoba Colombia. Obtenido de https://www.studocu.com/co/document/universidad-de-cordoba-colombia/procesos-unitarios/informe/aguas-residuales-composicion-libro/7477631/view

Flores, S. (2016). *Diseño de Planta de Tratamiento de aguas residuales utilizando Humedales Artificiales para riego en la ciudad universitaria los modulos, Ayacucho.* Huancayo: Universidad Peruana del Centro. Obtenido de http://repositorio.upecen.edu.pe/handle/UPECEN/83

Freire, P. (2012). *Análisis y evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la empresa Teimsa Ambato.* Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Fuentes, A. S. (2012). *Diseño y Cálculo de la Obra de Llegada y Pretratamiento de una EDARU.* Madrid. España: Universidad Carlos III de Madrid. Obtenido de https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/14487/PFC_Alejandro_Fuentes_Santos.pdf?sequence=1

Galeano, L., & Vivian, R. (2016). *Propuesta de diseño de una planta de tratamiento de agua residual por zanjon de oxidación para el casco urbano del Municipio de Velez - Santander.* Bogota : Universidad Catolica de Colombia.

García, J., & Corzo, A. (2008). *Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial.* Barcelona: GEMNA.

Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Orellana. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Orellana 2014-2019.* Francisco de Orellana. Obtenido de https://www.gporellana.gob.ec/wp-content/uploads/2015/11/PDYOT-2015-2019_ORELLANA_ACTUALIZADO.pdf

Gómez, J. P. (2006). *Diseño del Sistema de Alcantarillado Sanitario de la Comunidad de "Huaycopungo".* Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Grefa, L. (2013). *Rediseño de la Planta de Tratamiento de Aguas.* Tesis, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Riobamba. Obtenido de http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/3116/1/236T0080.pdf

Gutiérrez, D., & Torres, M. (2013). *Estudio Comparativo y Estadístico de la Calidad de el Agua Potable en las Redes de Distribución de la Parroquia Guapán del Cantón Azogues.* Cuenca: Universidad de Cuenca.

IEOS. (2015). *Proyecto de código ecuatoriano para el diseño de la construcción de obras sanitarias.* Quito: Subsecretaria de Saneamiento Ambiental y Obras Sanitarias.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2015). *Anuarios Meteorológicos.* Coca: INAMHI.

Isla, R. (2005). *Proyecto de Plantas de Tratamiento de Aguas. Aguas de Proceso, Residuales y Refrigeración.* Madrid: BELLISCO.

León, G. S., & Moscoso , J. C. (1996). *Curso de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales. OpS/CEPIS/PUB 96.20.* Lima. Perú.

León, M. (2015). *Caracterización Físico-Química, Biológica y Ecotoxicológica del Agua Residual de un Hospital de la Ciudad de Cuenca.* Universidad de Cuenca, Cuenca. Obtenido de http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21222/1/TESIS.pdf

López, J. (2011). *Evaluación de la eficiencia de un reactor anaeróbico de flujo ascendente y manto de lodos UASB para el tratamiento de aguas residuales - escala laboratorio.* Quito: Universidad San Francisco de Quito. Obtenido de http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/750

Lovato , G. G. (2018). *Diseño de un Jardín Depurador Piloto para el Tratamiento de Aguas Residuales en la Hostería Garceta-Sol.* Quito. Ecuador: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.

Lozano, W. (2012). *Fundamentos de Diseño de Plantas Depuradoras de Aguas Residuales.* Bogotá: Universidad Piloto de Colombia. Obtenido de file:///C:/Users/pao_m/Downloads/Fund.DiseoDepuradorasAR.pdf

Lozano, W. A. (2012). *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.* Bogotá D.C., Colombia: Universidad Piloto de Colombia.

Metcalf, & Eddy. (1995). En *Ingenieria de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilización* (Vol. I, págs. 124-125). Madrid, España.

Moscoso, A. (2013). *Evaluación, Mejoramiento, Ampliación y Diseño Definitivo de los Sistemas de Alcantarrillado Sanitario de los Barrios Amazonas, Alborada, Cinco de Junio, Jaime Roldos, Cantón La Joya de los Sachas, Prov. de Orellana.* La Joya de los Sachas: Gobierno Autonomo Desentralizado de La Joya de los Sachas.

Navarrete, D. C., Tinoco, L. A., Borodulina, T., & Muñoz, C. C. (2018). Diseño, Construcción y Operación de la Planta de Tratamientos de Aguas Residuales. PTAR's San Agustin. Patate: Compas.

Noyola, A., Morgan, J. M., & Guereca , L. P. (2013). Selección de Técnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. En *Guia de apoyo para ciudades pequeñas y medianas* (págs. 13-14). México.

Oropeza, N. (2006). Lodos residuales: estabilización y manejo. *Caos Conciencia.* México: Universidad de Quintana Roo.

Ortega, A. (2015). *Rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales Rumipamba de las rosas del cantón Salcedo.* Riobamba: ESPOCH.

Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. (2015). *Actualización y Fortalecimiento PDyOT "La Joya de los Sachas". Resumen Ejecutivo.* La Joya de los Sachas: Gobierno Autónomo Descentralizado La Joya de los Sachas. Obtenido de https://munjoyasachas.gob.ec/index.php/canton/2013-05-10-16-33-47

Quiminet. (2011). Obtenido de https://www.quiminet.com/articulos/las-caracteristicas-de-los-detergentes2603319.htm

Raschid, S. L., & Jayakody, P. (2008). *Drivers and characterícsics of wastwater agriculture in developing countries.* Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.

RNE. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciónes; Título II - Parte II.3. Obras de Saneamiento.* Lima. Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Obtenido de https://ww3.vivienda.gob.pe/ejes/vivienda-y-urbanismo/documentos/Reglamento%20Nacional%20de%20Edificaciones.pdf

Rodas, A. (Febrero de 2007). *Universidad de San Carlos de Guatemala.* Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1049_Q.pdf

Romero, J. (2000). *Tramiento de Aguas Residuales Teoría y Principios de Diseño.* Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Romero, J. (2002). *Calidad de Agua.* Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería. Obtenido de https://www.academia.edu/38972813/Calidad_del_Agua_ROMERO_ROJAS

Romero, R. (1999). *Tratamiento de Agua Residual.* Bogotá: Santa Fe de Bogotá.

Sainz, J. (2005). *Tecnologías para la Sostenibilidad: Procesos y Operaciones Unitarias en Depuración de Aguas Residuales.* Madrid: Fundación EIO.

Salas, J. J. (12 de Noviembre de 2018). *Lechos Bacterianos: depurando con biofilms (y II)*. Obtenido de iagua: https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/filtros-percoladores-0

Salas, J. J. (5 de Noviembe de 2018). *Lechos bacterianos: una tecnología robusta, pero un tanto olvidada*. Obtenido de iagua: https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/lechos-bacterianos-tecnologia-robusta-pero-tanto-olvidada

Salas, J. J. (16 de 11 de 2020). *El modesto tanque Imhoff: fundamentos y diseño*. Obtenido de iagua: https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/modesto-tanque-imhoff-fundamentos-y-diseno

Salas, J. J. (Dirección). (2020). *Tecnologías extensivas. Humedales Artificiales* [Película].

Salas, J. J. (Dirección). (2020). *Tratamientos secundarios intensivos: Biomasa Fija. Filtro Percoladores* [Película].

SANITRON. (13 de Mayo de 2016). *SANITRON Ingeniería de Purificación*. Obtenido de https://www.sanitronec.com/product-category/ultravioletas/

Secretaria de Agua. (2012). *Normas para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes.* IEOS.

Semarnat. (2012). *Informe de la situación del medio ambiente en México.* México: SNIARN.

Tenecota, J. (2015). *Las Aguas Residuales Domésticas Y Su Incidencia En La Calidad De Vida De Los Moradores De Los Barrios Cochaverde, San Frnacisco Y Chaupiloma De La Parroquia San Andrés, Cantón Píllaro, Provincia De Tungurahua.* Ambato: Uta.

Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente. (2015). *Reforma del Libro VI.* Quito: Ministerio del Ambiente. Obtenido de https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf

Toalongo, R. E. (2012). Diseño de un sistema de recolección, depuración y aprovechamiento de aguas residuales para fincas agroecológicas familiares en la parroquia El Valle – Cantón Cuenca. Cuenca: UNIVERSIDAD DE CUENCA. Obtenido de http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3243/1/TESIS.pdf

Vargas, T. (2012). *Optimización del sistema de tratamiento de agua residual de la.* Riobamba.

Villacis, A. (2011). *Estudio de un Sistema deDepuración de Aguas Residuales para reducirla contaminación de Río Ambato y los sectores aledaños, en el sector dePisocucho, de la parroquia Izamba, del Cantón Ambato, Provincia deTungurahua.* Ambato: UTA.

Vinueza, J. S. (2014). *Diseño de un Sistema de Pantanos Artificiales para el Tratamiento de Aguas Negras y Grises del Campo Base y Área de Mantenimiento El Coca de la Empresa "TRIBOILGAS".* Quito. Ecuador: UCE.

Viteri , L. A. (2012). *Estudio del sistema de alcantarillada sanitario para la evacuación de las aguas residuales en el caserío el placer de la parroquia Rio Verde de la Provincia de Tungurahua.* Ambato: UTA.

6. ANEXOS

Anexo 1. Lugar propuesto para el diseño.



Anexo 2. Cotización del Canal de Entrada.

Costos de Canal de Entrada			
Cantidad	**Descripción**	**Precio Unitario**	**Total**
4	Fundas de cemento de 50 kg	9	36
-	Mano de obra	-	150
4	Carretillas de ripio	6	140
4	Carretillas de arena	5	20
1	Hora de Maquinaria (Retroexcavadora)	30	30
1	Encofrado	100	100
5	Adecuación de fondo de zanja (horas)	30	150
2	Quintal de varilla de 8 líneas	45	90
10	Tubería	40	400
		Subtotal	1,116
		IVA 12%	133.92
		Total	1,249.92

Fuente: (Acosta, 2021).

Anexo 3. Cotización de Pozos de Gruesos.

Costos de Pozos de Gruesos			
Cantidad	**Descripción**	**Precio Unitario**	**Total**
1	Reja de acero inoxidable de 10 cm de separación entre barrotes	1,783	1,783
30	Fundas de cemento 50 kg	9	270
2	Volqueta de ripio	140	140
3	Volqueta de arena	125	375
6	Quintal de varilla de 8 líneas	45	270
-	Mano de obra	-	2,500
8	Hora de Maquinaria (Retroexcavadora)	30	240
1	Cuchara bivalva	7,485.92	7,485.92
4	Encofrado	100	400
8	Adecuación de fondo de zanja (horas)	30	240
1	Puente grúa	22,139	22,139
		Subtotal	35,842.92
		IVA 12%	4,301.1504
		Total	40,144.0704

Fuente: (Acosta, 2021) y (Fuentes, 2012).

Anexo 4. Cotización de Rejas de Gruesos y Finos.

Costos de Rejas de Gruesos y Finos			
Cantidad	**Descripción**	**Precio Unitario**	**Total**
10	Fundas de cemento 50 kg.	9	90
-	Mano de obra.	-	600
1	Volqueta de ripio.	140	140
1	Volqueta de arena.	125	125
4	Hora de Maquinaria (Retroexcavadora).	30	120
2	Encofrado.	100	200
4	Adecuación de fondo de zanja (horas).	30	120
4	Quintal de varilla de 8 líneas.	45	180
2	Reja de acero inoxidable de 60 mm de separación.	800	1,600
2	Reja de acero inoxidable de 10 mm de separación.	640	1,280
2	Rastrillo para limpieza de rejas.	10.5	21
		Subtotal	4,476
		IVA 12%	537.12
		Total	5,013.12

Fuente: (Acosta, 2021) y (Fuentes, 2012).

Anexo 5. Cotización de Desengrasador Desarenador.

Costo de Desengrasador Desarenador			
Cantidad	**Descripción**	**Precio Unitario**	**Total**
180	Fundas de cemento 50 kg	9	1,620
-	Mano de obra	-	4,000
9	Quintal de varilla de 8 líneas	45	405
12	Volqueta de ripio	140	1,680
15	Volqueta de arena	125	1,875
8	Encofrado	100	800
2	Compresor de aire	3,305	6,610
2	Bombas de succión.	2,345	4,690
2	Desnatador	4,140	8,280
2	Concentrador de arenas	2,405	4,810
12	Hora de Maquinaria (Retroexcavadora)	30	360
		Subtotal	35,130
		IVA 12%	4,215.6
		Total	39,345.6

Fuente: (Acosta, 2021) y (Fuentes, 2012).

Anexo *6*. *Cotización de Tanque Imhoff y de Lecho Secados de Lodos.*

Costo de Tanque Imhoff y de Lecho Secados de Lodos			
Cantidad	**Descripción**	**Precio Unitario**	**Total**
2,750	Fundas de cemento 50 kg	9	24,750
-	Mano de obra	-	60,000
825	Quintal de varilla de 8 líneas	45	37,125
50	Volqueta de ripio	140	7,000
50	Volqueta de arena	125	6,250
30	Hora Maquinaria (Retroexcavadora)	30	900
30	Encofrado	100	3,000
		Subtotal	139,025
		IVA 12%	16,683
		Total	155,708

Fuente: (Acosta, 2021) y (Fuentes, 2012).

Anexo 7. Cotización de Filtro percolador.

Costo de Filtro percolador			
Cantidad	**Descripción**	**Precio Unitario**	**Total**
2	Tanque para filtro percolador construido en PRFV de alta resistencia	54,680	109,360
2	Piso de polietileno para filtro percolador y soporte de Biopack.	13,775	27,550
-	273,3 m3 de Relleno de Biopack 100m2 * m3.	60,166	60,166
2	Aspersor rotativo para percolador con brazo de acero	7,000	14,000
4	Bomba de aspersión marca Tsurumi (Japón) 220 V 3 HP 60 Hz (Incluye tubería / accesoria)	1,900	7,600
2	Caja de control automática	4,800	9,600
		Subtotal	228,276
		IVA 12%	27,393.12
		Total	255,669.12

Fuente: (NRC, 2021)

Anexo 8.. Cotización de Decantador Secundario.

Costo de Decantador Secundario			
Cantidad	**Descripción**	**Precio Unitario**	**Total**
2	Tanque Decantador en PRFV de 854,2 m3. Incluye vertedero perimetral, tubo central de equipamiento, sistema de retornos de lodos y natas	472.671,57	945,343.14
-	Asesoría en instalación, incluye planos de detalle para la construcción del sistema	-	10,000
		Subtotal	955,343.14
		IVA 12%	114,641.177
		Total	1’069,984.32

Fuente: (NRC, 2021)

Anexo 9. Cotización de Desinfección UV.

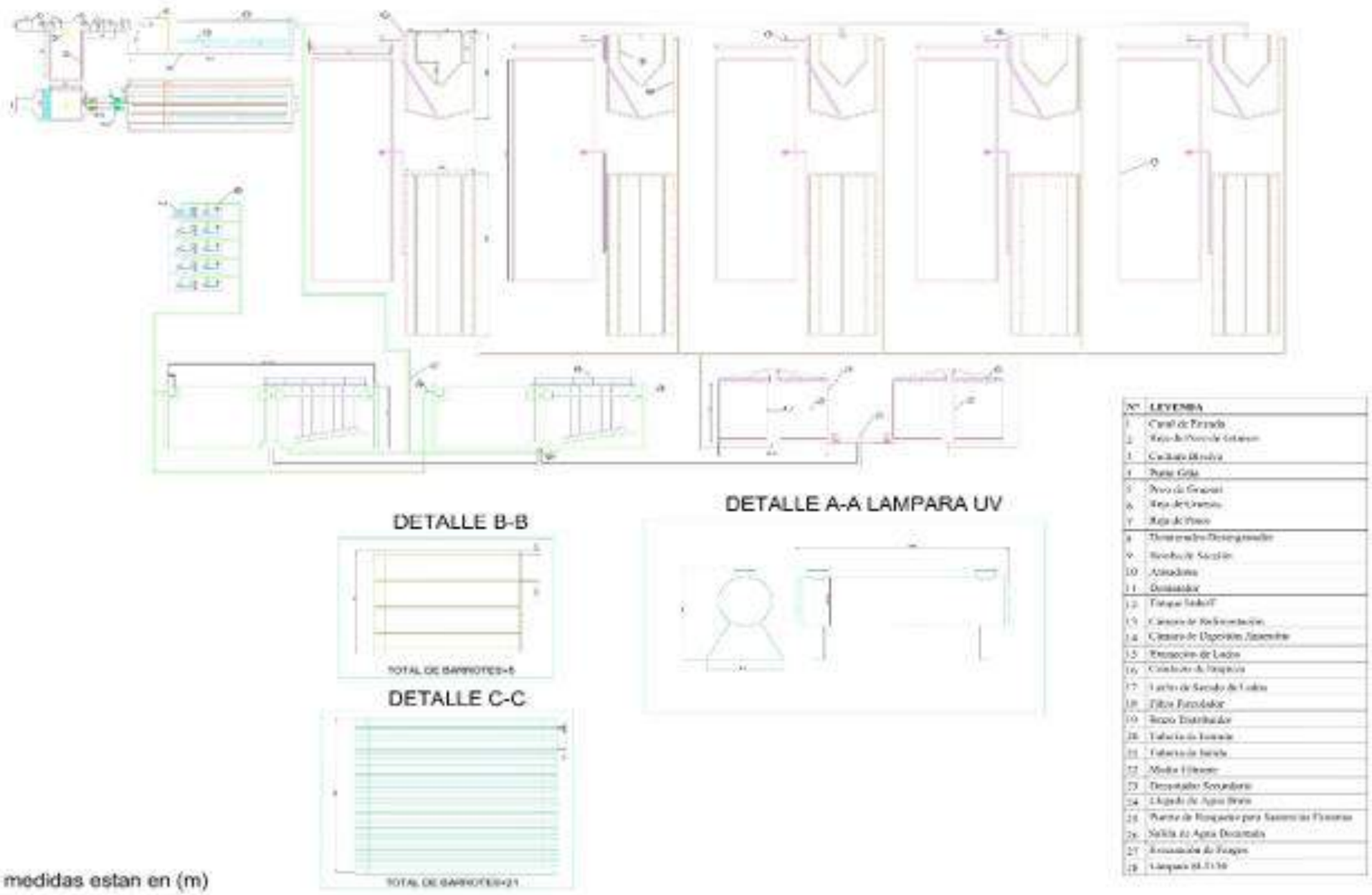
Costos de Desinfección UV			
Cantidad	**Descripción**	**Precio Unitario**	**Total**
10	Lámparas UV -Modelo SLT150	840	8,400
		Subtotal	8,400
		IVA 12%	1,008
		Total	9,408

Fuente. *(SANITRON, 2016).*

Anexo 10. Cotización total de la Implementación de la Planta de Tratamiento.

Costo de Implementación de la Planta de Tratamiento	
Equipo	**Valor**
Canal de entrada	1,249.92
pozos de gruesos	40,144.0704
rejas de gruesos y finos	5,013.12
desengrasador desarenador	39,345.6
Tanque Imhoff y Lecho secados de lodos	155,708
Filtro percolador	255,669.12
Decantador secundario	1’069,984.32
Desinfección UV	9,408
Total del Diseño	1’576,522,15

Anexo 11. Dimensionamiento de la Planta de Tratamientos de Aguas Residuales.



Todas las medidas estan en (m)