UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto de investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental

TEMA:

PROPUESTA DE DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PARA LA COMUNIDAD MUSHUK WARMI DE LA PARROQUIA TARQUI, PROVINCIA DE PASTAZA.

AUTORES:

Jéssica Susana Guamán Farinango

Claudia Estefanía Romero Naranjo

DIRECTOR:

M.Sc. GUTIÉRREZ DE LEÓN EBERTO TUNIESKY

Pastaza-Ecuador

Julio 2021

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quienes suscriben, Jéssica Susana Guamán Farinango portadora de cédula de identidad N° 172176866 9 y Claudia Estefanía Romero Naranjo portadora de cédula de identidad N° 160063130 1, declaramos como autores de los contenidos para la elaboración del Proyecto de Investigación titulado **"PROPUESTA DE DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA COMUNIDAD MUSHUC WARMI DE LA PARROQUIA TARQUI, PROVINVIA DE PASTAZA",** el cual constituye de elaboración personal realizada mediante la orientación del nuestro director M.Sc. Gutiérrez De León Eberto Tuniesky, gozando de la originalidad de la conceptualización del trabajo, interpretación de datos y elaboración de conclusiones, que han sido ilustrados y comentados por los autores y los resultados obtenidos en el presente proyecto, basados en aportes intelectuales de otros autores. A la vez conferimos los derechos a la Universidad Estatal Amazónica que puede hacer público de la misma ya sea de forma digital y físico.

En el cantón Pastaza, a los 07 días del mes de julio del 2021.

Jéssica Susana Guamán Farinango

CI: 172176866 9

Claudia Estefanía Romero Naranjo

CI: 160063130 1

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

FORMATO 6: INFORME DEL TRIBUNAL DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

INFORME DEL TRIBUNAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Título: Propuesta de diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales en la comunidad Mushuk Warmi de la parroquia Tarqui"

Autor (a): Romero Naranjo Claudia Estefanía
Guamán Farinango Jessica Susana

Unidad de Integración Curricular de Carrera: Ambiental
Director del Trabajo de Integración Curricular :Gutiérrez de León Eberto Tumasky
Fecha: 16-07-2021

Los Profesores integrantes del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular , emiten los siguientes criterios.

Una vez revisado el documento del Trabajo de Integración Curricular antes mencionado, y previas reuniones de trabajo mantenidas con el señor estudiante y director del proyecto, con la finalidad de aclarar dudas y hacer señalamientos especialmente de forma, y tomando como referencia el formato aprobado para estos casos, se resuelve:

1. Que el Trabajo de Integración Curricular titulado:
   Propuesta de diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales en la comunidad Mushuk Warmi de la parroquia Tarqui"
   cumple con los requisitos exigidos en el formato aprobado por la UEA.
2. Que los aspectos de forma que se observan deberán ser corregidos previo al empastado del documento final y su entrega en Secretaría Académica y defensa oral.

Por lo que en nuestra calidad de Tribunal emitimos el INFORME FAVORABLE del Trabajo de Integración Curricular en mención, para continuar con lo establecido en la normativa vigente.

Sin otro particular.

Atentamente,

RICARDO VINICIO ABRIL SALTOS
Abril Saltos Ricardo Vinicio
PRESIDENTE DE TRIBUNAL

KAREN YAEL CAZARES CARRION
Cazares Carrión Karen Yael
Miembro del Tribunal

RUBEN DARIO LEDESMA ACOSTA
Rubén Darío
Miembro del Tribunal

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD OBTENIDO EN EL SISTEMA ANTIPLAGIO

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

Certificado No. 105-SAU-UEA-2021

Puyo, 06 de julio de 2021

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente a las estudiantes: Guzmán Farinango Jessica Susana con C.I. 1721768669 y Romero Naranjo Claudia Estefanía con C.I. 1600631301, con el Tema: **"PROPUESTA DE DISEÑO UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PARA LA COMUNIDAD MUSHUK WARMI DE LA PARROQUIA TARQUI, PROVINCIA DE PASTAZA."**, de la carrera, Ingeniería Ambiental. Director de la investigación M.Sc. Gutiérrez De León Eberto Tunnisky, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 3%, Informe generado con fecha 06 de julio de 2021.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

ITALO MARCELO

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

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quienes suscriben, Guamán Farinango Jessica Susana y Romero Naranjo Claudia Estefanía, declaro que el presente proyecto de investigación, es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Jéssica Susana Guamán Farinango

CI: 172176866 9

Claudia Estefanía Romero Naranjo

CI: 160063130 1

DEDICATORIA

El presente proyecto de investigación va dedicado a la memoria de mi padre José Miguel, a mi madre María Consuelo por ser quienes me dieron la vida y ser el pilar fundamental, a mis hermanos y sobrinos que con su amor, apoyo y comprensión han sabido guiar mi vida por el sendero de la verdad y la justicia a fin de ser una persona de bien y honrar a mi familia.

A la memoria de mis abuelitos Pedro y Antonia, quienes fueron mis segundos padres, demostrándome que sus canas fueron sinónimo de sabiduría y esfuerzo, estando ahí para ser mis maestros y enseñarme el sacrifico de todas las cosas.

A Dios por haberme dado la vida, la fortaleza y sabiduría necesaria para haber llegado a alcanzar unos de mis objetivos trazados en mi vida.

JÉSSICA GUAMÁN.

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico principalmente a Dios por brindarme la fortaleza para llegar a esta etapa de mi formación.

A mis padres Francisco y Rosita quienes con su amor, paciencia y esfuerzo han inculcado grandes valores los mismos que me han permitido culminar una etapa más de mi vida.

A mis hermanos Wilmer, Christian y Kevin por estar siempre conmigo a pesar de las derrotas han sido unos grandes amigos y consejeros, les agradezco por la confianza que depositaron en mí.

A mi esposo Alexis por darme la oportunidad de seguir compartiendo logros juntos donde no siempre han sido victorias, pero a pesar de todo siempre me brindó su apoyo incondicional.

A mis hijos Gonzalito y Paulita, que son mi motor para seguir adelante cumpliendo mis sueños y alcanzando mis metas, para ser un ejemplo para ellos y darles una vida sana y feliz.

CLAUDIA ROMERO.

AGRADECIMIENTO

Con gratitud y respeto presento el siguiente proyecto:

A la UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA, quien me permitió ser parte de ella brindándome la excelencia y calidad en sus enseñanzas y conocimientos, donde forje mis sueños e ilusiones que hoy veo realizados.

A mis compañeros y amigos/as que me alentaron en mis deseos de esfuerzo y superación, a quienes llevare siempre en mi corazón.

A Stalin, por ser esa persona especial que ha estado a mi lado sosteniéndome de la mano inclusive en los momentos de tristeza y felicidad, quien es mi fuente de apoyo.

A mis docentes, quienes un día me enseñaron que soy capaz de dar mucho más de mí y no rendirme fácilmente, doy gracias por esa gran lección de vida que hoy en día me permite estar aquí.

Finalmente quiero expresar mi sincero agradecimiento a mi compañera de investigación Claudia y a mi Tutor Eberto Tuniesky Gutiérrez De León, quien me brindó su apoyo y amistad en todo el transcurso de esta etapa.

JÉSSICA GUAMÁN.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por su gran bendición que llena mi vida y la de mi familia.

Mi profundo agradecimiento a las autoridades y al personal quienes son parte de la Universidad Estatal Amazónica por abrirme las puertas hacia mi formación profesional.

De igual manera un agradecimiento a mis docentes que han puesto un granito de su conocimiento, enseñanza y experiencia en cada etapa de mi formación, y que día a día me hicieron crecer como profesional, gracias por su dedicación, su apoyo incondicional y por su valiosa amistad.

Finalmente quiero expresar mi agradecimiento a todos mis compañeros con quienes nos hemos esforzado por alcanzar esta etapa importante de nuestras vidas.

CLAUDIA ROMERO.

RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVE

Debido al rápido crecimiento de las poblaciones, y a la poca educación ambiental que se percibe en las personas; en la presente investigación se elaboró una propuesta del diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en la comunidad Mushuk Warmi, Provincia de Pastaza, con el propósito de que la ejecución del diseño propuesto contribuya a mejorar la calidad de vida de los habitantes de la comunidad, para llegar a este objetivo se siguieron tres subactividades: elaborar los datos de partida y línea base para la PTAR, diseñar la alternativa más eficiente de PTAR para la comunidad Mushuk Warmi y analizar el valor económico de su posible construcción. Esta investigación se basó fundamentalmente en revisión bibliográfica de alto impacto y pidiendo asesoría y/o consejos a expertos en el tema, y está enfocado en una investigación no experimental de tipo descriptivo cuantitativo simple, bibliográfico. Los resultados más relevantes que se pudo obtener es el rápido crecimiento de la población Mushuk Warmi, con una tasa de 1.5% en los últimos años, según el último censo local (2015); aplicando la matriz de Pugth se estableció que la PTAR más apropiada para las características de la comunidad fue un humedal de flujo subsuperficial vertical, y el posible valor económico de la PTAR oscilaría el monto de $ 19.846. En conclusión, la posible aplicación de la PTAR en la comunidad Mushuk Warmi contribuirá al desarrollo y crecimiento de la población, mejorando el estado de la calidad del agua del río Puyo.

Palabras clave: comunidad, diseño, Mushuk Warmi, subsuperficial.

ABSTRACT AND KEYWORDS

Due to the rapid growth of the populations, and the little education that is perceived in the people, in the present investigation a design proposal of the domestic wastewater treatment plant for the Mushuk Warmi community of the Tarqui parish was elaborated, in the province of Pastaza, with the purpose that the execution of the proposed design will contribute to improving the quality of life of the inhabitants of the aforementioned community, the purpose of the plant is to depute the pollutants from the community's sewage, mainly organic matter, to achieve this goal, three specific objectives were followed: to prepare the starting data and baseline for the PTAR, design the best PTAR alternative for the Mushuk Warmi community and analyze the economic value of its possible construction. This research was mainly based on a high-impact bibliographic review and asking for advice and/or advice from experts on the subject, and is focused on a simple quantitative descriptive research. The most relevant results that could be obtained is the rapid growth of the Mushuk Warmi population, with a rate of 2.6% from the last local census (2015) to the present, the most appropriate PTAR due to the characteristics of the community was a humidity of vertical subsurface flow, and the possible economic value of the PTAR would be $ 19,846.39. Finally, all the objectives set for the project were met.

Keywords: community, design, Mushuk Warmi, subsurface.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I 17

1.1. Introducción 17

1.2. Planteamiento del Problema 19

1.2.1. Descripción del problema. 19

1.2.2. Formulación del problema. 19

1.2. Objetivos 20

1.2.1. Objetivo general 20

1.2.2. Objetivos específicos 20

1.3. Justificación 21

CAPITULO II 22

2. Fundamentación teórica 22

2.1. Marco conceptual 22

2.1.1. El Agua ..... **¡Error! Marcador no definido.**

2.1.2. Contaminación hídrica ..... **¡Error! Marcador no definido.**

2.1.3. Aguas residuales 24

2.1.4. Composición del agua residual 24

2.1.5. Características físicas 24

2.1.6. Características químicas 25

2.1.7. Características biológicas 27

2.1.8. Tratamiento de aguas residuales 28

2.1.9. Etapas de PTAR de origen doméstico 30

2.2. Marco Legal 31

2.2.1. Normativa Ambiental Vigente para el tratamiento de aguas residuales 31

Tabla 2. Límites De Descarga A Un Cuerpo De Agua Dulce. 33

CAPÍTULO III 36
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 36
3.1. Localización 36
3.2. Análisis Demográfico 37
3.2. Tipo de investigación 38
3.2.1. No experimental 38
3.2.2. Enfoque cuantitativo. 38
3.2.3. Descriptiva 38
3.2.4. Bibliográfica 38
3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN 39
3.3.1. DETERMINACIÓN DE LOS DATOS DE PARTIDA PARA EL DISEÑO DE LA PTAR PARA LA COMUNIDAD MUSHUK WARMI, PARROQUIA TARQUI 39
3.3.2. EVALUAR Y DISEÑAR LA MEJOR ALTERNATIVA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS ÓPTIMO PARA LA PARROQUIA MUSHUK WARMI. 41
3.3.3. DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS PARA LA COMUNIDAD MUCHUK WARMI. 43
3.3.4. ANALIZAR DEL VALOR TÉCNICO - ECONÓMICO DE LA POSIBLE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS A CONSTRUIR EN LA PARROQUIA MUSHUK WARMI. 62
CAPÍTULO IV 63
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN: 63
4.1. DETERMINACIÓN DE LOS DATOS DE PARTIDA PARA EL DISEÑO DE LA PTAR PARA LA COMUNIDAD MUSHUK WARMI, PARROQUIA TARQUI 63
4.2. DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS 65

4.2.2. Dimensionamiento del canal de entrada 65
4.2.3. Diseño de la rejilla 66
4.2.4. Diseño del desarenador 66
4.2.5. Diseño de la fosa séptica 67
4.2.6. Dimensionamiento del lecho de secado de lodos 68
4.2.7. Dimensionamiento del humedal artificial de flujo subsuperficial vertical 69
4.3. ANÁLISIS ECONÓMICO 70
4.3.2. Pretratamiento 70
4.3.3. Canal de entrada y desbaste 70
4.3.4. Desarenador 71
4.3.5. Fosa séptica 71
4.3.6. Lecho de secado de lodos 72
4.3.7. Humedal artificial de flujo subsuperficial 72
4.3.8. Luz ultravioleta 73
4.3.9. Total del presupuesto para la PTAR 73
CONCLUSIONES 74
RECOMENDACIONES 75
REFERENCIAS 76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. Límites De Descarga A Un Cuerpo De Agua Dulce. 33

Tabla 3. Población parroquia Tarqui año 2014. 37

Tabla 3. Ponderación de la Matriz de Pugh 42

Tabla 4. Matriz de Pugh para la toma de decisiones. 42

Tabla 5. Fórmulas para el cálculo de los caudales mínimo y punta para diferentes tamaños de población. 45

Tabla 6. Fórmulas empíricas para el cálculo de caudal punta para diferentes tamaños de población. 45

Tabla 7. Valores recomendados de los parámetros necesarios para el diseño de un canal de desbaste y sus respectivas rejas. 46

Tabla 8. Valores recomendados de los parámetros necesarios para el dimensionamiento de desarenadores 48

Tabla 9: 52

Tabla 10. Tiempo de retención hidráulica 53

Tabla 11: 54

Tabla 12: 57

Tabla 13: 61

Tabla 17. Parámetros de partida para los dimensionamientos de los equipos. 65

Tabla 18. Medidas del canal de entrada. 65

Tabla 19. Medida entre las rejillas finas. 66

Tabla 20. Medidas del cálculo para el diseño del Desarenador. 66

Tabla 21. Cálculos de la Fosa Séptica 68

Tabla 22. Cálculo de Lecho de secado.....69

Tabla 23. Cálculo de Humedales. 69

Tabla 24: Cotización preliminar del sistema de pretratamiento. 70

Tabla 25: Cotización preliminar del sistema de pretratamiento. 70

Tabla 26: Cotización del Desarenador.....71

Tabla 27: Cotización de la fosa séptica. 71

Tabla 28: Cotización del Lecho de Secado de Lodos.....72

Tabla 29: Cotización de Humedal artificial.....72

Tabla 30: Cotización del Método de desinfección UV.....73

Tabla 31: Costo Total de implementación de la planta de tratamiento.....73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localización para el proyecto de diseño de una PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales) en la comunidad Mushuk Warmi.....36

Figura 2: Distribución de la precipitación anual. 63

CAPÍTULO I

1.1. Introducción

El agua es un líquido vital que es necesario e indispensable para la supervivencia de los seres humanos, además es un factor clave para las actividades cotidianas, de uso doméstico, industrial, ganadero y agrícola (Parada, 2012). En el Ecuador la degradación de este recurso ha ido en aumento y sumado al bajo interés por tratar las aguas residuales que tienen un alto impacto nocivo en los cuerpos de agua donde se descargan las mismas, han repercutido en la calidad de vida de la población (Egocheaga & Moscoso, 2004).

Esta problemática ha ido en aumento ya que los sectores domésticos, realizan las descargas residuales sin tratamiento a los cuerpos de agua cercanos no importando las cargas de químicos, colorantes, materia orgánica u otro contaminante que estas tengan. Es por esto que nace la preocupación y necesidad para realizar el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) para las aguas residuales de la comunidad Mushuk Warmi y sus alrededores, en beneficio a la calidad de agua del río Puyo, que es una de las principales fuentes hídricas de la provincia y que cada vez está siendo más comprometido, explotado y alterado.

En la mayoría de ciudades del país no cuenta con Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) ni tampoco con alcantarillados separados para aguas servidas y aguas de lluvia, lo que dificulta aún más el tratamiento de agua, en muchos casos estas aguas contaminadas se siguen utilizando para riego de hortalizas y verduras o para recreación, como es el caso de los ríos de la costa y amazonia, dado que al estar algunos de ellos severamente contaminados, la gente continua visitando los ríos y realizan natación o pescan en ellos porque no tiene otra opción o porque no son debidamente informados (Torske, 2019).

El presente proyecto de investigación es llevado a cabo para realizar el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, en la próspera comunidad de Mushuk Warmi, ubicada en la parroquia Tarqui, Pastaza.

La importancia de la investigación planteada radica en que el agua que fue usada para el consumo humano en la comunidad Mushuk Warmi sea tratada con los procedimientos debidos y así disminuir la contaminación.

En la actualidad debido al crecimiento poblacional que ha tenido la comunidad, tanto en infraestructura como en el número de habitantes, es importante contar con una planta que, de tratamiento al agua residual, pues es un problema latente al cual no se le ha dado una solución.

Dentro de la investigación se abordaron diferentes tipos de tratamientos para aguas residuales, poniendo especial énfasis en el tratamiento de un humedal de flujo subsuperficial vertical, puesto que es el más viable técnicamente para comunidades pequeñas.

El diseño, construcción y optimización de la planta piloto, servirá para dar tratamiento a todas las aguas residuales que genera la comunidad Mushuk Warmi y sus alrededores, y posteriormente puedan ser vertidas al cuerpo receptor (río Puyo) cumpliendo con todos los parámetros establecidos en la legislación ecuatoriana.

Se espera que el presente trabajo sirva de base y pueda ser replicado en distintas comunidades del país, dando una alternativa amigable para el medio ambiente, tomando en consideración una alternativa de tratamiento, usando de manera eficiente cada uno de los recursos.

1.2. Planteamiento del Problema

1.2.1. *Descripción del problema.*

En el Ecuador existen 421 Plantas de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) según un informe publicado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (2016), de los cuales solo existen 80 en la amazomía para una población aproximada de 885 626 habitantes (INEC, 2013). El rápido crecimiento poblacional hace más complicado establecer un óptimo control sobre las aguas residuales domésticas. La falta de una PTAR en estas localidades amazónicas ha causado impactos ambientales negativos hacia el medio ambiente, la salud humana y la contaminación de sus fuentes hídricas debido a que son descargadas directamente a estas fuentes sin un tratamiento previo de las mismas.

La Comunidad Mushuk Warmi de la parroquia Tarqui, es una zona agrícola y turística de la ciudad del Puyo, la cual abre sus puertas a turistas nacionales y extranjeros el permitiendo fomentar ingresos económicos. Según el último censo poblacional realizado por el GADP de Tarqui, la comunidad Mushuk Warmi ha crecido poblacionalmente 2,6% con respecto al último censo realizado a nivel nacional en el 2010 (Gobierno Parroquial de Tarqui, 2014); debido a esto es importante mencionar que este es uno de los factores que mayor influye en la generación de aguas residuales, mismas que son vertidas directamente hacia el cauce del Rio Puyo sin tener algún tipo de tratamiento, ni control al cuerpo natural, ocasionando impactos negativos sobre el medio ambiente, malos olores y problemas de salud en las poblaciones que están cercanas al cauce del río Puyo o al área de vertimiento. Por tal razón se propone la implementación la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, la cual se realizará a partir de un análisis demográfico, económico y social que tiene la población como necesidad.

1.2.2. Formulación del problema.

¿La propuesta del diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en la comunidad de Mushuk Warmi, mejorará las condiciones de vida de sus pobladores?

1.2.Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Proponer el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en la comunidad Mushuk Warmi, Provincia de Pastaza, para el análisis del valor económico del diseño propuesto.

1.2.2. Objetivos específicos

- Establecer los datos o parámetros de partida para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la comunidad Mushuk Warmi
- Evaluar la mejor alternativa de diseño de la Planta de Tratamiento de aguas residuales domésticas óptimo para la comunidad Mushuk Warmi.
- Analizar el valor económico de la planta propuesta a construir en la parroquia Mushuk Warmi.

1.3. Justificación

Mushuk Warmi es una comunidad próspera, encaminada a ser una potencial zona de turismo local y extranjero, además de ser una zona agrícola con potenciales cultivos de caña, yuca, papa china, plátano entre otras (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Tarqui, s.f.). La comunidad Mushuk Warmi se encuentra ubicado en la parroquia Tarqui, Provincia de Pastaza, alberga alrededor de 55 habitantes, que para realizar sus actividades cotidianas de aseo personal, limpieza del hogar, alimentación, entre otras, ocupan una gran cantidad de agua, mismas que al ser utilizadas cambian su composición físico, químico y biológico, convirtiéndose en aguas residuales domésticas, las cuales son vertidas de manera directa hacia el rio Puyo, y al no brindarles un tratamiento respectivo las aguas pueden causar afectaciones a la salud y pueden alterar de tal manera los ecosistemas de su alrededor (GAD TARQUI, 2014).

Es importante que, la comunidad se vea beneficiada fundamentalmente, las colectividades que se encuentran río abajo del cauce del río Puyo; se favorecerán indirectamente ya que esto permitirá que puedan proveerse de agua más saludable así mismo que poco a poco disminuyan los inconvenientes sanitarios, las enfermedades infecciosas y el crecimiento excesivo de plagas (Ledesma, 2009).

Cabe destacar que, el proyecto se trata de encontrar una solución de manera eficaz y segura, teniendo en cuenta la importancia que tiene el presente estudio tanto para la población como para el cuidado y conservación del rio Puyo, es por ello que una de las alternativas es proponer un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas accesible y de baja inversión económica, de fácil operación y mantenimiento, que cumpla con la normativa y legislación ambiental vigente, respetando los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce asegurando la calidad del agua residual tratada que será descargada hacia el río Puyo.

CAPITULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Marco conceptual

El tratamiento como base conceptual de los siguientes aspectos, permite entre otros, avalar los análisis de términos, conceptualizaciones y definiciones que se utilizan en la fundamentación del diseño de la planta y su valor económico.

2.1.1 Agua

El agua es unos de los recursos naturales más preciados que dispone la vida en nuestro planeta, para los seres humanos es un líquido esencial para la subsistencia, el agua se encuentra constituida entre hidrógeno y oxígeno. El cuerpo humano al estar constituido de un 60 % de agua refleja la importancia de su consumo para el desarrollo del cuerpo humano, además este líquido vital es indispensable en diferentes áreas como la agricultura, ganadería e industrias (Prieto Rodríguez, 2013).

2.1.2 Agua residual

El agua residual es aquella agua de toda fuente proveniente de las actividades humanas sea doméstica, industrial u otras, se caracterizan por tener altas concentraciones de microorganismos patógenos (Ronquillo Abad , 2016).

2.1.3 Aguas servidas

Las aguas servidas son aquellas aguas residuales domesticas que son el resultado de las actividades cotidianas de las personas, esta agua contiene gran cantidad de agentes contaminantes y gérmenes (SEDAPAR, 2021).

2.1.4 Contaminación hídrica

La contaminación hídrica se da cuando el agua se ve alterada en sus propiedades, por la adición de sustancias o formas de energía que alteran directa o indirectamente su naturaleza, la cual afecta negativamente a las condiciones que requiere para el uso que es destinado en su estado natural. La contaminación del agua más común por parte de las comunidades es por el vertido desmedido de materiales o fluidos a los cauces (Torres Cobo & Delgado Delgado, 2020).

2.1.5 Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)

Es el conjunto de instalaciones que cuenta con una serie de procesos para dar el respectivo tratamiento al agua que ha sido utilizada por el ser humano, una planta de tratamiento es un requisito fundamental para la conservación de vida en el planeta y el cuidado del agua, la PTAR realiza la limpieza de las aguas residuales para ser devuelto de forma segura hacia el cuerpo receptor del medio ambiente (SPENA GROUP, 2021)

2.1.6 Depuración

La depuración es la remoción de sustancias contaminantes de las aguas residuales para disminuir su impacto ambiental (ACCIONA, 2021).

2.1.7 Carga máxima permisible

Es el límite de carga máxima que puede ser aceptado en la descarga a un cuerpo receptor o su vez a un alcantarillado (Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), 1992).

2.1.8 Afluente

Es aquella agua residual u otro líquido que ingresa a un reservorio o algún proceso para dar su respectivo tratamiento (INEN, 1992).

2.1.9 Efluente

Es el líquido proveniente de un proceso de tratamiento (INEN, 1992).

2.1.10 Tratamiento

Es aquel conjunto de operaciones de remoción en las aguas residuales, por métodos físicos, químicos y biológicos de materias en suspensión, coloidal y disuelta (Carrasco Cobos & Cayambe Yambay).

2.1.11 Criterios de diseño

Son las normas o guías de ingeniería que especifican los objetivos, los límites que debe cumplirse en el diseño, estructura y detalles de construcción.

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Aguas residuales domésticas

Se considera como agua residual a todas aquellas aguas que han sufrido un cambio en sus características físicas, químicas y biológicas, cuya calidad se ha visto deteriorado a causa de las actividades desarrollas por los seres humanos. Se consideran aguas residuales domesticas a los líquidos provenientes de viviendas, edificios comerciales e institucionales, siendo sus principales contaminantes los sólidos, la materia orgánica biodegradable y organismos patógenos (Pulla Tenemaza & Tapia Sisalima, 2018).

2.2.2 Composición del agua residual

El agua residual está compuesta de un 99.99% de agua potable y el 0.1% está compuesto por agua con presencia de solidos sean estos disueltos o suspendidos, del 0.1 % de agua, el 70% es orgánico como la proteína, carbohidratos y grasas y el 30 % es inorgánico como las arenas sales y metales. El tratamiento aplicado para las aguas residuales se requiere para remover el 0,1% de sólidos presente en el agua, de tal manera pueda ser reutilizada (Estrucplan, 2000).

2.2.3 Características físicas

Según Rodas Hernandéz (2017) las características físicas son**:**

2.2.3.1 Color, olor y sabor

El color, olor y sabor son consideradas características organolépticas, mediante estas se puede tener una idea de carga contaminante que maneja el agua residual. El color de las aguas residuales suele ser gris o pardo sin embargo por un proceso anóxicos el color puede pasar a presentar un color negro.

2.2.3.2 Temperatura

La temperatura en el agua residual suele ser superior a la del agua de consumo, mismo que oscila entre 10 °C a 21°C, la temperatura desempeña una acción perjudicial sobre las aguas, al tener la temperatura mayor esta ayuda al crecimiento indeseable de algas y hongos.

2.2.3.3 Turbiedad

La turbidez se debe a la cantidad de materias en suspensión que hay en las aguas residuales entre estas el limo, microorganismos y materia orgánica. Lo que causa la turbidez en las aguas receptoras es el impedimento de la penetración de la luz solar y a su vez provocaría una menor productividad primaria.

2.2.3.4 Conductividad

El agua pura se comporta como aislante eléctrico, sin embargo, el agua al estar con presencia de sustancias disueltas hace que el agua tenga la capacidad de conducir la corriente eléctrica. Para la detección de esta se determina mediante electrometría el resultado es expresado en microsiemens cm-1 (μS cm-1).

2.2.3.5 Solidos

Dentro de los sólidos existe una clasificación entre estos se encuentran los sólidos disueltos, solidos sedimentables y solidos totales, cada una de estas presentan características distintas.

2.2.3.6 Solidos suspendidos totales

Los sólidos totales en suspensión se encuentran constituidos por los sólidos sedimentables, los sólidos en suspensión y los sólidos coloidales cuyo tamaño de partícula no pase el filtro estándar de fibra de vidrio que es 1.5 μm.

2.2.3.7 Sólidos disueltos totales

Los sólidos totales disueltos son moléculas e iones que se encuentran diluidos en el agua, la concentración de estos solidos disueltos se debe a la presencia de minerales, metales, compuestos químicos orgánicos y la descomposición de la materia orgánica.

2.2.3.8 Solidos sedimentables

Los sólidos sedimentables son sólidos suspendidos que se sedimentan por acción de la gravedad, dentro de un tiempo específico. Se determinan llenado un cono Imhoff de un litro de volumen y registrando el volumen del material sedimentado en el cono al cabo de una hora.

2.2.4 Características químicas

Según Jimenez (2000) las características químicas son**:**

2.2.4.1 Potencial de hidrogeno

El pH es una variable que ayuda identificar el grado de acidez los que se encuentre entre los valores de 5 a 9 no suele presentar un efecto significativo en las especies, las aguas residuales urbanas suelen tener un pH próximo al neutro. El pH es la agresividad de las aguas ácidas, esta da lugar a la solubilización de sustancias, por otro lado, un efluente con pH adverso puede alterar a la composición y modificando a la vida biológica de las aguas naturales.

2.2.4.2 Alcalinidad

La alcalinidad mide la cantidad existente de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos presentes en el agua. Las aguas residuales tienen un grado de alcalinidad que son originados por las sustancias de uso doméstico.

2.2.4.3 Cloruros

Los cloruros se consideran como un indicador indirecto de contaminación fecal, la procedencia de los cloruros es por la eliminación de excretas del hombre, por infiltración de aguas marinas, el uso de sustancias ablandadoras para los tratamientos de agua en caso de que la dureza del agua se elevada.

2.2.4.4 Gases

Dentro de los gases que se encuentran en la composición de aguas residuales son el nitrógeno, oxígeno estas se encuentran en todas las aguas que están expuestas al aire, el anhídrido carbónico, sulfhídrico, amoniaco y metano son gases del resultado de la descomposición de la materia orgánica.

2.2.4.5 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es necesario para la vida de todos los organismos aerobios, la presencia de oxígeno evita el desarrollo de procesos anaerobios lo que causaría la presencia de malos olores en el agua, el oxígeno disuelto según sus niveles con indicativos del nivel de calidad de las aguas.

2.2.4.6 Metales

Los metales como el cobre, cromo, boro, plomo son los que se pueden encontrar en las aguas residuales, estos son los causantes de saturnismo y acumulación en moluscos, la plata puede producir argüiría, arsénico causa la melanodermia del pie y acumulación en mariscos. Cuando los metales alcanzan altas concentraciones puede resultar muy toxico, que no se puede dar algunos usos al agua dando como consecuencia la acumulación en los organismos y microorganismos acuáticos.

2.2.4.7 Nitrógeno

El nitrógeno se encuentra en el agua residual reciente en forma de urea y proteínas, estas son fácilmente degradables por las bacterias y lo transforman a amonio a partir del amonio se producen los nitritos y nitratos. La urea y el material proteico se pueden considerar como el mejor indicador químico directo de contaminación fecal reciente.

El nitrógeno se convierte en distintas formas de nitrógeno y están influenciadas por el pH y la temperatura del medio. Estas formas son los nitritos que a su vez suele considerar como indicadores directos de contaminación de fecal, los nitratos con la forma más oxidada del nitrógeno que se encuentra en las aguas residuales.

2.2.4.8 Fosforo

El fosforo es esencial para el crecimiento de los organismos. El fosforo se puede encontrar en las aguas residuales en tres formas: ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico. El fosfato también es el responsable de la producción de procesos de eutrofización por tal motivo en la actualidad se está presentando el interés de controlar la cantidad de fósforo que ingresa a las aguas residuales.

2.2.4.9 Azufre

El azufre es requerido para la síntesis de proteínas y esta es liberada cuando se descomponen. Todos los microorganismos usan el sulfato como fuente de azufre, sin embargo, algunas especies requieren compuesto en forma más reducida para realizar la biosíntesis. Las bacterias se encargan en realizar la reducción en condiciones anaerobias de los sulfatos a sulfuros y sulfuro de hidrógeno, este es corrosivo para las tuberías del alcantarillado mismo que representa un riesgo de contaminar el agua.

2.2.4.10 Grasas y aceite

Las grasas y aceites en los vertidos de aguas residuales generan dos tipos de problemas a la hora de la depuración de las aguas residuales entre estas tenemos la disminución de la mojabilidad de los sólidos en suspensión y la formación de una película que recubre los microorganismos encargados de la biodegradación. Las grasas y aceites que están contenidas en pequeñas cantidades en los vertidos urbanos.

2.2.5 Características biológicas

Según Torres Cobo & Delgado Delgado (2020) las características biológicas son:

2.2.5.1 Coliformes fecales

Los coliformes fecales forman parte del tracto intestinal del ser humano y de los animales, son un importante indicador de presencia de materia fecal en el agua residual, además se considera termo tolerante por su capacidad de soportar altas temperaturas.

2.2.5.2 Coliformes totales

Los coliformes son una familia de bacterias que se encuentran en los seres humanos, plantas y animales, la presencia de coliformes en el agua es un indicio de que el agua esté contaminada ya sea con aguas negras u otro tipo de desechos, los coliformes fecales es un subgrupo de los coliformes totales.

2.2.6 Tratamiento de aguas residuales

2.2.6.1 Pretratamiento de aguas residuales

Es el primer paso a seguir en el tratamiento de aguas, es principalmente físico, la misión de esta etapa es la separación de material y cuerpos gruesos (plástico, madera, telas, pelos, grava, arena, etc.), que de no ser separados dañarían los equipos de las siguientes etapas del tratamiento, o a su vez sedimentarían en las tuberías de la instalación, además es necesario eliminar las grasas y aceites; de esta manera el pretratamiento desempeña un papel fundamental en la medida en que elimina elementos que pueden causar descensos en la eficiencia del tratamiento (Bruna & Gonzales, 1998).

2.2.6.2 Tratamiento primario de aguas residuales

La finalidad de esta etapa es eliminar, por efecto de la gravedad, los sólidos suspendidos de las aguas residuales; se consigue bien sea de manera libre, o asistida con químicos que juntan las partículas (floculantes) para que ganen peso y decanten con mayor velocidad, os sólidos suspendidos eliminados de la fase son, en su mayoría materia orgánica, por lo cual se presenta una reducción importante en la concentración de DBO5 del efluente (Lozano, 2012).

2.2.6.3 Tratamiento secundario de aguas residuales

El tratamiento de secundario tiene como objetivo de limpiar el agua de aquellas impurezas cuyo tamaño es mucho menor a las que se pueden captar por la decantación y las rejillas, para ello, los sistemas se basan en métodos mecánicos y biológicos combinados (Rodie & Hardenberg, 1987).

2.2.6.4 Tratamiento terciario de aguas residuales

Este tratamiento consiste en la eliminación de los nutrientes que favorecen al crecimiento de la flora acuática, como el fosforo y el amoniaco proveniente del escurrimiento agrícola, de desechos humanos y uso de detergentes (Santos & González, 2015).

2.2.7 Desinfección

Las aguas residuales domesticas no tratadas contienen varios microorganismos o patógenos que causan enfermedades humanas. El proceso utilizado para eliminar estos organismos nocivos es mediante la desinfección, entre estos tenemos la desinfección mediante el cloro, el ozono y la radiación ultravioleta (Guyer, 2020)

2.2.7.1 Desinfección Ultravioleta

La desinfección ultravioleta es utilizada con frecuencia para la desinfección de efluentes de aguas residuales, esta desinfección ultravioleta (UV) ocurre cuando la energía electromagnética en forma de luz en el espectro UV penetra en la pared celular de los microorganismos, la desinfección UV es un proceso de tratamiento físico que no deja rastros químicos (Guyer, 2020)

2.2.8 Humedal

Los humedales son tratamientos que tienen la capacidad de depurar el agua residual, los humedales se caracterizan por ser humedales naturales y artificiales (Lovato Encarnación , 2018).

2.2.8.1 Humedal Natural

Según Lovato Encarnación (2018) los humedales naturales son aquellos humedales que tienen un área de transición entre un ecosistema terrestre, en donde existe una gran actividad biológica, las humedades naturales se caracterizan por encontrase saturadas de aguas superficiales o aguas subterráneas

2.2.8.2 Humedal artificial

Estos tipos de humedales imitan a los humedales naturales, son construidos por el ser humano con el objeto de utilizar los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren de forma natural para la depuración del agua residual, en este tipo de tratamiento, las plantas juegan un papel importante de la depuración. Los actores principales para esta actividad son: El sustrato, Las macrófitas y el agua residual (Lovato Encarnación , 2018).

2.2.8.3 Humedal de Flujo Subsuperficial Vertical

Estos tipos de humedales consisten en los que el agua residual fluye a través del sustrato, el material utilizado es gravilla y entra en contacto con los microorganismos que colonizan en la superficie, este tipo de humedal pueden ser la solución óptima para la depuración de aguas residuales domésticas.

2.2.9 Etapas de PTAR de origen doméstico

De acuerdo a la caracterización de los residuos líquidos de viviendas, zonas residenciales, establecimientos comerciales o institucionales, podemos tener:

2.2.9.1 Cribado

Es también conocido como desbrozo y es la primera operación que se debe considerar en una planta de tratamiento de aguas residuales, es empleada para la reducción de sólidos en suspensión de distintos tamaños, la captación se realiza a través de cribas o rejillas metálicas (R, 2003).

2.2.9.2 Rejillas

Necesarias en toda planta de depuración como primera unidad, por ahí ingresan las aguas servidas deteniendo todos los desechos sólidos gruesos, y son de limpieza manual (Guerrero, 2014).

2.2.9.3 Sedimentación

La sedimentación se utiliza para separar los residuos sólidos en suspensión, se basa en la diferencia de peso entre las partículas sólidas y el líquido que por acción de la gravedad decantan al fondo del sedimentador (R, 2003).

2.2.9.4 Desarenador

El desarenador es una estructura que tiene como objetivo eliminar las arenas, gravas, barro y demás partículas de origen inorgánico, de tal manera evitar que produzcan sedimentaciones en las captaciones y demás procesos del tratamiento (Galeano Nieto & Rojas Ibarra , 2016).

2.2.9.5 Fosa séptica

En este tanque que se depositan las aguas servidas y se sedimentan la materia en suspensión, está cubierta en su totalidad, posee compuertas para el control, también tiene tuberías para eliminar olores luego de este proceso ingresan a los filtros, los tanques sépticos se utilizarán por lo común para el tratamiento de las aguas residuales de familias que habitan en localidades que no cuentan con servicios de alcantarillado o que la conexión al sistema de alcantarillado les resulta costosa por su lejanía. (Guerrero, 2014).

2.2.9.6 Filtro biológico

Puede ser operado ya sea con flujo ascendente o descendente. Se recomienda el modo de flujo ascendente porque hay un menor riesgo de que la biomasa fijada

sea arrastrada. El nivel de agua debe cubrir el material del filtro por lo menos 0.3 m para garantizar un régimen de flujo regular (Guerrero, 2014).

2.2.9.7 Lecho de secado de lodos

Es un tanque rectangular, sirve para el secado de los lodos de la fosa séptica y de los filtros, en este proceso se elimina el agua del material sólido y ser utilizado, dando un tratamiento generalmente compost, obteniendo un abono orgánico para jardinería (Tilley, 2015).

2.2.9.8 Filtro Percolador

Los filtros percoladores son procesos de biopelícula en condiciones aerobias y consiste en hacer pasar el agua residual desde la parte superior del filtro a través de un material de relleno en donde crecen los microorganismos y forman una biopelícula (Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

2.2.9.9 Material de relleno

El material de relleno juega un papel importante en los filtros por lo cual deben cumplir una serie de características como la superficie específica, índice de huecos, uniformidad, densidad, resistencia mecánica y durabilidad. Los materiales de relleno pueden ser de:

- Piedras
- Piezas de plástico
- Módulos de plástico

2.2.9.10 Contactores Biológicos Rotatorios

Son sistemas de tratamiento de las aguas residuales en donde los microorganismos son responsables de la degradación de la materia orgánica que están adheridos en un material de soporte, los contactores biológicos rotatorios son tratamientos que giran de manera semisumergida en el agua a depurar, de esta manera el soporte se expone a la superficie dando como resultado la formación de una biopelícula hasta tener un gran espesor que de forma natural facilita su desprendimiento (Tecnologías Listado, 2021).

2.2. Marco Legal

2.2.1. Normativa Ambiental Vigente para el tratamiento de aguas residuales

2.2.1.1.Constitución de la República del Ecuador

La (Constitucín de la República del Ecuador, 2008) estipula en la sección segunda, Art. 14 que se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kawsay.

Del mismo carácter de importancia establece el Estatuto, uno de los derechos constitucionales de los ecuatorianos, acordado en el Art. 66, numeral 27, el derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza.

De conformidad la Constitución del Ecuador, en el capítulo cuarto, numeral 4 del Art. 264 Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:

> Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley.

2.2.1.2.Código Orgánico del Ambiente

El (Código Orgánico del Ambiente, 2017), previsto en el Libro tercero de la calidad ambiental se encuentra estipulado dentro del Art. 196, que es competencia de los GADM en tratar las aguas residuales urbanas y rurales.

> *"Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales deberán contar con la infraestructura técnica para la instalación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales, de conformidad con la ley y la normativa técnica expedida para el efecto. Asimismo, deberán fomentar el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, siempre y cuando estas recuperen los niveles cualitativos y cuantitativos que exija la autoridad competente y no se afecte la salubridad pública. Cuando las aguas residuales no puedan llevarse al sistema de alcantarillado, su tratamiento deberá hacerse de modo que no perjudique las fuentes receptoras, los suelos o la vida silvestre. Las obras deberán ser*

previamente aprobadas a través de las autorizaciones respectivas emitidas por las autoridades competentes en la materia".

2.2.1.3. Código Orgánico De Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)

El COOTAD (2010) estipula en el numeral d, del Art. 55, competencias exclusivas del gobierno autónomo descentralizado municipal, establece lo siguiente:

> Prestar los servicios de públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley.

Acuerdo ministerial No. 097/A - Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua (Anexo 1, Libro VI de la Calidad Ambiental, del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente).

Para la propuesta de la elaboración de un diseño de aguas residuales, se toma en consideración la normativa ambiental vigente del Ecuador regida por el Código Orgánico Ambiental (COA), que permitirá comparar los componentes característicos de las aguas, esto se detallan en la siguiente tabla donde muestra los límites permisibles a un cuerpo de agua dulce (TULSMA, 2015).

Tabla 1-2: Límites De Descarga A Un Cuerpo De Agua Dulce.

LIMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE			
Parámetros	**Expresado como**	**Unidad**	**Límite máximo permisible**
Aceites y Grasas	Sustancias Solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico Total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	Ba	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro Total	CN	mg/l	0,1

Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. Carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color real	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr^{+6}	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO_5	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro Total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso Total	Mn	mg/l	2,0
Materia Flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio Total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjedahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1

Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos Totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	$SO_4^{\ 2}$	mg/l	1000
Sulfuros	S_2	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición Natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
***La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida**			

Fuente: Registro Oficial. Edición Especial, 2015.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

La comunidad Mushuk Warmi se encuentra ubicada en la cabecera parroquial perteneciente a la parroquia Tarqui, cantón Pastaza, provincia de Pastaza. Cuyas coordenadas son: latitud de 833767, longitud de 9831786 y una altitud de 951. La parroquia de Tarqui limita de la siguiente forma:

Norte: Con las parroquias de Puyo y Veracruz.

Sur: Con la parroquia de Madre Tierra.

Este: con las parroquias de Pomona y Madre Tierra.

Oeste: Con las parroquias de Madre Tierra y Shell.



Figura 1-3: Localización para el proyecto de diseño de una PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales) en la comunidad Mushuk Warmi.

Los asentamientos de Ilupungo, Mushuk Warmi y Wamak Urku son de acceso peatonal de acceso fluvial en Iwia.

3.2. Análisis Demográfico

En la información levantada por el Equipo Técnico del Gobierno Parroquial de Tarqui en el año 2014 la población de la parroquia Tarqui asciende a 5464habitantes, de los cuales el 51% corresponde al sexo masculino y el 49% al sexo femenino, es decir la población masculina es alta en relación a la población femenina (GADPz, 2015)**.**

Tabla 2-3: Población parroquia Tarqui año 2014.

COMUNIDADES	HOMBRES	MUJERES	TOTAL
Amazanga	44	37	81
Bella Vista	25	27	52
Cabecera Parroquial	1301	1244	2545
Campo Alegre	76	53	128
Chingushini	17	15	32
Chorreras	47	37	84
Chuva Urco	34	28	62
Cotococha	29	35	64
Desarrollo Familiar	12	15	27
Dos Ríos	34	39	73
Huagrayacu	87	81	168
Ilupungo	15	13	28
Iwia	20	12	32
Mushuk Warmi	**27**	**28**	**55**
Nuevo Mundo	26	27	53
Plaza Aray	519	509	1028
Putuimi	172	150	322
Rio Chico	46	43	89
Rosario Yacu	28	24	52

San Jacinto	111	117	228
San Pedro	68	62	130
Vencedores	54	52	106
Wuama Urco	10	15	25
TOTAL	2803	2662	5464

Fuente: Censo GADPRT 2014.

3.2. **Tipo de investigación**

El presente trabajo de investigación está fundamentado en revisión de información bibliográfica secundaria, y está enfocado en una investigación de tipo no experimental; Bibliográfica; Descriptiva cuantitativa, simple.

3.2.1. No experimental

La investigación generará experimentos en el área de estudio, debido a la emergencia sanitaria que se está viviendo en la actualidad, no se va a realizar ningún control de variables.

3.2.2. Enfoque cuantitativo.

Esta investigación es de enfoque cuantitativo debido a su proceso ordenado, secuencial y sistemático que se ha seguido para desarrollarla y tratar de evaluar las variables seleccionadas de forma objetiva y numérica.

3.2.3. Descriptiva

La investigación está basada en la descripción de las características de las aguas residuales y la población de Mushuk Warmi, así mismo por el análisis del mejor sistema de tratamiento que se empleara en la comunidad.

3.2.4. Bibliográfica

Esta investigación también se basa de una revisión de información secundaria en la cual se estableció documentación existente como: (investigaciones, revistas científicas, libros, otros) relacionadas al tema en estudio.

3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3.3.1. Determinación de los datos de partida para el diseño de la PTAR para la comunidad Mushuk Warmi, parroquia Tarqui

La comunidad Mushuk Warmi se encuentra en la Parroquia Tarqui perteneciente a la provincia de Pastaza, para la estimación, de los caudales necesarios para el diseño del PTAR domesticas se utilizó como fuente información del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) y Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado de Pastaza (PDyOT), Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del gobierno parroquial de Tarqui, trabajos de investigación cercanos al área de investigación.

3.3.1.2.Población actual

Esta información se determinó mediante una entrevista escrita al presidente de la comunidad Mushuk Warmi publicada por la página web del GADP Tarqui.

3.3.1.3.Población futura

La estimación de la población futura es un parámetro fundamental, para asegurar el correcto funcionamiento de una depuradora de aguas residuales, hasta el final de su periodo de diseño, para poder realizar el cálculo de la población futura se tomó a consideración, valores obtenidos mediante información bibliográfica del área de estudio, con un periodo de 15 años, la población proyectada se estimará mediante el método geométrico (Lozano W. A., 2012).

3.3.1.4. Método geométrico

$$Pf = Pi(1 + r)^t \qquad (1)$$

Donde:

Pf: Población de diseño (# de habitantes)

Pi: Población inicial (# de habitantes)

r: Tasa de crecimiento geométrico de la población expresada como fracción decimal

t: Período de diseño (años).

3.3.1.5.*Dotación*

El caudal de agua entubada consumida diariamente en la comunidad, en promedio, por cada habitante incluye las actividades de consumos doméstico, y estas viene expresada en litros/habitante/día (Secretaria Nacional del Agua, 2017). El valor de la dotación se obtuvo mediante revisión bibliográfica basada en fuentes secundarias de estudios realizados cerca al área de estudio.

3.3.1.6.Clima

Para el levantamiento de información respecto a las condiciones climáticas se lograron obtener a través de los anuarios obtenidos del INAMHI en la última actualización accesible en su sitio web y de la actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (Plan de Desarrollo y OrdenamientoTerritoria de Pastaza [PDOTPz], 2020).

3.3.1.7.Pluviosidad

La provincia de Pastaza consta de precipitaciones constantes para obtener la información de las precipitaciones que posee la comunidad Mushuk Warmi se obtuvieron a través de los anuarios obtenidos del INAMHI en la última actualización accesible en su sitio web y de la actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOTPz, 2020).

3.3.1.8.Relieve

Para el sistema de asentamientos humanos la información del relieve es determinante, ya que influye directamente en los niveles de riesgo a desastres naturales como deslizamientos o inundaciones, dependiendo de su ubicación en la que se encuentre dentro de la Provincia, esta información obtenida del PDOT de

Pastaza y de un diagnóstico de la parroquia Tarqui Características del agua residual doméstica (PDOTPz, 2020).

La caracterización de aguas residuales domésticas se realizará mediante investigación y revisión bibliográfica secundaria en la cual se tomó los datos que más se acoplen a la realidad de la comunidad Mushuk Warmi la literatura tomada en cuenta fue el libro METCALF y EDDY Ingeniería de aguas residuales, 3ra Ed. 1991 ya que estos datos proponen una caracterización adecuada para el dimensionamiento de los quipos para el diseño de la PTAR (METCALF & EDDY, 1991).

3.3.2. EVALUAR LA MEJOR ALTERNATIVA DE DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS ÓPTIMO PARA LA COMUNIDAD MUSHUK WARMI.

Se realizó una comparación de alternativas de tratamiento mediante la investigación bibliográfica, generalmente de lugares similares al del estudio, la determinación entre diversas alternativas permitió alcanzar la mejor elección para el sitio de estudio tomando en cuenta las condiciones climáticas del área de estudio.

3.3.2.1.Selección de la alternativa

La investigación bibliográfica realizada permitió establecer tres alternativas diferentes de tratamiento secundario adecuadas para las aguas residuales domésticas: Humedal de Flujo Subsuperficial Vertical, Filtro Percolador, Contactores Biológicos Rotatorios), la elección se realizó en base a la matriz de Pugh para la toma de decisiones, misma que toma como referencia los criterios de selección y las alternativas propuestas, la finalidad de la matriz es estimar en base a un ponderación de +1 si es mejor el criterio, -1 si es peor el criterio, 0 si son similares" (Pugh, 1990).

3.3.2.2.Criterios de selección

Se establecieron cinco criterios de selección importantes al momento de decidir sobre el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas y estos

fueron definidos de acuerdo con la caracterización de aguas residuales y en comparación con trabajos realizados de características similares:

1. Eficiencia de remoción.
2. Espacio Necesario para la planta.
3. Costos de Inversión.
4. Consumo de Energía.
5. Mantenimiento y Operación.

3.3.2.3.Matriz de pugh

El análisis de selección para la mejor alternativa se realizó mediante el uso de la matriz de Pugh que permite establecer ponderaciones, para la selección de alternativas mediante su relación con los criterios definidos dándole valores según lo que el autor considera adecuado (Pugh, 1990).

Tabla 3-3. Ponderación de la Matriz de Pugh

PONDERACIONES	
+1	Si es mejor el criterio
-1	Si es peor el criterio
0	Si son similares.

Fuente: (Pugh, 1990)**.**

Tabla 4-3: Matriz de Pugh para la toma de decisiones.

MATRIZ DE PUGH			
ALTERNATIVA / **CRITERIO**	A1	A2	A3
C1	0	-1	1
C2	-1	-1	1
C3	1	1	1
C4	0	-1	-1
C5	1	0	0
TOTAL	1	-2	2

Fuente: (Pugh, 1990)**.**

3.3.3. DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS PARA LA COMUNIDAD MUCHUK WARMI.

Para la propuesta del diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas se tomó en cuenta la mejor alternativa de tratamiento secundario de acuerdo a la matriz de Pugh, además se incluye procesos de pretratamiento, (cribado, desarenador), tratamiento primario (fosa séptica), tratamiento secundario Humedal de Flujo Sub-superficial Vertical, (alternativa seleccionada), Lecho de secado de lodos y un método de desinfección. Estos tratamientos fueron investigados en fuentes bibliográficas de proyectos cercanos al tema de estudio, además se tomará en cuenta los criterios de diseño, que son planteados por expertos del área, esto ayudara a reducir los posibles daños en la planta de tratamiento, evitando gastos extras en mantenimiento, esto contribuirá a que la planta tenga una buena eficiencia en cuanto a la remoción de la carga contaminante (Lluglla & Montaluisa, 2020).

3.3.3.1. Coeficiente de retorno

El coeficiente de retorno es la cantidad de aguas residuales generada por una comunidad y es menor a la cantidad de agua potable que se le suministra, debido a que existen pérdidas a través del riego, limpieza de viviendas, cocina y otros usos externos (Rivadeneira, 2011).

3.3.3.2. *Caudal medio diario*

El caudal medio diario es la suma total del caudal industrial, caudal doméstico, caudal institucional y caudal comercial; para el cálculo del caudal medio diario se tomó como referencia la ecuación (2) que se encuentra detallada en la fuente bibliográfica fundamentos de diseño de plantas depuradoras de aguas residuales (Lozano W. A., 2012). Cabe recalcar que no se tomó en consideración el caudal industrial debido a que no existe ninguna industria en la zona de estudio, del mismo modo se eliminan los caudales institucional y comercial por motivo de que no existen unidades educativas y zonas comerciales. “Este caudal será el producto de la población aportante y de las dotaciones de agua potable correspondientes al inicio y final del período de diseño, afectado por el coeficiente de retorno” (INEN, 1996).

$$Qmd = Qdm + Qind + Qinst + Qcom \quad (2)$$

Donde:

Qdom: Caudal doméstico de aguas residuales (L/s)

Qind: Caudal industrial de aguas residuales (L/s)

Qins: Caudal institucional de aguas residuales (L/s)

Qcom: Caudal comercial de aguas residuales (L/s)

3.3.3.3. Caudal doméstico

Para obtener el caudal doméstico, se utilizó la dotación agua obtenido del levantamiento bibliográfico realizado, debido a que la comunidad no cuenta con un sistema de alcantarillado, para el cálculo se utilizó la ecuación 3 (RAS, 2000).

$$Qdom = \frac{Dotación * P * Cr}{86400} \quad (3)$$

Donde:

Qdom: Aporte de aguas residuales de las actividades domésticas (L⁄s)

D: Dotación de agua potable consumida por habitante y por día (L⁄hab*d)

P: Número de habitantes

Cr: Coeficiente de retorno sanitario (entre 0,70 y 0,85, típicamente 0,80)

3.3.3.4. Caudal mínimo

La obtención del caudal mínimo es el menor de los valores, que se puede presentar en un sistema tratamiento, siendo su valor la mitad del caudal medio diario. Para su obtención se tomó en cuenta el tamaño de la población, junto con la ecuación que se requiere para realizar el cálculo (4)

$$Qmin = 0.30 * Qmed \quad (4)$$

Donde:

Q_{min}: Caudal mínimo

Q_{med}: Caudal medio

Tabla 5-3: Fórmulas para el cálculo de los caudales mínimo y punta para diferentes tamaños de población.

Tamaño de la población	Caudal mínimo "Q_{min}"
Pequeña (< 20.000 h-eq)	0,30 * Q_{md}
Mediana (20.000 – 60.000 h-eq)	0,45* Q_{md}
Grande (60.000 h-eq)	0,60* Q_{md}

Fuente: (Lozano W. A., 2012).

3.3.3.5. Caudal punta

Para obtener la caudal punta se utiliza la población equivalente que corresponde a <20.000 h-eq la cual se puede observar en la (Tabla 6), mediante la ecuación (5) donde que se multiplica 5 por el caudal medio diario obtenido con la ecuación (2):

$$Qp = 5 * Qmed \quad (5)$$

Donde:

Q_p: Caudal punta

Q_{med}: Caudal medio

Tabla 6-3: Fórmulas empíricas para el cálculo de caudal punta para diferentes tamaños de población.

Tamaño de la población	Caudal mínimo "Qmin"
Pequeña (< 20.000 h-eq)	5 * Qmd
Mediana (20.000 – 60.000 h-eq)	3* Qmd
Grande (60.000 h-eq)	2* Qmd

Fuente: (Lozano W. A., 2012).

3.3.3.6. Caudal máximo

Es el caudal medio diario consumido por las personas en un día de máximo consumo se lo puede obtener mediante la ecuación (6):

$$Qmax = Qp * 2 \quad (6)$$

Donde:

Q_{max}: Caudal máximo diario

Q_p: Caudal punta

3.3.3.7. Canal de entrada

Las aguas al ingresar a la planta de tratamiento pasan por un canal de entrada con una sección rectangular, en este espacio se encuentra ubicado el sistema de rejillas las cuales separan los sólidos grandes del agua a tratar para luego ser pasadas al sistema de depuración. Para este diseño se tomó en cuenta un ancho de 0,9 m, con una altura de 0,50 los mismos se encuentran reflejados como criterios de diseño en el texto de (García & Corzo, 2008).

Tabla 7-3: Valores recomendados de los parámetros necesarios para el diseño de un canal de desbaste y sus respectivas rejas.

Características	**Reja de Gruesos**	**Reja de Finos**
Modo de funcionamiento	Manual – Automático	Manual – Automático
Anchura de los barrotes (mm)	>12	<6
Pendiente en relación a la vertical (grados)		30-45
Velocidad de aproximación (m/s)		0,3-0,6
Pérdida de carga admisible (m)	0,15	0,15

Fuente: (García & Corzo, 2008).

3.3.3.7.1. Ancho útil de paso

Una vez determinado el valor de partida para el ancho del canal, se procede a calcular el ancho útil de paso con la ecuación (7).

$$Wu = (Ac - n * Ab) * (1 - G * 1000) \quad (7)$$

Donde:

Wu: ancho útil de paso en m

Ac: ancho del canal en m

n: número de barrotes

Ab: ancho de barrotes en m

G: grado de colmatación, normalmente se utiliza un valor de 30%

3.3.3.7.2. Profundidad

Para la profundidad se toma el caudal máximo y la velocidad de aproximación que es 0,3 m/seg que se encuentra los criterios de la (Tabla 6), el cálculo se lo realiza aplicando la ecuación (8).

$$h = \frac{Q}{v} * \frac{1}{wu} \qquad (8)$$

Donde:

h: profundidad en m

Q: caudal máximo en m^3/seg

v: velocidad de aproximación en m/s

3.3.3.7.3. Largo

El largo del canal es el lugar por donde van a ingresar las aguas para su posterior tratamiento; sin embargo, en el tiempo de retención hidráulica se toma el criterio propuesto por (García & Corzo, 2008) de 0,5 seg, para su cálculo aplica la ecuación (9).

$$L = TRH * v \qquad (9)$$

Donde:

L: largo del canal en m

TRH: tiempo de retención en s

v: velocidad de aproximación del agua en m/s

3.3.3.8. Sistema de cribado

El sistema de cribado tiene como función retener los sólidos grandes por medio de la instalación de rejas, este proceso es el que primero se encuentra con el

agua antes de llegar al desarenador, el tipo de rejas o barrotes pueden ser finas o gruesas (García & Ludizaca, 2017).

Para poder diseñar este sistema se tomó en cuenta los parámetros de diseños de la (Tabla 7) además de utilizar la ecuación (10) para la obtención del número de barrotes:

$$N = \frac{BR - L}{b + L} \qquad (10)$$

Donde:

N: Número de barrotes

BR: Ancho del canal en la zona de rejilla (m)

L: Luz o espacio entre barrotes (m)

3.3.3.9. Desarenador

Según García Quito & Ludizaca Viracocha, (2017), en el desarenador se van a eliminar las arenas, pero también en este proceso se puede eliminar gravas, partículas, elementos orgánicos como son semillas cascara de frutas huesos etc., para el diseño del desarenador se tomó como referencia fuentes bibliográficas de (Lozano W. A., 2012).

Tabla 8-3: Valores recomendados de los parámetros necesarios para el dimensionamiento de desarenadores

PARÁMETRO	**VALOR**	
	INTERVALO	**VALOR**
Carga hidráulica	<70 m^3/m^2*hora (a Qmax)	
Velocidad horizontal del agua	0,2-0,4 m/s	0,3 m/s
Tiempo de retención	45-90 s	60 s
Longitud	20-25 veces la altura de la lámina de agua	
Relación Largo-ancho	1,5-3,0	2

Fuente: (García & Corzo, 2008).

3.3.3.9.1. Tamaño de partículas

Se recomienda que el diseño de desarenador este apto para partículas de 0,3 mm, este dato se obtuvo del texto de (Lozano W. A., 2012), el cual expresa que este tipo de partículas se encuentran en aguas residuales domésticas.

3.3.3.9.2. Velocidad de flujo

Para partículas de 0,3 mm la velocidad de flujo es de 0,3 m/seg según (Lozano W. A., 2012) ver (Tabla 8).

3.3.3.9.3. Longitud

La longitud del desarenador se calculó mediante el ancho del canal, el cual se asumió el mismo valor utilizado en el canal de entrada, además se tomó en cuenta la relación largo ancho de 2 m, dato que es recomendado por (García & Corzo, 2008), en el cálculo de la longitud se utilizó la ecuación (11):

$$L = Ac * relación\ L/Ach \quad (11)$$

L: longitud del desarenador en m

Ac: ancho del canal en m

Relación larga – ancho 2 m

3.3.3.9.4. Área útil

El área útil del desarenador es por donde van a circular las aguas residuales y es el lugar en el cual se va a realizar la retención de partículas, para este cálculo se utilizó la ecuación (12):

$$A = Q/v \quad (12)$$

Donde:

A: área útil en m2

Q: caudal máximo diario en m^3/seg

v: velocidad del flujo en m/s

3.3.3.9.5. Profundidad

Para determinar la profundidad del desarenador se utilizó la ecuación (13)

$$h = \frac{A}{Ac} \qquad (13)$$

Donde:

h: profundidad del desarenador en m

Ac: ancho del canal en m

A: área útil en m^2

3.3.3.9.6. Carga superficial

Es el volumen de agua residual que será tratada, según (García & Corzo, 2008), si la carga superficial es menor a 70 m^3/m^2×hora (a $Q_{máx}$), el dimensionamiento es correcto, caso contrario, se recomienda aumentar la longitud del canal. Para el cálculo se utiliza la ecuación (14)

$$Cs = \frac{Qmax}{L * Ac} \qquad (14)$$

Donde:

Cs: carga superficial

Max: caudal máximo en m^3/h

L: longitud del desarenador en m

Ac: ancho del canal en m

3.3.3.10. Fosas sépticas

Las fosas sépticas se utilizan para el tratamiento de las aguas residuales en localidades que no cuentan con un sistema de alcantarillado. Debido que la fosa séptica tiene un uso limitado para máximo 350 habitantes se propone diseñar dos cámaras, el primer compartimiento pueden tener lugar la mayor parte de los procesos de sedimentación y digestión, en cuyo caso sólo pasaran al segundo algunos materiales en suspensión (Guerrero, 2014). El proceso de tratamiento primario toma el desagüe crudo o de ingreso y retira entre el 40 - 60 % de sólidos arrastrados. "El tratamiento que tiene lugar en esta parte del proceso es puramente mecánico. Los procesos posteriores biológicos" (Troconis & Herbert, 2010).

3.3.3.10.1. Habitantes equivalentes

Una vez se tenga estimada la carga contaminante del vertido industrial, el número de habitantes equivalentes se determina dividiendo la carga, por el aporte que hace un habitante, es decir, una persona, por día, para el mismo parámetro.

$$h - eq = \frac{Carga\ contaminate}{carga\ personal} \qquad (15)$$

3.3.3.10.2. Contribución per cápita de las aguas residuales (c)

Es la cantidad de agua consumido por cada uno de los habitantes por día, el valor adoptado es de 140 L/hab*día

3.3.3.10.3. Criterios de partida para el diseño de fosa séptica

- La norma para la construcción e instalación de fosas sépticas de la Asociación Brasileña de norma técnica establece los siguientes parámetros para el dimensionamiento de la fosa séptica.
- Ancho interno mínimo debe ser igual a 0.8 m
- Profundidad útil mínima de por lo menos 1.20 m
- La relación larga /ancho debe estar comprendida entre los valores
- $2 < L/b < 4$
- El ancho interno debe ser mayor que dos veces la profundidad útil.
- El primer y segundo compartimento debe tener un volumen útil respectivamente de 2/3 y 1/3 del volumen útil total.

- La longitud del primer compartimento es de 2/3 de L y el segundo 1/3 de L.
- El borde inferior entre los orificios de paso entre los compartimentos debe ser localizados a una altura igual a 2/3 de valor de la altura útil y debe ser medida desde el fondo.
- Los bordes superiores de estos orificios deben ser localizados a una distancia de 0.30 m bajo el nivel de líquido como mínimo.
- El área total de los orificios de paso debe ser del 5-10% de la sección trasversal útil de la fosa (Isla de Juana, 2005).

3.3.3.10.4. Contribución per cápita de lodos (lf)

Para la contribución per cápita de lodos se tomó en cuenta la tabla 8 que se encuentra en el texto de (RAS, 2000), tomando a consideración que para nuestra zona de estudio son ocupantes permanentes de clase media con un valor de 1L/hab.día.

Tabla 9-3: Contribución de aguas residuales y lodo fresco por persona.

Predio	**Unidades**	**Contribución de aguas residuales (c) y lodo fresco L_f (l/día)**	
Ocupantes permanentes		C	L_f
Residencia			
Clase alta	persona	160	1
Clase media	persona	130	1
Clase baja	persona	100	1
Hotel (excepto lavandería y cocina)	persona	100	1
Alojamiento provisional	persona	80	1
Fábrica en general	persona	70	0,3
Oficinas temporales	persona	50	0,2
Edificios públicos o comerciales	persona	50	0,2
Escuelas	persona	50	0,2
Bares	persona	6	0,1
Restaurantes	comida	25	0,01

Cines, teatros o locales de corta permanencia	local	2	0,02
Baños públicos	tasa sanitaria	480	4

Fuente: Norma RAS – 2000, Colombia.

3.3.3.10.5. Contribución diaria de las aguas residuales

Cantidad de aguas totales que se genera diariamente por los habitantes, tomando en cuenta la contribución per cápita ya antes estimada, para el cálculo se utilizó la ecuación (15):

$$Ec = he * C \quad (16)$$

Donde:

Ec: Contribución diaria de aguas residuales

he: Habitantes equivalentes

c: Contribución per cápita de aguas residuales

3.3.3.10.6. Tiempo de retención hidráulica

El tiempo de retención hidráulica se consideró mediante la (Tabla 10), basándose en el cálculo de la contribución diaria de aguas residuales producidas por los habitantes de la comunidad Mushuk Warmi, tomando en cuenta el resultado de la contribución tomamos el valor acorde la necesidad.

Tabla 10-3: Tiempo de retención hidráulica

Contribución diaria (L)	**Tiempo de retención (T)**	
	días	**horas**
Hasta 1500	1	24
De 1501 a 3000	0,92	22
De 3001 a 4500	0,83	20
4501 a 6000	0,75	18
6001 a 7500	0,67	16
7501 a 9000	0,58	14
más de 9000	0,5	12

Fuente: Norma RAS – 2000, Colombia.

3.3.3.10.7. Tasa de acumulación de lodo dirigido (k)

Para el cálculo de la tasa de acumulación de lodos se toma el valor de la (Tabla 11) tomando en cuenta el periodo de tiempo en el que se va a realizar la limpieza de los tanques sépticos, además se debe considerar la temperatura promedio del cantón Fátima, la cual es de 21°C, con un intervalo de limpieza de 1 año la tasa de acumulación de lodos es de 65.

Tabla 11-3: Valores de tasa de acumulación de lodos digeridos

Intervalo de limpieza (años)	**Valores de K por intervalo temperatura ambiente (t) en °C**		
	$t \leq 10$	$10 \leq t \leq 20$	$t \geq 20$
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

Fuente: Norma RAS – 2000, Colombia.

3.3.3.10.8. Volumen útil de la fosa séptica

Es el espacio que ocupan las aguas residuales dentro de las dos cámaras, este parámetro se calcula mediante la ecuación (17)

El volumen útil de la fosa se calcula con la siguiente fórmula:

$$Vu = 1000 + Nc(C * T * K * Lf) \quad (17)$$

donde,

V_u: Volumen útil del tanque séptico (m^3)

N_c: Número de habitantes equivalentes

C: Contribución de aguas residuales (L/hab/d)

T: Tiempo de retención hidráulico (d)

K: Tasa de acumulación de lodos digeridos (d)

$L_{f:}$ Contribución de lodos frescos (L/hab/d).

3.3.3.10.9. Dimensiones de la fosa séptica

La relación longitud – ancho según los criterios de diseño de la Organización Panamericana de la Salud, no debe ser menor a 2 y tampoco mayor a 4, por lo que el valor seleccionado es de 3 m, mediante la obtención de este dato se procede a calcular el ancho de la fosa séptica aplicando la ecuación (17). Tomando en cuenta según los criterios la profundidad útil (H) debe ser > 1,20 m, por tal motivo el valor de la profundidad escogida es de 2 m (OPS, 2005).

$$b = (\frac{Vu}{3h * 1000})^{0.5} \quad (18)$$

Donde:

b: Ancho de la fosa (m)

Vu: Volumen útil (m^3)

H: Profundidad (m)

Nota: los cálculos previamente realizados se utilizan como datos de partida para calcular los siguientes procesos:

3.3.3.10.10. Longitud total de la fosa

Para el cálculo de la longitud total de la fosa se utilizó la ecuación (19), es aquí donde se realiza el proceso de sedimentación de las partículas que se encuentran en suspensión debido a la gravedad, para determinar la longitud total se toma en cuenta la longitud de la primera cámara más la segunda (OPS, 2005).

$$L = 3b \quad (19)$$

Dónde: L Longitud de la fosa (m)

b: Ancho de la fosa (m)

3.3.3.10.11. Longitud del primer compartimento o cámara

Para calcular la longitud del primer compartimento se utiliza la ecuación (20), tomando 2/3 de la longitud total de la cámara.

$$L1 = L * 2/3 \quad (20)$$

3.3.3.10.12. Longitud del segundo compartimento o cámara

La longitud del segundo compartimento se lo determina mediante la ecuación (21) esto concierne a 1/3 de la longitud total de la cámara

$$L1 = L * 1/3 \quad (21)$$

3.3.3.10.13. Borde inferior de los orificios de paso

Es el espacio que se determina por donde fluirá el agua de la primera cámara hacia la siguiente reduciendo el aporte de Sólidos en Suspensión mientras se encontraba retenida en la fosa séptica, este especio se calcula con la ecuación (22)

$$B1 = h * 2/3 \quad (22)$$

3.3.3.10.14. Borde superior de los orificios de paso

Se selecciona una distancia de 0,3 m según la (OPS, 2005), en donde se ubica el nivel del agua que se encuentra en la fosa, ahí se van a ubicar los orificios de entrada y salida del agua residual, para determinar el cálculo se utilizó la ecuación (2):

$$Bs = h - 0.3m \quad (23)$$

3.3.3.10.15. Cálculos adicionales de resguardo del equipo

Se debe tener en cuenta un resguardo libre sobre el nivel de agua, generalmente de 0,3 m entre el nivel superior de natas y la superficie inferior de la losa de cubierta (García & Corzo, 2008). Este cálculo a obtener se denomina altura total y la conseguiremos mediante la ecuación (23):

3.3.3.10.16. Altura total

$$HT = h + 0.3 \quad (24)$$

Los Cálculos para el diseño de las Fosas Sépticas se realizan con las siguientes ecuaciones mencionadas a continuación en la (Tabla 10).

Tabla 12-3: Cálculos para el diseño de Fosa Séptica.

Parámetros para el cálculo		
L1	habitantes (hab)	
L2	contribución (L/hab.d)	
L3	Lodos Frescos (L/hab.día)	Lf = 1 L/hab/d
L4	TRH (días)	T = 12 horas ó 0.5 días
L5	Tasa de acumulación de lodos digeridos (día)	K = 65 días
L6	Contribución Total (L/d)	CT = L/hab/d * hab = L/d
L7	Volumen Útil	Vu= 1000 +Nc (C*T+K*Lf)
L8	Relación Log/Anch	3m
L9	Profundidad útil (m)	2.2m
L10	Ancho interno (m)	b = [Vu /(3h * 1000)]^0.5
L11	Longitud de la fosa (m)	L = 3*b
L12	Longitud del primer compartimento (m)	L1= L * 2/3
L13	Longitud del segundo compartimento (m)	L2= L * 1/3
L14	Borde inferior de los orificios de paso (m)	BI = h * 2/3
L15	Borde superior de los orificios de paso (m) (0,3 tabla)	BS = h – 0.3 m
L16	Altura total del equipo (m)	L9+ 0.3

Fuente: Isla de Juna, R. (2005); proyectos de PTAR.

3.3.3.11. Lecho de secado de lodos

Lugar donde se deshidratan los lodos estabilizados provenientes de la fosa séptica, el lecho de secado de lodos se diseñó tomando en cuenta los criterios establecidos en la guía para el diseño de tanque séptico, tanque Imhoff y laguna de estabilización (OPS, 2005), este sistema es el más económico y simple para dar tratamiento a los lodos, especialmente para comunidades pequeñas como es el caso de nuestro proyecto.

3.3.3.11.1. Carga de sólidos que ingresa a sedimentador

Es la masa de sólidos en suspensión que son transportados por medio del agua residual al sedimentador esto ocurre diariamente, para determinar los SS presentes en las aguas residuales domesticas se realizó una revisión bibliografía de diferentes partes de la sierra sacando un promedio de las características típicas del agua residual doméstica en la zona de estudio, misma que se encuentra plasmada en la tabla A3, mediante la ecuación (25) se determinó la carga de sólidos:

$$C = Q * SS * 0.0864 \quad (25)$$

Donde:

C: Carga de sólidos (Kg de SS/día)

SS: Sólidos en suspensión en el agua residual cruda, en mg/l,

Q: Caudal promedio de las aguas residuales.

3.3.3.11.2. Carga per cápita de sólidos

A nivel de proyecto se puede estimar la carga en función a la contribución per cápita de sólidos en suspensión, para determinar la carga per cápita de sólidos en suspensión se utilizó la ecuación (26):

$$C = \frac{P * Cpc}{1000} \quad (26)$$

Donde:

C: Carga per cápita (gSS/hab*día)

P: Población

Cpc: Contribución per cápita (gSS/Hab*día)

Nota: En las localidades que cuentan con el servicio de alcantarillado, la contribución per cápita se determina en base a una caracterización de las aguas residuales. Cuando la localidad no cuenta con alcantarillado se utiliza una contribución per cápita promedio de 90 gr. SS/(hab*día) (OPS, 2005).

3.3.3.11.3. Masa de sólidos que conforman los lodos

Cantidad de materia de sólidos suspendidos que se genera al pasar por un proceso físico que se ejecuta en un tratamiento primario, mismo que se secaran antes de darles una disposición final. Se determina mediante la ecuación (26):

$$Msd = (0.5 * 0.7 * 0.5 * C) + (0.5 * 0.3 * C) \quad (27)$$

Mds: Masa de sólidos (kg SS/día)

C: Carga.

3.3.3.11.4. Volumen diario de lodos digeridos

Volumen de lodos que circulan por los sistemas de tratamiento por medio del agua residual, estos se obtienen mediante la ecuación (28):

$$Vld = \frac{Msd}{plodo * (\% \frac{S}{100})} \quad (28)$$

Donde:

Vld: Volumen de lodos digeridos (L/día)

Plodo: Densidad de los lodos, igual a 1,04 Kg/l.

% S: %de sólidos contenidos en el lodo, varía entre 8 – 12%.

3.3.3.11.5. Volumen de lodos a extraerse de la fosa

Es la cantidad de lodos generados en el tratamiento primario, se lo determina mediante la ecuación (29).

$$Vel = \frac{Vld * Td}{1000} \quad (29)$$

Donde:

Vel: Volumen de lodos a extraer (m3)

Td: Tiempo de digestión, en días

Vld: Volumen de lodos digeridos

3.3.3.11.6. Área del lecho de secado

Extensión de terreno donde se disponen los lodos procedentes de los procesos del sistema de tratamiento de aguas residuales, este se calcula mediante la ecuación (30)

$$Als = \frac{Vel}{Ha} \qquad (30)$$

Donde:

Als: Área del lecho de secado (m^2)

Ha: Profundidad de aplicación, entre 0,20 – 0,90 m.

3.3.3.12. Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical (HFSSV)

Para determinar el diseño de un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical se debe tomar en cuenta que existen ciertos criterios de diseño como se muestra en la (Tabla 13), según (Sálas Rodríguez , 2020) expresa que para su diseño la relación largo- ancho es 1/1 es decir que es un humedal de forma cuadrada; sin embargo este tipo de humedales al tener alimentación intermitente necesita un sistema de bombeo el cual va dentro de una arqueta de entrada, de la misma manera se construye una arqueta de salida donde el agua no debe sobrepasar las tuberías ya que interrumpiría en el proceso de oxigenación. Para calcular del área se utiliza la ecuación (31), donde García & Corzo Hernández, (2008) expresan que como norma general los sistemas se pueden dimensionar tomando 2,5 m^2/hab-eq, siendo recomendable considerar en el caso de pequeños municipios 1,5 m^2 hab-eq.

$$As = 1.5m^2 * Pf \qquad (31)$$

Tabla 13-3: Criterios de diseño para humedales artificiales verticales.

FACTOR	UNIDAD	VALOR
Grava (principal) 20 cm de espesor	Mm	24 - 40
Gravilla (secundaria) 70 cm de espesor	Mm	0,3 - 0,8
Capa superficial de arena gruesa	Cm	10
DRENAJE		
Pendiente	%	1
Taludes	°	45°
Profundidad medio granular	Cm	45 - 90
Diámetro de tubería	Mm	100
Separación de tubería	Mm	2

Fuente: (Sálas Rodríguez, 2020).

3.3.3.12.1. Vegetación

Las plantas son organismos foto autótrofos, en otras palabras, recogen energía solar para transformar el carbono inorgánico en carbono orgánico, pueden transferir oxígeno desde la atmósfera por medio de sus hojas y tallos hasta donde se encuentran las raíces. Este oxígeno crea áreas aerobias donde los microorganismos utilizan el oxígeno disponible para producir diversas reacciones de degradación de materia orgánica y nitrificación (Delgadillo O. , Camacho, Peréz , & Andrade, 2010).

3.3.3.13. Método de desinfección

La absorción de la luz ultravioleta por el ácido nucleico provoca una reordenación de la información genética, lo que interfiere con la capacidad reproductora de la célula. Por consiguiente, los microorganismos son inactivados por la luz UV como resultado del daño fotoquímico que sostiene el ácido nucleico (Acosta, Caro, & Perico, 2015) Del cual, elimina los microorganismos del agua a tratar.

3.3.3.13.1. Factores que afectan la desinfección eficaz con UV

El proceso de radiación ultravioleta tiene como ventajas que no altera el olor, color, o el pH, no requiere la adición de productos químicos y no confiere subproductos tóxicos en el agua (Martínez *et all.*, 2020)

- Calidad del agua
- Transmisión de luz UV
- Sólidos en suspendidos

- Nivel de orgánicos disueltos
- Dureza total
- Condición de la lámpara
- Limpieza del tubo de cuarzo
- Tiempo de uso de la lámpara

3.3.4. ANALIZAR EL VALOR TÉCNICO - ECONÓMICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PROPUESTA A CONSTRUIR EN LA PARROQUIA MUSHUK WARMI.

Luego de haber establecido los procesos para la limpieza de las aguas residuales domesticas en la comunidad Mushuk Warmi y sus alrededores, se procedió a realizar un análisis de valor económico, realizando la cotización de costos, para la implementación y ejecución de la planta de tratamiento, ésta parte del proyecto no está basada en una metodología concreta, debido a que la implementación y construcción del sistema de saneamiento posee un costo diferente en los distintos lugares de implementación (Pacheco & Ladino, 2018). Al realizar estas cotizaciones se toma en cuenta el valor de cada uno de los materiales a utilizar, permitiendo distribuir de mejor manera el recurso económico.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

4.1. DETERMINACIÓN DE LOS DATOS DE PARTIDA PARA EL DISEÑO DE LA PTAR PARA LA COMUNIDAD MUSHUK WARMI, PARROQUIA TARQUI

4.1.1. Número de habitantes

El número de habitantes se pudo establecer según el Plan de Ordenamiento Territorial (2014) del Gobierno Autónomo Descentralizado de Tarqui, obteniendo que la comunidad de Mushuk Warmi tienen una población de 55 habitantes.

4.1.2. Población futura

El resultado de la estimación de población futura se obtuvo mediante la aplicación de la fórmula del método geométrico para crecimiento poblacional, dando como resultado una cantidad de 193 habitantes para el año 2021, y para el 2036, tiempo de vida de la planta, se estimó una cantidad de h habitantes de 1421.

4.1.3. Dotación

Según la norma INEN para el estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales; de acuerdo con la cantidad de habitantes y las condiciones climáticas, la dotación media es de 130 l/hab/día para la comunidad Mushuk Warmi.

4.1.4. Condiciones climáticas

La comunidad Mushuk Warmi oscila una temperatura entre 20.5 a 21.9°C grados, con una precipitación media anual de 418.3mm y una humedad aproximada del 86% (GAD TARQUI, 2014).

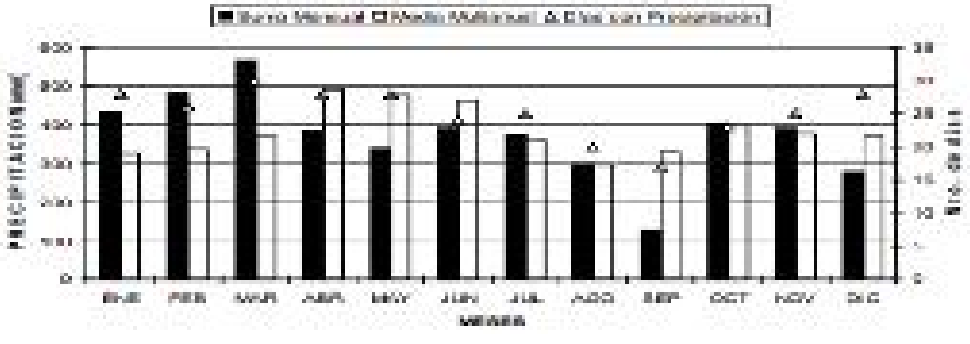

Figura 2-4: Distribución de la precipitación anual.

4.1.5. Relieve

El territorio de la Parroquia Tarqui corresponde a la forma de vida denominada Bosque Siempreverde piemontano del norte – centro de la cordillera oriental de los Andes, que es un sistema de bosques siempreverde amazónicos de tierra firme. El relieve general al que pertenece la parroquia Mushuk Warmi se lo conoce como tierras bajas, clasificado en tres tipos de mesorelieve: Colinas, mesetas y terrazas (GAD TARQUI, 2014).

4.1.6. Selección de alternativa

Se analizaron tres alternativas de procesos: filtro percolador, Humedal de flujo subsuperficial vertical y Contactores biológicos. Se procedió a evaluar, analizar, e investigar los procesos de cada una de los criterios, puntuando con "+1" el criterio que mejor se adaptaba al estudio, y con "-1" el criterio que menos se adaptaba a nuestras necesidades, finalmente se sumaron los valores colocados en la matriz y la alternativa con más puntaje fue la elegida para poder desarrollar el diseño.

Luego de la evaluación de estos tres procesos, se llegó a la conclusión que el proceso HFSSVS es el más indicado para su aplicación, considerando los criterios de consumo de energía, eficiencia, operación y mantenimiento, espacio, entre otros. Además, se realizó una comparación a través de la matriz de Pugth, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 14-4: aplicación de la matriz de Pugth

Alternativas Criterios	**Filtro percolador**	**Humedal de flujo subsuperficial vertical**	**Contactores biológicos rotatorios**
Consumo de energía	-1	1	-1
Operación y mantenimiento	1	1	-1
Mantenimiento y Operación	1	1	-1
Espacio requerido	1	-1	0
Consumo de energía	-1	1	-1
Total	0	3	-1
	PONDERACIONES		
+1		Si es mejor el criterio	
-1		Si es peor el criterio	
0		Si son similares.	

4.2. DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

Para realizar el dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales doméstica para la comunidad Mushuk Warmi se tomaron parámetros de partida.

Tabla 15-4: Parámetros de partida para los dimensionamientos de los equipos.

DATOS	
Población Actual (hab)	55
Estrato social (Clase baja)	100
Tasa de crecimiento anual (%)	1.5
Proyección de la Planta (Años)	15
Relación Q_{max}/Q_{dis}	1,6
Relación Q_{dis}/Q_{min}	1,5
Concentración DBO a la entrada a la planta (mg/L)	250
Concentración SS a la entrada a la planta (mg/L)	220
Concentración de Nitrógeno amoniacal a la entrada a la planta (mg/L)	50
Temperatura ambiente (°C)	21
Altitud (msnm)	418
Resguardo (m)	0,3
Consumo de agua L/hab.d	130
Contribución per cápita promedio gr. SS/(hab*día)	32.5

Fuete: diseño de plantas de tratamiento Isla de Juana 2001.

4.2.2. Dimensionamiento del canal de entrada

Para el diseño del canal de entrada se tomó como referencia un valor de partida de García & Corzo (2008). Donde, el 0,20 a 2 m de ancho, asumiendo para nuestro diseño un ancho de 0,9 m, de la misma manera se establece una altura de 0,50 que se encuentra dentro de los valores propuestos por el mismo autor.

Tabla 16-1: Medidas del canal de entrada.

MEDIDAS DEL CANAL DE ENTRADA	
Ancho útil del canal	0,35 m
Profundidad del canal	0, 55 m
Longitud del canal	1,5 m

Nota: A este valor le sumamos un resguardo de 0,5 según lo indicado por (García & Corzo Hernández, 2008), por ende, la profundidad del canal será de 0,55 m.

Este canal permitirá dirigir el caudal de las aguas residuales a los siguientes procesos, motivo que los residuos gruesos serán retenidos por las rejas instaladas, por lo cual

el canal tiene una longitud de 1,5 m, con un ancho de 0,35 m y una profundidad de 0,55 m en relación a la altura seleccionada que se encuentra dentro de los valores presentados en el texto de García & Corzo (2008), además se tomó en cuenta trabajos realizados en poblaciones pequeñas.

4.2.3. Diseño de la rejilla

En el dimensionamiento de las rejillas el espesor debe encontrarse entre 5 – 15 mm y de ancho de 25 – 50, aunque lo recomendable es a 25 mm, en este sentido planteamos en nuestro diseño rejillas de platinas de 25 mm de acho y un espesor de 6 mm con un espaciamiento de 1 cm, la velocidad mínima con la que va a circular el agua es de 0,9 m/s, estos valores se obtuvieron tomando en cuenta que el tipo de rejas a utilizar es fino.

Tabla 17-4: Medida entre las rejillas finas.

MEDIDAS DE LA REJILLA		
Platinas	25 x 6	Mm
Espaciamiento	1	Cm
Velocidad mínima	0,9	m/s
Numero de barrotes	2	

***Fuete**: diseño de plantas de tratamiento Isla de Juana 2001.*

Mediante el pretratamiento se pretenderá la eliminación de residuos de un tamaño considerable, mayores a 10 mm relacionado al diseño. Con el objeto de proporcionar suficiente superficie de reja para la acumulación de basuras entre limpieza y limpieza, del cual es necesario que la velocidad de aproximación del agua a la reja sea de unos 0,45 m/s a caudal medio (Isla de Juana, 2005).

4.2.4. Diseño del desarenador

En el diseño del desarenador se tomó a consideración el criterio expresado por García & Corzo (2008) en el cual recomiendan que el tamaño de las partículas es de 0,3 mm con una velocidad de flujo de 0,2 m/s para aguas residuales domésticas.

Tabla 18-4: Medidas del cálculo para el diseño del Desarenador.

CÁLCULO DE DISEÑO DE DESARENADOR	
Caudal máximo (m^3/h)	1,299

Carga superficial ($m^3/m^2.h$)	40
Número de canales	1
Caudal (m^3/s)	0,00036
Área superficial (m^2)	0,03
Profundidad efectiva (m)	1,2
Volumen Efecto (m^3)	0,04
Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) (s)	108
Velocidad horizontal (m/s)	0,2
Área Trasversal (m^2)	0,0018
Altura o profundidad efectiva (B) (m)	0,0015
Longitud (m)	21,6
Relación Long/prof	18

Fuete: Diseño de plantas de tratamiento Isla de Juana 2001.

El diseño del desarenador consta de una profundidad de 1.2 m, tomando en cuenta que tiene una relación larga/ profundidad es de 18, como se encuentra expuesto los criterios de diseño, en cuanto a la longitud es de 21,6 m, pero para que el desarenador se desempeñe de una mejor manera se utiliza un TRH de 180s, con una carga superficial de 40 m^3/m^2*h, la cual nos indica que el dimensionamiento es correcto (Isla de Juana, 2005).

4.2.5. Diseño de la fosa séptica

Para el diseño de la fosa séptica se obtuvo un volumen total de 15894,7, valor que nos permite diseñar una fosa séptica de doble cámara, con una profundidad de 1.2 m, tomando en cuenta una profundidad de resguardo de 0,3 m, un ancho de 2.1 m; Donde, cada una de las cámaras adquirirán diferentes longitudes la primera será de 4,22 m y la segunda tendrá 2.10 m, el borde inferior de los orificios de paso es 0.8 m y un borde superior de los orificios de paso de 0.9 m, indistintamente se obtuvo una altura total de 1.5 m, misma que surge de la suma de la profundidad útil más la profundidad de resguardo (Isla de Juana, 2005).

Tabla 19-4. Cálculos de la Fosa Séptica

CÁLCULOS DE DISEÑO DE FOSA SÉPTICA	
habitantes (hab)	139
contribución (L/hab.d)	100
Lodos Frescos (L/hab.día)	1
TRH (días)	0,5
Tasa de acumulación de lodos digeridos (día)	57
Contribución Total (L/d)	13920,27
Volumen Útil	15894,7
Relación Log/Anch	3
Profundidad útil (m)	1,2
Ancho interno (m)	2,10
Longitud de la fosa (m)	6,30
Longitud del primer compartimento (m)	4,22
Longitud del segundo compartimento (m)	2,10
Borde inferior de los orificios de paso (m)	0,80
Borde superior de los orificios de paso (m) (0,3 tabla)	0,9
Altura total del equipo (m)	1,5

Fuete: Diseño de plantas de tratamiento Isla de Juana 2001**.**

Según Muñoz Cruz (2008), menciona que "la primera cámara de la fosa séptica debe tener el doble de longitud con respecto a la segunda ya que en esta se producirá la sedimentación de la mayor cantidad de sólidos".

4.2.6. Dimensionamiento del lecho de secado de lodos

En el diseño del sistema de lecho de secado de lodos se estableció de acuerdo a la carga de sólidos que ingresa al sedimentador con un valor de 2.10 KgSS/día , una contribución per cápita de 12,53 gSS/día, con una masa de sólidos que conforman los lodos de 4.07 KgSS/día, y un volumen de lodos dirigidos de 39.15 L/día; el volumen de los lodos al ser extraídos del tanque será de 2.23 m^3, para el diseño del lecho de sacado se tiene valores de longitud de 1.86 m, un ancho de 3 m con un área de 5.58 m^2 (Isla de Juana, 2005).

Tabla 20-4: Cálculo de Lecho de secado.

CÁLCULO PARA LECHO DE SECADO	
Carga de Sólidos (C) (Kg de SS/día)	2,10
Carga percápita de sólidos (grSShab⁄∗día)	12,53
Masa de lodos que conforman lodos (KgSS/día)	4,07
Volumen Diario de Lodos Digeridos (L/día)	39,15
Volumen de lodos a extraerse del tanque (m^3)	2,23
Área del Lecho de Secado (m^2)	5,58
Longitud de la Piscina de Secado de Lodos (m)	1,86

Fuete: Diseño de plantas de tratamiento Isla de Juana 2001.

4.2.7. Dimensionamiento del humedal artificial de flujo subsuperficial vertical

Para el diseño del humedal artificial de flujo subsuperficial se consideró la relación largo ancho de 1/1, por lo que se calculó un área de 299.82 m^2 y por motivos del tamaño se implementarán dos líneas de humedales, cada uno con un área de 149.9m2, teniendo como resultado una longitud de 21.21 m y un ancho de 7.07m, con una remoción de la eliminación de DBO y SS mayor al 81%.

Para este tipo de humedales se debería trabajar con un sistema multicapas, la primera capa se implementaría una membrana de 2 mm, además grava de 40 mm con un espesor de 20 cm la cual cubre la tubería de drenaje, gravilla silícea de 0,8 mm, de cual, realizará la depuración con un espesor de 70 cm y la última capa se coloca arena gruesa que ayuda a repartir el agua de mejor manera con un espesor de 10 cm (Isla de Juana, 2005).

Tabla 21-4: Cálculo de Humedales.

CÁLCULO DE DISEÑO DE HUMEDALES	
Caudal de diseño por línea (m^3/h)	0,41
Superficie total (m^2)	299,82
Superficie unitaria de cada humedal (m^2)	149,91
Volumen total útil (m^3)	149,91
Volumen unitario de cada humedal (m^3)	74,96
Longitud unitaria de cada humedal (m)	21,21
Anchura unitaria de cada humedal (m)	7,07

Concentración de DBO esperada en la salida (mg/L)	46,55
Rendimiento de eliminación de DBO (%)	81,38
Concentración de SS esperada en la salida (mg/L)	40,97
Rendimiento de eliminación de SS (%)	81,38
Biomasa a cosechar estimada (Toneladas/cosecha)	0,60
Carga orgánica (kg DBO/ha.d)	100,06
Tiempo de retención hidráulico (d)	184,62
Superficie de humedal por habitante equivalente (m^2/hab)	2

Fuente: *Diseño de plantas de tratamiento Isla de Juana 2001.*

4.3. ANÁLISIS ECONÓMICO

A continuación, se detalla el presupuesto estimado para un sector rural, basándose en lo plasmado por Castillo en su libro "Rubrica de Costos para la Construcción de una Planta de Tratamiento".

4.3.2. **Pretratamiento**

Tabla 22-4: Cotización preliminar del sistema de pretratamiento.

PRELIMINARES			
Descripción	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Total**
Replanteo y nivelación lineal	2	20	80
Limpieza y desbroce	3	80	300
TOTAL			$ 380,00

Fuente: (Castillo Chancay, 2019)**.**

4.3.3. **Canal de entrada y desbaste**

Tabla 23-4: Cotización preliminar del sistema de pretratamiento.

PRETRATAMIENTO (CANAL DE ENTRADA Y DESBASTE)			
Descripción	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Total**
Excavación a Maquina (Retroexcavadora)	4 horas	40	160
Adecuación del Fondo de la Zanja	2	30	60
Reja Varilla Circular del Canal de Cribado	10	12,5	125
Relleno Y Compactado De Zanjas	3	26,5	79,5

Quintales de Hierro	6	8,7	52,2
Sacos de Cemento (50 kg)	8	7,5	60
Mano De Obra (Pago Semanal)	3	20	300
Tubería Pvc	10	30	300
Subtotal		**$** 1136,7	
Iva 12%		**$** 136,40	
Total		$ 1.273,10	

Fuentes: (Castillo Chancay, 2019).

4.3.4. **Desarenador**

Tabla 24-4: Cotización del Desarenador.

DESARENADOR			
Descripción	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Total**
Quintales de cemento	8	7,5	60
Excavación a máquina(retroexcavadora)	4	40	160
Adecuación del fondo de la zanja	3	30	90
Encofrado y desencofrado recto	2	120	240
Hormigón s.F´S 210 kg/cm2	1	300	300
Compuerta de volante de acero inoxidable	1	80,78	80,78
Quintales de hierro	15	8,7	130,5
Subtotal			1061,28 $
Iva 12%			127,35 $
Total			1188,63 $

Fuente: (Castillo Chancay, 2019).

4.3.5. **Fosa séptica**

Tabla 25-4: Cotización de la fosa séptica.

FOSA SÉPTICA			
Descripción	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Total**
Quintales de cemento(50kl)	40	7,5	300
Quintales de hierro	78	8,7	678,6
Mano de obra (pago semanal)	4	20	2400
Ducto de ventilación	2	25,6	51,2
Codo de 90° desagüe	10	21,18	211,8
Tubería PVC	6	30	180
sum.e inst.de tee desague PVC	2	26,8	53,6
Caja de revisión 180kG/CM2	1	380,74	380,74

Subtotal	$ 4.255,94
Iva 12%	$ 510,71
Total	$ 4.766,65

Fuente: (Castillo Chancay, 2019).

4.3.6. Lecho de secado de lodos

Tabla 26-4: Cotización del Lecho de Secado de Lodos.

LECHO DE SECADO DE LODOS			
Descripción	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Total**
Quintales de hierro	12	8,7	104,4
Sacos de cemento(50kl)	6	7,5	45
Mano de obra (pago semanal)	2	20	200
SUBTOTAL			$ 349,40
IVA 12%			$ 41,93
TOTAL			$ 391,33

Fuente: (Castillo Chancay, 2019).

4.3.7. Humedal artificial de flujo subsuperficial

Tabla 27-4: Cotización de Humedal artificial.

HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL			
Descripción	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Total**
Excavación a máquina cielo abierto (retroexcavadora)	10 horas	40	400
Desalojo de material con volqueta	8	40	320
Tuberías PVC desagüe	3	316,49	949,47
Codo PVC desagüe	5	26,8	134
Tubería para drenaje 100 mm	1	50,34	50,34
Geotextil 150-300 G/CM2	1	673	673
Lamina pead 2 mm	1	680	680
Grava para filtros (de acuerdo al diseño)	3	45	135
Plantación de plantas nativas (inc. transporte)	2568	0,6	1540
Subtotal			$ 4.882,61

Iva 12%	$ 585,91
Total	$ 5.468,52

Fuente: (Castillo Chancay, 2019).

4.3.8. **Luz ultravioleta**

Tabla 28-4: Cotización del Método de desinfección UV.

DESINFECCIÓN LUZ ULTRAVIOLETA			
Descripción	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Total**
Lámpara Ultravioleta Uv 12 Gpm-55 w-Os	1	570,6	$ 570,60
Subtotal			$ 570,60
Iva 12%			$ 68,47
Total			$ 639,07
Técnico para la construcción 3 meses	2	850	$ 5100
TOTAL		$ 5,100	

Fuente: (Castillo Chancay, 2019).

La aplicación de este tratamiento para la desinfección de agua resulta conveniente para las características demográficas y los parámetros de partida de la población de Mushuk Warmi, según las especificaciones del fabricante, esta lámpara tiene una capacidad de procesamiento de agua de aproximadamente 2500 litros de agua diaria dependiendo el tiempo de retención las aguas a purificar. Este dispositivo se coloca dentro de una cámara cerrada que pueda almacenar y conducir el flujo de agua sobre la lámpara de desinfección, cuyo precio está considerado dentro de la cotización mencionada en la tabla 28-4.

4.3.9. **Total del presupuesto para la PTAR**

Tabla 29-4: Costo Total de implementación de la planta de tratamiento.

PROFORMA	
Preliminares	$ 380,00
Canal de Entrada, Desbaste y Desarenador	$ 2.461,74
2 fosas Sépticas	$ 4.766,65
2 humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Vertical	$ 5.468,52
Lecho de Secado de Lodos	$ 391,33
Lámpara de Luz Uv	$ 1.278,14
Otros (Técnicos) para la Construcción 3 Meses	$ 5.100,00
TOTAL	$ 19.846,39

Fuente: (Castillo Chancay, 2019).

CONCLUSIONES

- Se establecieron parámetros de partida previos al diseño de la planta de tratamiento, pudiendo destacar el probable crecimiento exponencial que ha tenido la comunidad Mushuk Warmi determinando que la población ha tenido un crecimiento de 2,6 % en los últimos años, además se pudo concluir que la dotación media de agua que necesita la mencionada comunidad es de aproximadamente 130 l/hab./día, y una Contribución per cápita promedio de sólidos suspendidos de 32.5 g/hab/día.

- Se realizó la propuesta para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para la comunidad Mushuk Warmi de la parroquia Tarqui provincia de Pastaza teniendo presente de un humedal de flujo subsuperficial vertical para el tratamiento de las aguas residuales como la opción técnica y la más viable para poblaciones de este tipo de tamaño (pequeñas).

- Se analizó el valor económico para una futura construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales, obteniendo un total final de 19 846.39 dólares, este monto incluye la fase preliminar, construcción del canal de entrada, cribado y desbaste, desarenado, fosas sépticas, humedales, lecho de secado de lodos, lámpara UV y otros gastos adicionales como pagos a los trabajadores.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un análisis a fondo de los parámetros físico, químico y biológico de las aguas residuales producidas por la comunidad Mushuk Warmi, así mismo, realizar análisis de laboratorio para suelos, agua residual y aguas abajo del río Puyo para medir la influencia de la contaminación de la comunidad sobre él.

- En este tipo de investigaciones se recomienda buscar la asesoría de un ingeniero civil, ambiental o arquitecto que tenga experiencia en este tipo de diseños y contrucciones.

- Revisar información bibliográfica de primera mano para que los resultados de esta investigación sean más confiables, por ejemplo: planes de ordenamiento territorial, tesis en sitios aledaños, evaluaciones de impacto ambiental de proyectos aledaños a la zona de estudio, entre otros.

- A la Universidad Estatal Amazónica; reforzar los contenidos en la malla curricular con respecto al diseño de plantas de tratamiento.

REFERENCIAS

Acosta, P., Caro, C., & Perico, N. (2015). *Análisis de interferencia de parámetros físicos del agua, en desinfección por radiación UV.* Granados: Revista de tecnologia.

Alvarado Granados , A. (18 de Junio de 2012). *Tecnicas alternativas de tratamiento de aguas residuales domesticas.* Obtenido de Tecnicas alternativas de tratamiento de aguas residuales domesticas: https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf

Alvarado, A., Díaz, E., & Camacho, K. (14 de enero de 2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Revista de estudios Territoriales, vol.14.nùm. 1*.

Asamblea General del Ecuador. (6 de agosto de 2014). LEY ORGANICA DE RECURSOS HIDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA. Quito, Ecuador: Ediciones Legales.

Asamblea General del Ecuador. (29 de diciembre de 2017). CODIGO ORGANICO DE ORGANIZACION TERRITORIAL,. Quito, Ecuador: Ediciones Legales.

Asamblea General del Ecuador. (29 de diciembre de 2017). Registro Oficial. *Código orgánico de organización territorial (COOTAD)*. Quito, Ecuador: Ediciones legales.

Bermeo Garay , M. M. (2016). *Tratamiento de aguas residuales: Tècnicas convencionales* (Segunda ed.). Guayaquil, Ecuador .

Bruna, S., & Gonzales, J. (1998). Tesis Para Optar al Grado de Licenciado en Ciencias de la Ingeniería y al Título de Ingeniero Civil Bioquímico. *Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Para la Comuna de ConCón.* PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO, Valparaíso.

Castillo Chancay, F. (2019). *Rubrica de Costos para la Construccion de una Planta de Tratamiento.* Calderon.

Código Orgánico del Ambiente. (2017). *Ley 0, Registro Oficial Suplemento 983 de 12-abr.-2017,Estado: Vigente.* Quito.

Congreso de la república del Ecuador. (2008, 20 de octubre). *Constitución de la República.* Ecuador: Ediciones Legales.

COOTAD. (2010). *Còdigo Organico de Organizacion Teritorial, Autonomìa y Descentralizaciòn* . Quito.

Delgadillo , O., Camacho , A., Pèrez , L., & Andrade, M. (2010). *Depuracion de aguas residuales por medio de humedales artificiales.* (N. Antequera, Ed.) Cochabamba, Bolivia.

Estrucplan. (1 de Enero de 2000). *estrucplan.com.* Obtenido de Composición de las aguas residuales: https://estrucplan.com.ar/composicion-de-las-aguas-residuales/

Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *QuímicaViva*, 147-170.

GAD TARQUI. (2014). *Plan de de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Tarqui 2014-2019.* Tarqui.

GADPz, G. A. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Pastaza al año 2025.* Puyo.

García , Q., & Ludizaca, V. (2017). Diseño de un sistema de humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales en la comunidad del Tabacay, cantón Azogues, provincia de Cañar. *(Tesis).* Universidad de Cuenca, Cuenca. Obtenido de http://dspace.ucuenca.edu.ec/browse?type=author&value=Ludizaca+Viracocha%2C+Wilson+Esteban

García, J., & Corzo, A. (2008). *Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial.* España: Universidad de Cataluña.

Garzón, M., Buelna, G., & Moeller, G. (28 de marzo de 2012). La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva ecnología sustentable para tratar agua residual en pequeñas comunidades e industrias. (C. d. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Ed.) *Tecnología y Ciencias del Agua* .

Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Tarqui. (s.f.). *gadprtarqui*. Obtenido de http://www.gadprtarqui.gob.ec/mushuk-warmi/

Gobierno Parroquial de Tarqui. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Terrotorial.* Gobierno Parroquial de Tarqui, Tarqui. Obtenido de http://www.gadprtarqui.gob.ec/wp-content/uploads/2019/05/pdot_completo_tarqui-1.pdf

Guavita, M. G. (20 de Septiembre de 2019). *Coliformes fecales* . Obtenido de Coliformes fecales : http://www.microlabindustrial.com/parametros/patogenos/182/coliformes-fecales#:~:text=Los%20coliformes%20fecales%20se%20definen,de%20Klebsiella%2C%20Enterobacter%20y%20Citrobacter.

Guerrero, M. (2014). *Planta de tratamiento de aguas servidas de la junta administradora de agua potable y alcantarillado de la parroquia Quinchicoto.* Obtenido de Universidad Técnica de Ambato: https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/7695/1/tesis-030%20Maestr%C3%ADa%20en%20Agroecolog%C3%ADa%20y%20Ambiente%20-%20CD%20261.pdf

Guzmán, M. (21 de Enero de 2018). *composiscion de agua residuales domesticas.* Obtenido de composiscion de agua residuales domesticas: https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6087/5/CAPITULO%202.pdf

INAMHI, I. N. (2015). *Anuario Metereológico.* Quito - Ecuador: Juan Bahamonde Sola.

INEC. (2016). *Estadística de información ambiental económica en GADM 2015 (Agua y Alcantarillado).*

INEN. (1996). Norma técnica Ecuatoriana. *Instituto ecuatoriano de normalización*, 4-9.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS . (2016). *ESTADÍSTICA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL ECONÓMICA EN GOBIERNOS AUTÓNOMOS DESCENTRALIZADOS MUNICIPALES 2015 (AGUA Y ALCANTARILLADO).* Quito. Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2015/Documento_Tecnico-Gestion_de_Agua_y_Alcantarillado_2015.pdf

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2013). *Proyecciones poblacionales.* Quito. Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/

Instituto Nacional de Meteoroología e Hidrología. (2019). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación.* Quito.

Isla de Juana, R. (2005). *Proyectos de plantas de tratamiento de aguas: agua de proceso, residuales y de refrigeracion.* España: Bellisco.

Ledesma, M. (2009). Trabajo previo al título de Ingeniero Ambiental. *PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN EL SECTOR CENTRO AGRÍCOLA.* Universidad Estatal Amazónica, Pastaza. Obtenido de Universidad Estatal Amazonica: https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/91/1/T.AMB.B.UEA.%203003

Llugllla, J. E., & Montaluisa, H. P. (2020). Propuesta de tratamiento de las aguas residuales generadas en el caserío la clementina, cantón Pelileo, provincia de Tungurahua. *(tesis de Ingenierìa).* Universidad Estatal Amazónca, Pelileo.

Lozano Rivas , W. A. (2012). *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.* Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia .

Lozano, W. (Octubre de 2012). CURSO. *FUNDAMENTOS DE DISEÑO DE PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES*. Bogotá, Bogotá, Colombia.

Lozano, W. A. (2012). *Fundamentos de diseño de plantas depuradoras de aguas residuales.* Bogota: Universidad Nacional Abierta ya Distancia.

METCALF, & EDDY. (1991). *Ingeniería de aguas resuduales tratamiento, vertido y reutilizacion.* España: Impresos y revistas S.A (IMPRESA).

Ministerio del Ambiente. (4 de noviembre de 2015). REFORMA TEXTO UNIFICADO LEGISLACION SECUNDARIA, MEDIO AMBIENTE, LIBRO V . Quito, Ecuador: Ediciones Legales.

Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2017). *Código Orgánico Ambiental.* Quito: Ediciones Legales.

Ministerio del Ambiente Ecuatoriano. (2004). *Ley de Gestión Ambiental.* Quito: Ediciones Legales.

Ministerio del Ambiente Ecuatoriano. (2019). *Codigo Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización.* Quito: Ediciones Legales.

Miranda, A. (2 de Julio de 2017). *Agua residual* . Obtenido de Agua residual: https://sites.google.com/site/ptaruniminuto/origen-y-caracteristicas-de-las-aguas-residuales

OPS. (2005). Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques IMHOFF y lagunas de estabilizacion. *Organizacion Panamericana de la Salud*, 4-10.

Pacheco, D., & Ladino, M. (2018). *Análisis de factibilidad técnica, comercial, ambiental y económica del uso de la limadura de hierro en una PTAR.*

Parada Gabriela (2012). El agua virtual: conceptos e implicaciones. *Orinoquia, vol. 16*(núm. 1), pp. 69-76.

PDOTPz. (2020). *Plan de Ordenamiento Territorial de la Provincia de Pastaza.* Puyo: Gobierno Autónomo Desentralizado de Pastaza.

(2014). *Plan de Desarollo y Ordenaiento Territorial de la Parrouia Tarqui.* Pastaza.

Plan Nacional para el Buen Vivir. (2009). *Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo – SENPLADES, 2009.* Quito.

Prieto Rodríguez, L. d. (2013). Tesis Doctoral. *Eliminación de microcontaminantes orgánicos presentes en aguas residuales urbanas mediante combinación de procesos de depuración biológica y oxidación química.* Universidad de Almería, Almería.

Pugh, S. (14 de Octubre de 1990). *La Matriz de Pugh para la toma de decisiones.* Obtenido de Calidad Total : http://ctcalidad.blogspot.com/2016/10/la-matriz-de-pugh-para-la-toma-de.html#:~:text=Luego%20se%20deben%20especificar%20los,mejora%20a%20un%20producto%20existente.

Pulla Tenemaza, P. E., & Tapia Sisalima, D. A. (2018). Ingeniería Civil. *Evaluación y propuesta de rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de Santa Ana, parroquia Santa Ana, Cuenca, Ecuador.* Universidad de Cuenca, Cuenca.

RAS. (2000). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico.* Colombia: Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico.

Restrepo, H. (2009). Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento. Medellìn .

Rivadeneira, J. G. (2011). Diseño de un sistema de alcantarillado y la planta de tratamiento para la comunidad Santa Ines. *Tesis.* Escuela Superios Politécnica del Ejército, Quito. Obtenido de https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4689/1/T-ESPE-032808.pdf

Rodie, B., & Hardenberg, E. (1987). *Tratamiento de Aguas Residuales.* Mexico: Continental S:A. Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lar/oropeza_b_vm/capitulo4.pdf

Salas, D., Zapata, M., & Guerrero, J. (Diciembre de 2007). MODELO DE COSTOS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA REGIÓN.

Sánchez, J. (18 de Febrero de 2021). *Hidrología.usal*. Obtenido de Precipitaciones: https://hidrologia.usal.es/temas/Precipitaciones.pdf

Santos, D., & González, F. (16 de Julio de 2015). *Sistema de tratamiento de Aguas Residuales.* Obtenido de INTERAPAS: http://interapas.mx/files/cultura_del_agua/folletos/sistema_de_tratamiento_de_aguas_residuales.pdf

Tilley, E. (9 de Junio de 2015). *Un Filtro Anaeróbico es un reactor biológico de cama fija*. Obtenido de Akvopedia: https://akvopedia.org/wiki/Filtro_Anaerobico

Torres Cobo, L. E., & Delgado Delgado, D. O. (2020). Ingeniería Industrial. *PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS A ESCALA PILOTO EN LA UNEMI.* Universidad Estatal de Milagro, Milagro.

Troconis, A., & Herbert, K. (2010). Tratamiento de Aguas Residuales. *Belzona Inc*, 10.

TULSMA. (2015). *Norma de calidad Ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua.* Quito: Republica del Ecuador.