UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERAS AMBIENTALES

TEMA:

PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS GENERADAS EN LA COMUNIDAD PUYOPUNGO, CANTÓN MERA, PROVINCIA DE PASTAZA

Autoras:

NARANJO VIVANCO ANA CAROLINA

ZUÑIGA MIRANDA JENNIFER SHARLYN

Tutor:

MSC. PEDRO ANDRÉS PEÑAFIEL ARCOS

Pastaza – Ecuador

2020

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN 12
1.1. Planteamiento del problema 12
1.2. Objetivos 13
1.2.1 Objetivo General 13
1.2.2. Objetivos Específicos 13
1.3. Justificación 13
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 14
2.1. Aguas residuales 14
2.1.1. Agua Residual Doméstica 14
2.1.2. Aguas Negras 14
2.1.3. Aguas Grises 14
2.2. Contaminantes más comunes en las Aguas Residuales Domésticas 14
2.3. Principales características del Agua Residual 15
2.3.1. Características Físicas 15
2.3.2 Características Químicas 15
2.3.3. Características Biológicas 15
2.4. Tipos de tratamiento de Aguas Residuales Domésticas 16
2.4.1 Digestores Anaerobios 16
2.4.2. Humedales de Flujo Subsuperficial 16
2.4.3. Clasificación de humedales subsuperficiales 17
Humedales Subsuperficiales de Flujo Vertical 17
2.4.4. Sistemas de infiltración en el terreno 17
2.5. Criterios para el diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Residual 17
2.5.1. Método Geométrico para determinación de población futura 17
2.5.2. Períodos de diseño 18
2.5.3. Parámetros permisibles de descarga de aguas según el TULSMA 19
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 20
3.1. Localización 20
3.2. Tipo de investigación 21
3.3. Métodos de investigación 21

3.3.1. Metodología para determinar las condiciones iniciales de generación del Agua Residual Doméstica 21
3.3.2. Metodología para la elaboración de una matriz de valoración de alternativas de procesos 22
3.3.3. Metodología para el dimensionamiento de los procesos de tratamiento. . 23
3.3.3.1. Cálculo de caudales 23
3.3.3.2. Pretratamiento 24
3.3.3.3 Diseño del canal de desbaste y reja de gruesos 25
3.3.3.4. Diseño del desarenador de flujo horizontal 26
3.3.3.5. Tratamiento Primario 27
3.3.3.6. Tratamiento Secundario 31
3.3.3.7. Humedales subsuperficiales de flujo horizontal 31
3.3.3.8. Estructura de entrada 32
3.3.3.9. Construcción y excavación del humedal 32
3.3.3.10. Impermeabilización 32
3.3.3.11. Tipo de sustrato 32
3.3.3.12. Vegetación 33
3.3.3.13. Arqueta de salida 35
3.3.3.14. Cálculos de dimensionamiento de los humedales horizontales de flujo subsuperficial 36
3.3.3.15. Caudal de diseño por línea 36
3.3.3.16. Superficie total 36
3.3.3.17. Superficie unitaria por cada humedal 36
3.3.3.18. Volumen total útil 36
3.3.3.19. Volumen unitario por cada humedal 36
3.3.3.20. Longitud unitaria por cada humedal 36
3.3.3.21. Anchura unitaria por cada humedal 36
3.3.3.22. Concentración de DBO esperada a la salida 36
3.3.3.23. Rendimiento de eliminación de DBO 37
3.3.3.24. Concentración de SS esperada en la salida 37
3.3.3.25. Rendimiento de eliminación de SS 37
3.3.3.26. Biomasa a cosechar estimada (ton de cosecha) 37
3.3.3.27. Carga orgánica kg_{DBO}/ha*d 37
3.3.3.28. Tiempo de retención hidráulica 37
3.3.3.29. Superficie del humedal por habitante equivalente m^2/Hab 37
3.3.4. Metodología para el análisis de costos 37

3.3.4.1. Materia prima directa 38
3.3.4.2. Grava 38
3.3.4.3. Vegetación 38
3.3.4.4. Mano de obra 38
3.3.4.5. Maquinaria 38
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS 39
4.1. Resultados del análisis de las condiciones iniciales de comunidad Puyopungo.. 39
4.2. Resultados del análisis de alternativas para el tratamiento de las aguas residuales 39
4.3. Resultados del dimensionamiento de la planta de tratamiento de agua residual . 41
4.3.1. Parámetros de partida 41
4.3.2. Cálculo de caudales 41
4.3.3. Cálculos para el pretratamiento 42
4.3.3.1. Canal de desbaste y reja de gruesos 42
4.3.3.2. Diseño del desarenador de flujo horizontal 43
4.3.4. Diseño de los equipos para el tratamiento primario 45
4.3.4.1. Biodigestores Tubulares 45
4.3.5. Diseño de los equipos para el tratamiento secundario 48
4.3.5.1. Humedales subsuperficiales horizontales 48
4.3.5.2. Parámetros de partida 48
4.3.5.3. Conclusiones de los resultados del diseño de los humedales horizontales de flujo subsuperficial 53
4.4. Resultados de los costos de inversión de la planta de tratamiento de agua residual 55
Conclusiones 59
Recomendaciones 60
Referencias bibliográficas 61
Anexos 65

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quienes suscriben. Naranjo Vivanco Ana Carolina con C.I. 180336323 y Zúñiga Miranda Jennifer Sharlyn con C.I. 1600575607, hacen constar que son autoras del Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: **PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS GENERADAS EN LA COMUNIDAD PUYOPUNGO, CANTÓN MERA, PROVINCIA DE PASTAZA.** El cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, M.Sc. Peñafiel Arcos Pedro Andrés. En tal sentido, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.



JENNIFER SHARLYN ZÚÑIGA MIRANDA

AUTORA



ANA CAROLINA NARANJO VIVANCO

AUTORA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación del proyecto de investigación y desarrollo aprueba el Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado**: "PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS GENERADAS EN LA COMUNIDAD PUYOPUNGO, CANTÓN MERA, PROVINCIA DE PASTAZA".**



_____

Dr. Edison Oswaldo Samaniego Guzmán

P**residente del Tribunal**



Dr. Javier Sucoshañay

Miembro del Tribunal



MSc. Saprango Cuichán

Miembro del Tribunal

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

Oficio No. 287-SAU-UEA-2020

Puyo, 22 de septiembre de 2020

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El proyecto de investigación correspondiente a las egresadas NARANJO VIVANCO ANA CAROLINA con C.I. 180336323 y ZUÑIGA MIRANDA JENIFFER SHARLYN con C.I. 1600575607, con el Tema: **"PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS GENERADAS EN LA COMUNIDAD PUYOPUNGO, CANTÓN MERA, PROVINCIA DE PASTAZA."**, de la carrera, Ingeniería Ambiental. Director del proyecto Ing. Peñafiel Arcos Pedro Andrés, M.Sc., ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 5%, Informe generado con fecha 22 de septiembre de 2020 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

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

Dedicatoria

A Dios, pues es Él quien, con sus divinos planes hoy puedo culminar con éxito una etapa fundamental en el inicio de la vida profesional. A mi hija Kady, quien desde el vientre hasta la actualidad ha sido la inspiración diaria para plantearme como objetivo ser una mujer de la que siempre esté orgullosa.

A mis padres, Kelo Zúñiga, Héroe Nacional y ambientalista acérrimo, Enma Miranda, destacada docente y estimada educadora, por su abnegado trabajo parental, quienes por encima de ellos siempre hemos estado sus hijos, con los cuales tengo una deuda incalculable y retribuiré con mi trabajo, tiempo y vida. A mi hermanito Kedy y a mi hermana MSc. Johana Zúñiga, por su trabajo científico que sirve e inspira a mujeres y niños a formarse en el campo de las ciencias.

A mi amigo Álvaro, a quien perdimos éste año en medio de una pandemia mundial, te recordaré siempre.

Y a mi querido Club Ambiental, que, con la colaboración de instituciones como el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, Defensoría del Pueblo de Pastaza, antigua Dirección Provincial del Ambiente de Pastaza, Cuerpo de Bomberos del Cantón Pastaza hemos realizado actividades de ayuda social y educación ambiental a lo largo de estos años en sectores vulnerables de nuestra provincia.

- Sharlyn Zúñiga

Dedico este trabajo a Dios por haber bendecido mi vida con mis padres, dos personas excepcionales y por haber guiado cada uno de mis pasos para que hoy pueda culminar con éxito mi etapa de formación profesional, a mi madre Rocío Vivanco la cual es mi fuente de inspiración y de superación constante, gracias por haberme forjado con reglas y valores para hoy ser la persona que soy. A mi padre Gabriel Naranjo ejemplo de honestidad y trabajo, por el cariño y comprensión que me ha brindado durante mi carrera universitaria, muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este, gracias por creer en mí y motivarme constantemente para alcanzar mis sueños.

A mis hermanos, gracias por su apoyo y cariño este logro también es de ustedes.

- Carolina Naranjo

Agradecimiento

A Dios, mi hija, hermanos y a mis padres, por la paciencia, el amor y el apoyo para culminar mis estudios universitarios y éste trabajo.

A mi amiga desde primer semestre Carito, quien comprensiva siempre ha estado con su amistad desinteresada y con quien he podido contar dentro y fuera de las aulas. A mis maestros de universidad, al MSc. Pedro Peñafiel por su paciencia, dedicación y don de enseñar y guiar para cristalizar este proyecto.

Y a mí Universidad Estatal Amazónica, de cual me sirvo agradecer éstos años de aprendizaje tanto en las aulas como fuera de ellas, gracias al apoyo de mis padres y a las puertas que pude abrirme y aprovechar para realizar mis prácticas pre profesionales en México y Galápagos, al MC. Luis Eugenio Rivera Cervantes, docente del CUCSur – UDG, quien me recibió en su servicio, aprendí de las ciencias que maneja y sobre todo de su calidad humana, respeto y sacrificio por la naturaleza. Y a los amigos que hicieron con su amistad una experiencia inolvidable.

A la Dirección del Parque Nacional Galápagos, por abrirme las puertas hacia una de las pasantías más increíbles de mi vida universitaria, a mis ex jefes, Edison, Mire, Alfonso y los compañeros de la Dirección de Gestión Ambiental, a la tripulación de la embarcación oceánica Sierra Negra el cual fue mi hogar por 13 días, gracias por compartir sus conocimientos de éste pedacito de paraíso en la Tierra.

- Sharlyn Zúñiga

Mis agradecimientos a mis padres, a mi asesor de tesis MSc. Pedro Peñafiel ya que con su oportuno y acertado asesoramiento contribuyó enormemente a la culminación de nuestro proyecto. A mi compañera de tesis con quien he compartido momentos difíciles y logros en todo el tiempo de amistad.

Y principalmente a la Universidad Estatal Amazónica por formarme tanto intelectualmente, ética y moralmente como Ingeniera Ambiental.

- Carolina Naranjo

Resumen

La presente investigación tiene como finalidad plantear una propuesta de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas para la Comunidad Indígena "Puyopungo", ubicada en el cantón Mera provincia de Pastaza.

El diseño de la planta contempla una población servida de 122 habitantes proyectada a una población futura de 10 años. Las aguas residuales provenientes de la comunidad "Puyopungo" se componen como aguas residuales domiciliarias mismas que actualmente son descargadas directamente al cauce del rio Pastaza sin tratamiento previo. Considerando estos aspectos se plantea un diseño acorde a la composición del agua residual, así como también la topografía y condición climática de la misma.

El diseño está enfocado en tres tratamientos, el pretratamiento incluye una unidad de conducción provista de rejillas de gruesos complementada con una unidad para el desarenado, el tratamiento primario que incluye dos biodigestores tubulares elaborados en membrana de polietileno de alta densidad, los cuales están distribuidos paralelamente. Y finalmente el tratamiento secundario compuesto por dos humedales horizontales de flujo subsuperficial el mismo que sirve como biorremediador mediante un sistema de macrófitas enraizadas con la especie *Cyperus papyrus*.

Palabras clave: planta de tratamiento de aguas residuales, biodigestor, humedal, comunidad.

Abstract

The purpose of this research is to propose a proposal for a Domestic Wastewater Treatment Plant for the "Puyopungo" Indigenous Community, located in the Mera canton of Pastaza province.

The design of the plant contemplates a population served of 122 inhabitants projected to a future population of 10 years. The wastewater from the "Puyopungo" community is composed of household wastewater, which is currently discharged directly into the Pastaza river without prior treatment. Considering these aspects, a design is proposed according to the composition of the wastewater, as well as the topography and climatic condition of the same.

The design is focused on three treatments, the pretreatment includes a conduction unit provided with coarse grating complemented with a unit for de-sanding, the primary treatment that includes two tubular biodigesters made of high-density polyethylene membrane, which are distributed in parallel. . And finally the secondary treatment consisting of two horizontal subsurface flow wetlands, the same one that serves as a bioremediator through a system of macrophytes rooted with the Cyperus papyrus species.
Keywords: sewage treatment plant, biodigester, wetland, community.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2010) define al agua contaminada como aquella cuya composición haya sido modificada de modo que no reúne las condiciones para el uso al que se le hubiera destinado en su estado natural. La misma organización junto a UNICEF (2017), afirma que 1,8 millones de personas fallecen cada año, buena parte de esto se atribuye a la falta de acceso al agua potable y a servicios de saneamiento, (UNESCO, 2017), eso no es todo, deduce que cerca del 80% de las aguas residuales regresan al ecosistema sin ser tratadas (UNESCO, 2017), constituyendo al agua residual no tratada uno de los más grandes contribuyentes a la contaminación de cuerpos de agua en el mundo.

La comunidad indígena Puyopungo, no posee una red de alcantarillado o algún sistema de tratamiento de aguas residuales, por lo cual dirigen las descargas de las mismas directamente y sin previo tratamiento al afluente del Río Pastaza el cual forma parte de la cuenca del Río Amazonas (OCTA 2018), éste se extiende por cerca de 7 millones de km^2, cubriendo parte de Perú, Ecuador hasta Venezuela y más de la mitad del territorio brasileño, su descarga media representa cerca del 20% de la oferta de agua dulce global. A pesar de la inmensa disponibilidad de agua, el consumo humano es restringido debido a la contaminación urbana, a la falta de saneamiento básico y a las diferentes fuentes de contaminación resultado de las actividades socioeconómicas (Aguas Amazónicas, 2018). Debido al crecimiento de la población en la Amazonía Ecuatoriana y la activa e indiscriminada intervención en el ambiente hemos provocado la disminución de fuentes hídricas tanto superficiales como subterráneas, por lo cual surge la necesidad de implementar un sistema más accesible para el tratamiento de aguas residuales domésticas de bajo costo de instalación y mantenimiento.

El presente trabajo brinda una propuesta de un método eficaz y accesible para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la comunidad Puyopungo, una alternativa para que la comunidad pueda disponer de sus aguas residuales de una manera ambientalmente responsable.

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas para la comunidad "Puyopungo", ubicada en el cantón Mera, provincia de Pastaza.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Evaluar las condiciones actuales de generación de aguas residuales domésticas en la comunidad "Puyopungo", cantón Mera, provincia de Pastaza mediante información secundaria generada en proyectos anteriores y revisión bibliográfica.
- Analizar las diferentes alternativas de tratamiento para las aguas residuales generadas en la comunidad "Puyopungo", cantón Mera, provincia de Pastaza mediante revisión bibliográfica y consulta a expertos.
- Dimensionar las diferentes etapas de tratamiento para las aguas residuales de la comunidad "Puyopungo", cantón Mera provincia de Pastaza.
- Realizar un análisis de costos del sistema de tratamiento seleccionado.

1.3. Justificación

El presente Proyecto de Integración Curricular proporciona una alternativa al tratamiento de las aguas residuales domésticas de la comunidad indígena "Puyopungo", ubicada en el Cantón Mera, provincia de Pastaza, debido a falta de una red de alcantarillado o algún sistema que trate las ARD, previo a su disposición final en el lecho fluvial del río Pastaza, este sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas proyecta ser de bajo costo tanto para su instalación como para el mantenimiento. Es necesario recuperar las condiciones ambientales y garantizar que la calidad de las aguas que se descarguen al lecho de los ríos cumplan con los parámetros permisibles establecidos por la normativa legal vigente, al mismo tiempo proporcionar un estudio de factibilidad para la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, considerando las condiciones socio-económicas, climáticas y topográficas del terreno. Solano (2011), afirma que la reducción de descargas de aguas residuales al lecho del rio disminuiría al existir una infraestructura sanitaria que beneficie a la población, a la flora y fauna que se desarrolla en los ecosistemas que tienen contacto con dichas descargas y proporcionaría un ambiente de calidad que no solo evita la contaminación del ambiente, sino mejora la salud y calidad de vida de las personas disminuyendo el deterioro general del recurso hídrico, y por ende la alteración fisicoquímica del agua y perdida de los ecosistemas acuáticos.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Aguas residuales

Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (Organismo de Fiscalización y Regulación Ambiental - OEFA, 2014). Estas a su vez se pueden dividir en aguas residuales domésticas, industriales y municipales.

2.1.1. Agua Residual Doméstica

Des siglas (ARD) como se mencionará en el documento, son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente (OEFA, 2014).

Éstas a su vez se pueden subdividir en:

2.1.2. Aguas Negras

Se caracterizan por ser Aguas que son transportadas de la orina y lo proveniente del inodoro (Ontiveros, 2018).

2.1.3. Aguas Grises

Se caracterizan por ser Aguas jabonosas las cuales pueden contener grasas, provenientes de la ducha, tina, lavamanos, lavaplatos, lavadero y lavadora (Ontiveros, 2018).

2.2. Contaminantes más comunes en las Aguas Residuales Domésticas

Están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia, en determinados casos, de nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como azufre, fósforo o hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas (40-60 por 100), hidratos de carbono (25-50 por 100), y grasas y aceites (10 por 100). Otro compuesto orgánico con importante presencia en el agua residual es la urea, principal constituyente de la orina. No obstante, debido a la velocidad del proceso de descomposición de la urea, raramente está presente en aguas residuales que no sean muy recientes (Zambrano, 2009).

2.3.Principales características del Agua Residual

2.3.1. Características Físicas

Temperatura

La temperatura de las aguas residuales es mayor que la de las aguas no contaminadas, debido a la energía liberada en las reacciones bioquímicas que se presentan en la degradación de la materia orgánica.

Turbidez

Es la medida de la propiedad de transmisión de la luz del agua, es otro ensayo utilizado para indicar la calidad de los vertidos de aguas residuales con respecto a la materia suspendida (Valencia, 2013).

Color

Es un indicativo de la edad de las aguas residuales. El agua residual reciente suele ser gris; sin embargo, a medida que los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce y el color cambia a negro (Valencia, 2013).

Olor

Su peculiaridad se debe a los gases producidos en la descomposición de la materia orgánica, sobre todo a la presencia de ácido sulfhídrico y otras sustancias volátiles.

Sólidos Totales

Su presencia en el agua residual se clasifica según su tamaño o presentación en sólidos suspendidos y sólidos filtrables (Valencia, 2013).

2.3.2 Características Químicas

Entre las principales características químicas del agua residual tenemos las siguientes: materia orgánica (carbohidratos, proteínas y grasas), materia inorgánica (aceites y grasas, metales pesados, detergentes, nitrógeno, fósforo, azufre) (Muñoz 2008).

2.3.3. Características Biológicas

Las aguas residuales contienen un gran número de microorganismos vivos cuya función es la descomposición y la transformación de la materia orgánica utilizando o no el oxígeno disuelto mediante procesos aerobios y anaerobios. estos microorganismos pueden ser de origen vegetal, plantas, semillas, de origen animal microorganismos vertebrados o invertebrados o de origen protista bacterias hongos, protozoos y algas (Galvin 2010).

2.4. Tipos de tratamiento de Aguas Residuales Domésticas

Un sistema de tratamiento o estación depuradora de aguas residuales (EDAR), es una instalación donde el agua sucia, o residual, pasa por una combinación de diversos tratamientos físicos, químicos y/o biológicos en los cuales se consigue eliminar la materia en suspensión, así como las sustancias coloidales y finalmente las sustancias disueltas que contiene (Castañeda 2013). Normalmente para el tratamiento de las aguas residuales existes varias alternativas las cuales mencionamos continuación:

- Lagunaje
- Humedales
- Cultivos acuáticos
- Lecho de secado de lodos
- Pozo séptico
- Biodigestores

2.4.1 Digestores Anaerobios

La digestión anaerobia es un proceso biológico en el que la materia en ausencia de oxígeno y mediante la acción de un grupo de bacterias orgánicas específicas, descompone lo que ingresa en productos gaseosos o "biogas" (CH_4, CO_2, H_2, H_2S, etc.), y en digestato, que es una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.,) y compuestos de difícil degradación. La digestión anaerobia también es un proceso adecuado para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica, como las producidas en muchas industrias alimentarias. Los beneficios asociados a la digestión anaerobia son: reducción significativa de malos olores, producción de energía renovable si el gas se aprovecha energéticamente y sustituye a una fuente de energía fósil, reducción de emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la reducción de emisiones incontroladas de CH_4, (que produce un efecto invernadero 20 veces superior al CO_2), y reducción del CO_2 ahorrado por sustitución de energía fósil (IDEA,2007).

2.4.2. Humedales de Flujo Subsuperficial

Los humedales son sistemas de fito depuración de aguas residuales, el sistema consiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. La acción de las macrófitas hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluente es depurada progresiva y lentamente, el tratamiento de aguas residuales para depuración se lo realiza mediante sistemas que tienen tres partes principales: recogida, tratamiento y evacuación al lugar de restitución. Los humedales tienen tres funciones básicas que les confieren atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales fijan físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica utilizan y transforman los

elementos por medio de los microorganismos y logran niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y poco mantenimiento (Delgadillo *et all, 2010*).

2.4.3. Clasificación de humedales subsuperficiales

Humedales Subsuperficiales de Flujo Horizontal

El agua ingresa en forma permanente. Es aplicada en la parte superior de un extremo y recogida por un tubo de drenaje en la parte opuesta inferior. El agua residual se trata a medida que fluye lateralmente a través de un medio poroso. La profundidad del lecho varía entre 0,45 m a 1 m y tiene una pendiente de entre 0,5 % a 1 %. (Delgadillo *et all, 2010*).

Humedales Subsuperficiales de Flujo Vertical

También conocidos como filtros intermitentes, este tipo de humedales reciben las aguas residuales de arriba hacia abajo, a través de un sistema de tuberías de aplicación de agua, Las aguas infiltran verticalmente a través de un sustrato inerte (arenas, gravas) y se recogen en una red de drenaje situada en el fondo del humedal. La aplicación de agua se efectúa de forma intermitente, para preservar y estimular al máximo las condiciones aerobias. Adicionalmente, para favorecer las condiciones aerobias del medio poroso, se suele colocar un sistema de aeración con chimeneas, que son tuberías cribadas con salidas al exterior (Delgadillo *et all, 2010*).

2.4.4. Sistemas de infiltración en el terreno

Los sistemas de infiltración en el terreno son técnicas en las que el elemento depurador principal es el suelo natural o zona saturada, este tipo de técnica presenta algunas desventajas entre las cuales están que se pueden obstruir con facilidad, por lo que no se recomiendan localizarlos en suelos de partícula fina (aquellos constituidos por limos o arcillas). Las acumulaciones de contaminantes y las obstrucciones son difíciles de ver, la tasa histórica de fracaso es alta, debido a los mantenimientos deficientes, el mal emplazamiento o la presencia de grandes cantidades de desechos a la entrada y también dificulta que estén limitados a pequeñas áreas drenantes (Molina, 2011).

2.5. Criterios para el diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Residual

2.5.1. Método Geométrico para determinación de población futura

En el método geométrico lo que se mantiene constante es el porcentaje de crecimiento por unidad de tiempo y no por unidad de monto, de esta manera los elementos de la ecuación son los mismos que del método aritmético. El índice de crecimiento poblacional con el método geométrico se obtiene con la siguiente fórmula (Padilla,2019).

$$r = \left(\frac{Pf}{Pa}\right)^{\frac{1}{t}-1}$$

Donde:

r = Índice de crecimiento poblacional.

Pf = Población futura.

Pa = Población actual.

t = Período de tiempo (en años).

2.5.2. Períodos de diseño

Es el tiempo durante el cual una obra puede funcionar de buena manera, sin necesidad de ampliaciones. Las obras componentes de un sistema de alcantarillado se diseña en lo posible, para sus periodos óptimos de diseño. Dichas obras se diseñarán según los siguientes criterios.

- Localidad de 1000 a 15000 habitantes: 10 a 15 años.
- Localidad de 15000 a 50000 habitantes: 15 a 20 años.
- Localidades con más de 50000 habitantes: 30 años, pero podrá ser mayor o menor siempre que el proyectista justifique el período de diseño elegido (Padilla, 2019).

2.5.3. Parámetros permisibles de descarga de aguas según el TULSMA

Tabla 1. Límites máximos permisibles para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce, los cuales deben ser cumplidos por lo establecido en el registro oficial ambiental edición 387 del MAE.

Parámetros	Expresado	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	5 sust, solubles en hexano	mg/l	30,00
Coliformes fecales	NMP	NMP/100	2000
DBO	DBO5	mg/l	100
DQO	DQO	mg/l	200
Nitrógeno Amoniacal	N	mg/l	30,00
Nitrógeno Total Kjedahl	N	mg/l	50,00
Potencial de hidrogeno	pH	mg/l	6-9
Solidos suspendidos totales	SST	mg/l	130
Solidos totales	ST	mg/l	1600
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5

Fuente. *Ministerio del ambiente registro 387*
Elaborado por: *Naranjo, Zúñiga*

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

El Cantón Mera, por su ubicación geográfica se constituye en un centro estratégico de relevancia nacional en generación de agua para consumo humano, esto se debe a sus características biofísicas y su localización en el pie de monte de la Cordillera Oriental.

El Cantón Mera según el censo realizado por el INEC en 2010, cuenta con una población de 11.861 habitantes, de los cuales el 48.7% son mujeres y el 51.3% son hombres, con una población indígena de 64.9 %, los cuales en su mayoría no cuentan con criterios de planificación en áreas rurales (PDyOT Mera, 2015).

Dentro del cantón Mera se encuentra ubicada la comunidad "Puyopungo" (figura 1), a orillas del río Pastaza, para llegar se debe tomar la carretera que lleva a la parroquia Tarqui - Madre Tierra y tomar el desvío hacia la carretera que lleva a Putuimi, seguido se traslada 45 minutos hasta el final de la misma, dicha comunidad se encuentra en los límites (sur) con la hermana provincia de Morona Santiago.

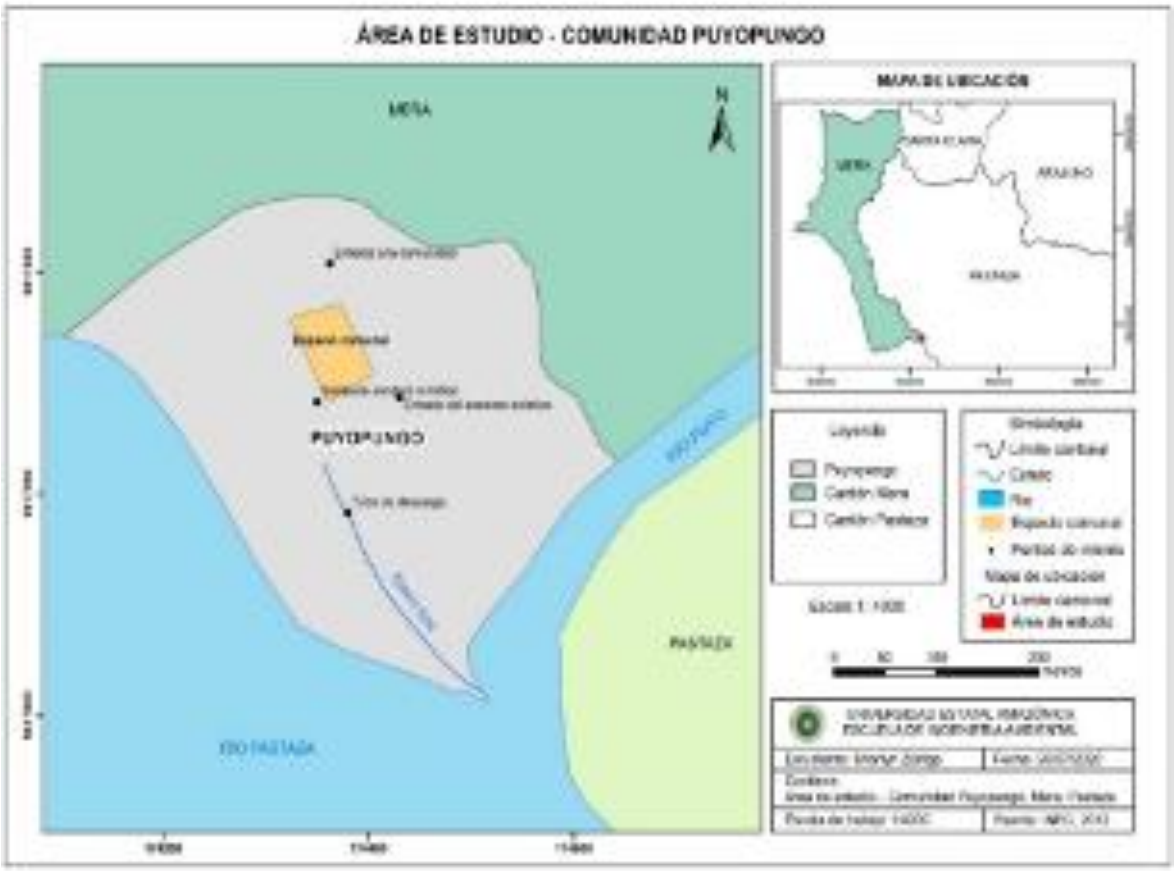

Imagen 1. Mapa del área de estudio, Comunidad “Puyopungo”, Cantón Mera.

***Elaborado por**: Zúñiga, Naranjo.*

3.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación es exploratoria, puesto que se desarrolla para obtener datos preliminares y entender la verdadera naturaleza del problema, seguido se proporciona nuevas soluciones ante la problemática. El análisis de información es cualitativo, documental, ya que existe bibliografía sobre el problema y posee variables que describirán un grupo.

3.3. Métodos de investigación

3.3.1. Metodología para determinar las condiciones iniciales de generación del Agua Residual Doméstica

3.3.1.1. Servicios Básicos

Por medio de una entrevista semi estructurada a la señora Carlota Vargas, habitante del lugar, se determinó que la comunidad cuenta con servicio de electricidad, el mismo que es regulado por la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte.

La comunidad Puyopungo no poseen red de alcantarillado, ni agua potable, el agua que reciben a un solo grifo de cada casa es comunitaria, es decir, la comunidad se organizó conjuntamente con el apoyo del GAD Parroquial hace algunos años para ubicar un tanque de recolección en un ojo de agua que se encuentra en la parte alta de la colina que abraza a la comunidad, está a través de una tubería de PVC conduce el agua recolectada a las casas.

3.3.1.2. Manejo actual de las aguas residuales domésticas

Para la descarga del agua residual doméstica, poseen una única tubería de PVC de radio igual a 10 cm aproximadamente, que recoge las ARD de la mayoría de las casas, y estas son conducidas hasta un barranco a un río s/n que conecta directamente al río Pastaza, donde son finalmente descargadas sin ningún tipo de tratamiento.

3.3.1.3. Datos ambientales y de población

Para la obtención del crecimiento poblacional del cantón Mera se realizó una revisión bibliográfica de los datos del Instituto de Estadísticas y Censos (INEC), censos 2010.

Posterior a ello se llevó a cabo una revisión bibliográfica al PDyOT del cantón Mera, donde se obtuvo los niveles de pluviosidad, temperatura promedio, horas de sol al día y humedad.

3.3.1.4. Composición de las aguas residuales domésticas

Este punto, se realizó mediante una investigación netamente bibliográfica en los siguientes documentos: (Comunidad Europea,1991) (Metcalf & Eddy,1995). (Romero, Rojas, 2010).

3.3.2. Metodología para la elaboración de una matriz de valoración de alternativas de procesos

Para el diseño de la planta de tratamiento se realizó una investigación bibliográfica a los diferentes tratamientos para ARD, considerando diferentes factores como clima, humedad, topografía y características del agua residual.

Posterior a ello, se procedió a la elaboración de una matriz de valoración, la Matriz de Pugh, ésta nos servirá para determinar que equipos son los adecuados como tratamiento secundario para tratar este tipo de agua residual. Los criterios de evaluación fueron los siguientes:

- Costos de inversión
- Costo y necesidad de mantenimiento
- Necesidad de espacio
- Eficiencia en remoción de materia orgánica
- Consumo energético

La Matriz de Pugh proporciona ponderaciones para la selección entre diferentes opciones mediante su relación con los criterios, para ello se designa los siguientes valores detallados en la tabla 2.

Tabla 2. Ponderación de la Matriz de Pugh.

PONDERACIÓN DE LA MATRIZ DE PUGH	
+1	Si es mejor el criterio
-1	Si es peor el criterio
0	Si son similares

Fuente: (Pugh, 1990)
Elaborado por: *Naranjo, Zúñiga.*

Sumando cada una de ellas, acorde a tabla 3, la alternativa cuya suma sea la más alta y positiva, es la que se considera como elegida.

Tabla 3. Matriz de Pugh para la toma de decisiones.

MATRIZ DE PUGH			
	A1	**A2**	**A3**
C1	0	-1	1
C2	-1	-1	1
C3	1	1	1
TOTAL	1	-2	2

Fuente: (Pugh, 1990)
Elaborado por: *Naranjo, Zúñiga.*

3.3.3. Metodología para el dimensionamiento de los procesos de tratamiento.

3.3.3.1. Cálculo de caudales

Para determinar el caudal medio o promedio diario de generación de las aguas residuales de origen doméstico de la comunidad Puyopungo, se utilizó la ecuación (1) planteada por (Lozano, 2012) en el trabajo "Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales":

$$Q_{medio\ diario} = \frac{\text{Dotación x Población de diseño x Coeficiente de retorno}}{1000} \quad (1)$$

Donde,

$Q_{medio\ diario}$= caudal medio o promedio diario de generación de las aguas residuales, en m^3/d

Dotación = la dotación de agua de consumo en la comunidad, en 1/Hab/día.

Población de diseño = población futura proyectada a 10 años, en hab.

Coeficiente de retorno = Relación entre la cantidad de agua residual generada y la dotación de agua de consumo.

El valor de dotación a utilizar será estimado en 1/Hab/día, debido a las condiciones sociales y económicas determinadas en la visita al lugar. La población de diseño se calculó mediante la ecuación (2) que se determina a partir de una proyección de tipo geométrica:

$$Pf = Pa * (1 + r)^n \quad (2)$$

Donde,

Pf = población de diseño o futura, en hab.

Pa = población actual, en hab.

r = tasa de crecimiento poblacional anual, en porcentaje.

n = periodo de diseño.

Sabiendo que la población actual es de 80 habitantes, la tasa de crecimiento poblacional de 4,25% y tomando como horizonte de diseño un periodo de 10 años, la población de diseño será (3):

$$Pf = 80\ hab * (1 + 0.0425)^{10} \quad (3)$$

Por último, el coeficiente de retorno se estimará en 0.8 tomando en cuenta lo determinado por la Subsecretaría de Saneamiento Ambiental en el documento: "NORMAS PARA

ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES". Por lo tanto, el caudal medio o promedio diario de generación de las aguas residuales de origen doméstico, según la ecuación (4), de la comunidad Puyopungo es de:

$$Q_{medio\ diario} = \frac{\frac{100\frac{l}{hab}}{día} * 122\ hab * 0.8}{1000} \qquad (4)$$

Para el diseño de los diferentes procesos unitarios de tratamiento, necesitamos otros tipos de caudales como: caudal punta diario (5) y caudal máximo diario (6). Estos fueron calculador a partir de las ecuaciones presentadas por (Serrano y Corzo, 2008) en su trabajo "Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial":

$$Q_{punta\ diario} = Q_{medio\ diario} * 1{,}7 \quad (5)$$

$$Q_{máx\ diario} = Q_{punta\ diario} * 2 \qquad (6)$$

3.3.3.2. Pretratamiento

En base a las características estimadas de las aguas residuales domésticas generadas por la población objetivo de este trabajo, se determinó que el proceso de pretratamiento más adecuado sería el propuesto por (Serrano y Corzo, 2008) en su trabajo "Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial", para poblaciones de hasta 2000 habitantes. El esquema de esta propuesta se puede observar en la figura (2):

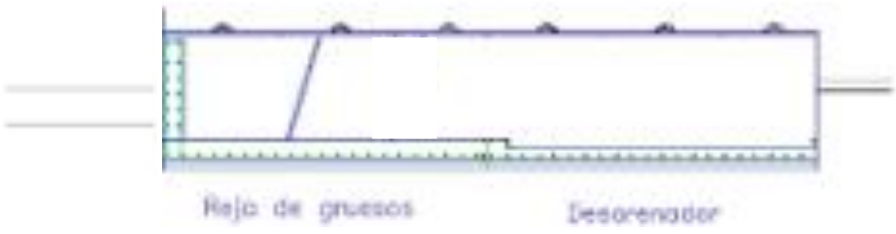

Figura 2. Propuesta editada de la imagen original, aquí consta únicamente la reja de gruesos y el desarenador dentro del canal de desbaste. **Fuente:** "Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial" (Serrano y Corzo, 2008)

Como se puede verificar en la figura 2, el canal de pretratamiento propuesto en este trabajo, cuenta con un sistema de reja de gruesos (desbaste) y un desarenador de flujo

horizontal. Las ecuaciones utilizadas para el dimensionamiento de esta primera fase de tratamiento, también fueron tomadas del mismo documento.

3.3.3.3 Diseño del canal de desbaste y reja de gruesos

Para empezar, debimos fijar un ancho de canal para todo el sistema de pretratamiento:

$$Ac = ancho\ del\ canal\ de\ desbaste$$

$$Ac = 0{,}3\ m$$

Luego se procedió a calcular al ancho útil del canal de desbaste, utilizando la ecuación (7):

$$Wu = (A_c - n * A_b)\left(\frac{1-G}{1000}\right) \qquad (7)$$

Donde,

Wu = ancho útil del canal de desbaste, en m.

A_c= ancho del canal de desbaste, en m.

n = número de barrotes del sistema de reja de gruesos.

A_b= espesor de los barrotes, en m.

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

El número y espesor de los barrotes, fueron adoptados a partir de la tabla (2):

Tabla 2. Valores recomendados de los parámetros necesarios para el diseño de un canal de desbaste y sus respectivas rejas.

Características	**Reja de Gruesos**	
Modo de funcionamiento	Manual	
Anchura de los barrotes (mm)	12	
Luz entre los barrotes (mm)	50 – 100	
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	

Fuente: Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Sub superficial.

Elaborado por: *Naranjo, Zúñiga.*

Por lo tanto, para calcular el ancho útil del canal de desbaste tomamos los siguientes valores:

$$n = 5$$

$$A_b = 0{,}015 \text{ m}$$

Posterior a esto, se reemplaza en la ecuación (7), y luego se calcula el calado o profundidad necesario para el canal de desbaste. Para tal fin, se utilizó la ecuación (8):

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

Donde,

h = profundidad del canal de desbaste, en m.
Q = caudal máximo diario, en m^3/s.
v = velocidad de aproximación, en m/s.

La velocidad de aproximación es 0,3 m/s, también fue adoptada a partir de la tabla (2).
A este valor le sumamos un resguardo de 0,2 m y nos aproximamos a una dimensión más estándar. Entonces la profundidad del canal de desbaste será de 0,4 m.
Por último, determinamos la longitud de esta sección utilizando la ecuación (9):

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

Donde,

L= longitud del canal de desbaste.
T_h= tiempo de retención hidráulico, en s.
Asumiendo un valor de T_h igual a 5 s y la velocidad de aproximación 0,3 m/s, acorde a la tabla (2).

3.3.3.4. Diseño del desarenador de flujo horizontal

Para determinar el largo del desarenador, asumimos el mismo ancho del canal de desbaste, el cual es de 0,3 m, y una relación largo-ancho de 2 m, tal como lo sugiere el documento del cual tomamos referencia para el dimensionamiento de esta fase de tratamiento. Por lo tanto, el largo del desarenador se calculó mediante la ecuación (10):

$$L = A_c * relación\ largo\ y\ ancho \quad (10)$$

Finalmente asumimos un valor de 1 m por motivos de criterios de diseño.

Para el cálculo de la sección transversal del desarenador, se utilizó la siguiente ecuación (11):

$$A = \frac{Q}{V_h} \qquad (11)$$

Donde,

A= área de la sección transversal, en m^2.

V_h= velocidad horizontal del agua, en m/s.

La velocidad horizontal del agua se estimó en un valor de 0,3 m/s, según el mismo documento de referencia.

Posterior a esto, se calculó el calado o profundidad de la zona de desarenado utilizando la ecuación (12):

$$h = \frac{A}{A_c} \qquad (12)$$

Siendo A = $1{,}28x10^{-3}$ m^2. Debido a que el resultado de h es menor al de la profundidad calculada en la sección de desbaste, asumimos el valor de esta última el cual es de 0,4 m.

Finalmente, se verifica el criterio de diseño referido a la carga hidráulica superficial recomendada el cual debe ser menor a 70 m^3/m^2*h. Para esto aplicamos la ecuación (13):

$$C_s = \frac{Q}{L*A_c} \quad (13)$$

Donde,

C_s= carga hidráulica superficial, en m^3/m^2*h.

Con lo cual se acepta el dimensionamiento.

3.3.3.5.Tratamiento Primario

Como proceso unitario de tratamiento primario, se resolvió utilizar un biodigestor anaerobio tubular ya que presenta importantes características de remoción de carga orgánica y patógenos. Además, la digestión de los lodos en el mismo biodigestor genera un importante ahorro de recursos para el tratamiento de estos productos, los cuales posterior a su retiro del equipo podrían ser utilizados como mejoradores de suelo agrícola o podrían formar parte de las distintas materias primas para el desarrollo de sistemas de compostaje. En cuanto al tema del biogás generado, en este trabajo no se tomó en cuenta como posible fuente de energía ya que se considera que en el tratamiento de aguas

residuales domésticas la producción de este gas se da en cantidades bajas. Queda a disposición de los posibles beneficiarios de esta propuesta, desarrollar alguna alternativa de uso si es que se considera conveniente.

Para el dimensionamiento de este equipo, se procedió a seguir el procedimiento propuesto en la figura (3):

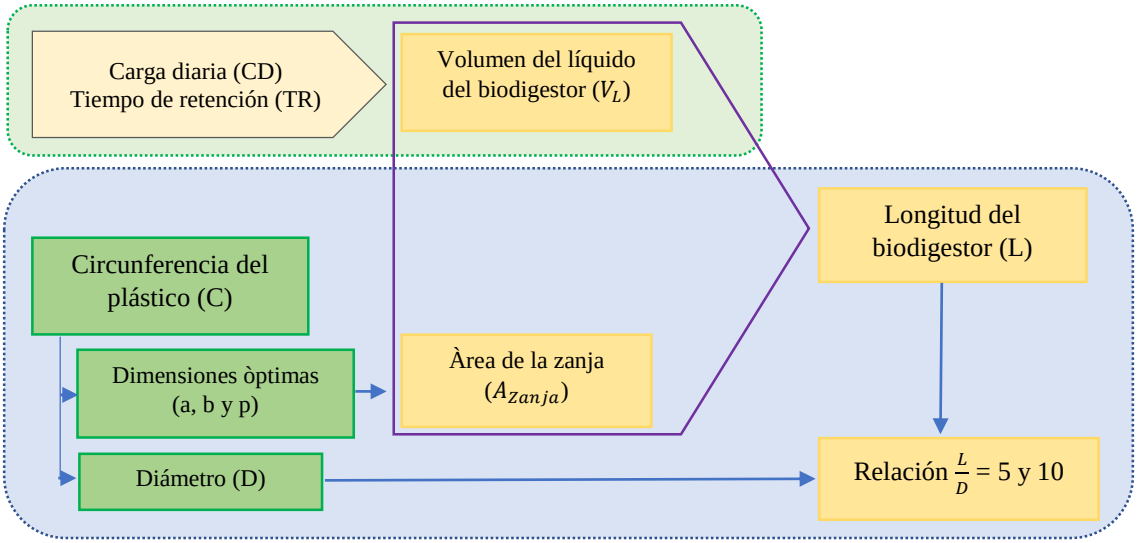

Figura 3. Volumen y Dimensiones del Biodigestor, obtenido de la Guía de diseño de biodigestores tubulares, pág. 51.

Este procedimiento fue adoptado del trabajo de (Martí, 2019), denominado "Biodigestores Tubulares: Guía de Diseño y Manual de Instalación". Además, todas las ecuaciones, estimaciones y asunciones de este apartado fueron tomadas y determinadas a partir de la información planteada en este trabajo.

Para el cálculo del volumen del biodigestor, asumimos una temperatura ambiental promedio de 23-25 °C en la zona de estudio, y un valor de tiempo de retención de 15 días. Se tomó este valor bajo de tiempo de retención, ya que este proceso solamente se consideró como tratamiento primario y por lo cual no se necesita eficacias de remoción elevadas. Además, conociendo que el caudal medio diario de aguas residuales es de 9,76 m^3/d, se utilizó la ecuación (14) para el cálculo del volumen líquido del biodigestor:

$$V_L = T_R * C_D \qquad (14)$$

Donde,

V_L= volumen líquido del biodigestor, en m^3.

T_R= tiempo de retención, en d.

C_D= carga diaria o caudal medio diario de aguas residuales, en m^3/d.

Al ser un volumen elevado, se planteó una propuesta de 2 biodigestores tubulares en paralelo. Con lo cual, cada biodigestor tendrá un volumen de líquido de 73,2 m^3.

Se consideró que el volumen líquido corresponderá al 80% del total, y que el volumen de la sección donde se acumula el biogás será del 20% restante.

Por lo tanto, cada biodigestor tendrá un volumen de la zona de acumulación de biogás de 18,3 m^3 y un volumen total de 91,5 m^3.

Para la determinación del área de las zanjas donde estarán ubicados los biodigestores, fue necesario primeramente asumir un valor de tamaño de circunferencia del biodigestor que corresponde al doble del tamaño de rollos de plástico que se encuentran comercialmente. Según (Martí, 2019), los tipos de materiales que se pueden utilizar son plástico de invernadero, geomembrana de PVC o de polietileno. Para este trabajo se ha escogido geomembrana de PVC por su resistencia comprobada. Finalmente, el valor asumido de circunferencia fue de 8 m, para cada biodigestor en paralelo. A partir de este valor se calculó el radio de la circunferencia del plástico, a partir de la ecuación (15):

$$r = \frac{C}{2\pi} \qquad (15)$$

Donde,

r = radio de la circunferencia del plástico, en m.

C = circunferencia del plástico, en m.

Además, se calculó el diámetro de la circunferencia del plástico mediante la ecuación (16):

$$D = 2 * r \qquad (16)$$

Donde,

D = diámetro de la circunferencia del plástico, en m.

La circunferencia de cada biodigestor y su radio se pueden visualizar en la figura (4):

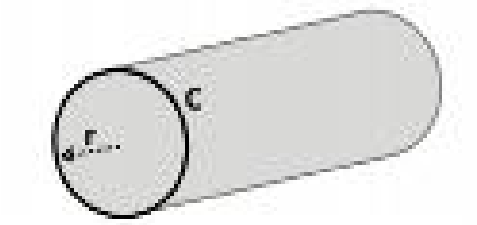

Fig. 4. Circunferencia del biodigestor, Guía de diseño de biodigestores tubulares, pág. 45.

Otra cuestión primordial, es la asunción de la inclinación que debe tener el talud de las paredes de las zanjas. Para suelos tipo arcillosos, se recomienda un ángulo de inclinación de 7,5° (Martí, 2019). Tomando este valor, se pudo calcular las dimensiones de la zanja (a,b y p, como se observa en la figura (5)) mediante las ecuaciones (17), (18) y (19):

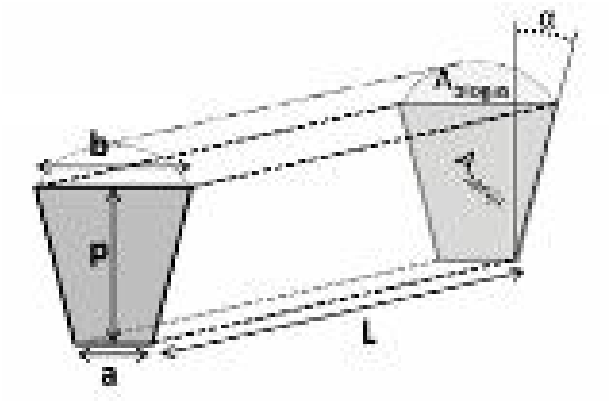

Fig. 5. Dimensiones de la zanja, Guía de diseño de biodigestores tubulares, pág. 48.

$$a = 1{,}23 * r \qquad (17)$$

Donde,

a = ancho inferior de la zanja, en m

Donde,

b = ancho superior de la zanja, en m.

$$b = 1{,}63 * r \quad (18)$$

Donde,

p = profundidad de la zanja, en m.

$$p = 1{,}54 * r \quad (19)$$

Al tener todas estas variables calculadas, se procedió a determinar el área de las zanjas mediante la ecuación (20):

$$A_{zanja} = 2{,}20 * r^2 \quad (20)$$

Donde,

A_{zanja}= área de las zanjas, en m^2.

Cada una de las dos zanjas construidas tendrán esta área y las dimensiones presentadas anteriormente.

A partir de este valor, se pudo calcular la longitud necesaria de cada una de las zanjas propuestas a través de la ecuación (21):

$$L = \frac{V_L}{A_{zanja}} \quad (21)$$

Donde,

L = longitud de las zanjas, en m.
V_L= volumen líquido de un biodigestor, en m^3.

Finalmente, se debe evaluar si es que las dimensiones de los biodigestores propuestas cumplen con el criterio de diseño de que L/D se encuentre entre 5 y 10. Para lo cual aplicamos la ecuación (22):

$$Criterio\ de\ diseño = \frac{L}{D} \qquad (22)$$

Lo cual claramente cumple el criterio, por lo tanto, se acepta el diseño de los dos biodigestores de las mismas dimensiones ubicados en paralelo.

3.3.3.6.Tratamiento Secundario

3.3.3.7. Humedales subsuperficiales de flujo horizontal

Los humedales están constituidos por:

- Estructura de entrada
- Excavación del humedal
- Impermeabilización de fondo y laterales con geotextil y geomembrana
- Tipo de sustrato
- Vegetación típica de la zona
- Arqueta de salida

3.3.3.8. Estructura de entrada

La recolección del agua residual al humedal se realiza mediante una tubería perforada la cual se encuentra asentada sobra una zona de rocas gruesas de 11 milímetros. Esta tubería no se cubre de roca puesto que tiene que ser revisada periódicamente en caso de obstrucciones.

3.3.3.9. Construcción y excavación del humedal

Es necesaria una excavación para formar los taludes con 45° de inclinación.

La pendiente hidráulica del humedal en la superficie debe ser plana para evitar encharcamientos mientras que el fondo se encuentra entre 0,5 a 2% pero se recomienda una inclinación del 1% para facilitar la construcción y un drenaje adecuado (Delgadillo *et all*, 2010).

Los alrededores del humedal deben estar protegidos por un bordillo de al menos 10 cm seguido por un canal que conecte con la arqueta de salida para si evitar que al llover arrastre agua dentro del humedal.

La arqueta de salida debe tener un rebaje dentro del humedal para cuando haya fuertes lluvias el agua no rebose la misma y caiga fuera del humedal.

3.3.3.10. Impermeabilización

Es importante impermeabilizar el suelo para evitar que el agua residual penetre y pueda contaminar el agua subterránea.

Con la final de proteger la geomembrana se decidió recubrir el suelo con geotextil tejido para proteger la misma de la grava del sustrato, ya que puede romperla. Posterior a la colocación del geotextil se procede a colocar la geomembrana de 1 milímetro. Como lo menciona el doctor en agua Jorge Salas en el webinar Tecnología Biofiltro y Humedales Artificiales. (2020).

3.3.3.11. Tipo de sustrato

En las zonas de entrada se colocaron piedras gruesas de 11 mm que permitan la diferenciación de esta zona del medio granular principal donde sucede los procesos de retención y sedimentación, degradación de la materia orgánica y trasformación y asimilación de nutrientes (García y Corzo,2008).

En la zona media del humedal se colocará grava de 6 a 12 mm según lo descrito en el webinar del doctor en agua (Salas, J. 2020).



Imagen 2. Grava de 6 a 12 mm colocada en la zona media del humedal.
Fuente: Salas, J. (2020). Plantas de Tratamiento de Agua Residual Tecnologías Biofiltro y Humedales Artificiales [Webinar].

.



Imagen 3. Zona de piedra gruesa de 11 mm donde va colocada la tubería de reparto de agua residual al humedal.
Fuente: Salas, J. (2020). Plantas de Tratamiento de Agua Residual Tecnologías Biofiltro y Humedales Artificiales [Webinar].

Dentro del humedal el sustrato debe ser colocado 10 cm por debajo de la zona de resguardo (Salas,2020).



Imagen 4. Zona de resguardo y colocación del sustrato.
Fuente: Salas, J. (2020). Plantas de Tratamiento de Agua Residual Tecnologías Biofiltro y Humedales Artificiales [Webinar].

3.3.3.12. Vegetación

Se contempló la utilización de especies macrófitas propias de zonas húmedas con las siguientes características adaptabilidad ecológica, tolerancia a las condiciones locales en términos de plagas, clima y enfermedades, alta utilización en otros estudios de humedales y la capacidad de eliminación de contaminantes. Como lo que establece Miklas Scholz en su publicación titulada: Tecnologías y Energía Verde (2011).

Enmarcándonos en los criterios antes mencionados se consideró la utilización de una especie vegetal conocida coloquialmente como Papiro (*Cyperus papyrus*), es una herbácea acuática, con rizomas horizontales cortos y largos, tiene un tejido esponjoso donde están presentes grandes espacios intercelulares que facilitan la circulación de aire por lo cual son altamente utilizada para la restauración de las riveras de los ríos.

Dentro de la fitorremediación por medio de humedales artificiales existe un sin número de especies de las cuales el Papiro (*Cyperus papyrus*), fue la opción más rentable debido a las condiciones que presenta el sitio de estudio. El Papiro es una especie de crecimiento rápido, a los 5 meses ya tiene una altura de 1 a 1,5 metros de altura, tiene una vida útil alrededor de 2 años. (Vázquez y Gomes, 2011).

El Papiro se multiplica principalmente por rizomas y en su etapa adulta puede llegar a medir de 2 a 3 metros de altura con raíces de 0.2 a 0.4 m de profundidad lo que es muy importante debido al espesor del sustrato en donde van a ser colocados, son muy resistente a temperaturas de 20 a 33 °C y tiene un pH de 6 y 8. El papiro tiene la capacidad de adaptarse a todo tipo de suelo incluso los anegados, además presentan alta resistencia a plagas.

(Pérez, Alfaro y Agüero, 2012), señalan que en un estudio realizado en Costa Rica el papiro mostró una eficiencia de remoción de materia orgánica en porcentajes promedio del 91%, para el caso del DBO. 72% en DQO. Así mismo cuando de nutrientes se trata se obtuvo una remoción del 75% de fosforo y un 73% en solidos totales.

Según lo establecido por (Chávez y Chimbo, 2015) en un estudio realizado a la misma especie hace énfasis en la utilización de especies mono específicas, debido a que el uso de varias especies no cambia la eficiencia del sistema.



Imagen 4. Papiro *(Cyperus papyrus).* Tipo de vegetación escogida para el tratamiento de agua residual dentro del humedal.

Fuente: Chávez y Chimbo. (2015). Estudio comparativo de papiro en humedales subsuperficiales verticales.

La utilización de plantas en la depuración de aguas residuales ha demostrado ser un método efectivo en la remoción de una amplia gama de sustancias orgánicas tales como: nutrientes y metales pesados. Las plantas inyectan grandes cantidades de oxígeno hacia sus raíces, el oxígeno que no es aprovechado por la especie, es expelido y es aprovechado por los microorganismos (hongos y bacterias) (Hidalgo *et all*., 2005).

Finalmente, es necesario mencionar que los humedales artificiales, tienen una alta eficiencia de remoción de DBO y DQO, así como en la fijación de metales pesados y moderada a alta eficiencia en la eliminación de coliformes fecales (Lovato, 2018).

A esto se adiciona además que el cosechado o poda se debe realizar una vez al año para evitar la acumulación de materia muerta en los humedales, además con este practica se realiza la limpieza de los lechos y la revisión de los sistemas de alimentación-distribución (Alianza por el Agua, 2008).

Características de siembra del Papiro *(Cyperus papyrus)*.

Las especies de Papiro deben ser introducidas en el sustrato al menos a 30 cm de profundidad, y alrededor de 50 cm de separación entre ellas. (Vázquez y Gomes, 2011).

3.3.3.13. Arqueta de salida

Al final de cada humedal se encuentra una tubería de drenaje de 100 mm en todo lo ancho del humedal para que así recoja uniformemente el agua que pasado por el sustrato.

La tubería de salida está fijada a la arqueta mediante una pletina lo que permite que el humedal quede totalmente estanco, la pletina contiene una “T”, por donde circula el agua depurada hacia la arqueta de salida (Salas, 2020).

Dentro de la arqueta se encuentra una tubería flexible sujetada con cadena anticorrosiva a 10 cm por encima de la salida del agua.



Imagen 5. Tubería flexible dentro de la arqueta por donde sale el agua residual que paso por el sustrato.

Fuente: Salas, J. (2020). Plantas de Tratamiento de Agua Residual Tecnologías Biofiltro y Humedales Artificiales [Webinar].

Dentro del cálculo de los humedales se contempló la metodología planteada por Lozano Rivas (2012). Detallada a continuación:

3.3.3.14. Cálculos de dimensionamiento de los humedales horizontales de flujo subsuperficial

3.3.3.15. Caudal de diseño por línea

$$St = \frac{\text{Caudal de diseño}}{\text{Número de líneas en paralelo}} \qquad (23)$$

3.3.3.16. Superficie total

$$St = \frac{\text{Caudal de diseño} * 24 * 1000}{\text{Carga hidraulica a caudal de diseño}} \qquad (24)$$

3.3.3.17. Superficie unitaria por cada humedal

$$S_{uh} = \frac{\text{Superficie total}}{\text{número de líneas en paralelo}} \qquad (25)$$

3.3.3.18. Volumen total útil

V_{tu} =Superficie total * profundidad útil (26)

3.3.3.19. Volumen unitario por cada humedal

$$V_{uh} = \frac{\text{volumen total útil}}{\text{superficie total}} \qquad (27)$$

La relación longitud /ancho esta entre 1:1 y 2:1 para lo cual se recomienda la segunda opción.

3.3.3.20. Longitud unitaria por cada humedal

L_{uh} = Relación longitud/ancho de un humedal* (Superficie unitaria por cada humedal)^{0,5}

3.3.3.21. Anchura unitaria por cada humedal

$$A_{uh} = \frac{\text{Superficie unitaria por cada humedal}}{\text{Longitud unitaria por cada humedal}} \qquad (29)$$

3.3.3.22. Concentración de DBO esperada a la salida

$$A_{uh} = \frac{\text{Concentración de DBO en la entrada}}{2{,}7 \triangleq \frac{\text{Superficie total} * \text{Constante cinética de primer orden para remoción de DBO}}{caudal\ de\ diseño * 24}} \qquad (30)$$

3.3.3.23. Rendimiento de eliminación de DBO

$$Re_{DBO} = \frac{\text{Concentración de DBO en la entrada} - \text{Concentración de DBO esperada a la salida}}{\text{Concentración de DBO en la entrada}} * 100$$

(31)

3.3.3.24. Concentración de SS esperada en la salida

$$\boldsymbol{C_{ss}} = \frac{\text{Concentración de SS en la entrada}}{2{,}7 \triangleq \frac{\text{superfie total} * \text{Constante cinética de primer orden para remoción de SS}}{\text{caudal de diseño} * 24}} \quad (32)$$

3.3.3.25. Rendimiento de eliminación de SS

$$\boldsymbol{Re_{ss}} = \frac{\text{Concentración de SS en la entrada} - \text{Concentración de SS esperada a la salida}}{\text{Concentración de SS en la entrada}} * 100 \quad (33)$$

3.3.3.26. Biomasa a cosechar estimada (ton de cosecha)

$$\boldsymbol{Bc} = \frac{(20 * \text{superficie total})}{10000} \quad (34)$$

3.3.3.27. Carga orgánica kg_{DBO}/ha*d

$$\boldsymbol{C_o} = \frac{\frac{\text{Concentración de DBO en la entrada} * \text{Caudal de diseño} * 24}{1000}}{\frac{\text{superficie total}}{10000}} \quad (35)$$

3.3.3.28. Tiempo de retención hidráulica

$$\boldsymbol{TRH} = \frac{\text{Volumen total útil}}{caudal\ de\ diseño} \quad (36)$$

3.3.3.29. Superficie del humedal por habitante equivalente m^2/Hab

$$\frac{\boldsymbol{S_h}}{\boldsymbol{hab_{eq}}} = \frac{\text{superficie total}}{poblacion\ equivalente\ servida} \quad (37)$$

3.3.4. Metodología para el análisis de costos

Los costos de inversión inicial de los sistemas de tratamiento de aguas residuales están asociados con las inversiones necesarias para la construcción de la infraestructura física de la planta. En este sentido, incluye los costos de diseño, materiales, maquinaria, equipos y mano de obra. (Quintero *et all* 2007).

Para el cálculo de los costos de inversión inicial se consideró los precios unitarios por cada material detallados a continuación.

3.3.4.1. Materia prima directa

Se realizó la cotización de tuberías, codos y cemento al centro ferretero "FERSAMAX" ubicada en la ciudad de Puyo. Dirección Cristóbal Colón y Juan de Velasco.

Por otro lado, se cotizo el geotextil y la geomembrana a la empresa "GEOCONCRET S.A.", ubicada en la ciudad de Quito, dicha empresa está dedicada a la comercialización de productos para la industria de la construcción.

3.3.4.2. Grava

La grava para el sustrato del humedal se cotizo en la empresa "Toritos Jr". El costo del material pétreo detallados a continuación incluye trasporte.

3.3.4.3. Vegetación

La especie Papiro (*Cyperus papyrus*), contemplada en el diseño de los humedales se cotizo en dos viveros ubicados en la ciudad de Puyo "Vivero los Almendros" he "Iwiakma" sector Santa Rosa.

3.3.4.4.Mano de obra

La mano de obra directa está constituida por la labor realizada por el empleado ayuda a convertir los materiales directos en un bien económico terminado. (Gordon, 2005).

3.3.4.5.Maquinaria

La cotización de la maquinaria se realizó en la empresa "Toritos Jr" que alquila maquinaria pesada de todo tipo.

Dentro de los servicios que ofrece la empresa encontramos volquetas que van desde la más pequeña de 7 m3 o mulas de 11 m3 y el costo va a depender del material que se trasporte. A diferencia de las retroexcavadoras que tiene un costo fijo de alquiler por día, este criterio dependerá del operario de la máquina y la distancia de traslado.

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Resultados del análisis de las condiciones iniciales de comunidad Puyopungo.

El cantón Mera cuenta con una extensión territorial de 53.009 ha. Dentro de sus límites se encuentra la comunidad Puyopungo con 80 habitantes entre ellos 35 son adultos y 45 son niños entre los 0 y 13 años de edad.

Según el Instituto de Estadísticas y Censos (INEC,2010). Mera tiene un incremento poblacional anual del 4,25%.

Entre sus actividades productivas destaca la agricultura, ganadería y el turismo comunitario debido a este emprendimiento la comunidad recibe alrededor de 30 personas cada 15 o 20 días. Así como también se dedican a la comercialización de productos del lugar como plátano verde, yuca, limón y naranja, los mismos que son destinados para consumo dentro de la provincia y fuera de ella, dentro de sus creencias está el tratamiento de enfermedad mediante medicina ancestral entre los más conocidos está el aguardiente, chuchuguaso, jengibre y ajo sacha.

Mera tiene una pluviosidad anual alta de 4031mm/año con dos periodos de lluvias altas en abril, junio, octubre y diciembre y dos periodos de lluvias bajas enero, marzo, julio y septiembre su temperatura promedio oscila los 21,5°C, y una humedad relativa del 87%. (PDyOT Mera,2015).

4.2. Resultados del análisis de alternativas para el tratamiento de las aguas residuales

La Matriz de Pugh hace un análisis cuantitativo de la mejor alternativa en base a los criterios de ponderación: + 1 si es mejor el criterio, -1 si es inferior el criterio y 0 si son similares, por lo tanto, al momento de realizar el análisis no muestra que la mejor alternativa de tratamiento secundario es el biodigestor tubular más humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, el resultado marca un número positivo y el más alto de las demás alternativas. Determinado por el bajo costo, el mantenimiento mínimo, el consumo de energía casi nulo, remoción de materia orgánica eficiente y un espacio requerido es el único criterio que nos confiere un limitante pero aun así los espacios comunales rodean a comunidad Puyopungo facilitando en gran parte esta opción.

En la siguiente tabla se desglosa la ponderación en cada sistema:

Tabla 4. Valoración por criterios para los posibles tratamientos secundarios de aguas residuales domesticas generadas por la comunidad Puyopungo.

Alternativas / Criterios	Biodigestor anaerobio + humedal subsuperficial de flujo horizontal	Humedal subsuperficial vertical	Sistemas de infiltración en el terreno
Eficiencia	0	0	0
Costo de implementación	1	-1	-1
Mantenimiento y Operación	-1	-1	1
Espacio requerido	1	1	-1
Consumo de energía	1	1	-1
Total	**2**	0	-2
PONDERACIONES			
+1		Si es mejor el criterio	
-1		Si es peor el criterio	
0		Si son similares.	

Elaborado por: *Naranjo, Zúñiga.*

4.3. Resultados del dimensionamiento de la planta de tratamiento de agua residual

4.3.1. Parámetros de partida

En la tabla 5 Se observan los resultados de los cálculos para la obtención de la población futura

Tabla 5: Resultados del cálculo de la población futura.

Parámetro	Fórmula	Remplazo	Resultado
Población futura	$poblacion\ actual * (1+r)^n$	$80\ hab * (1+0.0425)^{10}$	122 habitantes

Elaborado por Naranjo, Zúñiga

4.3.2. Cálculo de caudales

En la tabla 6 Se observan los resultados de los cálculos del caudal medio, punta y máximo.

Tabla 6: Resultado de los cálculos de caudales

Parámetro	Formula	Remplazo	Resultado
$Q_{medio\ diario}$	$\frac{\text{Dotación x Población de diseño x Coeficiente de retorno}}{1000}$	$\frac{100\frac{\text{l}}{\text{hab}}}{\text{día}} * 122\ hab * 0.8}{1000}$	$9{,}76\ \frac{m^3}{d}$
$Q_{punta\ diario}$	$Q_{medio\ diario} * 1{,}7$	$9{,}76\ \frac{m^3}{d} * 1{,}7$	$16{,}59\ \frac{m^3}{d}$
$Q_{máx\ diario}$	$Q_{punta\ diario} * 2$	$16{,}59\ \frac{m^3}{d} * 2$	$33{,}18\ \frac{m^3}{d}$

Elaborado por: *Naranjo, Zúñiga*

4.3.3. Cálculos para el pretratamiento

4.3.3.1. Canal de desbaste y reja de gruesos

En la tabla 7 Se observan los resultados de los cálculos para el diseño del canal de desbaste y reja de gruesos.

Tabla 7: Resultado de los cálculos para el diseño del canal de desbaste y reja de gruesos.

Parámetro	Fórmula	Remplazo	Resultado
Ancho del canal de desbaste	$Wu = (A_c - n * A_b)\left(\frac{1-G}{1000}\right)$	$Wu = (0{,}3\ m - 5 * 0{,}015\ ml)\left(\frac{1-30}{1000}\right)$	$Wu = 0{,}16\ m$
Profundidad del canal de desbaste	$h = \frac{Q}{v} * \frac{1}{W_u}$	$h = \frac{3{,}84x10^{-4}\ \frac{m^3}{s}}{0{,}3\ \frac{m}{s}} * 0{,}16\ m$	$h = 8x10^{-3}\ m$
Longitud del canal de desbaste.	$L = T_h * v$	$L = 5s * 0{,}3\frac{m}{s}$	$L = 1{,}5\ m$

Elaborado por: *Naranjo, Zúñiga*

4.3.3.2. Diseño del desarenador de flujo horizontal

En la tabla 8 Se observan los resultados de los cálculos para el diseño del desarenador de flujo horizontal

Tabla 8: Resultado de los cálculos para el diseño del desarenador de flujo horizontal

Parámetro	Formula	Remplazo	Resultado
Largo	$L = A_c * relación\ largo\ y\ ancho$	$L = 0{,}3 * 2\ m$	$L = 0{,}6\ m$
Área de la sección transversal, en m^2.	$A = \frac{Q}{V_h}$	$A = \frac{3{,}84x10^{-4}\ \frac{m^3}{s}}{0{,}3\ \frac{m}{s}}$	$A = 1{,}28x10^{-3}\ m^2$
Profundidad de la zona de desarenado	$h = \frac{A}{A_c}$	$h = \frac{1{,}28x10^{-3}\ m^2}{0{,}3\ m}$	$h = 4{,}27\ x10^{-3}\ m$
C_s= carga hidráulica superficial, en $\frac{m^3}{m^2 h}$	$C_s = \frac{Q}{L * A_c}$	$C_s = \frac{1{,}38\frac{m^3}{h}}{1\ m * 0{,}3\ m}$	$C_s = 4{,}61\frac{m^3}{m^2 h}$

Elaborado por: *Naranjo, Zúñiga*

Tabla 9. Consolidado del dimensionamiento de los equipos para el pretratamiento

DIMENSIONES DE LOS EQUIPOS PARA EL PRETRATAMIENTO		
Canal de desbaste y reja de gruesos		
Ancho del canal de desbaste (m)	$Ac = ancho\ del\ canal\ de\ desbaste$	0,3
Ancho útil del canal de desbaste (m)	$Wu = (0{,}3\ m - 5 * 0{,}015\ ml)\left(\frac{1-30}{1000}\right)$	0,16
Profundidad del canal de desbaste (m)	$h = \frac{3{,}84x10^{-4}\ \frac{m^3}{s}}{0{,}3\ \frac{m}{s}} * 0{,}16\ m$	0,4
Longitud del canal de desbaste (m)	$L = 5s * 0{,}3\frac{m}{s}$	1,5
Desarenador de flujo horizontal		
Área de la sección transversal (m^2)	$A = \frac{3{,}84x10^{-4}\ \frac{m^3}{s}}{0{,}3\ \frac{m}{s}}$	$1{,}28x10^{-3}$
Calado o profundidad de la zona de desarenado (m)	$h = \frac{1{,}28x10^{-3}\ m^2}{0{,}3\ m}$	0,4

Elaborado por: *Naranjo, Zúñiga*

4.3.4. Diseño de los equipos para el tratamiento primario

4.3.4.1. Biodigestores Tubulares

En la tabla 10 Se observan los resultados de los cálculos para el diseño de los biodigestores tubulares.

Tabla 10. Resultado de los cálculos para el diseño de los biodigestores tubulares

Parámetro	Formula	Remplazo	Resultado
Volumen líquido del biodigestor, en m^3	$V_L = T_R * C_D$	$V_L = 15\ d * 9{,}76 \frac{m^3}{d}$	$V_L = 146{,}4\ m^3$
Radio de la circunferencia del plástico, en m.	$r = \frac{C}{2\pi}$	$r = \frac{8\ m}{2\pi}$	$r = 1{,}27\ m$
Diámetro de la circunferencia del plástico, en m	$D = 2 * r$	$D = 2 * 1{,}27\ m$	$D = 2{,}55\ m$
Ancho inferior de la zanja, en m	$a = 1{,}23 * r$	$a = 1{,}23 * 1{,}27\ m$	$a = 1{,}57\ m$
Ancho superior de la zanja, en m	$b = 1{,}63 * r$	$b = 1{,}63 * 1{,}27\ m$	$b = 2{,}08\ m$
Profundidad de la zanja, en m	$p = 1{,}54 * r$	$p = 1{,}54 * 1{,}27\ m$	$p = 1{,}96\ m$

Área de las zanjas, en m^2.	$A_{zanja} = 2{,}20 * r^2$	$A_{zanja} = 2{,}20 * (1{,}27m)^2$	$3{,}57\ m^2$
Longitud de las zanjas, en m.	$L = \frac{V_L}{A_{zanja}}$	$L = \frac{73{,}2\ m^3}{3{,}57\ m^2}$	$L = 20{,}52\ m$
$Criterio\ de\ diseño$	$\frac{L}{D}$	$\frac{20{,}52\ m}{2{,}55\ m}$	$8{,}06\ m$

Elaborado por *Naranjo, Zúñiga.*

Tabla 11. Consolidado del dimensionamiento de los equipos para el tratamiento primario.

DIMENSIONES DE LOS EQUIPOS PARA EL TRATAMIENTO PRIMARIO		
Biodigestor		
Volumen líquido de cada biodigestor (m^3)	$V_L = 15\ d * 9{,}76 \frac{m^3}{d}$ (x 2 biodigestores)	73,2
Tamaño de circunferencia del biodigestor (m)		8
Radio de la circunferencia del plástico (m)	$r = \frac{8\ m}{2\pi}$	1,27
Diámetro de la circunferencia del plástico (m)	$D = 2 * 1{,}27\ m$	2,55
Ángulo de inclinación (°)		7,5
Zanjas		
Ancho inferior de la zanja (m)	$a = 1{,}23 * 1{,}27\ m$	1,57
Ancho superior de la zanja (m)	$b = 1{,}63 * 1{,}27\ m$	2,08
Profundidad de la zanja (m)	$p = 1{,}54 * 1{,}27\ m$	1,96
Área de las zanjas (m^2)	$A_{zanja} = 2{,}20 * (1{,}27m)^2$	3,57
Longitud de las zanjas (m)	$L = \frac{73{,}2\ m^3}{3{,}57\ m^2}$	20,52

Elaborado por: *Zúñiga, Naranjo.*

4.3.5. Diseño de los equipos para el tratamiento secundario

4.3.5.1. Humedales subsuperficiales horizontales.

4.3.5.2. Parámetros de partida

Tabla 12. Descripción de parámetros de partida para el cálculo de los humedales subsuperficiales

PARÁMETROS DE PARTIDA PARA EL CÁLCULO DE LOS HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL		
1	Caudal de diseño, (m3/d)	9,76
2	Caudal de diseño, (m^3/h)	0.40
3	Número de líneas en paralelo	2
4	Carga hidráulica a caudal de diseño (m^3/hab*día)	800
5	Profundidad útil, (m)	0.6
6	Relación longitud/ancho de un humedal	2
7	Concentración de DBO en la entrada, (mg/l)	80
8	Concentración de SS en la entrada, (mg/l)	88
9	Población equivalente servida, (hab)	122
10	Constante cinética de primer orden para remoción de DBO	0.11
11	Constante cinética de primer orden para remoción de SS	0.11

***Elaborado por**: Zúñiga, Naranjo.*

En la tabla 13 Se observan los resultados de los cálculos para el diseño de los humedales horizontales de fujo subsuperficial

Tabla 13: Resultado de los cálculos para el diseño de los humedales horizontales de fujo subsuperficial

Parámetro	**Formulas**	**Remplazo**	**Resultados**
Caudal de diseño por línea (m^3/h)	$\frac{\text{caudal de diseño}}{\text{numero de lineas en paralelo}}$	$\frac{0{,}40\frac{\text{m3}}{\text{h}}}{2}$	0,20m3/h
Superficie total (m^3)	$\frac{\text{caudal de diseño} * 24 * 1000}{\text{carga hidraulica a caudal de diseño}}$	$\frac{\frac{0.40\text{m3}}{\text{h}} * 24 * 1000}{800\frac{\text{m3}}{\text{hab, d}}}$	120m2
Superficie unitaria por cada humedal (m^2)	$\frac{\text{Superficie total}}{\text{número de líneas en paralelo}}$	$\frac{120\text{m2}}{2}$	$60m2$
Volumen total útil (m^3)	Superficie total * profundidad útil	120m2*0,5m	72m3

Volumen unitario por cada humedal (m3)	$\frac{\text{volumen otal uil}}{\text{superficie total}}$	$\frac{60\ \text{m3}}{120\text{m2}}$	$36m3$
Longitud unitaria por cada humedal (m)	Relación longitud/ancho de un humedal* Superficie unitaria por cada humedal$^{0.5}$	$2*60^{0.5}$	10,95 (m)
Anchura unitaria por cada humedal (m)	$\frac{\text{Superficie unitaria por cada humedal}}{\text{Longitud unitaria por cada humedal}}$	$\frac{60\text{m2}}{10{,}95\text{m}}$	$5{,}48m$
Concentración de DBO esperada a la salida (mg/l)	$\frac{\text{Concentración de DBO en la entrada}}{2{,}7 \triangleq \frac{\text{Superficie total} * \text{Constante cinética de primer orden para remoción de DBO}}{caudal\ de\ diseño * 24}}$	$\frac{\frac{80\text{mg}}{\text{l}}}{2{,}7 \triangleq \frac{120\ \text{m2} * 0{,}11}{0{,}4m3/h * 24}}$	20,42mg/l
Rendimiento de eliminación de DBO (%)	$\frac{\text{Concentración de DBO en la entrada} - \text{Concentración de DBO esperada a la salida}}{\text{Concentración de DBO en la entrada}}$	$\frac{(\frac{80\text{mg}}{\text{l}} - \frac{20{,}42\text{mg}}{\text{l}}}{\frac{80\text{m}}{\text{l}}} * 100$	74,48%

Concentración de SS esperada en la salida (mg/l)	$$2{,}7 \triangleq \frac{((\text{Concentración de SS en la entrada} \ast \text{superfie total} \ast \text{Constante cinética de primer orden para remoción de SS})}{\text{caudal de diseño} \ast 24}$$	$$\mathbf{2,7} \triangleq \frac{\frac{\mathbf{88}\boldsymbol{mg}}{\boldsymbol{l}}}{\frac{(120\text{m2} \ast 0{,}11)}{0{,}40 \ast 24}}$$	22,46 mg/l
Rendimiento de eliminación de SS %	$$\frac{\text{Concentración de SS en la entrada} - \text{Concentración de SS esperada a la salida}}{\text{Concentración de SS en la entrada}} \ast 100$$	$$\frac{(88\frac{\text{mg}}{l} - 22{,}46\text{mg})}{88\frac{mg}{l}} \ast 100$$	74,48%
Biomasa a cosechar estimada (ton de cosecha)	$$\frac{(20 \ast \text{superficie total})}{10000}$$	$$\frac{(20 \ast 120\text{m2})}{10000}$$	0,24 toneladas de cosecha
Carga orgánica (kgDBO/ha.d)	$$\frac{\frac{\text{Concentración de DBO en la entrada} \ast \text{Caudal de diseño} \ast 24}{1000}}{\frac{\text{superficie total}}{10000}}$$	$$\frac{\frac{80\text{mg}}{\text{l}} \ast \frac{0{,}4\text{m3}}{\text{h}} \ast 24}{\frac{120\text{m2}}{10000}}$$	64 (kgDBO/ha.d)

Tiempo de retención hidráulica TRH (d)	$\frac{\text{Volumen total útil}}{caudal\ de\ diseño}$	$\frac{60\text{m3}}{\frac{0{,}4m3}{h}}$	180d
Superficie del humedal por habitante equivalente (m2/hab)	$\frac{\text{superficie total}}{poblacion\ equivalente\ servida}$	$\frac{120\ \text{m2}}{100\ hab}$	0,98 m2/hab

Elaborado por *Naranjo, Zúñiga.*

Tabla 14. Consolidado de resultados de los humedales de flujo horizontal.

DISEÑO DEL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL	
Caudal de diseño por línea, (m^3/h)	0,20
Superficie total, (m^2)	120
Superficie unitaria por cada humedal, (m^2)	60
Volumen total útil	72
Volumen unitario por cada humedal	36
Longitud unitaria por cada humedal	10,95
Anchura unitaria por cada humedal, (m)	5,48
Concentración de DBO esperada a la salida, (mg/l)	20,42
Rendimiento de eliminación de DBO, (%)	74,48
Concentración de SS esperada en la salida, (mg/l)	22,46
Rendimiento de eliminación de SS, (%)	74,48
Biomasa a cosechar estimada, (ton de cosecha)	0,24
Carga orgánica, (kg $_{DBO}$/Hab*día)	64
Tiempo de retención hidráulica, (d)	180
Superficie del humedal por habitante equivalente, (m^2/Hab)	0.98
Angulo de inclinación del talud, (grados)	45
Pendiente cabeza cola (%)	1

Elaborado por: *Zúñiga, Naranjo.*

4.3.5.3. Conclusiones de los resultados del diseño de los humedales horizontales de flujo subsuperficial

1. El humedal construido demostró una alta eficiencia de remoción de carga orgánica alcanzando promedios de eliminación del 74,5%. Considerando una concentración de DBO Y SST a la entrada del 80 y 88% respectivamente.

   Se estima que un humedal subsuperficial tiene una eficiencia de remoción de DBO del 80% y de DQO del 60 al 90%.
2. Considerando el tamaño de los humedales se decidió adaptarnos a lo planteado por el doctor en agua Jorge Salas que considera que la densidad de las plantaciones dentro del humedal sea de 5 ejemplares por m^2.

DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA COMUNIDAD “PUYOPUNGO”

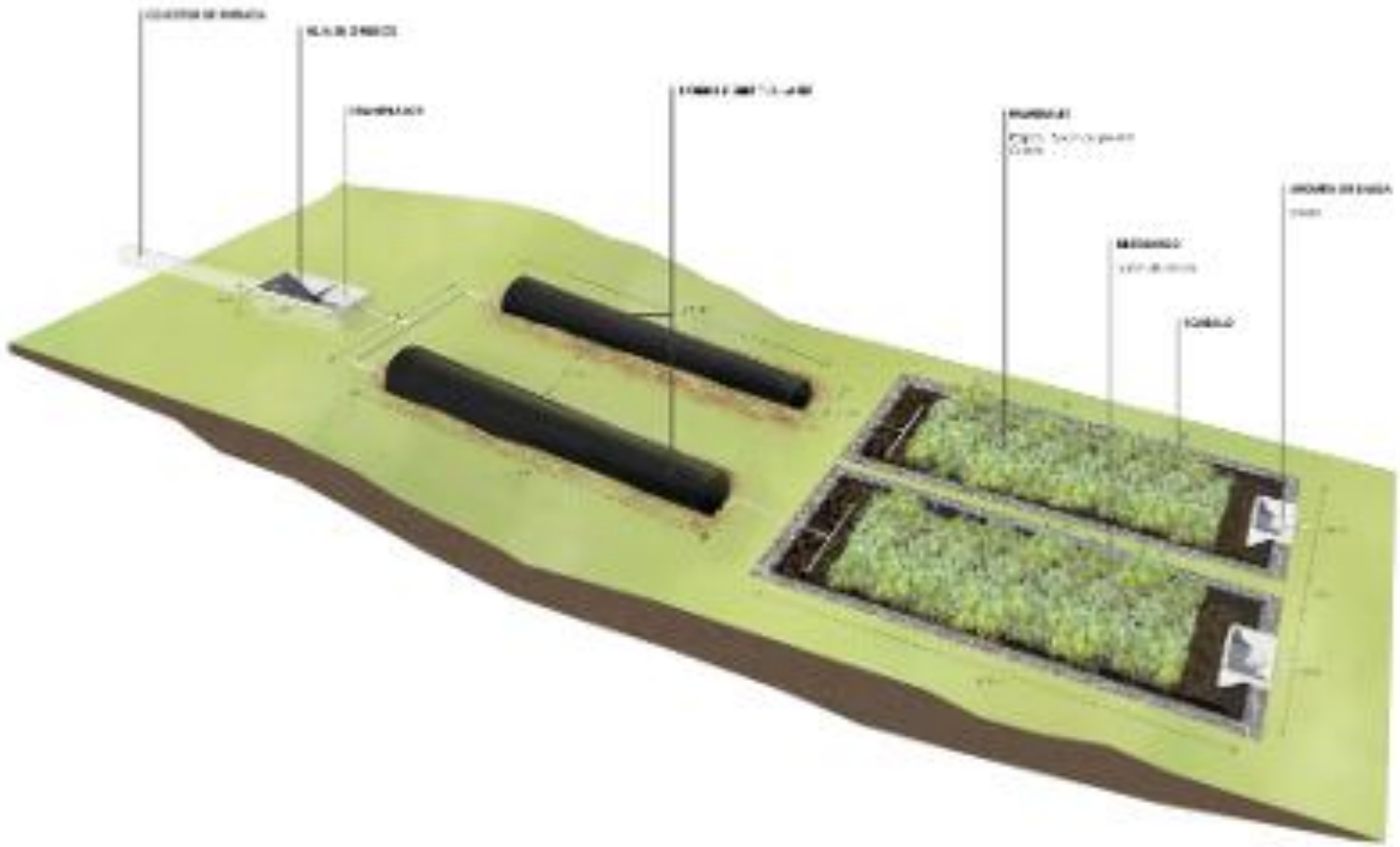

Imagen 6. Modelado en 3D de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Domésticas de la comunidad Puyopungo, compuesta por un sistema de rejilla de gruesos un canal para el desarenado, dos biodigestores tubulares de polietileno y dos humedales horizontales de fujo subsuperficial.

4.4. Resultados de los costos de inversión de la planta de tratamiento de agua residual

Para cada unidad de tratamiento se estimaron los costos de obra de cada una de las unidades que lo conforman. De esta forma se puede estimar el costo de inversión para cada una de las unidades de tratamiento por separado y el costo total de la planta de tratamiento con la sumatoria de costos de sus unidades.

En la tabla 15 se observan los resultados de la aplicación del modelo de costos para el diseño del pretratamiento, rejillas de desbaste y desarenador.

Tabla 15. Costos de implementación del pretratamiento, rejillas de desbaste y desarenador

Materiales	**Costo unitario**	**Cantidad**	**Costo total**
Tubo PVC PLASTIDOR 160 mm	$15,87	3	$47,61
Codos moldeados de PVC 160x45	$3,94	10	$39,40
Quintales de arena	$2,00 c/u	2	$4,00
Quintales de cemento PORLAND DE 50 KG	$6,61	4	$26,44
Malla	$5 x m	1	$5
TOTAL			$122,45

Elaborado por *Zúñiga, Naranjo*

En la tabla 16 se observan los resultados de la aplicación del modelo de costos para el diseño de los dos biodigestores tubulares.

Tabla 16. Costos de implementación de los biodigestores tubulares

Materiales	**Costo unitario**	**Cantidad**	**Costo total**
Geo membrana de polietileno alta densidad HDPE 1,00 mm GM Dimensiones rollos de una sola lámina 7,50m x 16m	$3,40 x m2	120 m2	$408
Servicio de pre cortado personalizado adicional de 0,50 m x 5m	$3,40 x m2 $12,50	2,5 m2	8,50 12,50
Válvula reguladora de presión	$38	1	$38
TOTAL			$467
Valor por dos biodigestores tubulares			$934

***Elaborado por**: Zúñiga, Naranjo.*

En la tabla 17 se observan los resultados de la aplicación del modelo de costos para el diseño de los humedales subsuperficiales de flujo horizontal.

Tabla 17. Costos de implementación del tratamiento secundario, humedal subsuperficial horizontal

Maquinaria/ personal	**Costo unitario**	**Cantidad**	**Costo total**
Volquetas	$30/viaje	4 viajes	$120
Retro excavadora	$45/h	3 horas	$135
Mano de obra	$3.00/h	2 personas /5 horas	$30

Materiales			
Geotextil no tejido NT 1600 Dimensiones rollos 4,00m x 30m	0,75 x m2	120 m2	$90
Geomembrana de polietileno alta densidad HDPE 1,00 mm GM Dimensiones rollos 7,50m x 16m	$3,40 x m2	120 m2	$408
Cemento PORLAND DE 50 KG	$6,61	4 unidades	$26,44
Tubería perforada de 63mm	$9,90	Min 6 metros	$9,90
Tubería de 110 mm	$29,41	Min 6 metros	$29,41
Grava de 8 mm	$30	36 m3/ 3 viajes	$180
Cadena resistente a la corrosión	$5	1 unidad	$5
Vegetación			
Papiro (*Cyperus papyrus*),	$7 c/u	600 unidades	$4,200
Total			$5234

Elaborado por: *Zúñiga, Naranjo.*

En la tabla 18 se observan los resultados de la sumatoria de costos por cada unidad de tratamiento.

Tabla 18. Costos totales de implementación de la planta de tratamiento de agua residual domestica de la comunidad Puyopungo.

COSTO TOTAL	
Procesos	**Inversión**
Pre tratamiento	

Rejillas de desbaste y desarenador	$122,45
Tratamiento secundario	
Biodigestor	$446
Humedales subsuperficiales horizontales	$5,234
Total	$5,802

Elaborado por: *Zúñiga, Naranjo.*

Conclusiones

1. El diseño de esta planta de tratamiento para aguas residuales domesticas servirá a una población de 122 habitantes. El diseño de la misma está proyectada a 10 años con un área total de construcción de 350m2.
2. El diseño de la planta está enfocado en tres tratamientos, el pretratamiento incluye una unidad de conducción provista de rejillas de gruesos complementada con una unidad para el desarenado, el tratamiento primario que incluye dos biodigestores tubulares ubicados en paralelo. Y finalmente el tratamiento secundario compuesto por dos humedales horizontales de flujo subsuperficial.
3. Los biodigestores tubulares tienen un bajo rendimiento de biomasa en excretas humanas alrededor de 0,025 m3/día según lo descrito por la (Comisión Económica para América Latina y el Caribe,2019). Por lo cual no se considera para ser usado en la producción energética.
4. El *Cyperus papyrus* demostró, a lo largo de la revisión bibliográfica, ser una especie apta como un sistema de macrófitas enraizadas en el humedal, ya que presenta buen crecimiento, resistencia a plagas y adaptabilidad a las condiciones climáticas de la zona de estudio.
5. El costo de inversión inicial de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales está asociado con la inversión necesaria para la construcción física de la planta. En este sentido incluye los costos de diseño, materiales maquinaria y mano de obra.

Recomendaciones

1. Dentro del diseño de los biodigestores tubulares se recomienda instalarlos dentro de un espacio cubierto debido a que el Cantón Mera presenta alta pluviosidad durante todo el año y al entrar a los biodigestores habría variación en la temperatura y no trabajaría adecuadamente.
2. Se recomienda el uso de mano de obra de la propia comunidad para el techado de los biodigestores con la finalidad de abaratar los costos de inversión de la planta de tratamiento de agua residual doméstica.
3. Para un buen funcionamiento de la planta de tratamiento de agua y vida útil de la misma es necesario el mantenimiento periódico de las unidades de tratamiento esto con la finalidad de evitar malos olores y proliferación de vectores.
4. Dentro del diseño de humedales la parte más importante es el sustrato ya que es por donde se llevará a cabo la depuración del agua residual por ello hay que escoger cuidadosamente el tipo de grava, gravilla o arena que se vaya a utilizar.
5. Antes de la implementación de esta propuesta, se debería hacer una medición exhaustiva del consumo de agua promedio de la comunidad y ajustar este valor al procedimiento de dimensionamiento.

Referencias bibliográficas

- Buenaño, M. (2015). *Propuesta de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en una Empresa Envasadora de Leche del Cantón Rumiñahui, para que Cumpla con la Norma Ambiental TULAS.* Pichincha, Ecuador. Recuperado:https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10534/1/CD-6234.pdf?fbclid=IwAR24U5k4T7uVPxeA8eH61TkUQ9PlNKle9LWj9wy3Lq1jtIvtFmxuzy4Epc
- Benefield. & Randall. (1980). *Biological Process Design for Wastewater Treatment.* Recuperado: http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/4314/Capitulo6.pdf
- Castañeda. A. (2013). *Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófagas típicas en Los Altos de Jalisco, México.* Guadalajara. México. Recuperado:https://www.researchgate.net/publication/277957170_Tratamiento_de_aguas_residuales_domesticas_mediante_plantas_macrofitas_tipicas_en_Los_Altos_de_Jalisco_Mexico.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe, (2019). *Evaluación e implementación de proyectos piloto de biodigestores en El Salvador,* Ciudad de México. Recuperado:https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45026/1/S1901187_es.pdf
- Chávez, F. (2015). *Estudio Comparativo De La Capacidad Depuradora De Phragmites Australis Y Cyperus Papyrus En Humedales Artificiales Subsuperficiales De Flujo Vertical Para El Tratamiento De Aguas Residuales En El Cantón Santa Isabel".* Cuenca, Ecuador. Recuperado: https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23197/1/tesis.pdf
- Delgadillo *et all.* (2010). *Depuración de Aguas Residuales por Medio de Humedales Artificiales.* Cochabamba. Bolivia. Recuperado*:* https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf
- Galván, R. (2010). *Características físicas, químicas y biológicas de las aguas* Córdoba. Argentina. Recuperado:file:///C:/Users/BomberosUser/Downloads/componente48099%20(1).pdf
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC. (2010). *Datos cantonales censo 2010.*

Recuperado:https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion_y_Demografia/CPV_aplicativos/datos_generales_cpv/16mera.pdf

- Instituto para la diversificación y ahorro de energía IDEA.(2007). *Biomasa, digestores anaerobios.* España.
  Recuperado:https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_digestores_07_a996b846.pdf
- Lovato. G. (2018). *Diseño De Jardín Depurador Piloto Para Tratamiento De Aguas Residuales En La Hostería Garceta-Sol"* Quito, Ecuador.
  Recuperado: http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/14432/1/T-UCE-0012-062-2018.pdf
- Muñoz. A. (2008). *Caracterización de aguas residuales.* Jalisco México.
  Recuperado: https://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/libros/Caracteristicas.PDF
- Organización de Tratado de Cooperación Amazónica. (2018). *Aguas Amazónicas.* Brasilia, Brasil*:* OCTA Editorial.
  Recuperado:http://otca.info/gef/include/pdf/es/FNL_CONTAMINACION_lamina8_revisao4.pdf?fbclid=IwAR3FXdYAcJ9T_rB0m0y_sw2sOk0t4R6pQ6YrgxTNSF3r_P0dNL6C4eUyQvQ
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos.* París, Francia.
  Recuperado: https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental OEFA. (2014). *Aguas Residuales.* Lima, Perú.
  Recuperado*:*https://centroderecursos.cultura.pe/sites/default/files/rb/pdf/Brochure%20Aguas%20Residuales%20CS5%20AM%20final%20individual.pdf
- Ontiveros, L. (2018). *Origen y Características de las Aguas Residuales.* Baja California, México.
- Padilla, C. (2019). *Estudio Y Diseño Del Alcantarillado Sanitario Con Planta De Tratamiento Para Las Aguas Residuales De La Parroquia Fátima, Cantón Y Provincia De Pastaza.* Ambato, Ecuador.
  Recuperado:file:///C:/Users/BomberosUser/Downloads/Tesis%20I.%20C.%201306%20-%20Inlasaca%20Padilla%20Cristian%20Geovanny.pdf

- Quintero, D. (2007). *Modelo De Costos Para El Tratamiento De Las Aguas Residuales En La Región.* Pereira, Colombia.
  Recuperado: C:/Users/BomberosUser/Downloads/4191-Texto%20del%20artículo-2643-1-10-20120328.pdf
- Restrepo, D. (2015). *Remoción De Contaminantes En Humedales Construidos De Flujo Vertical Sembrados Con Heliconia Psittacorum.* Pereira, Colombia.
  Recuperado: https://core.ac.uk/download/pdf/71398667.pdf
- Valle, V. (2016). *Evaluación de características físico químicas y microbiológicas en el agua residual domestica de la ciudad de quito*. Quito, Ecuador-.
  Recuperado: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13727/1/UPS%20-%20ST002819.pdf
- Gobierno Autónomo de Centralizado Municipal del Cantón Mera, 2015. *Plan de Ordenamiento Territorial Cantón Mera.* Pastaza- Ecuador.
  Recuperado:http://www.municipiomera.gob.ec/imagenes/PDYOT/FaseIIPropuestaMera2015-2025.pdf
  Recuperado: https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-autonoma-de-baja-california/ingenieria-sanitaria/apuntes/origen-y-caracteristicas-del-agua residual/2952832/view.
- Organización Mundial de la Salud OMS. (2010). *Agua.*
  Recuperado*:* https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación y el Desarrollo UNESCO. (2017). Las Aguas Residuales, *El recurso desaprovechado.* Durban, África del Sur.
  Recuperado:http://www.unesco.org/new/es/naturalsciences/environment/water/wwap/wwdr/2017-wastewater-the-untapped-resource/
- OMS, UNICEF. (2017). *Agua Saneamiento E Higiene.*
  Recuperado: https://www.who.int/water_sanitation_health/es/
- Solano. M. (2011). *Impacto ambiental por aguas residuales y residuos sólidos en la calidad del agua de la parte media- alta de la microcuenca del río Damas y propuesta de manejo*. Costa Rica.
  Recuperado:https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Impacto%20ambiental%20por%20aguas%20residuales%20y%20residuos%20s%C3%B3lidos%20en%20la%20calidad%20del%20agua.pdf

- Salas,J.(2020). *Plantas De Tratameinto De Agua Residual Tecnologías Biofiltro Y Huemdales Artificiales [Webinar]*.
  Recuperado:https://m.facebook.com/story.php?story_fbid=272417567402308&id=107465437296978&sfnsn=wa&d=w&vh=e
- Valencia, A. (2013). *Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Cabecera Parroquial de San Luis Provincia de Chimborazo.* Riobamba, Ecuador.
  Recuperado:http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/3118/1/236T0084.pdf?fbclid=IwAR3IySC0KU0rYD8s9diC1K4dg2-PFXIAFyzAn3AiKvZkbIl6dsxdYVJEaDA
- Vásquez, P, Gómez, A. (2011). *DIMENSIONAMIENTO DE UN HUMEDAL CONSTRUIDO PILOTO" CASO DE ESTUDIO CAMPUS CAJICÁ*, Bogotá, Colombia.
- Zambrano. (2009). *Características de las Aguas Residuales. Cusco, Perú.*
  Recuperado:https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6087/5/CAPITULO%202.pdf.

Anexos

Tabla 19. Composición típica de un agua residual doméstica.

COMPOSICIÓN TÍPICA DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA				
	Concentración			
Contaminantes	**Unidades**	**Débil**	**Media**	**Fuerte**
Solidos totales (ST)	mg/l	350	720	1200
Disueltos totales (SDT)	mg/l	250	500	850
Sólidos en suspensión (SS)	mg/l	100	220	350
DBO 20°C	$ñ^2$	110	220	400
DQO	mg/l	250	500	1000
Nitrógeno (total en forma N)	mg/l	20	40	85
Nitrógeno amoniacal	mg/l	12	25	50
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Grasas y aceites	mg/l	50	100	150
Coliformes totales	N°/100 ml	10^6-10^7	10^7-10^8	10^7-10^8

Elaborado por: *Zúñiga, Naranjo.*

Fuente: Metcalf & Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales y Bombeo, 1995.

Tabla 20. Aportes de carga por habitante por día.

APORTE DE CARGA POR HABITANTE	
Parámetro	**Aporte de 1 Habitante Equivalente**
DBO_5	60 g/l
DQO	135 g/l
SST	90 g/l
N	10 g/l
P	4 g/l

Elaborado por: *Zúñiga, Naranjo.*

Fuente: Valores fundamentados en la directiva de la comunidad europea, con bases estimadas para Colombia y España,1991.

Tabla 21. Composición típica de aguas residuales.

PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN
Sólidos totales	720 mg/l
Nitrógeno total	40 mg/l
Nitrógeno amoniacal	25 mg/l
DBO	220 mg/l
DQO	500 mg/l
Aceites y grasas	100 mg/l

Elaborado por: *Zúñiga, Naranjo.*

Fuente: Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño (Romero Rojas, 2010).



Imagen 7. Proforma de los costos de material para la contruccion del canal de desbaste, desarenador, biodigestor y huemedales

Fuente: Centro ferretero "FERSAMAX"

GEOCONCRET S.A.
Geosintéticos y Concretos S.A.

COTIZACIÓN Nª 7616

RUC: 1791807413001

Quito, 02 de septiembre de 2020

Le hacemos llegar la siguiente cotización:

Alternativa 1

CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNIT. USD.	PRECIO SUBTOTAL USD.
120,00	m2	***Geotextil no tejido NT 1600*** *Dimensiones rollos 4,00m x 30m*	0,75	90,00
120,00	m2	***Geomembrana de polietileno alta densidad HDPE 1,00 mm GM 13*** *Dimensiones rollos 7,50m x 16m*	3,40	408,00
			SUBTOTAL	498,00
			IVA 12%	59,76
			TOTAL	***557,76***

Cumbayá, Luis Garzón y García Moreno Esquina **024 51 53 33**
Edificio Cumbayá Gardens OF 306

ventas@geoconcretsa.com **0997 101 386**

GEOCONCRET S.A.
Geosintéticos y Concretos S.A.

COTIZACIÓN Nª 7616

RUC: 1791807413001

GARANTIA:



Garantía del producto: *30 años*

INDICACIONES GENERALES:

Cotización Válida:	*30 días*
Disponibilidad del producto:	*Inmediata*
Sitio de entrega:	*Bodega Geoconcret SA*
Forma de pago:	*Pago en efectivo.* *Pagos con tarjeta de crédito, aceptamos todas las tarjetas y contamos con diferidos.*

Por la atención a la presente le extiendo mis agradecimientos.

Atentamente,



Ing. Patricio Silva Herrera

GERENTE GENERAL

Imagen 8. Proforma de los costos de geomembrana y geotextil para la construcción de los biodigestor y humedales

Fuente: Geosintéticos y Concreto "GEOCONCRET S.A."