ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

DISEÑO DE UN SISTEMA COMUNITARIO DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN EL BARRIO SAN SEBASTIÁN, PARROQUIA NANEGALITO

DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO SUPERIOR EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

JENNIFER ESTEFANIA JIMENEZ ARTIEDA

DIRECTOR: SANTIAGO STALIN GUERRA SALCEDO

DMQ, marzo 2023

CERTIFICACIONES

Yo, Jennifer Estefania Jiménez Artieda declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

JENNIFER ESTEFANIA JIMÉNEZ ARTIEDA

jennifer.jimenez@epn.edu.ec

Jennifer.jimenez13k@gmail.com

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por JENNIFER ESTEFANIA JIMÉNEZ ARTIEDA, bajo mi supervisión.

SANTIAGO STALIN GUERRA SALCEDO

DIRECTOR

santiago.guerra@epn.edu.ec

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Jennifer Estefania Jiménez Artieda

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mi tía Cinthya que a pesar de todo siempre me estuvo apoyando para seguir adelante y no rendirme, también a mis abuelitos que a pesar de no tener conocimiento del tema estuvieron pendientes y orgullosos en mi trabajo. En sí, agradezco a mi familia Cynthia, Oscar, Zoila, Nelson y Joaquín.

AGRADECIMIENTO

Como primer punto, agradezco al Ingeniero Santiago que a pesar de ser nuestro director se portó como un amigo, motivando a pesar de nuestra procrastinación en realizar la tesis, pero nos apoyó hasta el último momento.

A las personas del Barrio San Sebastián que siempre estuvieron pendientes cuando realizamos las visitas técnicas, nos ayudaron en lo que pudieron y nos dieron comida deliciosa.

Un agradecimiento especial a mi amigo Jefferson que estuvo siempre presente revisando las faltas ortográficas y me ayudaba a cambiar de presente a pasado porque siempre me he olvidado.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN V
ABSTRACT VI
1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO 1
1.1. Objetivo general 1
1.2. Objetivos específicos 1
1.3. Alcance 2
1.4. Marco teórico 2
1.4.1. Agua Residual Doméstica 2
1.4.2. Caracterización de las aguas residuales 3
1.4.3. Planta de tratamiento de aguas residuales 4
1.4.4. Saneamiento rural 5
1.4.5. Opciones de tratamiento de agua residuales domésticas rurales. 6
2. METODOLOGÍA 7
2.1 Localización Geográfica 7
2.2 Enfoque 7
2.3 Periodo de diseño 8
2.4 Caracterización en zonas rurales 8
2.5 Sistema de tratamiento 9
2.5.1 Pretratamiento 9
2.5.1.1 Trampa de grasa 10
2.5.2 Tratamiento primario 12
2.5.2.1 Tanque séptico 12
2.5.3 Tratamiento Biológico 13
2.5.3.1 Filtro anaerobio de flujo ascendente 14
2.5.4 Humedales de flujo subsuperficial 15
2.6 Presupuesto Económico 18
2.6.1 Trampa de grasa 18
2.6.2 Tanque séptico 18
2.6.3 FAFA 18
2.6.4 Humedal Artificial 18
2.7 Socialización con la comunidad de San Sebastián 18
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 19
3.1. Caracterización 19

3.2. Diagrama de flujo 19
3.3. Trampa de grasa 20
3.4. Tanque séptico 21
3.5. Filtro Anaerobio de flujo Ascendente 23
3.6. Humedales de flujo subsuperficial 24
3.7. Eficiencia de remoción de cada operación unitaria 26
3.8. Presupuesto 28
3.9. Socialización 28
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 29
4.1. Conclusiones 29
4.2. Recomendaciones 30
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 31
6. Anexos VII
Anexo I Certificado de originalidad Turnitin porcentaje máximo 12% VII
Anexo II Porcentaje Turnitin VIII
Anexo III Comunidad de San Sebastián IX
Anexo IV. Planos operaciones unitarias de la planta de tratamiento N°1 X
Anexo V. Planos operaciones unitarias de la planta de tratamiento N° 2 XI
Anexo VI. Informe Técnico XII

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización de las aguas residuales 3
Tabla 2. Composición típica del agua residual doméstica rural 8
Tabla 3. Análisis de caracterización de aguas residuales domésticas San Sebastián 9
Tabla 4. Valores de tiempo de retención respecto al caudal 10
Tabla 5. Valores estimados de la conductividad hidráulica 16
Tabla 6. Comparación entre la concentración de la caracterización y TULSMA 18
Tabla 7. Dimensionamiento de la trampa de grasa de la Planta N° 1 19
Tabla 8. Dimensionamiento de la trampa de grasa de la Planta N° 2 19
Tabla 9. Dimensionamiento de Tanque Séptico Planta N°1 20
Tabla 10. Dimensionamiento del tanque séptico de la Planta N° 2 20
Tabla 11. Criterios de diseño del FAFA de la Planta N° 1 21
Tabla 12. Dimensionamiento del Filtro Anaerobio de flujo Ascendente 21
Tabla 13. Criterios de diseño del FAFA de la Planta N° 2 22
Tabla 14. Dimensionamiento del Filtro Anaerobio de flujo Ascendente Planta N° 2 22
Tabla 15. Valores de la zona inicial y final de la Planta N° 1 23
Tabla 16. Valores de la zona inicial y final de la Planta N° 2 23
Tabla 17. Planta N° 1 24
Tabla 18. Planta N° 2 25
Tabla 19. Presupuesto planta de tratamiento 25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Barrio San Sebastián 7
Figura 2. Diagrama Planta N° 1 19
Figura 3. Diagrama Planta N° 2 19

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Área superficial de trampa de grasa 10
Ecuación 2. Volumen trampa de grasa 10
Ecuación 3. Dimensión larga del Contenedor 11
Ecuación 4. Periodo de retención hidráulica tanque séptico (días) 11
Ecuación 5. Volumen requerido para la sedimentación (m3) 12
Ecuación 6. Volumen de digestión y almacenamiento de lodos 12
Ecuación 7. Dimensionamiento de Tanque 12
Ecuación 8. Altura de espuma sumergida (m) 12
Ecuación 9. Altura libre de lodo (m) 12
Ecuación 10. Altura de espacio libre (m) 12
Ecuación 11. Volumen del filtro 13
Ecuación 12. Área transversal del reactor FAFA 13
Ecuación 13. Volumen medio de soporte (m3) 14
Ecuación 14. Carga orgánica volumétrica (kg de DBO/ Lh) 14
Ecuación 15. Eficiencia del filtro anaerobio en % 14
Ecuación 16. Área superficial del humedal artificial 15
Ecuación 17. Ancho del humedal 16
Ecuación 18. Longitud inicial y final del humedal (m) 16
Ecuación 19. Pérdida de carga (m) 17
Ecuación 20. Longitud total de la zona de tratamiento del humedal (m) 17
Ecuación 21. Volumen del medio filtrante 17

RESUMEN

Dentro de la Mancomunidad del Choco Andino (MCA) existen asentamientos de población dispersos donde no tienen un adecuado sistema de alcantarillado ni sistema de tratamiento de aguas residuales. Debido a este problema, el líquido del sistema hídrico de toda el área se ve perjudicado con un grado de contaminación alta, ya que desfogan las aguas servidas sin algún tipo tratamiento directamente en ríos, riachuelos, quebradas, etc.

En relación con esta problemática se planteó una alternativa para poder mitigar y reducir la contaminación que se ha generado hasta la actualidad en el Barrio San Sebastián, ubicado en Nanegalito, esto se realizó junto al gobierno autónomo descentralizado (GAD) de la parroquia Nanegalito y la MCA. Para esto se tuvieron en cuenta los antecedentes y experiencias realizadas con anterioridad en las localidades “Tandayapa” y “Barrio Lindo”. Por medio de investigaciones bibliográficas se obtuvo valores de características de aguas similares a lo que se podría esperar en San Sebastián, y con estos datos se pudo proponer dos sistemas de plantas de tratamiento, donde cada operación unitaria tiene la función de remover los contaminantes que provienen de las aguas residuales domésticas. Se usó un humedal artificial que es considerado como una tecnología no convencional, donde cuenta con algunos beneficios, como es lograr cumplir con la normativa al momento de descarga del efluente al receptor y que no cause problemas. También su costo en fases de construcción, operación y mantenimiento son bajos ya que uno de los objetivos es proponer un diseño económico.

PALABRAS CLAVE: Planta de tratamiento, aguas residuales, tecnologías no convencionales, humedal artificial.

ABSTRACT

Within the Mancomunidad del Choco Andino (MCA) there are scattered settlements where there is no adequate sewage or wastewater treatment system. As a result of this problem, the water system of the entire area is highly polluted, as sewage is discharged directly into rivers, streams, creeks, etc. without any type of treatment.

In relation to this problem, an alternative was proposed to mitigate and reduce the pollution that has been generated to date in the San Sebastian neighborhood, located in Nanegalito, this was done together with the decentralized autonomous government (GAD) of the parish of Nanegalito and the MCA. For this purpose, the background and experiences previously carried out in the localities of "Tandayapa" and "Barrio Lindo" were taken into account. Through bibliographic research, values of water characteristics similar to what could be expected in San Sebastian were obtained, and with this data, two treatment plant systems were proposed, where each unit operation has the function of removing the pollutants that come from domestic wastewater. An artificial wetland was used, which is considered a non-conventional technology that has several benefits, such as complying with the regulations at the time of discharge of the effluent to the receptor and not causing problems. Also, its cost in construction, operation and maintenance phases are low, since one of the objectives is to propose an economic design.

KEYWORDS: Treatment plant, wastewater, non-conventional technologies, artificial wetland.

1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

La mancomunidad del Chocó andino (MCA) es una región diversa conformada por seis parroquias ubicadas al noroeste del Área Metropolitano de Quito (DMQ): Calacalí, Gualea, Nanegal, Nanegalito, Nono y Pacto. Dicha área está ubicada en dos *hotposts* o puntos calientes de biodiversidad que abarca Tumbes, Chocó, Darién y andes tropicales. Los *hotspots* son áreas del planeta que son fundamentales para preservar el ecosistema que se encuentra en alto nivel de riesgo. La enorme diversidad biológica y alto endemismo de la región ha animado a varios actores del sector público y privado a implementar múltiples estrategias de conservación, de igual forma, técnicas de sostenibilidad de la región. (MCA, 2019)

Dentro de su hidrografía se encuentran diferentes entornos como: subcuencas, cuencas, varios afluentes y pequeños drenajes que por falta de un sistema de tratamiento de aguas residuales poco a poco se han ido contaminando, ya que, su descarga es vertida directamente a los cauces naturales o a pozos sépticos, lo que afecta al líquido vital que principalmente es utilizado como fuente de agua de consumo, riego agrícola, producción de bienes y servicios, turismo, entre otros. (MCA, 2019)

En relación con esta problemática se planteó una alternativa para poder mitigar y reducir la contaminación que se ha generado hasta la actualidad, esto se realizará junto al gobierno autónomo descentralizado (GAD) de la parroquia Nanegalito y la MCA. Para esto se tendrán en cuenta los antecedentes y experiencias realizadas con anterioridad en la comunidad “Tandayapa”. Por lo tanto, se planificó un proyecto para el barrio San Sebastián ubicado en la parroquia Nanegalito donde se diseñó un sistema comunitario de tratamiento de aguas servidas domésticas siempre considerando lo que necesita la comunidad. (Freire,2019)

1.1. Objetivo general

Diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas para el barrio San Sebastián en la parroquia Nanegalito.

1.2. Objetivos específicos

1. Recopilar información importante para la aplicación del proyecto.
2. Plantear opciones económicas y una propuesta técnica del tratamiento.
3. Socializar el proyecto al GAD y a la comunidad del barrio San Sebastián.

1.3. Alcance

El proyecto tuvo como finalidad proponer una solución a los problemas de tratamiento de las aguas residuales de la comunidad de San Sebastián, debido a que, actualmente no cuentan con un sistema de tratamiento propio, ya que, la implementación de la misma es complicada a consecuencia de su distancia de las parroquias entre sí. Por lo general este problema lo tienen las parroquias rurales de la ciudad de Quito. Para dar solución a esta problemática, se propuso diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales enfocándose en las zonas donde se tienen sistemas similares con buen funcionamiento de operación, por lo tanto, se implementará en la comunidad para que pueda ser efectuado en un futuro con el GAD correspondiente. Llevándose a cabo visitas técnicas para obtener información que permitió identificar características del área de interés, así como ajustar el diseño conforme a las necesidades del Barrio San Sebastián. Se optó por usar operaciones unitarias necesarias para el tratamiento de aguas residuales con el fin de ser reutilizado para el bien común es decir en el sector agrícola y para consumo humano. Finalmente se presentó al GAD un informe detallado la propuesta económica para que así el Barrio San Sebastián pueda implementarlo posteriormente.

1.4. Marco teórico

1.4.1. Agua Residual Doméstica

Las aguas residuales se pueden definir como aguas peligrosas para el consumo humano y que deben ser tratadas por contener grandes cantidades de microorganismos o sustancias que pueden ser tóxicas. Estas aguas contienen impurezas de diferente origen: principalmente de los hogares y la industria. El presente trabajo se enfocará en las aguas residuales domésticas.

En particular, las aguas residuales domésticas se refieren a aquellas que se utilizan con fines higiénicos (baños, cocinas, lavaderos, entre otros.), que consisten principalmente en desechos humanos que ingresan al sistema de alcantarillado a través de la descarga de agua domiciliaria (Mara, 190). De igual manera, se conoce como agua residual a la mezcla de residuos líquidos que fueron destinados al uso doméstico evacuada de viviendas, sitios sociales, educativos, comerciales e industriales (TULSMA, 2017). Dentro de las composición de estas se puede concentrar el 0.1% que puede contener todo tipo de sólidos como en suspensión, coloidales o disueltos, esta pequeña fracción sólida provoca los mayores problemas en su manejo y eliminación. (Quivera, 2012)

En el país datos de la Secretaría Nacional del Agua (2010), indican que el 92% de las aguas residuales generadas se descargan en los cursos naturales sin tratamiento; y en

Nanegalito según Cairo (2009) la escasez de sistemas de depuración de aguas residuales sumado al débil acompañamiento de las Juntas de Agua Potable a nivel rural son problemas bases dentro del Sistema de Saneamiento Ambiental. (Senagua, 2010)

1.4.2. Caracterización de las aguas residuales

Con base en la calidad o propiedades del agua, la caracterización se clasifica en física, química y biológica. Estas impurezas se deben al origen de las propiedades químicas de impurezas orgánicas e inorgánicas. Los contaminantes orgánicos reducen el oxígeno, que es producto de la descomposición biológica de los compuestos. (Romero,2010)

En general, la caracterización de aguas residuales involucra la identificación y cuantificación de sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

Tabla 1. Caracterización de las aguas residuales

Características Físicas	
Temperatura	La temperatura en las aguas residuales es más alta en aquella agua no contaminada, ya que, la actividad bioquímica de los microorganismos es mayor. Por otro lado, también se toman en cuenta salidas de agua de casas y varios usos industriales. Se considera un parámetro importante, puesto que, afecta el desarrollo de los organismos acuáticos, porque el oxígeno se disuelve lentamente en agua caliente. (Ruiz,2016)
Color	El color de las aguas residuales es un parámetro organoléptico donde se puede apreciar la condición del agua, se relaciona con la existencia de sustancias disueltas y material en suspensión, por ejemplo, el color verde que se puede observar en dichas aguas. (Córdova, 2011)
Contenido de sólidos	Esta característica representa las partículas visibles y coloidales que se encuentran en la masa, que consisten en sustancias orgánicas como, por ejemplo, carbohidratos o celulosa, etc., también están presentes los químicos inorgánicos. (Colotta, 2003)
Olor	Este es una característica importante, ya que se debe a la descomposición de la materia orgánica donde se desprende gases, y tiene un olor extraño por la existencia de sulfuro de hidrógeno. (Maceo & Universidad, 2013)

Continuación **Tabla 1:** Caracterización aguas residuales

pH	Es el grado de alcalinidad o acidez del agua, depende de la reducción de los iones de hidrógeno, los valores de pH oscilan en una escala de 0-14, pH = 7 es neutro, esta propiedad es relevante ya que permite verificar en las aguas residuales cuanto existe de acidificación o alcalinidad (Amaya, 2004)
Características Químicas	
Inorgánicos	
Nitratos	Como resultado de la degradación de materia vegetal y animal o compuestos nitrogenados, que en presencia de microbios oxidantes transforman materia orgánica en agua. (Larios, 2009)
DBO_5	(Demanda Biológica de oxígeno) Es aquella que indica cuánta se necesita de oxígeno disuelto en mg/l para la degradación biológica de materia orgánica en las aguas residuales durante un cierto periodo de tiempo. (Rojas, 2010)
DQO	(Demanda Química de oxígeno) Indica cuánta cantidad de oxígeno se necesita para que se pueda oxidar la materia orgánica. (Romero,2010)
Fósforo	Se considera uno de los nutrientes que regulan el crecimiento de las algas, se encuentra exclusivamente como fosfatos en la naturaleza y en las aguas residuales. (Romero,2010)
Características Biológicas	
Las aguas residuales tratadas o crudas contienen muchos organismos vivos, como los patógenos que puede afectar la salud al ser consumida, por ejemplo: bacterias, virus, parásitos. Entre ellos también se encuentran referencias a la contaminación fecal con Escherichia Coli, también se encuentran bacterias nitrificantes y las bacterias que oxidan azufre. (Romero, 2010)	

1.4.3. Planta de tratamiento de aguas residuales

Una planta de tratamiento de aguas residuales es aquella que elimina los sólidos, reduce la materia orgánica e impurezas restaurando la presencia de oxígeno. La reducción de materia orgánica y otros contaminantes se logra mediante bacterias beneficiosas y otros microbios utilizados para consumir materia orgánica en las aguas residuales. Luego se aíslan del agua bacterias y microorganismos. La recuperación de oxígeno es importante

porque debe haber suficiente oxígeno en el agua para mantener la vida. Para el correcto funcionamiento se basan en diferentes tratamientos. (Herbert, 2010)

Tratamiento preliminar: Es un tratamiento que elimina los sólidos grandes y la arena de las aguas negras. También es aquella que elimina elementos que pueden causar algún tipo de daño dentro de los equipos que intervienen en diversos procedimientos y funciones del sistema de tratamiento. (Farias, 2021)

Tratamiento primario: Es un tratamiento en el que algunas de las sustancias fijas y suspendidas se puede eliminar mediante procesos tanto físicos como químicos. Las aguas residuales del tratamiento primario suelen tener un alto contenido de DQO y DBO. (Farias,2021)

Tratamiento secundario: Es un tratamiento en el que una sustancia orgánica biodegradable se convierte en una sustancia estable como resultado de la acción biológica. Está diseñado principalmente para eliminar sólidos que están en suspensión o también compuestos orgánicos, en algunos casos esta etapa también incluye la purificación. (Farias, 2021)

Tratamiento terciario: Estos son tratamientos adicionales que siguen al proceso secundario convencional para eliminar componentes que no se eliminaron en los procesos anterior como nutrientes, materia orgánica o sólidos. (Farias, 2021)

1.4.4. Saneamiento rural

El saneamiento rural es un conjunto de medidas con el fin de mejorar la calidad del agua y el drenaje en las zonas rurales. Esto incluye la construcción de pozos, fuentes de agua y sistemas de drenaje, así como la implementación de medidas de higiene y el manejo de residuos sólidos. El propósito de estas obras es poder mejorar en algún aspecto los problemas en cuanto a la salud y el bienestar de las personas que residen en este tipo de áreas de difícil acceso, también se intenta reducir la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua y proteger el medio ambiente. Además, se puede mejorar la productividad y el bienestar económico de estas comunidades. Hay varios desafíos asociados, uno de ellos es la carencia de servicios de saneamiento, otro desafío es el costo de construir y mantener la infraestructura de estas zonas. Por lo tanto, es importante que las iniciativas de mejoramiento continúen en las áreas rurales para así poder garantizar un futuro más saludable y sostenible. (INEC & UNICEF, 2021)

1.4.5. Opciones de tratamiento de agua residuales domésticas rurales.

Para escoger las operaciones unitarias correctas se basó en la caracterización del lugar se escogió un agua residual similar con características parecidas, puesto que, son métodos de tratamiento dominados por fenómenos físicos, donde a partir de procesos químicos o biológicos elimina contaminantes para tener una buena eficiencia en el sistema. Por lo tanto, un buen sistema de saneamiento necesita tecnologías y servicios detallados para el buen manejo de residuos o recursos, es decir, recoger, almacenar, transportar, cambiar, usar o disponer de ella. (EAWAG,2008)

Las operaciones unitarias que se escogió para el sistema son las siguientes:

- **Cribado (Rejas):** El propósito de esta operación es retener sólidos en suspensión gruesos y residuos flotantes, se observó en la comunidad que los materiales que comúnmente desechan son pedazos de madera, partes de escombros, plásticos y esto genera una gran contaminación al río aledaño que es el Pachijal.
- **Tanque séptico:** Según las características del agua residual de la comunidad de San Sebastián se debe emplear el tanque séptico debido a que existe cantidades grandes de aceites y grasa como la existencia de sólidos suspendidos.
- **FAFA:** El agua que proviene del tanque séptico pasa de manera ascendente por el lecho que tiene el FAFA con el fin de reducir el índice de carga orgánica para posteriores pasos en el tratamiento del agua residual
- **Humedal artificial:** Gracias a efectos positivos que se ha podido observar en otros lugares, se utilizó humedales artificiales, es un sistema de fitotratamiento de aguas residuales que se basa en cultivar plantas macrófitas ubicadas en un lecho de grava impermeable. Las actividades de los macrófitos permiten realizar procesos físicos, químicos y biológicos complejos donde el afluente de las aguas residuales es tratado lento y gradualmente. (CONAGUA, 2017)

En este caso se utilizó una tecnología no convencional (TNC), que gracias a que requiere operaciones de bajo impacto ambiental, logra reducir la carga contaminante que conlleva que los costos de operación sean inferiores a comparación a métodos tradicionales. Por otro lado, el mantenimiento se logra sin mayores dificultades técnicas, es decir, que puede ser cumplida o utilizada por personas no especializadas. (CENTA,2007)

2. METODOLOGÍA

2.1 Localización Geográfica

El barrio San Sebastián se encuentra ubicado en Nanegalito, provincia de Pichincha, en el noroccidente del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). La parroquia posee una superficie de 125,26 km^2. Limita al norte con las parroquias Nanegal y Gualea, al sur con el cantón San Miguel de los Bancos, al este con las parroquias Nanegal y Nono y al oeste con la parroquia Gualea. (PDOT, 2019)

La parroquia se encuentra conformada por barrios urbanos, rurales y dispersos. Dentro de los barrios rurales se encuentra la comunidad de San Sebastián del Pachijal, donde habitan aproximadamente 300 personas, y lastimosamente no todas las familias cuentan con servicios básicos. Los habitantes utilizan pozos sépticos construidos empíricamente, sin ninguna clase de mantenimiento a dichos pozos, las aguas provenientes de las mismas, son descargadas sin algún tipo de tratamiento en el cauce del Rio Pachijal por lo cual se ha evidenciado una alta tasa de contaminación. (PDOT, 2019). Por lo tanto, se propone un diseño de tratamiento de aguas residuales con tecnologías no convencionales para en un futuro poder aplicarlo.

Figura 1. Barrio San Sebastián

Fuente: Google Earth

2.2 Enfoque

Este proyecto tiene un enfoque mixto, tanto cuantitativo como cualitativo, a pesar de que se asumió valores en cuanto a caracterización del agua y otros parámetros de diseño que se pudo recolectar en tablas por medio de investigación bibliográfica. Se necesitaron datos fundamentales para poder realizar el dimensionamiento del sistema tales como, dotación y cantidad de habitantes que es un total de 147 habitantes.

2.3 Periodo de diseño

Es el periodo de tiempo durante el cual la obra o estructura pueda operar, en este caso como es un sistema de agua potable debe brindar un buen servicio a la comunidad por un tiempo suficiente, siempre y cuando el diseño esté en condiciones apropiadas, dado que es en una zona rural se tomó el valor de 20 años estipulado por Código Ecuatoriano de la construcción en diseño de instalaciones sanitarias. (CEC, 1996)

2.4 Caracterización en zonas rurales

Al no conocer la composición de las aguas residuales que se provienen del barrio San Sebastián, se tomaron valores de aguas parecidas de barrios similares al mismo. Se realizó un rango de valores de contaminantes determinados en lugares similares al estudio para obtener un aproximado, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición típica del agua residual doméstica rural

Contaminantes	Unidades	Concentración
DBO_5	mgO_2/l	165-400
DQO	mgO_2/l	375-950
Nitrógeno Total	mg/l	30-90
Fósforo total	mg/l	6-20
Aceites y grasas	mg/l	150-300
Sólidos totales	mg/l	535-1200
Sólidos suspendidos totales	mg/l	160-350
Coliformes totales	NMP/100 ml	$1x10^6$ -$1x10^9$

Fuente: (Metcalf & Eddy , 2004)

En la Tabla 2, se observan las concentraciones que existen en un agua típica de las zonas rurales, mientras que para la Tabla 3 se realizó el mismo proceso anterior para poder obtener valores parecidos de una caracterización de la zona de San Sebastián ya que se tomaron valores de contaminantes de otras zonas.

Tabla 3. Análisis de caracterización de aguas residuales domésticas San Sebastián

	Contaminantes	Concentración	Unidades
FÍSICOS	Sólidos totales	765.65	mg/l
	Sólidos suspendidos totales	173.5	mg/l
QUÍMICOS	DQO	403.5	mgO_2/l
	DBO_5	182.5	mg/l
	Nitrógeno Total	23.6	mg/l
	Nitrógeno amoniacal	14.25	mg/l
	Fósforo total	7.5	mg/l
	Fosfatos PO_4^{-3}	38.9	mg/l
	Aceites y grasas	536.8	mg/l
	Tensoactivos	1.4975	mg/l
BIOLÓGICOS	Coliformes Fecales	$1,5x10^5$	NMP/100 ml

Fuente: (Cabezas,2015) (Valle,2016)

2.5 Sistema de tratamiento

Para la elección de operaciones unitarias adecuadas para la comunidad de San Sebastián se replicó el sistema que posee el barrio Tandayapa utilizando fitorremediación con plantas endémicas y también se tomó en cuenta las necesitades del tratamiento por los contaminantes que se obtuvieron anteriormente.

2.5.1 Pretratamiento

El agua residual pasará por un sistema de remoción de sólidos gruesos (cribado) mediante rejas, que son construidas por barras uniformes paralelas con igual distancia y hechas de material inoxidable. Las rejas tendrán como objetivo retener sólidos en suspensión gruesos o residuos flotantes como puede ser: trapos, pedazos de madera, plásticos, pedazos de escombros, papel, cartón, estopas, etc. (Muñoz & Aldás, 2017, p. 29). Se diseñaron dos

plantas de tratamiento. La planta N° 2 se ubica en la calle de la entrada a la comunidad que según el presidente del barrio el señor Germán Guamaní (2022) contiene una tubería de diámetro de 1 metro. Se utilizó este dato para poder diseñar el sistema.

Figura 2. Ubicación de la Planta N°1 y N° 2

2.5.1.1 Trampa de grasa

La función principal es separar y recolectar grasas y aceites que existan en el agua usada en la comunidad como, por ejemplo, las cocinas. Otra función es evitar que materiales ingresen a la red de alcantarillado público, además reduce DBO_5 y DQO en el efluente. Sin embargo, su costo de implementación es relativamente bajo ya que no requieren operación, pero sí mantenimiento. Para su diseño se implementó las siguientes ecuaciones:

Área superficial

$$As = \frac{Qd}{v}$$

Ecuación 1. Área superficial de trampa de grasa

Donde:

As: Área superficial (m^2)

Qd: Caudal de diseño (m^3/h)

V: velocidad ascensional (m/h)

Se utilizó una velocidad ascensional 22.5 m/h ya que se tiene una densidad menor a 800 mg/l (CEPIS,2003)

Volumen

$$V = Qd * tr$$

Ecuación 2. Volumen trampa de grasa

Donde:

V: volumen (m^3)

Tr: Tiempo de retención (s)

Tabla 4. Valores de tiempo de retención respecto al caudal

Caudal	Tiempo de retención
Q < 10 l/s	3 minutos
10 a 20 l/s	4 minutos
Q > 20 l/s	5 minutos

Dimensión

Se utilizó una relación 2:1 (largo/ancho) del área superficial

Para poder calcular las dimensiones del largo del contenedor se utilizará un espesor de 10 cm

$$V = l * a * e$$

Ecuación 3. Dimensión larga del Contenedor

Donde:

V: Volumen (m^3)

L: largo del contenedor (m)

a: ancho (m)

e: espesor (m)

2.5.2 Tratamiento primario

Los sistemas de tratamiento primario son muy sencillos en el tratamiento del agua y su tarea es preparar el agua limpiándose de todas las partículas cuyo tamaño puede dificultar o impedir los procesos posteriores. (Rojas,2010)

2.5.2.1 Tanque séptico

Es una cámara impermeable, elaborada comúnmente por materiales comerciales como es el hormigón o de fibra (vidrio o plástico). Principalmente es por donde fluyen tanto aguas grises como aguas negras, para así poder realizar posteriormente su tratamiento primario. Cuenta con la ventaja de no tener un presupuesto alto en cuanto a las fases de operación y construcción. Se puede utilizar cuando no existe un alcantarillado convencional y se pretende dar un mínimo tratamiento a las aguas residuales domésticas de casas individuales o pequeños conglomerados. Para el diseño se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

Periodo de retención

$$PR = 1{,}5 - 0{,}3\ log\ log\ (QTG)$$

Ecuación 4. Periodo de retención hidráulica tanque séptico (días)

Donde:

QTG: Caudal de trampa de grasa m^3/d

$$Vs = 10^3 * QTG * PR$$

Ecuación 5. Volumen requerido para la sedimentación (m3)

$$Vd = 10^{-3} * G * P * N$$

Ecuación 6. Volumen de digestión y almacenamiento de lodos

Donde:

G: Volumen de lodos producidos

P: Población servida

N: Intervalo deseado en años

Para el cálculo de lodos producidos por habitante/año, Va varias tanto la temperatura como la descarga de residuos. El volumen de natas se consideró como mínimo 0.70 m^3.

Dimensionamiento del Tanque

$$Hn = \frac{Vn}{As}$$

Ecuación 7. Dimensionamiento de Tanque

Donde:

Hn: Altura de natas (m)

Vn: Volumen de natas (m^3)

As: Área superficial (m^2)

Para obtener la altura total:

$$He = \frac{0.7}{As}$$

Ecuación 8. Altura de espuma sumergida (m)

$$Ho = 0.82 - 0{,}26 * A$$

Ecuación 9. Altura libre de lodo (m)

$$Hi = 0{,}1 + Ho$$

Ecuación 10. Altura de espacio libre (m)

Tabla 5: Valores de caudales de lodos por persona según el clima

Clima	Volumen (l/hab*año)
Cálido	40
Frío	50

Para la profundidad libre de espuma sumergida se tomará un valor mínimo de 0.10 m, por lo tanto, la profundidad neta o total del tanque séptico es la suma de todas las alturas en metros.

2.5.3 Tratamiento Biológico

Consta de importantes procesos biológicos, de los cuales pueden combinarse con el uso de microorganismos (pueden destacar las bacterias) que sean capaz de consumir la materia orgánica biodegradable sea por digestión aerobia o anaerobia, también sirve para la eliminación de compuestos que contienen elementos tanto coloidales como disueltos y nutrientes.

2.5.3.1 Filtro anaerobio de flujo ascendente

Básicamente se trata de un tanque o reactor cerrado fabricado con lecho de piedra, por donde el efluente de la operación anterior asciende a través de una superficie (piedras o plástico) y se forma sobre ellas una capa biológica. La biomasa permanece como una capa de microorganismos adheridos y el flujo es ascensional, por lo cual, permite evitar que exista algún tipo de taponamiento, por lo tanto, se lo conoce como el sistema de tratamiento anaerobio más sencillo.

El diseño y dimensionamiento se tomó en cuenta las siguientes operaciones:

Volumen

$$V = Q * TRH$$

Ecuación 11. Volumen del filtro

Donde:

Q: Caudal medio (m^3/d)

TRH: Tiempo de retención hidráulico (días)

Área transversal

$$A = \frac{V}{H}$$

Ecuación 12. Área transversal del reactor FAFA

Donde:

V: Volumen del filtro (m^3)

H: Altura del filtro (m)

Altura total

Para calcular la altura total del filtro de aplica la siguiente ecuación

$$Ht = Hfondofalso + hbordelibre + hmediodesoporte$$

Donde:

Hbordelibre: Espacio que separa el medio de soporte del colector de efluente (m)

$$Vms = A * hmediodesoporte$$

Ecuación 13. Volumen medio de soporte (m3)

Donde:

Vms = Volumen del medio filtrante (m^3)

A = Área transversal del filtro anaerobio (m^2)

hmedio de soporte = Altura del medio de soporte (m)

$$COV = \frac{Q * So}{V}$$

Ecuación 14. Carga orgánica volumétrica (kg de DBO/ Lh)

Donde:

COV: carga orgánica volumétrica, (kg de DBO / L h)

Q = caudal (L / h)

So = Demanda Bioquímica de Oxigeno del afluente, DBO kg/L

V = Volumen del filtro (L)

$$E = 100(1 - 0.87TRH^{-0.5})$$

Ecuación 15. Eficiencia del filtro anaerobio en %

Para el tratamiento de aguas residuales domésticas se utilizaron 2 tanques, siendo el primero un tratamiento mecánico de sedimentación para el cual se usó un balde de capacidad de 20 litros, el efluente se traslada mediante una bomba peristáltica al reactor FAFA para lo cual se ha utilizado una tubería de 6” de HDPE con una altura de 0.56 m.

2.5.4 Humedales de flujo subsuperficial

Están especialmente diseñados para el tratamiento de ciertos tipos de aguas residuales, o como etapa final de su tratamiento. Generalmente se construyen en forma de lechos o canales que contienen un ambiente adecuado. Los principales beneficios de mantener los niveles de agua subterránea son prevenir mosquitos y olores, además, eliminar el riesgo de exposición a aguas residuales parcialmente tratadas.

Los componentes de un humedal subsuperficial se dividen en cuatro:

- Estanque o canal de almacenamiento
- Material filtrante
- Plantas acuáticas
- Estructuras de entrada y salida

Los parámetros de diseño son los siguientes:

$$As = \frac{Qf * (ln\frac{Co}{Ce})}{Kt * h * n}$$

Ecuación 16. Área superficial del humedal artificial

Donde:

As = área de superficie del humedal artificial (m^2)

Qf= flujo de entrada (m^3/día)

Ce= Concentración final de DBO5 (mg/L)

Co = Concentración inicial de DBO5 (mg/L)

n=porosidad del medio granular (%)

h= profundidad promedio del agua en el humedal artificial (m)

Kt = Constante cinética (días-1)

Por lo general, h va desde 0.5-0.6 metros

Para poder obtener Kt se utiliza la siguiente ecuación:

$$Kv, t = Kv, 20 * \theta^{T-20}$$

Donde:

Kt = constante cinética (días -1)

K20 = constante cinética corregida a 20 °C

T2= Temperatura del agua (° C)

$$B = (\frac{Qf * A}{Ks * dh * Dm})^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 17. Ancho del humedal

B: Ancho teórico del humedal (m)

Ks: Conductividad hidráulica (m^3 /m^2 *d)

dh: Pérdida de carga (m)

Se asumió el valor de pérdida de carga basándose en la ecuación 16.

Para conocer la conductividad hidráulica se muestran los diferentes valores según el material en la siguiente tabla:

Tabla 5. Valores estimados de la conductividad hidráulica

Material	Porosidad total (%)	Conductividad hidráulica (m^3 /m^2 *d)
Grava Fina	38	1000
Arena gravosa	35	500

Fuente: (Sanders,1998)

La zona de tratamiento del humedal artificial consta de dos zonas;

- Zona 1 o área inicial de tratamiento; para calcular el área se multiplica por 0.3
- Zona 2 o área final de tratamiento; para calcular el área se multiplica por 0.7

Para poder obtener la longitud total del humedal se debe sumar la longitud de la zona 1 y 2.

$$Li = \frac{As}{B}$$

Ecuación 18. Longitud inicial y final del humedal (m)

Donde:

As: área de superficie (m^2)

B: Ancho teórico (m)

Se debe calcular la pérdida de carga tanto de la longitud inicial como la final

$$dh = \frac{Qf * Li}{Ks * B * h}$$

Ecuación 19. Pérdida de carga (m)

$$Lt = Li + Lf$$

Ecuación 20. Longitud total del humedal (m)

$$V = As * h$$

Ecuación 21. Volumen del medio filtrante

La plantas que se van a utilizar para el humedal son plantas macrófitos, los macrófitos son un tipo de planta acuática que se pueden encontrar flotando o adheridos al fondo del humedal. Estas plantas limpian el agua indirectamente, porque son las bacterias microbianas que se acumulan en sus raíces las que realmente limpian el agua.

2.6 Presupuesto Económico

Se especifican los materiales principales para implementar en el sistema, tomando en cuenta que sea económico sin dejar atrás la calidad y eficiencia del sistema. Dependiendo del diseño y planos de cada una de las operaciones unitarias se escoge los materiales a utilizar.

2.6.1 Trampa de grasa

- Tubos PVC: son los más económicos y utilizados en el comercio.
- Arena y piedra
- Cemento

2.6.2 Tanque séptico

Según la Norma y especificaciones generales de construcción los materiales que se usó no son susceptibles a sufrir algún tipo de corrosión o deterioro de la misma tales como;

- Concreto
- Barro
- Bloques pesados de concreto

2.6.3 FAFA

- Grava: es un material de relleno, se utiliza debido a su bajo costo y fácil adquisición
- Rosetón: es un medio filtrante tradicional fabricado en polipropileno que ha demostrado que se puede aumentar la eficiencia de distribución de flujo teniendo una carga orgánica y concentración de sólidos alta.

2.6.4 Humedal Artificial

- Grava y arena
- Geomembrana de PVC

2.7 Socialización con la comunidad de San Sebastián

Para dar a conocer el proyecto, se realizó una exposición a todos los moradores del sector para que puedan observar los beneficios del mismo, al GAD se le entregará ficha nemotécnica para su posterior implementación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización

Para conocer los parámetros que se deberá tratar se realizó una tabla comparativa con el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA, 2015), Tabla 10 del anexo VI: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, presentadas en la Tabla 6.

Tabla 6. Comparación entre la concentración de la caracterización y TULSMA

	Contaminantes	Concentración	TULSMA	Unidades
FÍSICOS	Sólidos totales	765.65	1600	mg/l
	Sólidos suspendidos totales	173.5	130	mg/l
QUÍMICOS	DQO	403.5	200	mgO_2 /l
	DBO_5	182.5	100	mg/l
	Nitrógeno Total	23.6	50,0	mg/l
	Nitrógeno amoniacal	14.25	30,0	mg/l
	Fósforo total	7.5	10,0	mg/l
	Fosfatos PO_4^{-3}	38.9	--	mg/l
	Aceites y grasas	336.8	30,0	mg/l
	Tensoactivos	1.4975	0.5	mg/l
BIOLÓGICOS	Coliformes Fecales	$1,5x10^5$	2000	NMP/100 ml

Se observa que existen parámetros que exceden de los valores permisibles que se indica en el TULSMA (2015), por lo tanto, son los componentes que deben ser tratados. Gracias a esta comparación se pudo escoger las operaciones unitarias correctas para un buen sistema de tratamiento en la comunidad de San Sebastián.

3.2 Diagrama de flujo

La planta N°1 se va a ubicar en la entrada de la Comunidad San Sebastián y la planta N° 2 se ubica en la zona central de la comunidad, se muestra tanto en la figura 2 como en la figura 3 el diagrama de flujo de las operaciones unitarias escogidas para poder eliminar los contaminantes que no cumplen normativa que se mostró anteriormente en el sistema de tratamiento. Dentro de los dos sistemas no se considera opciones de tratamiento de lodos ya que no se espera generar, en caso de generación de lodos dentro de los humedales, el

lodo se va a deshidratar de forma natural y dará por resultado un lodo estabilizado para que se pueda utilizar como en el compost.

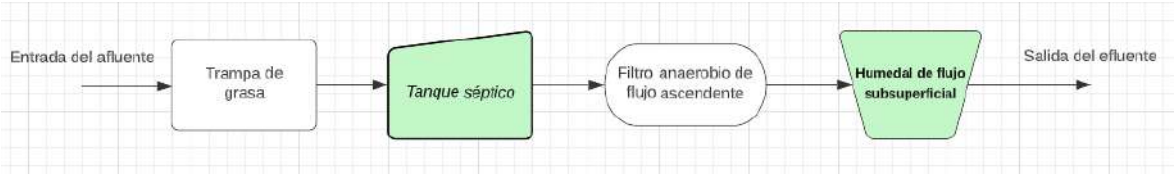

Figura 2. Diagrama Planta N° 1

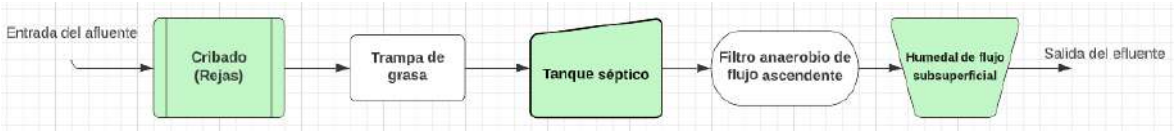

Figura 3. Diagrama Planta N° 2

3.3 Trampa de grasa

A continuación, se presenta los valores del dimensionamiento de la trampa de grasa en la tabla 7:

Tabla 7. Dimensionamiento de la trampa de grasa de la Planta N° 1

Parámetros	**Unidades**	**Valores**
Área superficial	m^2	0.20
Volumen	m^3	0.20
Largo	m	1
Ancho	m	0.5

Tabla 8. Dimensionamiento de la trampa de grasa de la Planta N° 2

Parámetros	**Unidades**	**Valores**
Área superficial	m^2	0.91
Volumen	m^3	0.41
Largo	m	1.35
Ancho	m	0.7

Para el cálculo de los valores para el dimensionamiento se utilizaron las ecuaciones detalladas en el capítulo 2. Los valores fueron ajustados a medidas construibles es decir se hizo un aproximado donde va a variar tanto largo y ancho, las medidas del tanque en la planta 1 y 2 se ajustó según el caudal que se espera generar dentro de las mismas, además cumple con los criterios de diseño para un trampa de grasa. No se tomó en cuenta la pendiente, ya que debe ser nivelada para que así no se genere gran cantidad de sedimento que se obtiene al momento que las grasas y aceites se precipitan.

3.4 Tanque séptico

Las dimensiones que se obtuvo para el tanque séptico de la Planta N° 1 se muestran en la tabla 9:

Tabla 9. Dimensionamiento de Tanque Séptico Planta N°1

Parámetros	**Unidades**	**Valores**
Retención hidráulica	Días	6
Largo	m	6.20
Ancho	m	3.10
Volumen		
Sedimentación	m^3	3.70
Digestión y almacenamiento de lodos	m^3	14.7
Natas	m^3	0.7
Total	m^3	19.14
Profundidad		
Sedimentación	m	2.25
Digestión y almacenamiento de lodos	m	2.20
Natas	m	0.7
Seguridad	m	0.3
Total	m	4.9

Las dimensiones que se obtuvo para el tanque séptico de la Planta N° 2 se muestran en la tabla 10:

Tabla 10. Dimensionamiento del tanque séptico de la Planta N° 2

Parámetros	**Unidades**	**Valores**
Retención hidráulica	Días	7
Largo	m	9.30
Ancho	m	4.60
Volumen		
Sedimentación	m^3	8.40
Digestión y almacenamiento de lodos	m^3	28.4
Natas	m^3	0.7
Total	m^3	37.50
Profundidad		
Sedimentación	m^2	1.4
Digestión y almacenamiento de lodos	m^2	0.9
Natas	m^2	0.05
Total	m^2	3.5

Para las dimensiones internas del tanque séptico, tanto para la planta 1 como para la planta 2, se tomó como base las especificaciones técnicas de construcción de la OPS (2005). El tanque se encuentra divido en zonas por lo cual en el techo está construido con losas que son removibles y tapas (tapas) de 150 mm. El nivel de la tubería de salida se debe encontrar debajo de la tubería de entrada a 0.05m. Donde se tuvo que realizar un reajuste de valores para cumplir los criterios de diseño.

3.5 Filtro Anaerobio de flujo Ascendente

Para la construcción del filtro anaerobio se debe regir a los criterios de diseño que se encuentra en la Comisión Nacional del agua (2017), se toma en cuenta que el caudal es menor a 5 l/s.

Tabla 11. Criterios de diseño del FAFA de la Planta N° 1

Parámetro	**Unidades**	**Valores**
Tiempo de residencia Hidráulica	horas	6
Carga orgánica Volumétrica	kg DBO/m^3 *d	0.5
Carga hidráulica superficial	m^3/m^2*d	6
Remoción	%	64.48
Concentración de DBO en el efluente	mg DBO/L	44.88
Altura del medio de soporte	m	0.8

Se encuentran dentro del rango de valores para parámetros de diseño de un FAFA según Chernicharo de Lemos (2007); por lo que se observó tiene un porcentaje de remoción alto de 64.48%. Se presenta el dimensionamiento que se obtuvo del FAFA de la planta N° 1.

Tabla 12. Dimensionamiento del Filtro Anaerobio de flujo Ascendente

Parámetros	**Unidades**	**Valores**
Filtro		
Volumen	m^3	407.50
Área	m^2	254.70
Altura	m	1.6
Diámetro	m	18
Medio Filtrante		
Volumen	m^3	203.70

Las dimensiones que se obtuvo para el FAFA en la planta N° 2 se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 13. Criterios de diseño del FAFA de la Planta N° 2

Parámetro	**Unidades**	**Valores**
Tiempo de residencia Hidráulica	horas	8
Carga orgánica Volumétrica	kg DBO/m^3 *d	0.5
Carga hidráulica superficial	m^3/m^2*d	6
Remoción	%	69.24%
Concentración de DBO esperada en el efluente	mg DBO/L	39.3%
Altura del medio de soporte	m	0.8

Tabla 14. Dimensionamiento del FAFA Planta N° 2

Parámetros	**Unidades**	**Valores**
Filtro		
Volumen	m^3	595
Área	m^2	372
Altura	m	1.6
Diámetro	m	21.70
Medio Filtrante		
Volumen	m^3	297.7

3.6 Humedales de flujo subsuperficial

Para el humedal se tomaron en cuenta dos zonas tanto inicial como la final, por lo que se realizó los cálculos debidos para las dos zonas que se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15. Valores de la zona inicial y final de la Planta N° 1

Parámetros	**Unidades**	**Valores**
Constante K		
Temperatura 15°C	$Días^{-1}$	0.82
Temperatura 22°C	$Días^{-1}$	1.24
Longitud del humedal	m	13
Ancho del humedal	m	6

Continuación **Tabla 15.** Valores de la zona inicial y final de la Planta N° 1

Profundidad de la zona de entrada	m	0.6
Profundidad de la zona de salida	m	0.6
Profundidad del medio filtrante	m	0.7
Volumen del medio filtrante	m^3	81.20
Número de plantas macrófitas	Plantas	20
Zona Inicial		
Área	m^2	41.50
Longitud	m	0.35
Pérdida de carga	m	0.05
Zona Final		
Área	m^2	96.70
Longitud	m	0.80
Pérdida de carga	m	0.12

Para el cálculo de la constante K y el área superficial se tomó en cuenta el valor de la temperatura tanto en época de invierno como de verano. En la zona predomina el invierno con una temperatura de 15 °C, sin embargo, se calculó para los dos valores. Se escogió el área superficial que posea condiciones menos favorables, debido a que su valor es el mayor y cumple con las condiciones de solventar el área necesaria.

Tabla 16. Valores de la zona inicial y final de la Planta N° 2

Parámetros	**Unidades**	**Valores**
Constante K		
Temperatura 15°C	$Días^{-1}$	0.82
Temperatura 22°C	$Días^{-1}$	1.24
Longitud del humedal	m	20
Ancho del humedal	m	10
Profundidad de la zona de entrada	m	0.7

Continuación **Tabla 16.** Valores de la zona inicial y final de la Planta N° 2

Profundidad de la zona de salida	m	0.7
Profundidad del medio filtrante	m	0.75
Volumen del medio filtrante	m^3	150.30
Numero de plantas macrófitas	Plantas	32
Zona Inicial		
Área	m^2	76.70
Longitud	m	0.30
Perdida de carga	m	0.05
Zona Final		
Área	m^2	179
Longitud	m	0.80
Perdida de carga	m	0.12

3.7 Eficiencia de remoción de cada operación unitaria

En las tablas 17 y 18, se muestra la eficiencia de remoción de cada operación unitaria para las dos plantas de tratamiento. Con esto se puede analizar qué tan bueno es el sistema para cumplir su objetivo de remoción de contaminantes.

Tabla 17. Planta N° 1

Operación Unitaria	**Valor**	**Unidad**
Trampa de grasa	83	%
Tanque séptico		
Sólidos suspendidos Totales	42	%
DBO_5	30	%
FAFA	64.48	%
Humedal artificial	80	%

Para la planta N°1 se logró una eficiencia total promedio del 60%

Tabla 18. Planta N° 2

Operación Unitaria	Valor	Unidad
Trampa de grasa	87	%
Tanque séptico		
Sólidos suspendidos Totales	42	%
DBO_5	30	%
FAFA	69.24	%
Humedal artificial	78.3	%

Para la planta N° 2 se consiguió una eficiencia total promedio del 61.31%

Para poder obtener el valor de la eficiencia de la planta N° 1, los valores de las concentraciones son diferentes a los de la planta N° 2 ya que el caudal es diferente.

Como se tiene alta concentración de grasas y aceites en el afluente, se puede observar que en la trampa de grasa tiene un porcentaje de remoción de 85%, sin embargo, no se remueve por completo la concentración de aceites y grasas por lo que en las posteriores operaciones unitaria se removerá hasta cumplir con la normativa.

Según Sánchez (2018) la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales varía de 42%-68% y para DBO varía de 30-86%, en este caso se escogió la variable más baja tanto para SST y DBO para poder continuar a la siguiente operación unitaria

A simple vista se observa en el FAFA que la concentración de DBO del efluente ya cumple con la normativa y no sería necesario el humedal artificial, sin embargo, se tiene otros contaminantes con alta concentración que otras operaciones unitarias no remueven con la eficiencia requerida para cumplir la normativa, como son los aceites y grasas que presentan un valor de concentración elevado. En cuanto al FAFA, además de presentar una remoción de materia orgánica (como se observa en el tema de la DBO) también se eliminarán patógenos que están también fuera de normativa y no deberían pasar a la siguiente operación unitaria.

Dentro del humedal se tiene una eficiencia de 78.3% y con lo cual se cumpliría la normativa (TULSMA) con todos los contaminantes que se tenía fuera del límite permisible y así será posible descargar el agua residual sin ningún problema al cuerpo hídrico. Adicionalmente, esta operación unitaria tiene un impacto sobre la contaminación paisajística.

3.8 Presupuesto

Para sacar un presupuesto aproximado se tomaron en cuenta los precios de materiales de tiendas comerciales que se utilizaran en el sistema. En cuanto a la mano de obra se tomó valores promedios de Cámara de la Industria de la Construcción de Quito (CAMICON). En la tabla 19 se muestra el precio unitario para poder obtener un total aproximado.

Tabla 19. Presupuesto planta de tratamiento

Operaciones unitarias	Precio Total
Trampa de grasa	175,72 $
Tanque séptico	5997,67$
FAFA	121186,98$
Humedal Artificial	16921$

Los valores calculados incluyen la mano de obra, el valor total aproximado de todo el sistema es de 144281,37 $ de las dos plantas de tratamiento, En los anexos se detalla como se obtuvo el presupuesto de cada una de las plantas como son valores aproximados en caso de requerir más materiales el presupuesto por ende aumentará.

3.9 Socialización

Se convocó a la comunidad a una reunión en el coliseo de la comunidad de San Sebastián en el mes de febrero 2023, donde a través de una presentación se dio a conocer el proyecto en general donde se explicó a la gente los beneficios que se obtendrá al momento de implementarlo en un futuro, se entregó la ficha mnemotécnica al GAD de la parroquia para que lo puedan analizar. Para poder verificar los cálculos del dimensionamiento de la planta de tratamiento como los planos de la misma se puede ingresar al enlace:

https://epnecuador-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/jennifer_jimenez_epn_edu_ec/Eg__Xw9M8cxEurv1ff8Cw0wBi4O5FGd3SJ4rU0if5AOKIA?e=cHitD1

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- De los resultados obtenidos de la caracterización del agua residual similar en zonas rurales se puede decir que la carga contaminante excede en cuanto a los límites permisibles que se encuentran establecidos en el TULSMA. Se evidenció que los parámetros más críticos de esta caracterización fueron DQO, DBO, aceites y grasas, tensoactivos y sólidos suspendidos.
- Para obtener y garantizar un grado aceptable de depuración, cada operación unitaria fue diseñada de acuerdo con los criterios que se encuentran en normas y guías para diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas.
- Los valores del presupuesto son aproximados ya que no se tiene conocimiento de la cantidad exacta de los materiales a emplear en el sistema, se calculó con los materiales principales, por lo cual, el costo del sistema completo va a variar. Es posible que éste represente un menor o mayor costo de inversión.
- El FAFA fue utilizado como tratamiento biológico, ya que necesitan un tratamiento posterior para así poder remover en su totalidad sólidos, materia orgánica, nutrientes y microorganismos patógenos, por lo cual se utilizó humedales artificiales y así se replicó el sistema del barrio Tandayapa que ha tenido resultados muy favorables en la remoción de DBO y DQO.
- Se escogió el sistema de humedal por dos razones: la primera porque no produce biosólidos o lodos residuales lo que implicaría tratamiento subsiguiente y disposición final de las mismas, también por su bajo costo de construcción, operación y mantenimiento ya que el fin del proyecto es que sea relativamente económico. La razón más importante es que es posible asegurar que el agua que será descargada a los cuerpos hídricos receptores no causará problemas y cumplirá con la normativa.

4.2. Recomendaciones

- En caso de reutilizar el agua tratada para opciones de riego se debe realizar una caracterización previa para poder verificar que el agua sea apta para la misma.
- Se recomienda al GAD parroquial que analice la memoria técnica para poder implementarlo y de ser necesario ser replanteado para el beneficio de la comunidad.
- En el sistema se espera no generar lodos, sin embargo, en caso de que se genere algún tipo de material se recomienda realizar estudios a los subproductos que se generan en el filtro anaerobio y tanque séptico, ya que contienen nutrientes los cuales pueden ser reaprovechados. De igual manera debe ser manipulado por personal con experiencia, ya que los lodos no son estables y pueden generar problemas en la salud a las personas que hagan una incorrecta manipulación de los mismos.
- Se debe podar las plantas macrófitas del humedal artificial siguiendo el ciclo de crecimiento de las mismas, retirando las plantas que ya se encuentren marchitas o en mal estado.
- Al momento de implementar la planta se deberán actualizar las concentraciones de la caracterización del agua residual para así poder verificar que no exista algún aumento en los valores utilizados.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cabezas, V., (2015, November) Evaluación de la calidad del agua del río Ushimana en el área de influencia de la parroquia Alangasí y propuesta del plan de gestión de las descargas contaminantes de la zona de estudio, Escuela Politécnica Nacional file:///C:/Users/USER/Downloads/CD-6586.pdf

Cairo, S., A., (2015-2019). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial parroquia nanegalito https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1768121170001_PDOT%20APROBADO%20GAD%20NANEGALITO%202015-2019_30-10-2015_23-59-09.pdf

Código Ecuatoriano de la Construcción, (1997) Código de practica para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural, Primera Edición, INEN 5 https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen_5-parte9.2-1.pdf

Comisión Nacional del agua (2019) Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Introducción al Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Libro 25. https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro25.pdf

Comisión Nacional del agua (2019) Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente, Libro 29, https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%202015.%20Manual%20Filtros%20anaerobios%20de%20flujo%20ascendente.pdf

Galarza, A., (2019) Diseño y construcción de un filtro separador de grasas y eliminador de impurezas para la lavadora comercial de autos lubricar con una capacidad máxima de 15 metros cúbicos mensuales en la provincia de Tungurahua, cantón Ambato, Universidad Técnica de Ambato https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/29866/1/Tesis%20I.%20M.%20529%20-%20Galarza%20P%C3%A9rez%20Alberto%20Javier.pdf

García, J., (2018, January) Propuesta metodológica de indicadores de evaluación de sustentabilidad de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas orientados al sector rural. Escuela Politécnica Nacional https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19075/1/CD-8476.pdf

García, M., Pérez, J (2017) Aguas residuales composición. https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf

Herbert, K. (2010a) Tratamiento de aguas residuales. BELZONA https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_map.pdf

Lecca, E., Lizama, E., (2014, April 03) Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno file:///C:/Users/USER/Downloads/Dialnet-CaracterizacionDeLasAguasResidualesYLaDemandaBioqu-8635432.pdf

LLumiquinga, K., (2018, March) Diseño de un sistema de tratamiento y recirculación del agua residual generada en la lubricadora job. Escuela Politécnica Nacional https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19474/1/CD-8871.pdf

Metcalf & Eddy (2004). Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización.

MUÑOS Y ALDÁS (2017). Sistemas de depuración de aguas residuales

OPS, & CEPIS. (2005) Especificaciones técnicas para el diseño de trampa de grasa. UNIDAD DE APOYO TÉCNICO PARA EL SANEAMIENTO BÁSICO DEL ÁREA RURAL, 6-11

OPS, & CEPIS. (2005) Especificaciones técnicas para la construcción de tanque séptico, tanque Imhoff y laguna de estabilización, UNIDAD DE APOYO TÉCNICO PARA EL SANEAMIENTO BÁSICO DEL ÁREA RURAL, 6-14.

Osorio, M., (2021, March 01) La calidad de las aguas residuales domésticas, Vol. Seis POLO DEL CONOCIMIENTO 228-245 file:///C:/Users/USER/Downloads/Dialnet-LaCalidadDeLasAguasResidualesDomesticas-7926905%20(2).pdf

Prieto, A., Velásquez, V., (2018) Diseño, construcción y evaluación de un reactor de filtro anaerobio de flujo ascendente (fafa) a nivel de laboratorio para el tratamiento de agua residual doméstica, file:///C:/Users/USER/Downloads/IQprpaa.pdf

Sánchez, J., Román, S., (2020, July) Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales Industriales para una empresa Empacadora y Exportadora de Camarón en la ciudad de Guayaquil. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19149/4/UPS-GT002985.pdf

Sánchez, S., (2018, November) Evaluación de optimizaciones de sistemas individuales de tratamiento de aguas residuales.

https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10296/Evaluaci%C3%B3n%20de%20optimizaciones%20de%20sistemas%20individuales_tratamiento_aguas_residuales.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Los%20resultados%20mostraron%20que%20los,%25%20DBO%20y%2088%25%20SST

TULSMA. (2015). TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE. https://maeorellana.files.wordpress.com/2015/11/anexo-1-agua.pdf

Valencia, A., (2013) Diseño de un Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales de la cabecera parroquial de San Luis- Provincia de Chimborazo. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/3118/1/236T0084.pdf

Valle, P. (2016, July) Evaluación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el agua residual doméstica de la ciudad de Quito. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13727/1/UPS%20-%20ST002819.pdf

6. Anexos

Anexo I Certificado de originalidad Turnitin porcentaje máximo 12%

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS
CAMPUS POLITÉCNICO "ING. JOSÉ RUBÉN ORELLANA"

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

Quito, 28 de Febrero de 2023

De mi consideración:

Yo, Santiago Stalin Guerra Salcedo, en calidad de Director del Trabajo de Integración Curricular titulado "Diseño del sistema de tratamiento" asociado al proyecto "Diseño de un sistema comunitario de recolección y tratamiento de aguas residuales domésticas en el barrio San Sebastián, Parroquia Nanegalito" elaborado por la estudiante Jennifer Estefania Jiménez Artieda de la carrera en RRA20 Tecnología Superior en Agua y Saneamiento Ambiental, certifico que he empleado la herramienta Turnitin para la revisión de originalidad del documento escrito secciones: resumen, abstract, introducción, metodología, discusión y resultados, conclusiones y recomendaciones, producto del Trabajo de Integración Curricular indicado.

El documento escrito tiene un índice de similitud del 9%.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, pudiendo el interesado hacer uso del presente documento para los trámites de titulación.

NOTA: Se adjunta el informe generado por la herramienta Turnitin.

Atentamente,

SANTIAGO STALIN
GUERRA SALCEDO

Santiago Guerra Salcedo
Docente
ESFOT

Anexo II Porcentaje Turnitin

TESIS

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%	8%	1%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uisek.edu.ec Fuente de Internet	1%
2	dspace.espoch.edu.ec Fuente de Internet	1%
3	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	1%
4	dialnet.unirioja.es Fuente de Internet	<1%
5	topodata.com Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1%
7	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante	<1%
9	Submitted to Universidad Internacional de la Rioja	<1%

Anexo III Comunidad de San Sebastián

Anexo IV. Planos operaciones unitarias de la planta de tratamiento N°1

https://epnecuador-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/jennifer_jimenez_epn_edu_ec/Eouhz5xfv15Hgt_i09pNru4BGUXKkWj9xbbS4sjwzjR9eQ?e=sPCGqm

Anexo V. Planos operaciones unitarias de la planta de tratamiento N° 2

https://epnecuador-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/jennifer_jimenez_epn_edu_ec/ErWb_MJfYrhMtYYBEAsRxn8BYO-BVrhUPHOMcYBY2hLsKQ?e=5qqFhO

Anexo VI. Informe Técnico

https://epnecuador-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/jennifer_jimenez_epn_edu_ec/Et-hRoANxOdJvePjNQtrwzgB6fENXycxnpDKMuZ8okZ_1g?e=EEbhgR