



**DISEÑO DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA
LA QUEBRADA YAYATA, EN EL MUNICIPIO DE SILVANIA,
COLOMBIA**

Nazly Valentina Ramírez Martínez

**Programa de Ingeniería Ambiental
Faculta de ingeniería Ambiental y Civil
Universidad Antonio Nariño
Bogotá D.C.
2023**

**DISEÑO DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA LA
QUEBRADA YAYATA, EN EL MUNICIPIO DE SILVANIA,
COLOMBIA**

Nazly Valentina Ramirez Martinez

**Documento presentado como requisito para optar por el título de
Ingeniero Ambiental**

**Director:
Ph.D. Didier Camilo Sierra Flórez**

**Programa de Ingeniería Ambiental
Faculta de ingeniería Ambiental y Civil
Universidad Antonio Nariño
Bogotá D.C.
2023**

Tabla de Contenido

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
INTRODUCCIÓN	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
ESTADO DEL ARTE	7
Sistemas considerados	7
Introducción del diseño de un Pozo Séptico:	7
Diseño del pozo Séptico:	7
Requerimientos:	7
Introducción del diseño de un Humedal Artificial:.....	8
Diseño del Humedal Artificial:.....	8
Requerimientos:	8
Introducción del diseño de un FAFA.....	8
Diseño del FAFA.....	9
Requerimiento del Filtro del FAFA	10
MARCOS REFERENCIAS	11
Generalidades del municipio de silvania	11
Hidrografía	11
Subcuenca del río Subia	11
Vertimiento quebrada Yayata.....	12
Localización de la Quebrada Yayata	12
Agua para consumo humano	13
Contaminantes en la microcuenca Yayata.....	14
Vertimientos que afectan en la microcuenca Yayata	14
Vertimientos de Aguas Residuales Domésticas	14
Vertimientos de Aguas Residuales Actividad agropecuaria.....	14
Marco Legal	14
OBJETIVOS	16
GENERAL.....	16
ESPECÍFICOS.....	16
METODOLOGÍA	16
FASE 1	17
FASE 2	18
FASE 3	19

RESULTADOS	19
RECOLECTAR DATOS O INFORMACIÓN	19
RESULTADOS DE LA TABLA COMPARATIVA.....	20
RESULTADOS DEL MANUAL DE CÁLCULOS.....	22
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	29
Memoria de cálculos para el F.A.F.A.....	29
Caudal de aguas servidas domésticas (QD)	29
Cálculo del Volumen F.A.F.A.....	31
Relación de largo y Ancho interior del Tanque (L, A).....	32
Tirante menor	32
HLF =Grosor del lecho filtrante de plástico (m)	32
Área del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente	33
Área del Filtro Real Anaerobio	33
Tiempo de Retención Hidráulica.....	34
Velocidad Ascendente del Flujo en el Reactor	34
Volumen del filtro total del sistema	35
Volumen del filtro efectivo del sistema 1 ,2	35
Volumen del filtro efectivo del sistema 3	35
El volumen total del lecho	36
Peso del lecho filtrante del sistema	36
Velocidad ascendente en el lecho	37
Variación de presión en el lecho de filtración	37
Falso Fondo del Sistema Anaerobio de Flujo Ascendente.....	38
Superficie total de los orificios del lecho falso	38
Diferencia de presión en el falso fondo	38
Carga Hidráulica Aplicada	39
Densidad de materia orgánica por unidad de volumen (COV).....	39
COA Aplicada (Kg/d) DQO Total.....	40
Tiempo de detención en el lecho.....	40
Tiempo de retención hidráulica en el lecho falso.....	40
Capacidad de eliminación de la DQO total	41
DATOS TÉCNICOS RELLENO BIOPACK.....	41
DISCUSIÓN.....	42
CONCLUSIONES.....	44
CONTRIBUCIONES Y RECOMENDACIONES	45
REFERENCIAS	46

Tabla de Figuras

Localización de quebrada Yayata, Sylvania- Google earth	16
Diagrama de flujo de la metodología del sistema.....	20
Diseño en perfil del FAFA	30
Dimensionamiento de planta en corte del FAFA	31
Presentación del sistema de tratamiento FAFA.....	46
Socialización del sistema de tratamiento FAFA.....	46

Tabla de Tablas

Exigencias del lecho filtrante en los sistemas anaerobios.....	14
Normatividad legal en Colombia	19
Sistemas de tratamiento de agua residual.....	24
Datos permisibles para el tratamiento de agua residual.....	25
Dimensionamiento del diseño.....	26
Balance de carga	29
E.7.1 Título E RAS 2000.....	32
RAS D 3.1 Índice de retorno de aguas residuales domésticas	33
RAS D 3.1 Dotación por habitante según el nivel de complejidad del sistema.....	33
RAS E 7.2 Tiempo de retención.....	34
Datos del relleno de biopack.....	44

Tratamiento de agua residual doméstica

(Tratamiento de agua en reactores anaerobios FAFA, ofrece ventajas sobre métodos con eficiencias de remoción de DQO y SST superiores al 60% y 50%.)

DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT. (Water treatment in FAFA anaerobic reactors offers advantages over methods with COD and TSS removal efficiencies greater than 60% and 50%.)

Ramirez Martinez Nazly Valentina¹; Sierra Florez, Didier Camilo²;

¹ Universidad Antonio Nariño, Colombia, nramirez49@uan.edu.co

² Universidad Antonio Nariño, Colombia, dsierra23@uan.edu.co

RESUMEN

El proyecto consiste en el diseño de un sistema de tratamiento de agua residual en el afluente de Yayata, donde los representantes de los acueductos mencionan que las zonas rurales del municipio de Silvania, Colombia. no cuenta con un buen servicio de calidad en el agua, Un factor principal sería los vertimientos de agua residual y para ello se realizó una investigación de un sistema de tratamiento de aguas residuales donde se busca diseñar un método apropiado en relación con la problemática de la quebrada, se hizo una comparativa en procesos de tratamiento evidenciando las diferencias, componentes, cualidades, desventajas y costos, como la zona de estudio donde se implementará el diseño. De Acuerdo a lo anterior se determinó la elaboración de un F.A.F.A (Filtro Anaerobio de flujo ascendente) como metodología de trabajo.

Palabras claves: Vertimientos de agua residual, Sistema de tratamiento, residuales domésticas, Zona de estudio, Diseño

ABSTRACT

The project consists of the design of a wastewater treatment system in the Yayata tributary, where the community mentions the rural areas of the municipality of Silvania, Colombia. A main factor would be the wastewater discharges and for this purpose an investigation of a wastewater treatment system was carried out in order to design an appropriate method in relation to the problems of the creek, a comparative was made in treatment processes evidencing the differences, components, qualities, disadvantages and costs, as the study area where the design will be implemented. According to the above, the elaboration of an A.A.F.F.F. (Anaerobic Upflow Filter) was determined as a working methodology..

Key words: Wastewater discharges, Treatment system, domestic waste, Study area, Design

INTRODUCCIÓN

La ineficiencia de un adecuado sistema de saneamiento para las personas ha sido un problema y esto se debe a la falta de planificación del territorio, también a la necesidad de afrontar este crecimiento desmedido en asentamientos urbanos que carecen de conexiones a los sistemas municipales de alcantarillado, teniendo en cuenta que las comunidades que descarguen aguas no tratadas o aguas negras lleguen directamente a los vertimientos aledaños (Salazar, 2015). provocando que se filtren sustancias contaminantes las cuales contienen varios contaminantes que modifican las propiedades tanto físicas, químicas y biológicas. Ya sea de procedencia agronómica, industrial, doméstica, ganadera y demás. Creando problemáticas ambientales y al recurso hídrico.

Esto ha llevado al deterioro de cuerpos de agua y ecosistemas de relevancia ambiental debido a la carga significativa de contaminantes que llegan a ellos, consecuencia del crecimiento demográfico del país. La escasez de conocimiento y el apoyo insuficiente para la construcción e implementación de sistemas de saneamiento representan algunos de los principales obstáculos para el avance de estos procesos. Aunque en muchas partes del mundo la gestión de los desechos líquidos domésticos no representa un desafío significativo, ya que durante décadas se han implementado sistemas de saneamiento tanto en áreas urbanas como rurales, en el contexto de Colombia todavía se evidencia como un obstáculo para el progreso integral de las comunidades (DIAZ,2020).

Que además, los desechos líquidos de origen doméstico se originan como resultado de las actividades diarias de las personas. A medida que la humanidad toma conciencia de los riesgos que esto conlleva para la salud humana y el entorno natural.

Dado que es una zona rural alejada, la edificación de una instalación de tratamiento de aguas residuales (PTAR) resultaría en un gasto de construcción excesivamente alto. Por lo tanto, se busca adoptar enfoques más rentables. Dialogando con los pobladores no se cuenta con una red de conducción es decir un punto donde termina el agua residual en la Vereda Yayata, en Silvania, llevando a cabo los procedimientos que se realicen de manera centralizada o independiente siendo así creado para unifamiliares y multifamiliares evidenciando. Una respuesta concreta a la carencia de servicios de calidad en las zonas rurales de Silvania. Para abordar esta cuestión de manera integral, se llevó a cabo un diseño de sistema de tratamiento de aguas residuales adaptado específicamente a las necesidades y particularidades del vertimiento en cuestión.

La clave de este proyecto radica en la meticulosa comparativa de diversos procesos de tratamiento, resaltando sus diferencias, cualidades y desventajas, además de analizar los aspectos económicos y la zona de estudio. Como resultado de esta evaluación rigurosa, se determinó que la solución óptima es el diseño de un "Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente" (F.A.F.A). Según (Giraldo,1993) En las últimas décadas, una de las tecnologías emergentes en el ámbito de la depuración de aguas residuales que ha experimentado un significativo avance es la aplicación de procesos biológicos en condiciones anaeróbicas.

Este informe detalla no solo el proceso de investigación y selección de esta tecnología innovadora, sino también los pasos subsiguientes para su implementación, considerando las necesidades de la comunidad y el compromiso con la conservación del medio ambiente. Guiando así por repositorios, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable Saneamiento Básico (RAS) y otra serie de documentos como artículos, en un discurso con la comunidad sobre el planteamiento a la problemática.

Esto implica una precisa descripción de las aguas usadas, la utilización de enfoques apropiados para el manejo de estas aguas, el acatamiento de todas las regulaciones legales y la evaluación de

las posibles implicaciones para la calidad del suelo que resulten de ello. Este proyecto presenta una síntesis teórica en el contexto colombiano.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Quebrada Yayata es un afluente ubicado en el municipio de Silvania, Cundinamarca, Colombia. Se destaca como una de las principales fuentes de abastecimiento hídrico para las comunidades cercanas. Donde su cuenca hidrográfica cubre una extensión de aproximadamente 21 km². El municipio de Silvania, Colombia, ubicado en la provincia de Sumapaz, a 44 kilómetros de Bogotá. Se compone de 13 Veredas que se dividen en comités sectoriales de acción pública representados por líderes comunitarios y . que llegan a desembocar por los ríos Subía y Barro Blanco (Rincón, 2017,p3). El número total de residentes urbanos según el DANE en el 2023 es de 25,347 habitantes, para este proyecto nos enfocaremos en la zona rural de Silvania.

Hablando con los líderes de los acueductos, se ha expresado la preocupación sobre la incapacidad de las áreas rurales en el municipio de Silvania para proporcionar un servicio de agua esencial, fundamental para la vida humana., calidad y cantidad. Evidenciando que no es viable para el consumo de una persona, teniendo en cuenta que para el 2019 interviene a 1.424 personas, según la gobernación de Cundinamarca, con ello se aborda preocupaciones sobre el derecho fundamental de tener calidad de agua. Teniendo en cuenta que en la actualidad se cuenta con una población de 3.000 personas de acuerdo a los representantes de los acueductos.

Teniendo en cuenta por los representantes de los acueductos, se evidencia que el sistema de tratamiento de agua no cumple con los criterios establecidos en el decreto 1575 del 2007, Ley 186 de 1995 y el Decreto 1077 de 2015, teniendo así seis acueductos donde presentan deficiencias en el funcionamiento y así mismo tampoco se cuenta con un tratamiento de agua residual donde tendría gran relevancia en los criterios establecido en lo anterior mencionado en el cual lo regula la Ley 373 de 1997 como la Ley 186 de 1995. mencionado por el consejo municipal indica que solo se enfoca en los derechos básicos del 11.6% de recolección, transporte (Concejo Municipal de Silvania, Cundinamarca, 2020).

Lo que hay que definir es ¿Qué características y parámetros son viables para el diseño que se va a tener en cuenta como tratamiento de aguas residuales domésticas en el municipio de Silvania de la vereda Yayata?.

ESTADO DEL ARTE

Sistemas considerados

En la investigación se contemplaron 3 métodos comunes de tratamiento: el pozo séptico, un humedal artificial y un filtro anaerobio de flujo ascendente (F.A.F.A). Cada uno tiene características únicas en su metodología, diseño y requisitos, lo que los hace relevantes en el tratamiento.

Introducción del diseño de un Pozo Séptico:

El pozo séptico es un sistema básico y común en las zonas rurales de tratamiento de aguas residuales que separa los sólidos y líquidos mediante procesos de sedimentación y digestión anaeróbica. El diseño típico implica una cámara de sedimentación para la separación inicial de sólidos y líquidos, seguida por una cámara de digestión anaeróbica donde ocurre la descomposición de los desechos orgánicos. Posteriormente, el líquido tratado se filtra y se absorbe en el suelo (Rodríguez, 2009).

Diseño del pozo Séptico:

Requiere un tanque subterráneo con una cámara de sedimentación y una cámara de digestión. El diseño varía en tamaño según la capacidad necesaria de tratamiento (Rosales, 2012). Además, necesita una tubería de salida para el líquido tratado y un sistema de drenaje adecuado en el suelo.

Requerimientos:

Requiere una excavación adecuada para el tanque, materiales duraderos para su construcción y mantenimiento regular para eliminar los lodos acumulados y evitar obstrucciones en las tuberías (Rosales, 2012).

Introducción del diseño de un Humedal Artificial:

El humedal artificial es un sistema de tratamiento que simula las funciones de un humedal natural. Utiliza una serie de zonas con diferentes plantas y sustratos para filtrar y purificar las aguas residuales a medida que fluyen a través del sistema. Las áreas de raíces, aguas poco profundas y aguas más profundas ayudan en la depuración del agua (Condori,2021).

Diseño del Humedal Artificial:

Se compone de diferentes zonas con variedad de plantas y sustratos. El diseño varía según la selección de plantas, la disposición de las zonas y el flujo del agua.

Requerimientos:

Requiere una selección adecuada de plantas adaptadas al entorno, un suministro constante de agua y un sistema de drenaje eficiente para evitar estancamientos. Además, necesita supervisión para garantizar el funcionamiento óptimo de las plantas y el flujo adecuado del agua (Paredes,2014).

Este estudio, resalta sus aspectos clave para su implementación efectiva.

Introducción del diseño de un FAFA

El filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) es un sistema de tratamiento de aguas residuales que utiliza una biopelícula fija para eliminar compuestos orgánicos en ausencia de oxígeno. En naciones con climas moderados, se ha evidenciado su efectividad, especialmente cuando se integra con otros métodos de tratamiento biológico (Stanley, 1938).

Según (Camargo, 2001) indica que “Los métodos anaeróbicos El tratamiento de aguas residuales implica una serie de ventajas y desventajas, lo que requiere una planificación cuidadosa respaldada por una evaluación técnico-económica exhaustiva. Los procesos de biopelícula fija en ambientes anaeróbicos presentan una perspectiva atractiva para la mejora de la eficiencia energética, sin comprometer la efectividad de los procedimientos en ciertos contextos particulares, e incluso permiten la utilización del biogás.”

Diseño del FAFA

Los sistemas anaerobios de gran escala con lecho empacado en flujo ascendente tienen la configuración de tanques que pueden presentar tanto forma cilíndrica como rectangular, con diámetros que varían entre 2 y 8 metros y alturas en el rango de 3 a 13 metros. En estos sistemas, el material de carga puede llenar la totalidad de la altura del reactor o, en un diseño híbrido, ocupar solamente entre el 50 y el 70 por ciento de la altura disponible en el reactor (Barragan, 2021).

Los materiales de carga más comunes abarcan plástico corrugado dispuesto de manera transversal al flujo, módulos tubulares similares a los utilizados en procesos anaerobios empacados, y anillos de plástico. La superficie específica promedio del material de relleno se sitúa en torno a 100 m²/m³. Según las investigaciones, no se evidencian mejoras en el rendimiento a densidades de relleno superiores.

En el tratamiento de aguas residuales domésticas, se emplean módulos tubulares como material de carga, operando a una temperatura de 37 °C y cargas orgánicas volumétricas (COV) que fluctúan entre 0.2 y 0.7 kg/m³ d, con un tiempo de retención hidráulico (TRH) que varía entre 25 y 37 días.. Este proceso se lleva a cabo sin recirculación y logra eliminar entre el 90 y el 96 por ciento de (DQO) (Eddy, 2003).

- Falso fondo: Asegura que el agua se distribuya de manera eficiente y que el tratamiento sea efectivo en todas las áreas del sistema.
- Medios filtrantes: Estos pueden ser gravas, arenas o materiales plásticos porosos que proporcionan una superficie para que las bacterias anaeróbicas se adhieran y descomponen los contaminantes presentes en el agua.
- Proceso anaeróbico: El F.A.F.A se basa en un entorno sin oxígeno, lo que favorece el crecimiento de bacterias anaeróbicas. Estas bacterias descomponen materia orgánica y otros contaminantes presentes en el agua residual, convirtiéndolos en compuestos menos dañinos.

- Tiempo de retención: Es el tiempo que el agua residual permanece dentro del filtro, permitiendo que las bacterias realicen la descomposición de los contaminantes.
- Salida de efluente tratado: Después de pasar por el F.A.F.A, el agua residual tratada sale del sistema con una reducción significativa en la carga de contaminantes, lo que lo hace más seguro para ser reintroducido en el entorno o para usos específicos no potables.
- Cloración: genera la eliminación de bacterias, virus y microorganismos dañinos. Este método utiliza compuestos de cloro para erradicar patógenos, previniendo enfermedades transmitidas por el agua y manteniendo la calidad sanitaria del suministro.

Requerimiento del Filtro del FAFA

A continuación se presenta una tabla con los requerimientos del filtro del diseño a base del libro, como se evidencia en **Tabla 1**.

Requerimiento	Objetivo
Ser estructuralmente resistente	No presentar reacciones entre el medio filtrante y los microorganismos
Ser suficientemente ligero	Evitar estructuras pesadas, permitir la construcción de filtros relativamente altos, lo que implica una reducción de la superficie necesaria para la instalación
Tener gran área específica	Permitir que se reciban altas cantidades de sólidos biológicos
Tener una alta porosidad	Permitir un ara de libre, para la acumulacion de bacterias y reducir la posibilidad de atascamiento
Rápida colonización de microorganismos	Reducir la puesta en marcha del reactor
Presentar una superficie rugosa, carente de formas plantas	Asegurar la buena adherencia y alta porosidad

Tener un precio reducido	Hacer la técnica y también económicamente factible
--------------------------	--

Tabla 1 “Exigencias del lecho filtrante en los sistemas anaerobios”

Fuente: (Chernicharo de Lemos, 2007)

MARCOS REFERENCIAS

Generalidades del municipio de silvania

El municipio abarca una extensión total de 163 km², y su área urbana se encuentra a una altitud de 1,470 metros sobre el nivel del mar. Según el DANE en 2016, la población total del municipio era de 22,020 habitantes, con 6,304 en la ubicación urbana y 15,716 rural. Actualmente, se considera una población de 3,000 personas, según los representantes de los acueductos. El municipio tiene un enfoque predominantemente agrícola y ganadero, con un 18.7% de su territorio dedicado a la agricultura y un 39.6% a la ganadería. Sus principales cultivos son el café, la mora y el tomate de árbol (Municipio de Silvania, 2019).

Silvania se divide en dos regiones: la localidad urbana y rural. La localidad urbana comprende tres áreas: el área central, la sección de condominios y la Oficina Departamental de Policía en Subía. La región rural está conformada por trece (13) aldeas y dos Oficinas Municipales de Policía en Agua Bonita y Subía.

Hidrografía

Silvania está ubicada en la cuenca del río Panches, el cual desemboca en el río Sumapaz y recibe las aguas de la subcuenca del río Subia (Castillas, 2016).

Subcuenca del río Subia

La Subcuenca del Río Subia se origina en el municipio de Granada y abarca un área de 120.87 Km², lo que representa el 74.72% del área total del municipio de Silvana. En la región de la Cuchilla, se originan arroyos como Puente de Piedra, Carbonera, Honda y Yayatá. Donde el índice de condición del agua que llega desde el municipio de Granada a través del Río Subia es deficiente,

debido a que transporta todas las aguas residuales de ese municipio.(CAR - Fundación Estación Biológica Bachaqueros, 2005).

Vertimiento quebrada Yayata

La Quebrada Yayata se ubica al norte de las microcuencas de la Quebrada Honda y Guachani, y al este de la microcuenca de los drenajes directos del Río Subia. Posee una altitud de 2,400 metros sobre el nivel del mar y una extensión de la microcuenca de 10.26 kilómetros cuadrados. La longitud de la corriente principal es de 5.72 kilómetros. La quebrada muestra un patrón de drenaje dendrítico y alta densidad, con una forma ovalada. Su pendiente promedio es del 18.67%, clasificándose como una microcuenca con una pendiente moderada del 20.3%. (CAR - Fundación Estación Biológica Bachaqueros, 2005).

El caudal instantáneo de la corriente es de 0.185 metros cúbicos por segundo. Esta fuente de agua beneficia a los sistemas de abastecimiento de agua de San Antonio, Monserrate, la Asociación de Usuarios Yayata, Santa Teresa y el acueducto de la Vereda Loma Alta, proporcionando un servicio a un total de 1,415 personas, según información recopilada de los líderes de los acueductos.

Localización de la Quebrada Yayata

Se presenta la localización desde el país Colombia, como el municipio de silvania, donde podemos evidenciar las tres microcuencas de silvania que son: Cuenca Hato, Las pilas, Yayata, tomados desde Google Earth, como se ilustra en la siguiente **Figura 1**.

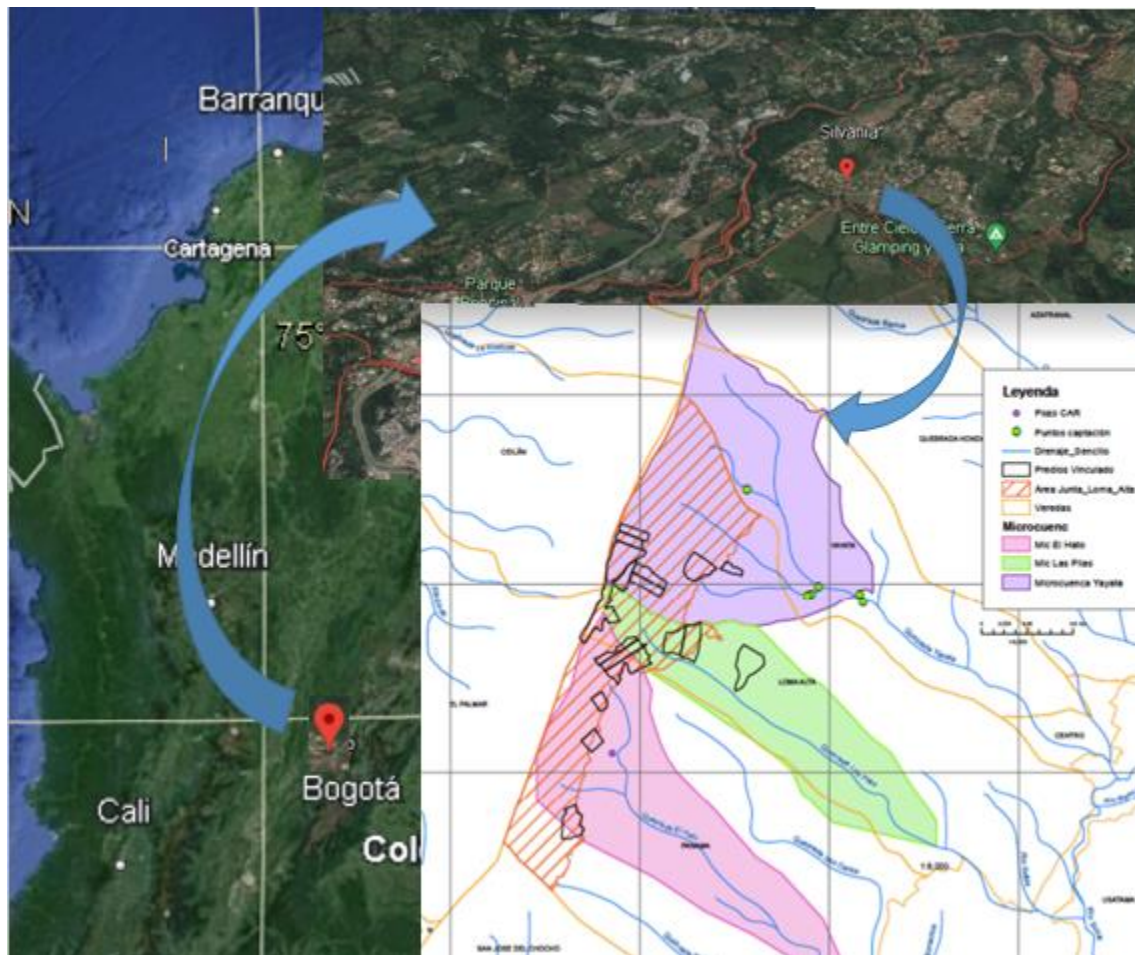


Figura 1 “Localización de quebrada Yayata, Sylvania- Google earth ”

Agua para consumo humano

Indican los pobladores que en la región alta de las microcuencas de las quebradas Yayata, no se cuenta con sistemas de suministro de agua para la comunidad. Por lo tanto, las familias obtienen agua directamente de arroyos, manantiales cercanos a sus propiedades, Dado que el sistema de agua en la comunidad rural de Yayatá es la principal fuente de suministro para la zona, es esencial evaluar la calidad de este recurso. En esta región, este recurso es fundamental tanto para los residentes como para diversos recursos agrícolas.(Baron, 2022)

Contaminantes en la microcuenca Yayata

Los desechos contaminantes, representan una de las principales causas de la contaminación de los recursos naturales, en particular del agua. Esto amenaza el equilibrio de los ecosistemas y, en situaciones en las que el agua se utiliza para el consumo humano, pone en peligro la salud de las personas que dependen de este recurso, como ocurre en las microcuenca donde se realizando este proyecto (Valdizan, 2921)

Vertimientos que afectan en la microcuenca Yayata

Los vertidos se tratan de la liberación última de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un líquido que son contaminantes, llegando así a un cuerpo de agua que en este caso es la microcuenca, los vertidos que más preocupan en la microcuenca yayata según la población son las siguientes:

Vertimientos de Aguas Residuales Domésticas

Originados en cocinas y lavaderos de propiedades del acuerdo de conservación que carecen de sistemas de tratamiento adecuados, estas aguas, en su mayoría, llegan por escorrentía a cuerpos de agua, provocando contaminación directa. Según el ministerio de ambiente es esencial abordar estas fuentes de contaminación para preservar los recursos naturales y proteger la salud de las comunidades vinculadas a estos acuerdos de conservación. (CAR- Rodríguez,2021).

Vertimientos de Aguas Residuales Actividad agropecuaria

Sustancias contaminadas generadas en la agricultura y ganadería que pueden afectar negativamente el medio ambiente y los recursos hídricos, que además en la zona rural de silvania es donde más se puede evidenciar estos vertimientos. (CAR- Rodríguez,2021)

Marco Legal

Esta Tabla 2, proporciona una visión general de la normativa relacionada con el agua y el saneamiento, con descripciones concisas de cada reglamentación.

Normativa	Descripción Resumida
Ley 1575 del 2007	Establece acciones para direcciones de salud en la vigilancia de calidad del agua para consumo humano.
Decreto 1898 de 2016	Adopción de infraestructura de agua potable y saneamiento básico en áreas rurales. Responsabilidad municipal para proporcionar servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo.
Resolución 3930 de 2010	Define zonas de prohibición o condicionamiento de descargas de aguas residuales o residuos líquidos y gaseosos en cuerpos de agua. Aplica a fuentes industriales o domésticas urbanas y rurales.
Resolución 631 de 2015	Establece parámetros y sanciones para vertimientos a cuerpos de agua, asegurando cumplimiento normativo y calidad del agua, de agua doméstica
Resolución 1433 de 2004	Establece parámetros para control de vertimientos de aguas residuales, previniendo la contaminación y protegiendo el medio ambiente.

Resolución 330 de 2017	Enfocada en la gestión integral de residuos sólidos en Colombia, promoviendo prácticas sostenibles y reduciendo impactos ambientales y de salud pública.
------------------------	--

Tabla 2 “Normatividad legal en Colombia ”

Estas normas vigentes son fundamentales para la creación del diseño del proyecto, son una de las normas más importantes en el tratamiento planteado, además para mantener un adecuado equilibrio en el uso y preservación de este recurso.

OBJETIVOS

GENERAL

Diseñar un sistema de tratamiento de agua doméstica para la quebrada Yayata en Silvania, Colombia

ESPECÍFICOS

- Identificar los parámetros establecidos por la norma vigente para determinar la calidad del agua
- Diseñar una (PTAR) óptima basados en la memoria de cálculo y normatividad vigente que cumpla los criterios mencionados por los representantes de los acueductos.
- Presentar a la comunidad de Silvania un manual del Tratamiento de Aguas Residuales que se Consideró

METODOLOGÍA

Para alcanzar el logro de los objetivos, se lleva a cabo el proceso que abarca desde el análisis de regulaciones y el diseño del sistema hasta la formación comunitaria, implementación, divulgación y seguimiento continuo, donde se evidencia las siguientes fases:

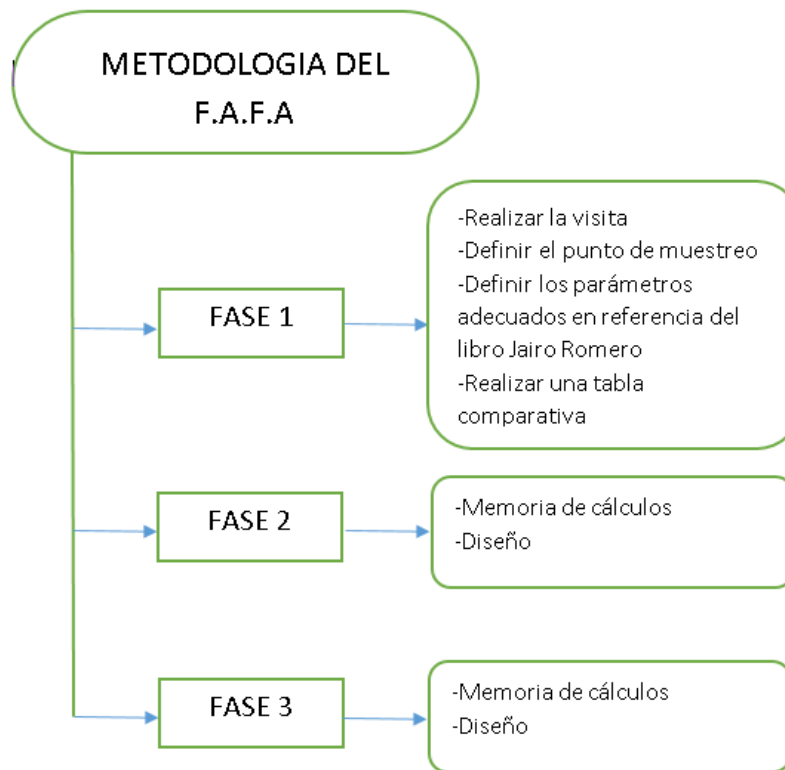


Figura 2 “Diagrama de flujo de la metodología del sistema ”

FASE 1

- **Visita de campo:** En la zona de la quebrada Yayata se efectuó una inspección detallada tras una charla con líderes de acueductos, identificando deficiencias en la comunidad, particularmente en la vereda Yayata. Para abordar estas deficiencias, se plantearon tres alternativas de diseño para el tratamiento del agua, considerando aspectos como el área, viabilidad económica, impacto ambiental y otros criterios relevantes. Estas opciones se han propuesto con el objetivo de encontrar la solución más adecuada y efectiva para mejorar la calidad del agua y el sistema de abastecimiento en la comunidad.
- **Selección del punto de muestreo:** En respuesta a un tratamiento para las aguas negras, se optó por implementar un diseño personalizado para cada vivienda en la vereda Yayata en Silvania, Colombia. Este diseño se centra en el tratamiento de aguas residuales provenientes de hogares unifamiliares y multifamiliares, considerando las directrices de las normas de la **Tabla 2**. Además de la definición de los parámetros. Por el cual se priorizó

la adecuada disposición de aguas negras desde cada hogar, garantizando la conformidad con las normas establecidas y la legislación aplicable. Este enfoque a nivel individual de cada vivienda se fundamenta en la necesidad de adaptarse a las particularidades de cada hogar, manteniendo la viabilidad económica y minimizando el impacto ambiental. buscando mejorar significativamente la gestión de aguas residuales a nivel local.

- **Definir los parámetros:** Los parámetros establecidos por la regulación vigente fueron identificados meticulosamente, tomando en cuenta las referencias y límites permisibles según el informe de campo de Jairo Romero, como se evidencia en la **Tabla 3**. Esta información recopilada fue esencial en el proceso de cálculo y diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales, asegurando que cada etapa del proyecto cumpliera con los estándares normativos, garantizando así un tratamiento eficiente y acorde a las exigencias legales y técnicas
- **Tabla Comparativa:** Se ha elaborado una tabla detallada que abarca tres métodos pertinentes para el tratamiento de agua residual. Este análisis exhaustivo consideró aspectos cruciales como costos asociados, idoneidad del lugar, factores socioeconómicos y viabilidad ambiental. Los datos recopilados y evaluados se han reflejado en la **Tabla Z**, ofreciendo una visión integral de las alternativas de tratamiento, facilitando la selección del método más adecuado en función de múltiples criterios.

FASE 2

- **Memoria de cálculos:** Se procede a realizar un análisis minucioso para determinar el caudal y la carga polución de las aguas residuales generadas en en el vertimiento para el diseño unifamiliares y multifamiliares. Se basa en datos definidos por el RAS. La selección de la tecnología de tratamiento más apropiada, en función de los parámetros previamente definidos y el análisis de carga contaminante, así mismo para el lecho filtrante, se realizan otros cálculos detallados y exhaustivos que respalden y justifiquen el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales. Estos cálculos incluyen la estimación de caudales, dimensionamiento del FAFA y la verificación de que el sistema cumple con los estándares de calidad del agua requeridos.

- **Diseño:** Se realiza la modulación en AutoCAD, el diseño del sistema de tratamiento de agua residual del FAFA con base en la memoria de cálculos para el vertimiento y la información obtenida de la fase 1. El uso de AutoCAD permitirá crear un diseño detallado y funcional, lo que ayuda a garantizar la viabilidad y eficiencia del proyecto. Luego, se procede a elaborar planes meticulosos y precisos que representen gráficamente el sistema de tratamiento de aguas residuales

FASE 3

- **Visita:** Se presentó a la población de la vereda Yayata, los cálculos recomendados para el diseño de la PTAR, el diseño creado en AutoCad y se resolvieron las preguntas que se van generando a la comunidad para brindar el conocimiento del diseño y por que este método a comparacion de otros métodos de tratamiento en aguas residuales.
- **Socialización con la comunidad :** Por último se socializo con la comunidad de Yayata el manual del sistema y el diseño como tratamiento del vertimiento de las aguas negras, teniendo en cuenta que a sido creado con la intención de servir como una guía esencial para comprender, gestionar y garantizar el funcionamiento eficiente del sistema FAFA (Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente) en nuestra comunidad, el manual cubre diversos aspectos fundamentales, tales como la forma de utilizar el sistema y los factores que pueden influir en su rendimiento, resolver situaciones adversas que se pueden presentar, se incluye en la presentación los parámetros del diseño.

RESULTADOS

RECOLECTAR DATOS O INFORMACIÓN

La implementación de un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (F.A.F.A) es altamente beneficiosa por varias razones. En primer lugar, los F.A.F.A son sistemas eficientes, el proceso de saneamiento de aguas residuales, lo que incrementa la pureza del agua. tratada al eliminar una alta proporción de contaminantes, incluyendo materia orgánica y sólidos suspendidos. Esto contribuye a la protección del medio ambiente y al cumplimiento de regulaciones ambientales (Sanabria,2022).

Los F.A.F.A requieren un bajo consumo de energía en comparación con sistemas anaerobios, lo que reduce los costos operativos y disminuye la huella de carbono. También generan menos lodos, reduciendo la necesidad de gestionar residuos sólidos. Su capacidad para tratar cargas variables de aguas residuales y su durabilidad los hacen ideales para diversas aplicaciones (Sanabria,2022).

De acuerdo a lo anterior, la reducción de lodos se debe al filtro que está formado por biopacks, que sirven como soporte biológico y son los encargados de descomponer la materia orgánica presente en el agua residual mediante la acción de microorganismos anaeróbicos. (Arellano,2019).

Los F.A.F.A requieren un bajo consumo de energía en comparación con sistemas anaerobios, lo que reduce los costos operativos y disminuye la huella de carbono, eliminando además contaminantes como nutrientes, materia orgánica, mejorando así la calidad del agua, reduciendo la necesidad de gestionar residuos sólidos. Su capacidad para tratar cargas variables de aguas residuales y su durabilidad los hacen ideales para diversas aplicaciones. (Sanabria,2022).

RESULTADOS DE LA TABLA COMPARATIVA

El proyecto FAFA implementado tiene como objetivo beneficiar a los 3.000 residentes de la zona rural de Sylvania, específicamente en la vereda Yayata. Esta solución innovadora aborda de manera directa la problemática que ocasiona la contaminación originada por aguas residuales no tratadas en cada hogar. Para llegar a ello se llevó a cabo un análisis comparativo entre tres métodos de tratamiento, destacando la eficacia y viabilidad del FAFA construido para esta comunidad.

El impacto positivo esperado se extiende a múltiples niveles. En primer lugar, se anticipa una mejora significativa en el medio ambiente al reducir la contaminación de las aguas negras. Además, se espera elevar el estándar de salud y bienestar de las personas al proporcionar un acceso más limpio y beneficios para el medio ambiente.

En términos económicos, se prevén beneficios a largo plazo al reducir los costos asociados con métodos de tratamiento de agua convencionales. Además, este proyecto pretende fomentar la conciencia y educación ambiental, resaltando la importancia de preservar el entorno y la salud pública para el bienestar colectivo. Todos estos aspectos han sido evaluados y detallados en la

Tabla Z, respaldando la elección del F.A.F.A como la solución más idónea para esta comunidad específica

Tabla 3. Sistemas de tratamiento de agua residual

Sistema	Metodología	Área	Ambiente	Social	Económica	Resultado
Pozo Séptico	Almacenamiento y separación de sólidos como líquidos	requiere de una menor área mínima de 1.2 m y una distancia del hogar de 3.5 m (EPM, 2012)	Riesgo de contaminación de suelos y aguas, ya que al momento que reduce la carga contaminante es liberada al entorno.	Puede ser perjudicial para la salud pública en caso de ser liberada de forma directa al entorno	Menor costo inicial pero mantenimiento periódico	
F.A.F.A	Proceso anaerobio y filtración de aguas residuales	Este tratamiento es favorable, usualmente puede estar de forma subterránea o ocupando una superficie reducida (Tilley, 2020)	Proceso natural, sin procesos químicos que mejora la calidad del agua, requiere de menor energía y recursos	Puede ser bien aceptado por la comunidad ya que mejora la salud de la comunidad y el acceso al agua limpia	Costo considerable	El F.A.F.A destaca por mejorar salud pública, ser ambientalmente sostenible, adaptable a distintos espacios y económicamente eficiente en el tratamiento de aguas residuales.

Humedal Artificial	Proceso natural de purificación mediante la vegetación	Requiere un área considerable, pueden varias dependiendo del tipo de humedal ya sea de flujo horizontal subsuperficial, flujo vertical y flujo superficial libre y las condiciones del lugar (Alvarez, 2019)	Beneficioso para la biodiversidad acuática y terrestre, proporcionando hábitats a diferentes especies ya sea en plantas o animales	Puede ser atractivo pero a la vez no por motivo de manejo técnico y mantenimiento y los costos	Mayor costo de instalación y mantenimiento	

Basándonos en esta comparación y considerando que se trata de una zona rural con 3.000 residentes en la vereda Yayata, podemos concluir que el F.A.F.A (Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente) parece ser la mejor opción para implementar en cada hogar.

El F.A.F.A emerge como la opción más equilibrada y viable para implementar en cada hogar, brindando una solución eficiente, económica y amigable con el medio ambiente para el tratamiento de aguas no tratadas.

RESULTADOS DEL MANUAL DE CÁLCULOS

Para el análisis de los cálculos se tomaron en cuenta los datos permisibles desde el libro de campo Jairo Romero como se puede ilustrar en la **Tabla 4**.

Tabla 4 “Datos permisibles para el tratamiento de agua residual”

Parámetros	Unidades	Índice
DBO	mg/L	250
DQO	mg/L	500

pH		7,0
COT	%	3,1
ECC	%	15
Coliformes	g	<20
NTK	%	0,68
P	%	0,35
Si	%	20
Mg	%	0,45
K	%	1,7
Fe	%	3,2
Ca	%	2,7
Al	%	21,2
FOG	mg/L	180
SST	mg/L	250

Tomado de: (Romero,p 299)

Con los datos que se evidencian en **Tabla 4** y la memoria de cálculos se presenta un resumen del análisis en la siguiente **Tabla 5**.

Tabla 5 “Dimensionamiento del diseño”

Parámetro	Unidad	Resultado
Largo Interior del tanque (L)	m	A: 2.20
		B: 4.80
Ancho interior del tanque (A)	m	A : 0.8
		B: :2.0

Tirante menor (h1)	m	A :1.10
		B:2.0
Profunda Maxima (H)	m	A :1.70
		B :2.70
Espesor de muros (E)	m	A: 0.30
		B:0.30
Caudal (Q)	L/s	A: 0.014
		B :0.14
Índice de retorno (Cr)		0.80
Dotación	(L/hab)/dia	150
Volumen F.A.F.A	m^3	A :1.2096
		B :12.096
Tiempo de retención hidráulico (TRH)	horas	24
Área del Filtro (Af)	m^2	A :1.76
		B :9.6
Área del Filtro Real	m^2	A :1.28
		B :8.4
Tiempo de Retención Hidráulica Real (TDH)	horas	A : 23.89
		B :23.89

Velocidad Ascendente del Flujo (Va)	m/h	A : 0,66
		B: 1.44
Volumen del filtro total (Vt)	m^3	A: 1.93
		B:19.2
Volumen del filtro efectivo del sistema 1 ,2 (Ve)	m^3	A : 0.47
		B :0.94
Volumen del filtro efectivo del sistema 3 (Ve)	m^3	A : 0.43
		B:0.89
volumen total del lecho (Vtl)	m^3	A :0.512
		B:3.36
Peso del lecho W	Kg	A : 768
		B :5.040
Velocidad ascendente en el lecho (Valecho)	$0.6 m/min$	A : 0.6
		B: 9×10^{-4}
Variación de presión en el lecho de filtración(hp)	m	A: 0.0056
		B: 1.35×10^{-5}
Lecho Falso del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente	”	3.8

Superficie total de los orificios del lecho falso (Ao)	m^2	A: 0.00245
		B: 0.00245
Pérdida de carga en el falso fondo (hff)	m	A: 4.71×10^{-6}
		B: 0.0494
Carga Hidráulica Aplicada (CHA)	$(m^3/m^2 - d)^{\blacksquare}$	A: 0.94625
		B: 1.438
Densidad de materia orgánica por unidad de volumen (COV)	DBO/m ³ -d	206.67
Tiempo de retención hidráulica en el lecho falso (TDHlecho)	h^{\blacksquare}	A: 4
		B: 2
Capacidad de eliminación de la DQO total	%	55

Donde :

- **A** = población de 1-10 personas
- **B** = población de 61-100 personas

Tomado de: (Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado, 2007)

Tomado: (RAS E, Tabla 3)

Se realiza el balance de carga con los datos de la **Tabla 4**, teniendo en cuenta un pretratamiento con un 15% de remoción y un tratamiento final con un porcentaje de remoción de un 50% ,evidenciando en la **Tabla 6** donde se verifica si cumple con la normativa de la Resolución 631 del 2015 “Limitaciones en los vertidos directos de aguas residuales domésticas (ARD), y el RAS E 2000 “aguas residuales domésticas”, cómo se puede ilustrar en la siguiente Tabla.

Tabla 6. Balance de carga

PRETRATAMIENTO				TRATAMIENTO			
Parámetro	Entrada	% Remoción	Salida	Entrada	% Remoción	Salida	Cumple
DBO	250	15	212,5	212,5	50	106,25	No cumple
DQO	500	15	425	425	50	212,5	No cumple
COT	3,1	15	2,6	2,6	50	1,3	Cumple
ECC	15	15	12,75	12,75	50	6,37	No cumple
Coliformes	20	15	17	17	50	8,5	No cumple
NTK	0,68	15	0,578	0,578	50	0,289	Cumple
P	0,35	15	0,3	0,3	50	0,15	Cumple
Si	20	15	17	17	50	8,5	Cumple
Mg	0,45	15	0,38	0,38	50	0,19	Cumple
K	1,7	15	1,44	1,44	50	0,72	Cumple
Fe	3,2	15	2,7	2,7	50	1,35	Cumple
Ca	2,7	15	2,29	2,29	50	1,145	Cumple
Al	21,2	15	18,02	18,02	50	9,01	Cumple
FOG	180	15	153	153	50	76,5	No cumple
SST	250	15	212,5	212,5	50	106,25	No cumple

Tabla 8 “Balance de carga”

Por medio del Software AutoCad se presenta el diseño del sistema de tratamiento F.A.F.A que así mismo se evidencia las dimensiones en metros (m), como se evidencia en la siguiente **Figura 3**.

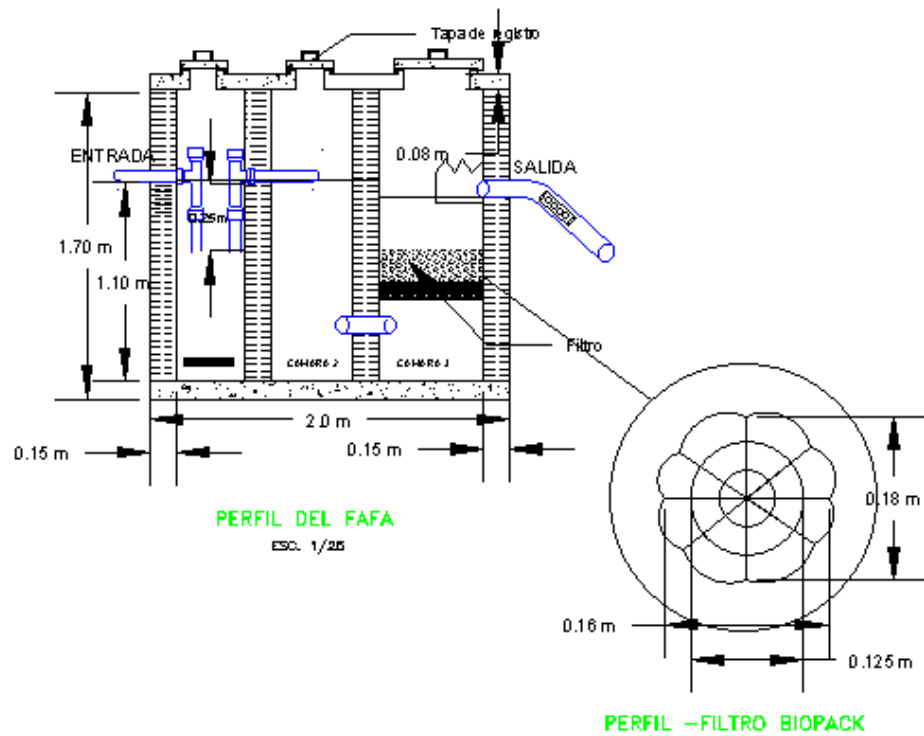


Figura 3 “Diseño en perfil del FAFA ”

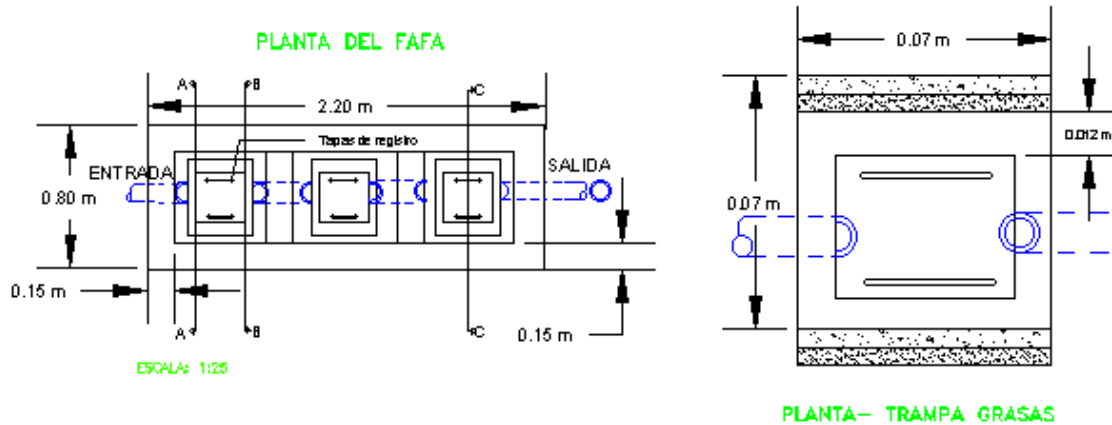


Figura 3 “Diseño en planta del FAFA ”

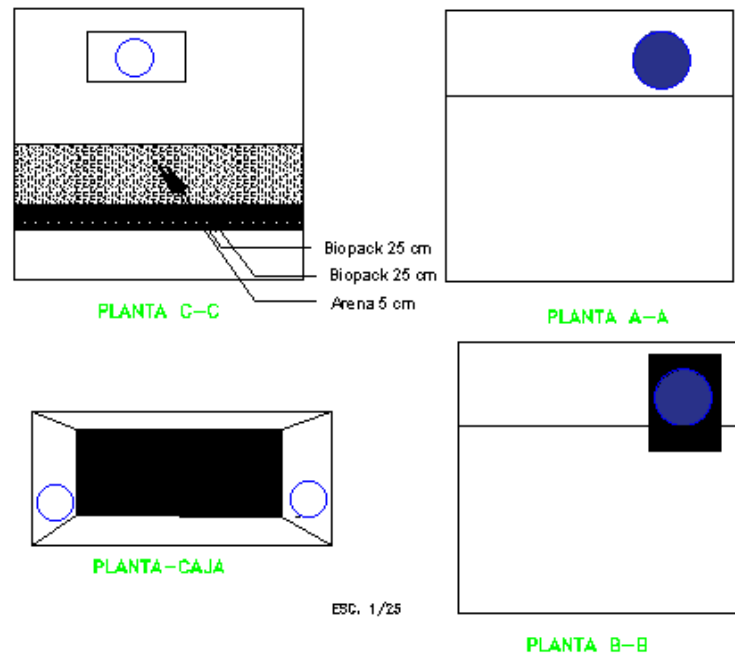


Figura 3 “Dimensionamiento de planta en corte del FAFA ”

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Memoria de cálculos para el F.A.F.A

Para la implementación del diseño, se presentan los siguientes cálculos, evidenciando que el tratamiento de aguas residuales domésticas se ejecutará para viviendas unifamiliares y multifamiliares, analizados mediante RAS y (Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado, 2007).

Caudal de aguas servidas domésticas (QD)

Se calcula el caudal 1-10 y 61-100 personas con la siguiente información:

$$Q_d = \frac{C_r * P_s * D_{neta}}{86400 s} \quad (\text{D.3.3.3.1})$$

1-10 personas

$$Q_d = 0.014 L/S$$

81-100 personas

$$Q_d = 0.14 L/s$$

Donde:

Q: Caudal (L/s)

Cr : Índice de retorno (adimensional).

Donde el Índice de retorno sería de nivel bajo, definido por la siguiente **Tabla 7** del RAS 2000 A

Tabla 7. Contribución de aguas residuales por persona

Predio	Unidades	Contribución de aguas residuales (C) y lodo fresco Lf (L / día)	
		C	Lf
Contribución de aguas residuales			
(C) y lodo fresco Lf (L / día)			
Clase alta	Personas	160	1
Clase media	Personas	130	1
Clase baja	Personas	100	1

Fuente: TABLA E.7.1 Título E RAS 2000

Tabla 8. Índice de retorno para aguas residuales domésticas

Nivel de complejidad del sistema	Índice de retorno
Bajo y Medio	0.80
Medio Alto y Alto	0.85

RAS D 3.1 Índice de retorno de aguas residuales domésticas

Ps:Número de habitantes proyectados(Hab)

Dotación: Es la cantidad de agua que consume((L/hab)/día)

Se determina la dotación con la **Tabla 9**, definido por el RAS con el nivel de complejidad bajo validado de la **Tabla 8**, Se tomará en cuenta para el cálculo la dotación **150 (L/hab/día)**

Tabla 9. Dotación por habitante según el nivel de complejidad del sistema

Nivel de complejidad del sistema	Dotación Neta (L/hab)/día) Clima Templado y frío	Dotación Neta (L/hab)/día) Clima cálido
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio Alto	125	130
Alto	140	150

RAS D 3.1 Dotación por habitante según el nivel de complejidad del sistema

Cálculo del Volumen F.A.F.A

Se determina el volumen evidenciándose, con los datos del tiempo de retención hidráulica del RAS 2000 **Tabla 10**.

$$V: Q * TRH \text{ (E.7.2)}$$

1-10 personas

$$V = 0.014L/s \times 24horas/di'a = 1.2096 m^3$$

81-100 personas

$$V = 0.14L/s \times 24horas/di'a = 12.096 m^3$$

Donde:

V : Volumen (m³)

Q:Caudal de aguas residuales domésticas (L/s)

TRH : Tiempo de retención hidráulico (s)

Tabla 10. Tiempo de retención

Contribución diaria (L)	Tiempo de retención (T)	
	Días	Horas
Hasta 1.500	1	24
De 1.501 a 3.000	0.92	22
De 3.000 a 4.500	0.83	20
4.501 a 6.000	0.75	18
6.001 a 7.500	0.67	16

7.501 a 9.000	0.58	14
más de 9.000	0.50	12

RAS E 7.2 Tiempo de retención

Relación de largo y Ancho interior del Tanque (L, A)

Asumiendo que el largo interior del tanque definido por la Resolución 330 de 2017 MVCT - Gestor Normativo de la CRA para familias de 1-10 personas se tomaría por de 2.20 m y ancho de 0,8 y para 81-100 personas es 4.80m y ancho 2:0 m, con espesor de muros de **0.15** teniendo en cuenta el área del tanque

Tirante menor

Para hallar el tirante menor se divide el largo interior del tanque como se evidencia en la siguiente ecuación:

$$h_l = L/2$$

1-10 personas

$$h_l = 1.10 \text{ m}$$

81-100 personas

$$h_l = 2.0 \text{ m}$$

HLF =Grosor del lecho filtrante de plástico (m)

Teniendo en cuenta al tirante menor y ancho del interior del tanque se evidencia la profundidad

$$HLF = (A + h_l) - E$$

1-10 personas

$$h_l = 1.75 \text{ m}$$

81-100 personas

$$h_l = 2.75 \text{ m}$$

Donde:

HLF : Grosor del lecho filtrante de plástico (m)

A: Ancho del tanque (m)

E :Espesor de Muros

hi : Tirante menor (m)

Teniendo en cuenta las dimensiones del tanque se tendrá en cuenta dejar la profundidad por **1.70 m** y de 81-100 personas se multiplicará por 2 para contar con una profundidad por **2.70 m**

Área del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente

$$A_f = L * A$$

1-10 personas

$$A_f = 1.76 \text{ m}^2$$

81-100 personas

$$A_f = 9.6 \text{ m}^2$$

Af : Área de filtro (m^2)

L: Largo del filtro (m)

A= Ancho del interior del tanque (m)

Área del Filtro Real Anaerobio

Se calcula el área real, quitando el espesor de los muros para obtener el área real, como se obtiene en la siguiente ecuación.

$$A_{real} = AF - (E * A * 2)$$

1-10 personas

$$A_{real} = 1.28 \text{ m}^2$$

81-100 personas

$$A_{real} = 8.4 \text{ m}^2$$

Donde:

A = Área (m^2)

AF = Área del filtro (m^2)

E = Espesor de muros (m)

A= Ancho del interior (m)

Tiempo de Retención Hidráulica

$$TDH = \frac{V}{Q}$$

1-10 personas

$$TDH = 23.89 \text{ h}$$

81-100 personas

$$TDH = 23.95 \text{ h}$$

Donde:

TDH = Tiempo de Retención Hidráulica (h)

V = Volumen del sistema del proyecto (m^3)Q = Caudal previsto (m^3/d)

Se evidencia que si cumple el tiempo de retención de acuerdo a los anteriores parámetros definidos por el RAS E 7.2

Velocidad Ascendente del Flujo en el Reactor

$$Va = \frac{Q}{A} * \frac{1}{24}$$

1-10 personas

$$Va = 0.66 \text{ m/h}$$

81-100 personas

$$Va = 1.44 \text{ m/h}$$

Calcular esto mejor

Donde:

va = Velocidad ascendente (m/h)

Q = Caudal previsto (m^3/d)A = Área real del FAFA (m^2)

Volumen del filtro total del sistema

$$V_t = L * A * h1$$

1-10 personas

$$V_t = 1.93 \text{ m}^3$$

81-100 personas

$$V_t = 19.2 \text{ m}^3$$

Donde:

 V_T = Volumen Total del filtro plástico del (m^3)

A= Ancho del interior del tanque (m)

L = Largo interior del tanque(m)

h1= Tirante menor (m)

Volumen del filtro efectivo del sistema 1 ,2

$$V_e = \frac{A * h1}{3}$$

1-10 personas

$$V_e = 0.47 \text{ m}^3$$

81-100 personas

$$V_e = 0.94 \text{ m}^3$$

Donde:

 V_e = Volumen del filtro efectivo plástico del (m^3)A= Área real del sistema (m^2)

h1 = Tirante menor (m)

Volumen del filtro efectivo del sistema 3

Teniendo en cuenta que la tercera cámara cuenta con una reducción, evidenciando que para el sistema seria de 0.05 m

$$V_e = \frac{A * h1 - 0.05m}{3}$$

1-10 personas

$$V_e = 0.43 \text{ m}^3$$

81-100 personas

$$V_e = 0.89 \text{ m}^3$$

Donde:

V_f = Volumen del efectivo filtro plástico del (m^3)

A = Área real del sistema (m^2)

HLF = Grosor del lecho filtrante de plástico (m)

El volumen total del lecho

Se tendrá para el lecho filtrante grava con 10 cm, arena 5 cm y el biopack con 25 cm para un total del espesor de la grava de 40 cm, donde se calcula el volumen con la siguiente fórmula:

$$V_{tl} = A * Eg$$

1-10 personas

$$V_{tl} = 0.512 \text{ m}^3$$

81-100 personas

$$V_{tl} = 3.36 \text{ m}^3$$

Donde:

V_{tl} = Volumen total del lecho (m^3)

A = Área real del sistema (m^2)

Eg = Espesor de la grava (m)

Peso del lecho filtrante del sistema

$$W = \rho * V_{tl}$$

1-10 personas

$$W = 768 \text{ Kg}$$

81-100 personas

$$W = 5.040 \text{ Kg}$$

Donde:

W = Peso del lecho filtrante del sistema (Kg)

VFiltro = Volumen total del lecho (m³)

ρ = Densidad del lecho filtrante ((kg/m³))

Velocidad ascendente en el lecho

$$V_A = \frac{Q}{A_{SC} * \text{Huecos del lecho}}$$

1-10 personas

$$V_a = 0.6 \text{ m/min}$$

81-100 personas

$$V_a = 9 \times 10^{-4} \text{ m/min}$$

Donde:

va Lecho = Velocidad ascendente (m/min)

Q = Caudal previsto (m³/min)

ASC = Área superficial de contacto del sistema FAFA (m²)

Huecos Lecho = Proporción de espacios vacíos en el lecho de filtración

Variación de presión en el lecho de filtración

$$H_p = \frac{V_a * HLF}{3}$$

1-10 personas

$$H_p = 0.0056 \text{ m}$$

81-100 personas

$$H_p = 1.35 \times 10^{-5} \text{ m} \blacksquare$$

Donde:

hp = Variación de presión en el lecho de filtración de plástico (m)

va Lecho = Velocidad ascendente en el lecho plástico (m/min)

HLF = Grosor del lecho filtrante de plástico(m)

Falso Fondo del Sistema Anaerobio de Flujo Ascendente

Se utilizan orificios de 3.8” para la placa del falso fondo del Sistema Anaerobio de Flujo Ascendente, con un total de 100 orificios o más.

Superficie total de los orificios del lecho falso

Se define que el área máxima de los orificios es debe ser de 3.8”, por las dimensiones del sistema se tiene en cuenta pasar a m^2 con la siguiente fórmula

$$A_o = 3.8''/1550$$

$$A_o = 0.00245m^2$$

Donde:

A_o = Superficie total de los orificios del lecho falso (m^2)

Diferencia de presión en el falso fondo

$$h_{ff} = \frac{Q^2}{Cd^2 * A_o^2 * 2g}$$

1-10 personas

$$h_{ff} = 0.00036 m$$

81-100 personas

$$h_{ff} = 0.0036 m$$

Donde:

h_{ff} =Diferencia de presión en el falso fondo (m)

Q = Caudal previsto(m^3/s)

C_d = Coeficiente de arrastre, el cual equivale a 0.8

A_o = Superficie total de los orificios del lecho falso (m^2)

g = Fuerza gravitatoria(m/s^2)

Carga Hidráulica Aplicada

$$CHA = \frac{Q^2}{Alf}$$

1-10 personas

$$CHA = 0.94625 (m^3/m^2 - d)^2$$

81-100 personas

$$CHA = 1.438 (m^3/m^2 - d)^2$$

Donde:

CHA = Carga Hidráulica Aplicada ($m^3/m^2 - d$)

Q = Caudal previsto (m^3/d)

ALF = Área total de contacto del lecho plástico del sistema FAFA (m^2)

Densidad de materia orgánica por unidad de volumen (COV)

Se toma en cuenta la carga de DBO por $250 g/m^3$ y se determina la densidad con la siguiente ecuación:

$$COV = \frac{DBO \text{ g}/m^3}{V_{\text{filtro}} * TRH}$$

$$COV = 206.67 \text{ gDBO}/m^3 - d$$

COV = Densidad de materia orgánica por unidad de volumen ($g \text{ DBO}/m^3-d$)

V_f = Volumen del sistema FAFA

TRH = El tiempo TRH en días (d)

COA Aplicada (Kg/d) DQO Total

$$COA = \frac{S * Q}{V_{filtro}}$$

1-10 personas

$$COA = 500 \text{ Kg/m}^3 - d$$

81-100 personas

$$COA = 500 \text{ Kg/m}^3 - d$$

Donde:

COA = Carga aplicada (Kg/m³ - d)

S = Concentración de material de entrada (Kg DQO/m³)

Q = Caudal previsto (m³/d)

V_{Filtro} = Volumen del sistema de filtración del sistema (m³)

Tiempo de detención en el lecho

Se adopta un tiempo de detención de 0.30 horas para el Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente.

Tiempo de retención hidráulica en el lecho falso

$$CHA = \frac{V_{filtro}}{Q}$$

1-10 personas

$$TDH_{lecho} = 4 \text{ h}$$

81-100 personas

$$TDH_{lecho} = 2 \text{ h}$$

Donde:

TDHLecho = Tiempo de retención hidráulica en el lecho falso FAFA (h)

VFiltro = Volumen del sistema de filtración plástico del sistema FAFA (m³)

Q = Caudal previsto(m³/h)

Capacidad de eliminación de la DQO total.

$$Remoción\ DQO = \frac{1^{\blacksquare}}{(1 + 0.4425)(2 * S * Q / Filtro)0.5}$$

1-10 personas

Remoción del DQO = 55%

81-100 personas

Remoción del DQO = 55 %

Donde:

Remoción DQO =Capacidad de eliminación de la DQO total (%)

S =Concentración de material de entrada(Kg DQO/m³)

Q = Caudal previsto (m³/d)

VFiltro = Volumen del sistema de filtración plástico del sistema FAFA (m³)

DATOS TÉCNICOS RELLENO BIOPACK

Por último se muestra y dimensiona el filtro, que se evidencia en la **Figura 3**, donde los resultados en la **Tabla 11**.

Tabla 11. Datos del relleno de biopack

Material de fabricación	Polipropileno de alta densidad
Metodo de fabricacion	Inyección
Forma	Circular
Altura	50 mm
Diámetro del cuerpo	180 mm

Tipo de relleno	Aleatorio
Peso seco	90 gr
Cantidad por m3	575 unidades +/-10%

Fuente: (Arellano, 2021)

DISCUSIÓN

El diseño e implementación del Flujo Ascendente de Sistema Anaerobio (F.A.F.A) representa una solución eficaz evidenciada por los datos comparativos con los otros métodos donde. En primer lugar, su diseño compacto se adapta perfectamente a áreas con limitaciones de espacio, siendo idóneo para comunidades rurales que no disponen de grandes extensiones de terreno. Esta característica facilita su instalación sin requerir una considerable área física. Además, desde una perspectiva económica, el F.A.F.A. emerge como una solución más asequible en comparación con otras alternativas, como los humedales artificiales. Su eficacia en el tratamiento de aguas residuales, combinada con costos de implementación y mantenimiento razonables, beneficia a comunidades con recursos limitados, ofreciendo un rendimiento satisfactorio a un costo más accesible (Tilley, 2020).

En términos ambientales, su desempeño resulta altamente positivo, ya que el sistema trata eficientemente las aguas residuales, reduciendo la eliminación de contaminantes orgánicos en condiciones anaeróbicas, donde la ausencia de oxígeno permite la degradación de la materia orgánica. Esto contribuye significativamente a reducir la carga contaminante y, por ende, mejora la calidad del agua que se vierte al medio ambiente o se reutiliza (Parrilla, 2010). Esto contribuye significativamente a mitigar el impacto ambiental generado por la falta de conducción de vertidos o aguas negras en la zona, atenuando la filtración de contaminantes. Además de sus ventajas técnicas y medioambientales, el F.A.F.A. tiene un impacto socioeconómico relevante. Mejora el bienestar y la salud de la comunidad al proporcionar un tratamiento efectivo de aguas residuales, lo que a su vez disminuye la carga sobre los sistemas de salud pública y reduce los costos a largo plazo. Esta solución abarca tanto hogares unifamiliares como multifamiliares, lo que la convierte en una opción versátil para abordar el tratamiento de aguas residuales en la comunidad.

Por consiguiente, los datos para el diseño se evidencia un área adecuada para cada vivienda teniendo en cuenta que para personas de 1-10 tendrá un área de $1.28 m^2$, donde contaría con un tiempo de retención hidráulica de 24 horas indicando tiempo adecuado para el proceso de tratamiento, la pérdida de carga en el falso fondo nos indica unos valores muy bajos indicándonos que requiere menor energía para que el agua fluya y siendo óptimo para cada vivienda, asimismo, la remoción de DQO es de 55% genera una eliminación considerable evidenciando que es un sistema secundario, que es económicamente accesible, y que en otros parámetros genera una eliminación P,Si,Mg,K,Fe,Ca,Al entre otros, que cumple con los parámetros captados en la norma

Asimismo, se genera una socialización con los líderes de los acueductos rurales donde se presentó el diseño y por qué se escogió este método de tratamiento, se socializaron ideas y preguntas frente al diseño, como se ilustra en las siguientes **Figuras 4,5**.



Figura 4 “Presentación del sistema de tratamiento FAFA”



Figura 5 “Socialización del sistema de tratamiento FAFA”

Un aspecto fundamental que respalda la viabilidad de esta solución es su bajo costo en términos de inversión y operación. Esta característica es crucial en áreas rurales, donde los recursos suelen ser limitados. La simplicidad del diseño modular y su facilidad de mantenimiento y operación hacen que el F.A.F.A sea una opción asequible y sostenible para la comunidad (Rodríguez,2006).

CONCLUSIONES

Esta conclusión se fundamenta en varios aspectos:

- La identificación meticulosa de parámetros establecidos por la normativa vigente para determinar la calidad del agua como se refleja en la **Tabla 3**, marca el inicio del proceso. La elección de una solución unifamiliar se debe a la falta de un sistema de alcantarillado y al hecho de que las aguas residuales terminan expuestas en la superficie del suelo. Además, se destaca la elaboración de una tabla comparativa exhaustiva que evalúa tres métodos de tratamiento, considerando aspectos como costos, idoneidad del lugar, factores socioeconómicos y viabilidad ambiental. Estas acciones demuestran una selección cuidadosa y fundamentada para encontrar la solución más adecuada para la comunidad.

-La fase de diseño, se tomó a consideración la segunda alternativa, que prioriza los aspectos técnicos y es la más adecuada en términos de calidad y costos.El diseño de la PTAR en la vereda Yayata es de tipo convencional (Flujo Ascendente de Sistema Anaerobio o FAFA) y tiene forma rectangular respaldada por una memoria de cálculos minuciosa, ilustra la selección y justificación

de la tecnología de tratamiento más apropiada. Está diseñado para tratar un caudal de 0.014 L/s para grupos de 1 a 10 personas y otro de 0.14 L/s para grupos de 81 a 100 personas, cumpliendo con los criterios del Reglamento de Aguas Residuales (RAS) de 2000. La planta incluye adicionalmente un sistema de cloración. Este diseño se presenta en su forma esencial y se centra únicamente en el proceso de tratamiento. El diseño se realiza por medio de un software llamado Autocad donde se realiza con acotaciones y dimensiones de acuerdo a lo hablado y realizado en el proceso de los objetivos del proyecto.

- La interacción directa con los líderes de los acueductos de la vereda Yayata es un componente esencial del proceso. La presentación de cálculos recomendados, diseños y resolución de dudas promueve la comprensión y participación activa de los líderes de los acueductos, en la implementación del sistema de tratamiento. La socialización del manual del tratamiento de aguas residuales, enfocado en el funcionamiento del sistema Fafa, brindándoles las herramientas necesarias para gestionar y mantener eficientemente el sistema de tratamiento.

CONTRIBUCIONES Y RECOMENDACIONES

Tras un análisis de los resultados obtenidos en esta investigación, se desprenden recomendaciones cruciales para futuras investigaciones en el ámbito del tratamiento de aguas residuales. Es fundamental considerar una evaluación detallada de los costos relacionados con todos los aspectos del proceso, no limitándose únicamente a los materiales empleados. Esta evaluación debe abarcar la construcción de las instalaciones, los gastos asociados a la puesta en marcha y, quizás lo más importante, los costos de mantenimiento a largo plazo.

La inclusión de estos costos en investigaciones futuras permitirá obtener una perspectiva más precisa de la relación costo/beneficio del sistema de tratamiento implementado. Al comprender y

cuantificar en detalle los gastos a lo largo del proyecto, se podrá tomar decisiones más informadas sobre la viabilidad y la eficiencia de la solución.

Además, se sugiere llevar a cabo un seguimiento continuo de los sistemas de tratamiento implementados en el campo. Esto garantizará la eficacia y sostenibilidad a lo largo del tiempo. El monitoreo constante permite identificar cualquier desviación de los parámetros deseados y tomar medidas correctivas a tiempo. La sostenibilidad es esencial para que el sistema de tratamiento siga funcionando de manera óptima y siga cumpliendo con los estándares de calidad del agua.

REFERENCIAS

Brix, H. (1997). Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? *Water Science and Technology*, 35(5). [https://doi.org/10.1016/s0273-1223\(97\)00047-4](https://doi.org/10.1016/s0273-1223(97)00047-4)

-Chafloque, W. L., Gómez, E. G. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de Minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 9(17), 85-96. (<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/699/552>)

Forero-Ruiz, A y Urrego-Rojas, C. (2015). Modelamiento de un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales del barrio Fontanar de Suba.

Girardot, B. (s/f). UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA . Edu.co. Recuperado el 17 de julio de 2023, de <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/4021/Analizar%20la%20Cobertura%20de%20servicio%20de%20la%20empresa%20EMPUSILVANIA%20SA%20ESP..pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Girardot, B. (s/f). UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA . Edu.co. Recuperado el 17 de julio de 2023, de <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/4021/Analizar%20la%20Cobertura%20de%20servicio%20de%20la%20empresa%20EMPUSILVANIA%20SA%20ESP..pdf?sequence=1&isAllowed=y>

-Silva, Á. S., & Zamora, H. D. (2005). Humedales artificiales. *Ingeniería Química*. (<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2736/angelasofiasilvahernandariozamora.2005.pdf?sequence=1&isAllowed=y>)

file:///C:/Users/berdo/Downloads/Tesis%20I.%20C.%201535%20-%20Morales%20Solano%20Fausto%20%20Geovanny.pdf

Morales Solano, F.G. (2021) *file:///C:/Users/berdo/Downloads/Tesis%20I.%20C.%201535%20-%20Morales%20Solano%20Fausto%20%20Geovanny.pdf*. Available at: *file:///C:/Users/berdo/Downloads/Tesis%20I.%20C.%201535%20-%20Morales%20Solano%20Fausto%20%20Geovanny.pdf*.

11.0 (Windows), A.D. (2019) *Download Scribd - free Scribd downloader, Microsoft Word - FICHA TECNICA BIOPACK*. Available at: <https://scribd.vpdfs.com/> (Accessed: 23 October 2023).

de Abastecimiento, F. (s/f). TABLA DE CONTENIDO. Gov.co. Recuperado el 2 de noviembre de 2023, de https://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/SANEAMIENTO%20B%c3%81SICO/AIRNR_7261_2006_DISE%c3%91O.pdf

De, A., & Ascendente, F. (s/f). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Topodata.com. Recuperado el 2 de noviembre de 2023, de <https://topodata.com/wp-content/uploads/2019/10/Manual-de-Plantas-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-Filtros-Anaerobios-de-Flujo-Ascendente.pdf>

de Arbeláez, E. P. L. A. O. D. E. L. D. E. E. N. L. A. P. D. E. T. P. L. A. P. D. E. L. A. U. E. N. E. L. M. (s/f). CHRISTIAN ALBERTO MESA GARCÍA ANDRÉS SANTIAGO PARRA DAZA CRISTIAN ADOLFO ROLDÁN BELTRÁN. Edu.co. Recuperado el 2 de noviembre de 2023, de https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/3933/Estudio_optimizaci%C3%B3n_planta_potabilizaci%C3%B3n.pdf?isAllowed=y&sequence=1

de La Herradura, P. D. E. D. A. S. Y. P. D. E. T. D. E. A. R. D.-P. D. E. L. C., & del Cauca, E. N. E. L. M. D. E. B. V. (s/f). Jhan Alexis Rodríguez Tolosa. Edu.co. Recuperado el 2 de noviembre de 2023, de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/41320/RodriguezTolosaJhanAlexis2022.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

Diseño Hidraulico DE La Planta DE Tratamiento DE Aguas Residuales Para El Municipio DE Guacamayas. (s/f). Pdfcookie.com. Recuperado el 2 de noviembre de 2023, de <https://pdfcookie.com/documents/pdfcookie-1g2ww1q8d825>

Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. (s/f). Docplayer.Es. Recuperado el 2 de noviembre de 2023, de <https://docplayer.es/38959019-Manual-de-agua-potable-alcantarillado-y-saneamiento.html>

No title. (s/f). Coursehero.com. Recuperado el 2 de noviembre de 2023, de <https://www.coursehero.com/file/22792775/IN218-IV91-PC2-U201314291/>

Sistema De, D., Sanitario, A., & Corregimiento De Otaré, D. (s/f). RESUMEN -TRABAJO DE GRADO AUTORES ELIXANDER LEMUS NAVARRO MARCO JOSE BARRERA LANZZIANO FACULTAD DE INGENIERIA PLAN DE ESTUDIOS INGENIERIA CIVIL DIRECTOR WILLINTON ERNESTO CARRASCAL MUÑOZ TÍTULO DE LA TESIS PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DEL CORREGIMIENTO DE OTARÉ OCAÑA NORTE DE SANTANDER RESUMEN EL SIGUIENTE DOCUMENTO ENMARCA UNA PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN. Edu.co. Recuperado el 2 de noviembre de 2023, de

Vispo, Reyes, Choi, Jeon, & Kim. (2023). 폐수 처리 위한 습지의 연구 환경 매핑: 서지학적 분석 및 종합 검토. *Journal of Wetlands Research*, 25(2), 145–158. <https://doi.org/10.17663/jwr.2023.25.2.145>

(S/f). Recuperado el 2 de noviembre de 2023, de <http://file:///C:/Users/Vaka/Downloads/Tesis%20I.C.%201761%20-%20Culqui%20Llamuca%20Giovanna%20Lissette.pdf>

Diego, I., Cuervo, P., & Asociado, P. (s/f). JUAN PABLO HOYOS APONTE. Edu.co. Recuperado el 2 de noviembre de 2023, de <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/828de3f0-bef5-437a-8a49-7a1fee9d919e/content>

(S/f). Edu.co. Recuperado el 2 de noviembre de 2023, de <https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/b81b4fa5-ea40-445a-836c-4e405c668114/content>

NORMAS Y ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN FECHA ACTUALIZACIÓN 4 TANQUES SÉPTICOS Y POZOS DE ABSORCIÓN ESPECIFICACIÓN 418 NORMATIVIDAD ASOCIADA: NTC 247; ASTM C 90 y C 207; NEG 501 y 601. (s/f). Com.co. Recuperado el 24 de noviembre de 2023, de <https://www.epm.com.co/site/Portals/3/documentos/proveedores/418.pdf>

Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., & Schertenleib y Christian Zurbrügg (EAWAG/SANDEC), R. (s/f). Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente. Sswm.info; seecon international gmbh. Recuperado el 24 de noviembre de 2023, de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/recoleccion-y-almacenamiento/filtro-anaerobio-de-flujo-ascendente>

(S/f). Repositorioinstitucional.mx. Recuperado el 24 de noviembre de 2023, de <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/59/1/Edith%20Padilla%20Gasca.pdf>

Generalidades., 1. 1. (s/f). CAPÍTULO I. FOSAS SÉPTICAS. Uson.mx. Recuperado el 20 de noviembre de 2023, de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19117/Capitulo1.pdf>

de la Segunda Conferencia Panamericana en Sistemas de Humedales para el manejo, M., & de la calidad del agua. Morelia, T. y. M. (s/f). Sistemas de humedales para el manejo, tratamiento y mejoramiento de la calidad del agua. Gob.mx. Recuperado el 20 de noviembre de 2023, de https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/sistemas-de-humedales/files/assets/common/downloads/publication.pdf

(S/f). Repositorioinstitucional.mx. Recuperado el 20 de noviembre de 2023, de <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/59/1/Edith%20Padilla%20Gasca.pdf>

(S/f-b). Edu.co. Recuperado el 20 de noviembre de 2023, de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2805/linamarcelaparrarodriguez.2006.pdf>

de Desarrollo Economico, M. (s/f). REPÚBLICA DE COLOMBIA. Gov.co. Recuperado el 24 de noviembre de 2023, de https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/010710_ras_titulo_a_.pdf

Orden, L. y. (s/f). Sistemas de Acueducto. Gov.co. Recuperado el 24 de noviembre de 2023, de <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulob-030714.pdf>

Manuales. (s/f). Gov.co. Recuperado el 24 de noviembre de 2023, de <https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico/reglamento-tecnico-sector/manuales>

Orden, L. y. (s/f). Sistemas de Aseo Urbano. Gov.co. Recuperado el 24 de noviembre de 2023, de <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/2020-08/titulo-f-del-ras-2000.pdf>

(S/f). Gov.co. Recuperado el 24 de noviembre de 2023, de https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo_d.pdf

(S/f). Core.ac.uk. Recuperado el 24 de noviembre de 2023, de <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>

Cardona, P. A. A. (s/f). HUMEDALES ARTIFICIALES: UNA ALTERNATIVA PARA TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN. Edu.co. Recuperado el 24 de noviembre de

2023, de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7132/1/091369-2018-I-GA.pdf>

Completo, N. (s/f). Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Redalyc.org. Recuperado el 24 de noviembre de 2023, de <https://www.redalyc.org/pdf/911/91101302.pdf>

(S/f). Edu.co. Recuperado el 24 de noviembre de 2023, de <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/14825/T10649A.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

de Ingeniería Ambiental, T. (s/f). Daniel Camilo Naranjo Agudelo. Edu.co. Recuperado el 24 de noviembre de 2023, de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/f5a9cdac-85e8-4e43-a5c1-ec298442151a/content>

(S/f). Edu.co. Recuperado el 24 de noviembre de 2023, de <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/be9b6abb-88aa-4a45-997c-d109565a14b3/content>

guía para la construcción de cámaras sépticas y sistemas de infiltración a nivel domiciliario MMA y A. (s/f). Bivica.org. Recuperado el 24 de noviembre de 2023, de https://www.bivica.org/files/5440_camaras-septicas-construccion.pdf

(S/f). Sswm.info. Recuperado el 24 de noviembre de 2023, de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/GIZ%202017.%20Manual%20para%20la%20cloraci%C3%B3n%20del%20agua%20en%20sistemas%20de%20abastecimiento%20de%20agua%20potable.pdf

Cloración, D. E., Potabilización, Y., & Agua, D. (s/f). Material de apoyo para la organización de los sistemas rurales de agua potable. Gob.mx. Recuperado el 24 de noviembre de 2023, de https://agua.guanajuato.gob.mx/pdf/manuales/Manual_Cloration.pdf

La Leona, M. de D. a. A. y. A. I. E., & de Cajamarca-Tolima, M. (s/f). DISEÑO ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO I.E. LA LEONA MUNICIPIO DE CAJAMARCA-TOLIMA. Com.co. Recuperado el 24 de noviembre de 2023, de https://www.fiduprevisora.com.co/wp-content/uploads/2020/10/Disen%CC%83o-Acueducto-y-Alcantarillado-La-Leona_V01.doc.pdf

Torres, C. D., & Botero, E. U. (s/f). EVOLUCIÓN DEL SERVICIO DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DURANTE LA ÚLTIMA DÉCADA. Core.ac.uk. Recuperado el 24 de noviembre de 2023, de <https://core.ac.uk/download/pdf/6395231.pdf>

Wild, M. K. (2020). Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados. https://www.academia.edu/43690289/Elementos_de_Disen%C3%B3n_para_Acueductos_y_Alcantarillados

(S/f). Edu.co. Recuperado el 24 de noviembre de 2023, de <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/1395/72314411.pdf?sequence=1&isAllowed=y>