



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ENTRE UN FILTRO
ANAEROBIO Y UN HUMEDAL VERTICAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniera Civil

AUTORES: MIRIAN YOLANDA ENCALADA NARVÁEZ
GIANELLA MISHELLE GRUNAUER ZAMBRANO
TUTOR: ING. ANDRÉS XAVIER MAZA MOGROVEJO, MSc.

Cuenca - Ecuador
2023

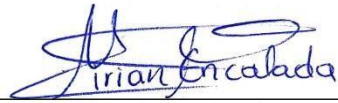
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotras, Mirian Yolanda Encalada Narváez con documento de identificación N° 0302791892 y Gianella Mishelle Grunauer Zambrano con documento de identificación N° 0706643293; manifestamos que:

Somas las autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

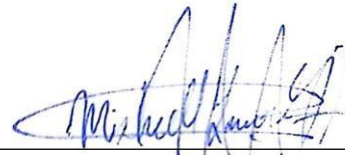
Cuenca, 7 de agosto del 2023

Atentamente,



Mirian Yolanda Encalada Narváez

0302791892



Gianella Mishelle Grunauer Zambrano

0706643293

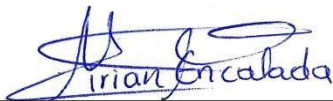
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotras, Mirian Yolanda Encalada Narváez con documento de identificación N° 0302791892 y Gianella Mishelle Grunauer Zambrano con documento de identificación N° 0706643293, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del Proyecto técnico: “Análisis de costos de operación y mantenimiento entre un filtro anaerobio y un humedal vertical de flujo subsuperficial”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

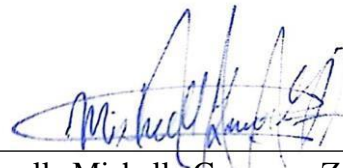
Cuenca, 7 de agosto del 2023

Atentamente,



Mirian Yolanda Encalada Narváez

0302791892



Gianella Mishelle Grunauer Zambrano

0706643293

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Andrés Xavier Maza Mogrovejo con documento de identificación N° 0104827282, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ENTRE UN FILTRO ANAEROBIO Y UN HUMEDAL VERTICAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL, realizado por Mirian Yolanda Encalada Narvaez con documento de identificación N° 0302791892 y por Gianella Mishelle Grunauer Zambrano con documento de identificación N° 0706643293, obteniendo como resultado final el Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 7 de agosto del 2023

Atentamente,



Ing. Andrés Xavier Maza Mogrovejo, MSc.

0104827282

DEDICATORIA

Mirian Yolanda Encalada Narváez

A mi querida hija Alisson, mi fuente de inspiración y alegría. Tú has sido mi motivación para esforzarme cada día, demostrándome que, con dedicación y perseverancia, los sueños pueden hacerse realidad. Te dedico este logro con la esperanza de que puedas ver que ningún objetivo es inalcanzable cuando se lucha con pasión y determinación.

A mi esposo Lenin, a quien agradezco por su amor incondicional, paciencia y comprensión. Tu apoyo inquebrantable y aliento constante fueron el motor que me impulsó a alcanzar esta meta académica. Gracias por ser mi compañero de vida y por creer en mí siempre.

A mis padres, por sus ánimos constantes. Gracias por haberme enseñado el valor del esfuerzo y la importancia de nunca rendirse. Este logro también es de ustedes, por haberme dado las bases para crecer y perseguir mis sueños.

DEDICATORIA

Gianella Mishelle Grunauer Zambrano

A mis queridos padres, Jimmy Grunauer y Jackeline Zambrano, han sido la base de mi crecimiento personal y académico. Este logro no habría sido posible sin su amor incondicional y su constante motivación para superar cualquier obstáculo.

A mis adorados abuelos, José Zambrano y Leonor Girón, mis segundos padres, su cariño y sabiduría han sido un faro de luz en mi camino, de igual manera les dedico este logro por ser mi fuente de inspiración a lo largo de esta carrera.

A mis hermanas Joselyn y Jackelin Grunauer Zambrano, por ser mis cómplices, confidentes y compañeras de aventuras. Su amor, apoyo y ánimo inquebrantable siempre me han dado fuerzas para enfrentar cada reto con valentía.

AGRADECIMIENTO

Mirian Yolanda Encalada Narváez

A mi familia por el apoyo incondicional a lo largo de esta etapa académica.

Al Ing. Xavier Maza Mogrovejo, Msc, nuestro tutor, por su disposición, dedicación y guía a lo largo de todo el proceso.

A la Ing. Verónica Rodas quien a través de su experiencia y colaboración ha permitido el desarrollo de nuestras actividades.

Así mismo, deseo extender mi gratitud a mis queridos compañeros de grupo, en especial a mi amiga y compañera de titulación, Mishelle. Su apoyo incondicional y su presencia en cada etapa del camino fueron de un valor incalculable para mí.

AGRADECIMIENTO

Gianella Mishelle Grunauer Zambrano

A Dios, por las bendiciones y oportunidades que me ha brindado, confío que tu amor y protección siempre estarán conmigo en cada nuevo proceso.

A mis padres, Jimmy Grunauer y Jackeline Zambrano, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios. Gracias por creer en mí y por alentarme a seguir con mis sueños. Su amor y ejemplo de dedicación han sido mi mayor motivación para llegar hasta aquí.

A mis segundos padres (abuelos), José Zambrano y Leonor Girón, por ser mi fuente de sabiduría, amor y aliento. Gracias por sus consejos y enseñanzas que son un valioso legado en mi vida.

A mi tutor, el Ing. Xavier Maza, por su guía experta, paciencia y dedicación en la dirección de este trabajo. Gracias por compartir sus conocimientos y por motivarme a alcanzar la excelencia académica.

A mi amiga y compañera de tesis, Mirian Encalada, por su compromiso y trabajo en equipo a lo largo de esta travesía. Gracias por compartir este proceso conmigo y ser una amiga excepcional. Juntas hemos enfrentado desafíos y celebrados logros, confío absolutamente que será una gran profesional.

A mis amigos, por ser mi red de apoyo incondicional, por escucharme, por brindarme aliento y por llenar mis días de risas y momentos inolvidables. Gracias por estar ahí en cada etapa de esta carrera, por celebrar conmigo mis triunfos y por levantarme en momentos de dificultad.

RESUMEN

El presente proyecto de titulación se enfoca en el énfasis que la empresa ETAPA EP ha dado a la operación y mantenimiento de las Plantas de Tratamiento de aguas Residuales (PTAR). En este sentido, se analizó y comparó el costo de operación y mantenimiento de dos sistemas de tratamiento: un filtro anaerobio y un humedal vertical de flujo subsuperficial en la planta de Acchayacu, Tarqui.

Los datos operativos se recopilaron en un periodo determinado, desde agosto de 2021 hasta julio del 2022 el filtro anaerobio y desde agosto del 2022 hasta mayo del 2023 para el humedal vertical y se evaluaron los costos de personal, insumos y movilización, tomando en cuenta la cantidad de mantenimientos realizados para obtener un costo total mensual.

Adicionalmente al análisis económico, se procedió a caracterizar las muestras de agua obtenidas en campo y se compararon las eficiencias de remoción de DBO (demanda bioquímica de oxígeno), DQO (demanda química de oxígeno) y CT (coliformes totales), entre ambos sistemas. Los resultados demostraron que el sistema de humedal vertical presentó una remoción por encima del 90% para estos parámetros, superando así al filtro anaerobio.

Estos hallazgos subrayan que el humedal de flujo subsuperficial es una alternativa prometedora y efectiva para el tratamiento de aguas residuales rurales en la PTAR de Acchayacu, lo que podría tener un impacto positivo en el enfoque operativo y de mantenimiento adoptado por ETAPA EP en sus plantas de tratamiento.

Palabras claves: Filtro anaerobio, humedal vertical, costos, eficiencia y mantenimiento.

ABSTRACT

This titling project focuses on the emphasis that the company ETAPA EP has given to the operation and maintenance of the Wastewater Treatment Plants (PTAR). In this sense, the cost of operation and maintenance of two treatment systems were analyzed and compared: an anaerobic filter and a subsurface flow vertical wetland at the Acchayacu plant, Tarqui.

The operational data was collected in a certain period, from August 2021 to July 2022 for the anaerobic filter and from August 2022 to May 2023 for the vertical wetland, and the costs of personnel, supplies, and mobilization were evaluated, taking into account the amount of maintenance performed to obtain a total monthly cost.

In addition to the economic analysis, we proceeded to characterize the water samples obtained in the field, and the removal efficiencies of BOD (biochemical oxygen demand), COD (chemical oxygen demand), and TC (total coliforms) were compared between both systems. The results showed that the vertical wetland system presented a removal above 90% for these parameters, thus surpassing the anaerobic filter.

These findings underscore that the subsurface flow wetland is a promising and effective alternative for rural wastewater treatment at the Acchayacu Wastewater Treatment Plant, which could positively impact the operational and maintenance approach adopted by ETAPA. EP in its treatment plants.

Key words: Anaerobic filter, vertical wetland, costs, efficiency, and maintenance.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	17
2. PROBLEMA	19
2.1. Descripción Del Problema	19
2.1.1. Antecedentes	20
2.1.2. Importancia y alcances.....	20
2.1.3. Delimitación.....	21
2.1.3.1. Espacial geográfica.....	21
2.1.3.2. Temporal.....	22
2.1.3.3. Sectorial o institucional	22
3. OBJETIVOS	22
3.1. Objetivo general	22
3.2. Objetivos específicos	22
4. MARCO TEÓRICO	23
4.1. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR	23
4.2. Aguas Residuales	23
4.3. Tipos De Aguas Residuales	24
4.3.1. Doméstica o urbana.....	24
4.3.2. Pecuarias	24
4.3.3. De origen agrícola.....	24
4.3.4. Industrial	24
4.3.5. Escorrentías.....	25
4.4. Funcionamiento de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	25
4.4.1. Tratamiento primario	25
4.4.2. Tratamiento secundario.....	25
4.4.3. Tratamiento terciario.....	26
4.4.4. Desinfección	26
4.4.5. Tratamiento de lodos.....	27
4.5. Filtro Anaerobio	27
4.5.1. Zona de reacción	28
4.5.2. Zona de pretratamiento	29
4.5.3. Operación y mantenimiento.....	29
4.6. Humedal Subsuperficial	30
4.6.1. Zona de oxidación.....	31

4.6.2.	Zona de transición.....	31
4.6.3.	Zona de filtración.....	32
4.6.4.	Operación y mantenimiento.....	32
4.7.	Eficiencias de las PTAR.....	33
4.7.1.	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	33
4.7.2.	Demanda química de oxígeno (DQO)	33
4.7.3.	Fósforo total (PT).....	34
4.7.4.	Nitrógeno orgánico (NOrg).....	34
4.7.5.	Sólidos sedimentables (SS).....	34
4.7.6.	Sólidos totales (ST).....	35
4.7.7.	Sólidos suspendidos (SST)	35
4.7.8.	Coliformes totales (CT)	35
5.	MARCO METODOLÓGICO	36
5.1.	Área de estudio	36
5.2.	Tipo de tratamiento.....	37
5.2.1.	Filtro Anaerobio.....	37
5.2.2.	Humedal vertical de flujo subsuperficial	37
5.3.	Costos de operación y mantenimiento.....	38
5.3.1.	Filtro Anaerobio.....	39
5.3.1.1.	Personal	39
5.3.1.2.	Insumos.....	43
5.3.1.3.	Movilización.....	43
5.3.2.	Humedal vertical de flujo subsuperficial	44
5.3.2.1.	Personal	44
5.3.2.2.	Insumos.....	45
5.3.2.3.	Movilización.....	45
5.4.	Determinación de costos	45
5.5.	Estadísticas.....	46
5.5.1.	Media	46
5.5.2.	Mediana.....	46
5.5.3.	Moda	47
5.5.4.	Rango	47
5.6.	Proyección de datos.....	48
5.7.	Determinación de eficiencias.....	49
6.	RESULTADOS.....	50

6.1. Filtro Anaerobio	50
6.1.1. Número de mantenimientos	50
6.1.2. Costos del personal	51
6.1.3. Costos por insumos	52
6.1.4. Costos por movilización	53
6.2. Humedal vertical de flujo subsuperficial	54
6.2.1. Número de mantenimientos	54
6.2.2. Costos por personal.....	55
6.2.3. Costos por insumos	56
6.2.4. Costos por movilización	57
6.3. Eficiencias	58
6.3.1. Filtro Anaerobio.....	58
6.3.2. Humedal vertical de flujo subsuperficial	60
6.4. Comparación de costos de operación de mantenimiento entre un filtro anaerobio y un humedal subsuperficial	61
6.4.1. Comparación de los sistemas de un filtro anaerobio y del humedal vertical de flujo subsuperficial	64
6.4.2. Eficiencia DBO.....	69
6.4.3. Eficiencia DQO.....	70
6.4.4. Eficiencia Coliformes Totales.....	71
7. CRONOGRAMA.....	72
8. CONCLUSIONES	73
9. RECOMENDACIONES	74
10. BIBLIOGRAFÍA	75
11. ANEXOS.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Ubicación de la PTAR.....	21
Figura 4.1 Esquema filtro anaerobio.....	28
Figura 4.2 Esquema general de un humedal vertical de flujo subsuperficial	30
Figura 5.1 PTAR Acchayacu	36
Figura 5.2 Esquema de configuración de la PTAR con filtro anaerobio	37
Figura 5.3 Esquema de configuración de la PTAR con humedal vertical	38
Figura 6.1 Costo mensual de mantenimiento filtro versus humedal.....	64
Figura 6.2 Costo por mantenimiento filtro versus humedal	65
Figura 6.3 Costo por personal filtro versus humedal.....	65
Figura 6.4 Costo por insumos filtro versus humedal	66
Figura 6.5 Costo por movilización filtro versus humedal	67
Figura 6.6 Porcentajes de componentes de costos para el filtro anaerobio	67
Figura 6.7 Porcentaje de costos para el humedal vertical de flujo subsuperficial	68
Figura 6.8 Eficiencia DBO del filtro anaerobio versus humedal vertical.....	69
Figura 6.9 Eficiencia DQO del filtro versus el humedal vertical de flujo subsuperficial.....	70
Figura 6.10 Eficiencia Coliformes totales del filtro versus humedal vertical de flujo subsuperficial	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1	Frecuencia de mantenimientos del filtro anaerobio	30
Tabla 4.3	Frecuencia de mantenimientos de un humedal vertical	33
Tabla 5.1	Datos de población.....	39
Tabla 6.1	Número de mantenimientos realizados al filtro anaerobio	51
Tabla 6.2	Costo por personal para el filtro anaerobio.....	52
Tabla 6.3	Costos mensuales de insumos del filtro anaerobio	53
Tabla 6.4	Costos por movilización del filtro anaerobio.....	54
Tabla 6.5	Número de mantenimientos para el humedal vertical de flujo subsuperficial.....	55
Tabla 6.6	Costo del personal para el humedal vertical de flujo subsuperficial	56
Tabla 6.7	Costos por insumos del humedal vertical de flujo subsuperficial.....	57
Tabla 6.8	Costos por movilización del humedal vertical superficial.....	58
Tabla 6.9	Eficiencia del filtro anaerobio.....	59
Tabla 6.10	Eficiencia del humedal vertical de flujo subsuperficial.....	60
Tabla 6.11	Datos de costos proyectados del filtro anaerobio	61
Tabla 6.12	Datos de costos del humedal vertical de flujo subsuperficial	62

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Tabla de costos mensuales del filtro anaerobio	76
Anexo 2. Tabla de costos mensuales del humedal vertical de flujo subsuperficial.....	78
Anexo 3. Índice de precios de la construcción	80
Anexo 4. Hoja de registro de mantenimiento preventivo PTAR rurales.....	81
Anexo 5. Ubicación de la PTAR de Acchayacu.....	83

1. INTRODUCCIÓN

El saneamiento es motivo de preocupación a nivel global, y cada día se evidencia la necesidad fundamental de garantizar una vida saludable. Según la Organización Mundial de la Salud, alrededor de 2.4 mil millones de personas en todo el mundo viven en condiciones insalubres. Sus prácticas de higiene son tan deficientes que su exposición a riesgos de incidencia y propagación de enfermedades infecciosas es extremadamente alta. De acuerdo con esta estadística, el saneamiento desempeña un papel crucial en el control de enfermedades al reducir los factores de riesgo asociados.

En Ecuador, al igual que en el resto del mundo, se continúa con el proceso de urbanización de su territorio. Hasta el año 2015, la población rural representaba el 37% de todos los ecuatorianos, lo que indica una disminución en el porcentaje de áreas rurales. A pesar de ello, muchas comunidades aún esperan la implementación de un sistema de saneamiento. El principal desafío para la implementación de sistemas centralizados en estas áreas es la generación de incertidumbre debido a la distribución de grandes obras entre un número reducido de habitantes.

En Cuenca entre los años 1968 y 1985, se construyó el primer sistema de alcantarillado, pero lamentablemente no funcionaba correctamente de acuerdo a los objetivos establecidos. Esto condujo a la detección de numerosas conexiones ilegales y descargas sanitarias que se unían a los colectores pluviales y viceversa, lo cual afectaba el tratamiento adecuado del sistema sanitario. En la actualidad, una gran proporción de los sistemas de alcantarillado son de tipo combinado y se transportan hacia la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Ucubamba para recibir el tratamiento correspondiente, lo cual garantiza el servicio y mejora las condiciones sanitarias.

En los últimos años, la Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y saneamiento (ETAPA EP) ha estado enfocada en encontrar soluciones sostenibles para las áreas rurales, y ha optado por implementar sistemas descentralizados debido a las ventajas que ofrecen. No obstante, este proceso aún implica costos elevados y presenta algunas limitaciones, como el rápido crecimiento de la población, el aumento en el caudal de aguas residuales, posibles deficiencias en los diseños de los sistemas y el tiempo necesario para su operación, entre otros aspectos.

En Cuenca se ha implementado diversos tipos de PTAR, los mismo que se describen a continuación: PTAR convencional emplea procesos químicos, físicos y biológicos para el tratamiento de aguas servidas. PTAR de lodos activos usa microorganismos anaerobios para descomponer la materia orgánica presente. PTAR de filtros verdes que usan plantas acuáticas y sustratos filtrantes.

El pretratamiento está compuesto de una reja de entrada y desarenador, además de una estructura de derivación de excesos, se evidencia que existen algunas PTAR que no cuentan con un pretratamiento completo. La etapa de tratamiento primario en su mayoría son tanques sépticos con un promedio de dos cámaras. Para el tratamiento secundario el filtro anaerobio y el humedal son la última unidad de tratamiento previo a la descarga al cuerpo receptor. Finalmente, la disposición de lodos se realiza en lechos de secado.

ETAPA EP ha implementado un sistema de tratamiento de aguas residuales de un humedal vertical de flujo subsuperficial en la comunidad de Acchayacu perteneciente a la parroquia Tarqui desde agosto del año 2022, en remplazo de un sistema con filtro anaerobio.

En este proyecto se plantea un análisis de costos de operación y mantenimiento de los dos sistemas para determinar el más factible técnica y económicamente.

2. PROBLEMA

2.1.Descripción Del Problema

El análisis comparativo en base a los costos de operación y mantenimiento entre un filtro anaerobio y un humedal vertical en una PTAR se enfoca en determinar el tratamiento de aguas residuales más factible en términos económicos a largo plazo.

El problema en el análisis de costos de operación y mantenimiento entre un filtro anaerobio y un humedal vertical de flujo subsuperficial radica en la complejidad y la variabilidad en los factores involucrados en cada uno de estos sistemas de tratamiento de aguas residuales.

El filtro anaerobio requiere una serie de procesos biológicos que se llevan a cabo en un medio ambiente sin oxígeno, lo que implica el consumo de energía para mantener las condiciones adecuadas. Además, el mantenimiento del medio filtrante puede ser costoso en términos de reemplazo de materiales y mano de obra.

Por otro lado, el humedal vertical de flujo subsuperficial aprovecha los procesos de purificación. Si bien su operación requiere menor cantidad de energía, la gestión adecuada de la vegetación y la presencia de organismos depredadores puede ser más complejo y costoso que el mantenimiento de un filtro anaerobio.

A pesar de que ambos sistemas son utilizados comúnmente para tratar aguas residuales, todavía existe incertidumbre sobre cuál es la mejor opción en términos de costos-efectividad. Esta falta de información puede ser un obstáculo para la toma de decisiones al momento de implementar una planta de tratamiento de aguas residuales.

2.1.1. Antecedentes

La planta de aguas residuales de Acchayacu está ubicada en la parroquia Tarqui, del cantón Cuenca, fue construida por ETAPA EP en el año 1993 cuya capacidad de tratamiento es de 3.24 l/s, consta de un área aproximada de 302 m². La planta capta el efluente de 150 hogares, la descarga de aguas servidas hacia la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) se hace a través de una red de alcantarillado sanitario que tiene una longitud de 2530.75 m. Actualmente la red del alcantarillado sanitario cubre la zona norte de la comunidad, mientras que los predios restantes eliminan las aguas servidas a través de pozos sépticos, pozos ciegos, o descargas directas a las quebradas.

En el año 2019 al evaluar las condiciones de infraestructura y procesos de tratamiento de aguas residuales de la PTAR, se identificó deficiencias en el sistema con filtro anaerobio, por lo que se reemplazó por un humedal vertical de flujo subsuperficial, que inició sus operaciones el 04 de agosto del 2022.

2.1.2. Importancia y alcances

Un análisis comparativo entre un filtro anaerobio y un humedal vertical de flujo subsuperficial es de gran importancia en la evaluación de la eficiencia y viabilidad de estos sistemas de tratamiento de aguas residuales. El costo de operación y mantenimiento es un factor crítico en la selección de tecnologías de tratamiento, ya que puede representar una parte significativa del presupuesto de un proyecto a largo plazo.

Este análisis se enfoca en la evaluación de los costos asociados con la construcción, operación y mantenimiento de estos sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Identifica las etapas donde se pueden realizar mejoras tanto en la eficiencia como en la reducción de costos, lo que puede tener un impacto significativo en la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

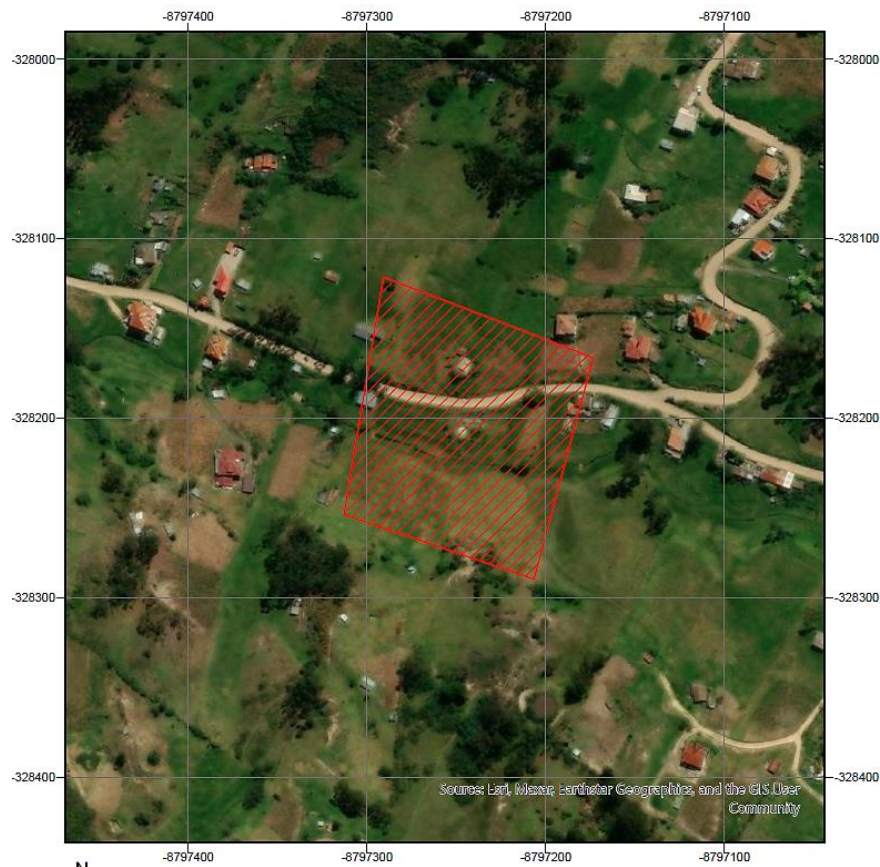
2.1.3. Delimitación

El problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:

2.1.3.1. Espacial geográfica

La planta de tratamiento de aguas residuales de Acchayacu pertenece a la parroquia Tarqui, del cantón Cuenca, provincia del Azuay. Se ubica en las coordenadas geográficas 719299.69 E y 9671877.34 m S según datum WGS84 en la zona 17 Sur. Se encuentra a una altitud de 2687 m.s.n.m. En la **Figura 2.1**, se muestra la ubicación de la PTAR de Acchayacu.

Figura 2.1 Ubicación de la PTAR



2.1.3.2.Temporal

El trabajo de titulación sobre el análisis de costos de operación y mantenimiento entre un filtro anaerobio y un humedal vertical de flujo subsuperficial se desarrollará desde el mes de marzo y finalizado en el mes de junio del año 2023.

2.1.3.3.Sectorial o institucional

El presente estudio se realizará mediante un convenio interinstitucional entre la Universidad Politécnica Salesiana y la Empresa Pública de Agua Potable y Saneamiento ETAPA EP de la ciudad de Cuenca.

3. OBJETIVOS

3.1.Objetivo general

Evaluar la factibilidad económica en la fase de operación y mantenimiento entre un filtro anaerobio y un humedal vertical de flujo subsuperficial en la planta de Acchayacu.

3.2.Objetivos específicos

- Analizar los costos de operación y mantenimiento de la PTAR con humedal vertical de flujo subsuperficial y una PTAR con filtro anaerobio.
- Comparar los costos de operación y de mantenimiento de la PTAR con filtro anaerobio y un humedal vertical de flujo subsuperficial.
- Comparar la eficiencia operativa entre una PTAR con filtro anaerobio y una PTAR con humedal vertical de flujo subsuperficial.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR

Una PTAR es una instalación que se utiliza para limpiar y tratar las aguas residuales para que puedan descargarse de manera segura en el medio ambiente, cuerpos de agua (ríos, lagos, mares u océanos), sistemas de riego (irrigar cultivos y campos de golf), recarga de acuíferos (las aguas residuales tratadas se infiltran en el suelo para recargar los acuíferos), reutilización industrial o para fines no potables (Ramalho, 1996).

El proceso de tratamiento de aguas residuales generalmente implica varias etapas, que incluyen: la eliminación de sólidos y materiales orgánicos por procesos físicos, químicos o biológicos. Los componentes principales de una PTAR suelen tener un sistema de alcantarillado que transporta las aguas residuales, una unidad de pretratamiento, un sistema de tratamiento biológico y un proceso de desinfección que elimina las bacterias y los virus presentes en el agua tratada (Ramalho, 1996).

Las plantas de tratamiento de aguas residuales son fundamentales para proteger la salud pública y el medio ambiente al reducir la cantidad de contaminantes liberados en el agua que pueden dañar los ecosistemas y afectar la calidad del agua (Ramalho, 1996).

4.2. Aguas Residuales

Se tratan de descargas con fines de producción municipal, industrial, comercial, animal, doméstica y agrícola u otros usos donde se comprometa la calidad original del líquido. Por esta razón, es importante realizar un adecuado tratamiento con el objetivo de eliminar los contaminantes y reutilizar el agua o regresarla al medio ambiente de manera segura (Falcon, 2009).

4.3. Tipos De Aguas Residuales

4.3.1. Doméstica o urbana

Las aguas residuales domésticas provienen de viviendas, locales comerciales, ya sean públicos o privados. Su composición corresponde a los residuos de servicio sanitario, aguas utilizadas para el lavado, limpieza e higiene personal, en las que están presentes en mayor o menor medida de impurezas como agentes patógenos, detergentes, sólidos entre otros (Valencia, 2016).

4.3.2. Pecuarias

El agua residual pecuaria abarca con los aspectos en el uso de la ganadería, sus características son similares al uso doméstico, se desarrolla de forma intensiva, en el primero suele ocurrir directamente en los cauces de los ríos, y en el segundo se relaciona con fenómenos hidrológicos (Valencia, 2016).

4.3.3. De origen agrícola

El agua residual agrícola, se refiere al arrastre del agua causado por las lluvias y el agua de riego utilizada en la agricultura. Las aguas residuales generalmente fluyen hacia ríos y embalses, contaminando sus aguas debido al uso de contaminantes químicos (Valencia, 2016).

4.3.4. Industrial

Estas aguas residuales tienen su origen en diversas actividades industriales, la presencia de este tipo de agua es proporcional a las industrias existentes. Se dividen por procesos de limpieza, agua doméstica, refrigeración y calefacción que se clasifican bajo los mismos nombres y causan diferentes tipos de contaminación (Valencia, 2016).

4.3.5. Escorrentías

Estos son cuerpos de agua que provienen de la lluvia en la cavidad de la ciudad, los caudales son 50-200 veces mayores que los cuerpos de agua de los locales comerciales e industriales. Este tipo de agua es recibida por superficies impermeables como edificios, aceras, caminos, azoteas y aceras (Valencia, 2016).

4.4. Funcionamiento de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

4.4.1. Tratamiento primario

El tratamiento primario en las PTAR es el primer proceso de tratamiento del agua residual. Su objetivo principal es eliminar los sólidos y materiales suspendidos más grandes presentes en el agua antes de someterla a tratamientos más avanzados. Una vez completado el tratamiento primario, el agua residual que ha pasado por las etapas de criba y sedimentación se somete a tratamientos secundarios y terciarios para eliminar una mayor cantidad de contaminantes antes de que el agua tratada sea descargada en cuerpos receptores o reutilizada para otros fines (Romero, 2004).

Es importante destacar que el tratamiento primario por sí solo no es suficiente para purificar completamente el agua residual, ya que no elimina muchos contaminantes disueltos ni microorganismos patógenos.

4.4.2. Tratamiento secundario

En el tratamiento secundario se realiza la eliminación biológica de los contaminantes del agua mediante procesos como el tratamiento aeróbico o anaeróbico. En esta etapa también se puede incluir equipos como aireadores, reactores biológicos, filtros biológicos y clarificadores secundarios. Estos procesos biológicos en el tratamiento secundario son

altamente eficientes en la reducción de materia orgánica y nutrientes como nitrógeno y fósforo. Sin embargo, algunos compuestos persistentes y contaminantes no biodegradables pueden no ser completamente eliminados en esta etapa (Romero, 2004).

Por lo tanto, en ciertos casos, se requiere un tratamiento terciario adicional para lograr una mayor eliminación de contaminantes y obtener un efluente de alta calidad antes de su liberación o reutilización.

4.4.3. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario se eliminan los contaminantes no biodegradables y los nutrientes del agua mediante procesos como la filtración, la absorción y la desinfección. En esta etapa puede incluir la evaluación de equipos como filtros de arena, filtros de carbón activado, unidades de ozonización y cloración. Generalmente implica procesos avanzados que van más allá de la eliminación de materia orgánica y nutrientes.(Romero, 2004)

El tratamiento terciario puede adaptarse según las necesidades específicas de cada planta y los estándares de calidad del efluente requeridos. Su implementación permite obtener un agua tratada de alta calidad que puede ser descargada de manera segura al medio ambiente o reutilizada para diversos fines (Romero, 2004).

4.4.4. Desinfección

La fase de desinfección en una PTAR es una etapa crucial del proceso de tratamiento, donde se eliminan o inactivan los microorganismos patógenos presentes en el agua residual tratada. El objetivo principal de la desinfección es garantizar que el efluente cumpla con los estándares de calidad requeridos antes de su descarga al medio ambiente o su reutilización para fines no potables (Romero, 2004).

La fase de desinfección generalmente sigue al tratamiento primario y secundario y puede involucrar diferentes procesos y tecnologías.

4.4.5. Tratamiento de lodos

Este proceso suele producir diversos subproductos que quedan en las rejillas y sedimentadores que deben someterse a un extenso proceso de tratamiento como espesamiento, digestión, secado, incinerado y oxidación; porque si contiene materia orgánica, puede afectar el medio ambiente (Romero, 2004).

El tratamiento de lodos en las PTAR es fundamental para garantizar una gestión adecuada de estos residuos y minimizar su impacto ambiental. Los procesos de espesamiento, estabilización, deshidratación y disposición final de los lodos deben realizarse siguiendo las regulaciones y mejores prácticas establecidas para asegurar la protección del medio ambiente (Romero, 2004).

4.5. Filtro Anaerobio

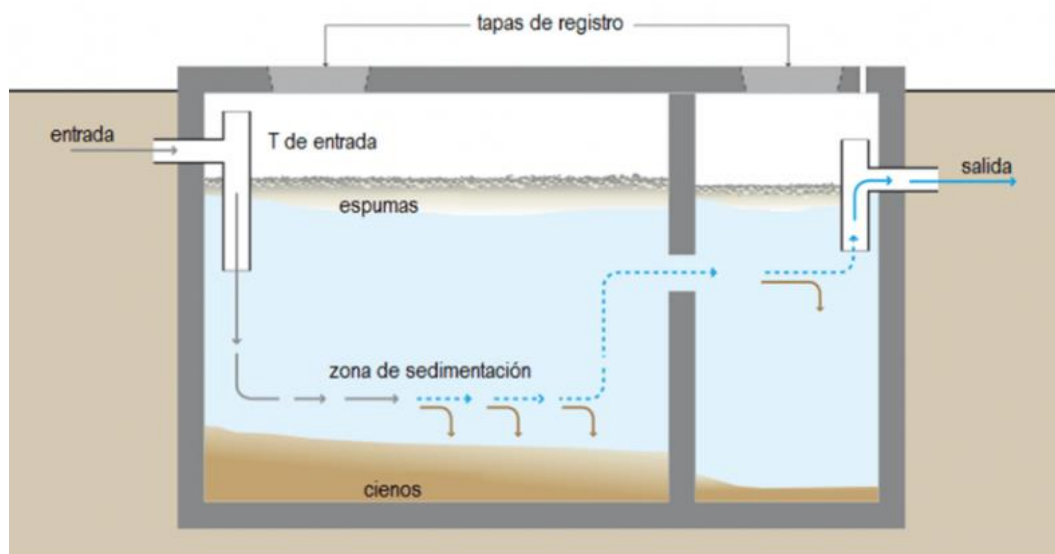
El filtro anaerobio es un tipo de sistema de tratamiento biológico utilizado en plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que se basa en la actividad de microorganismos anaerobios para la degradación de la materia orgánica presente en el agua residual. A diferencia de otros procesos biológicos aerobios que requieren la presencia de oxígeno, el filtro anaerobio se desarrolla en un ambiente sin oxígeno (Russell, 2012).

En la **Figura 4.1**, se indica que este sistema consta de un lecho filtrante compuesto por un medio de soporte, como grava, piedras, plástico estructurado o material sintético poroso. Este medio de soporte proporciona una superficie de adherencia para la colonización de los microorganismos anaerobios.

El agua residual ingresa al filtro anaerobio en la parte superior y fluye a través del lecho filtrante hacia abajo (Russell, 2012).

Durante el proceso de filtración anaerobia, los microorganismos descomponen la materia orgánica mediante una serie de reacciones bioquímicas, como la fermentación y la digestión anaerobia. Estos microorganismos metabolizan los compuestos orgánicos presentes en el agua residual y los transforman en productos finales como biogás (principalmente metano y dióxido de carbono) y subproductos estables, como ácidos grasos volátiles y gases (Russell, 2012).

Figura 4.1 Esquema filtro anaerobio



Fuente: (Eawag, 2023)

4.5.1. Zona de reacción

La zona de reacción en un filtro anaerobio se refiere a la región del sistema donde ocurren las principales transformaciones y procesos biológicos relacionados con la degradación de la materia orgánica en el agua residual. Es el lugar donde los microorganismos anaerobios presentes en el lecho filtrante llevan a cabo la descomposición y fermentación de los compuestos orgánicos (Ramalho, 1996).

En esta zona, los microorganismos anaerobios adheridos al medio de soporte forman una biopelícula o película biológica. Esta biopelícula es esencial para el proceso de tratamiento, ya que proporciona un entorno favorable para los microorganismos y promueve las reacciones de degradación de la materia orgánica (Russell, 2012).

4.5.2. Zona de pretratamiento

La zona de pretratamiento PTAR se refiere a la etapa inicial del proceso de tratamiento donde se llevan a cabo operaciones preliminares para remover los sólidos gruesos y los contaminantes más grandes presentes en el agua residual antes de que ingresen al tratamiento principal (Russell, 2012).

La función principal de esta zona es proteger las etapas posteriores del proceso de tratamiento de la PTAR al eliminar los materiales que podrían obstruir o dañar los equipos y procesos. Al eliminar los sólidos y los contaminantes más grandes, se evita el deterioro de los equipos de bombeo, tuberías y otros componentes del sistema (Russell, 2012).

4.5.3. Operación y mantenimiento

Un filtro anaerobio requiere de seis a nueve meses de tiempo una vez puesto en marcha de tal manera que pueda alcanzar la capacidad total de tratamiento, porque la biomasa anaeróbica de crecimiento lento primero debe asentarse en el filtro. Para acortar el tiempo inicial, el filtro se puede infectar con bacterias anaerobias; por ejemplo: rociar lodos de fosas sépticas sobre el material del filtro.

Debido al delicado equilibrio biológico, se debe tener cuidado para garantizar que los productos químicos fuertes no entren en el filtro anaeróbico, con el tiempo, los sólidos obstruyen los poros del filtro y los tanques de filtro anaeróbico deben revisarse regularmente para asegurarse de que sean impermeables. En la **Tabla 4.1**, se indica las actividades y frecuencia de mantenimientos a realizar en una planta con filtro anaerobio.

Tabla 4.1 Frecuencia de mantenimientos del filtro anaerobio

Estructura	Actividades	Frecuencia
Rejillas	Limpieza de rejillas	Mensualmente
Sedimentador	Verificación de grado de sedimentación	Mensualmente
	Retiro de arenas y sedimentos	Anual
Fosa séptica	Succión de lodos	2 - 5 años
Filtro anaerobio	Reducción de material filtrante	6 y 9 meses

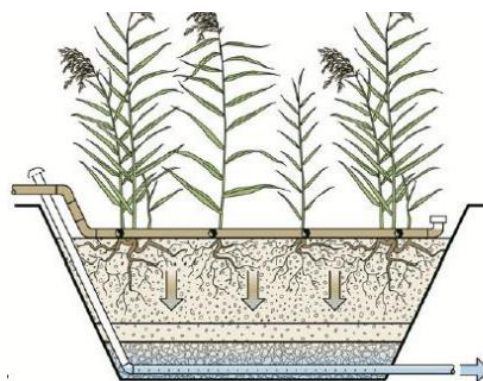
Fuente: (Yunga, 2019)

4.6.Humedal Subsuperficial

Son sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales que utilizan plantas acuáticas y microorganismos para remover los contaminantes presentes en el agua. En estos sistemas, el agua residual es dirigida a través de una serie de lechos o canales donde se cultivan plantas acuáticas (Russell, 2012).

En la **Figura 4.2**, el agua residual se dirige a través de una serie de lechos de filtración o canales que contienen un medio poroso, como arena, grava, cascajo u otros materiales de relleno adecuados. El agua residual fluye lentamente a través del medio poroso, permitiendo que se produzcan una serie de procesos de tratamiento (Russell, 2012).

Figura 4.2 Esquema general de un humedal vertical de flujo subsuperficial



Fuente:(J. García & Corzo, 2008)

4.6.1. Zona de oxidación

La zona de oxidación es una capa del suelo o sedimento ubicada justo por encima del nivel freático, donde ocurren procesos de oxidación de sustancias químicas. En los humedales, esta zona es vital ya que desempeña un papel importante en la depuración y filtración de los contaminantes presentes en el agua (Russell, 2012).

En esta zona los procesos biogeoquímicos, impulsados principalmente por bacterias y otros microorganismos, descomponen y transforman los compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en el agua. En particular, se enfoca en la oxidación de compuestos orgánicos, como los contaminantes y nutrientes disueltos, convirtiéndolos en formas menos tóxicas o más fáciles de eliminar. (Russell, 2012)

4.6.2. Zona de transición

Esta zona se encuentra en medio del humedal y es una zona de transición entre la zona de oxidación superior y la zona de filtración inferior. Aquí se produce una disminución de la concentración de nutrientes y contaminantes, y se promueve el crecimiento de plantas acuáticas y bacterias anaerobias (Ramalho, 1996).

La zona de transición es un área de gran importancia ecológica, ya que actúa como un filtro y una interfaz entre el agua y la tierra. Tiene la capacidad de retener, transformar y liberar nutrientes, contaminantes y sedimentos, influyendo así en la calidad del agua y en la biodiversidad del humedal (Ramalho, 1996).

Las características físicas y químicas de la zona de transición varían dependiendo del tipo de humedal, pero generalmente presenta una vegetación adaptada a condiciones

fluctuantes de inundación y sequía. Puede estar compuesta por plantas acuáticas emergentes, como juncos y espadañas, así como por árboles y arbustos tolerantes al agua (Falcon, 2009).

4.6.3. Zona de filtración

También conocida como zona de tratamiento o zona de raíces, es la capa inferior del humedal donde se produce la filtración y eliminación de los contaminantes restantes a través de actividad de bacterias anaerobias y el crecimiento de las raíces de las plantas acuáticas. Es esta zona donde se lleva a cabo la última fase del tratamiento del agua, antes de que sea descargada al medio ambiente (Ramalho, 1996).

La principal función de la zona es actuar como un medio de retención y filtración de sedimentos, compuestos químicos y organismos no deseados presentes en el agua. A medida que el agua fluye a través de esta capa, los sedimentos y partículas suspendidas se adhieren y se retienen en el suelo o sedimento, ayudando a limpiar el agua (Falcon, 2009).

Además de la retención de sedimentos, la zona de filtración también desempeña un papel importante en la eliminación de nutrientes, como el nitrógeno y el fósforo, que pueden provenir de actividades humanas o procesos naturales. Las plantas y los microorganismos presentes en el suelo o sedimento tienen la capacidad de absorber y transformar estos nutrientes, evitando que ingresen a los cuerpos de agua y causen problemas de eutrofización (Falcon, 2009).

4.6.4. Operación y mantenimiento

Son una alternativa económica y efectiva para el tratamiento de aguas residuales, ya que requieren poco mantenimiento y no dependen de productos químicos para su funcionamiento. Además, son una opción sostenible y amigable con el medio ambiente, ya que proporcionan un hábitat para la vida silvestre y pueden mejorar la calidad del agua en el entorno

en el que se encuentren. A continuación, en la **Tabla 4.2**, se indica las actividades y frecuencia de mantenimientos.

Tabla 4.2 Frecuencia de mantenimientos de un humedal vertical

Estructura	Actividades	Frecuencia
Rejillas	Limpieza de rejillas	Mensualmente
Sedimentador	Verificación de grado de sedimentación	Mensualmente
	Retiro de arenas y sedimentos	Anual
Fosa séptica	Succión de lodos	2 - 5 años
Humedal Artificial	Extracción de basura	Mensualmente
	Poda de totora	Semestralmente

Fuente: (Yunga, 2019)

4.7.Eficiencias de las PTAR

4.7.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Es uno de los parámetros más utilizado en la caracterización de aguas residuales debido a que tiene su origen en el control de efluentes. Permite estimar la cantidad de oxígeno no disuelto requerido por los microorganismos en la degradación de materia orgánica. Este proceso tiene una duración de 5 días, a una temperatura de 20 °C. La DBO se expresa generalmente en miligramos de oxígeno por litro (mg/L) (López et al., 2017a).

4.7.2. Demanda química de oxígeno (DQO)

La DQO es un parámetro utilizado para medir la cantidad de oxígeno necesarios para oxidar químicamente la materia orgánica presente en la muestra y convertirla en CO₂ y H₂O. La determinación del DQO se realiza mediante oxidación química con bicromato, se expresa generalmente en miligramos de oxígeno por litro (mg/L). La DQO desempeña un papel

fundamental en la determinación de las tasas y la autorización de vertidos de aguas residuales de una planta de tratamiento al medio ambiente (López et al., 2017a).

4.7.3. Fósforo total (PT)

La presencia de fósforo en aguas residuales induce al crecimiento de algas, la descarga de 1 g de fósforo, en el agua, puede permitir la formación de más de 100g de biomasa, la cual representa una DBO de 150g de oxígeno para su oxidación aerobia completa, además de los problemas de eutrofización y crecimientos de fitoplancton (López et al., 2017a).

4.7.4. Nitrógeno orgánico (NOrg)

En aguas residuales se presenta principalmente en forma orgánica, formado parte de proteínas y en forma amoniacal. Se usa para el levantamiento de los lodos, en donde los resultados se expresan en mg/l de nitrógeno – N. Las aguas residuales domésticas crudas contienen del orden de 10 a 25 mg / l de nitrógeno amoniacal. Su presencia disminuye el nivel de oxígeno disuelto en las aguas superficiales, lo cual afecta negativamente al ecosistema acuático.

4.7.5. Sólidos sedimentables (SS)

Los sólidos sedimentables son aquellos que se depositan después de que una muestra de agua residual ha estado en el cono de Imhoff durante una hora. Estos sólidos forman parte de los componentes inorgánicos y pueden ser utilizados biológicamente para la absorción de biomasa. A su vez, esta biomasa se convierte en forma gaseosa, y estos gases se liberan a la atmósfera (López et al., 2017b).

4.7.6. Sólidos totales (ST)

Los sólidos totales se obtienen después que el agua ha sido sometida a evaporación y secado a 103 – 105 °C. A estas temperaturas la fracción orgánica se oxida y se convierte en gas dando como resultado una fracción inorgánica en forma de ceniza. Un alto nivel de sólidos totales indica que hay un alto nivel de material sólido en la muestra líquida (López et al., 2017b).

4.7.7. Sólidos suspendidos (SST)

Son pequeñas partículas de contaminantes sólidos insolubles que flotan en la superficie o están suspendidos en aguas residuales u otros líquidos. Resisten la remoción por medios convencionales. Son aquellos que son visibles y flotan en las aguas residuales entre superficie y fondo. Pueden ser removidos por medios físicos o mecánicos a través de procesos de filtración o de sedimentación (López et al., 2017b).

4.7.8. Coliformes totales (CT)

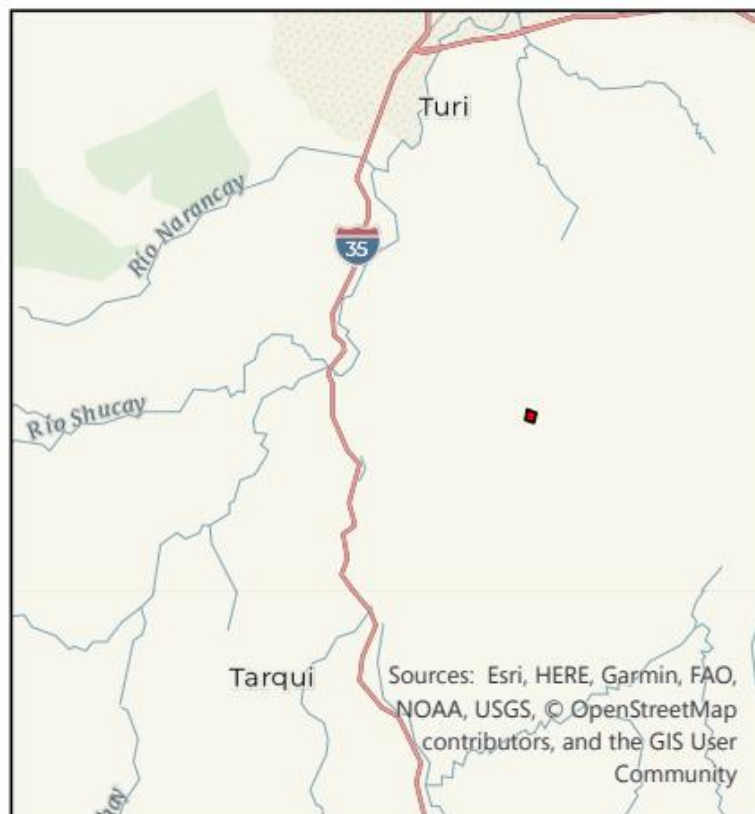
Los coliformes totales son un grupo bacteriano que se conforman con bacterias cortas aerobias o anaerobias facultativas que fermentan la lactosa con producción de gas. Las principales bacterias que conforman este grupo son el *Escherichia coli* (EC) y *Enterobacter Aerogenes*; sin embargo, dentro de esta especie se encuentran alrededor de 20 bacterias (López et al., 2017b).

5. MARCO METODOLÓGICO

5.1. Área de estudio

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Acchayacu se ubica en la comunidad del mismo nombre, la cual forma parte de las 26 comunidades pertenecientes a la parroquia Tarqui, situada al suroeste del cantón Cuenca, en la provincia del Azuay. En la **Figura 5.1**, se muestra la ubicación de planta.

Figura 5.1 PTAR Acchayacu

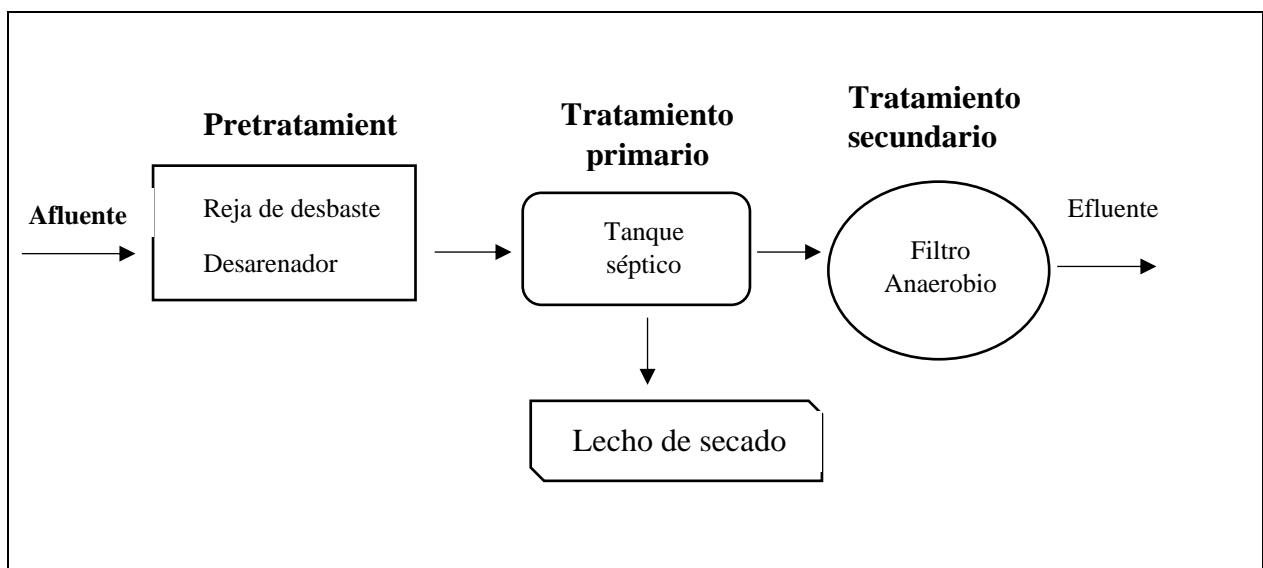


5.2. Tipo de tratamiento

5.2.1. Filtro Anaerobio

Al iniciar las operaciones la PTAR Acchayacu consistía en un sistema con filtro anaerobio el esquema de configuración se muestra en la **Figura 5.2**, compuesto por: tubería de ingreso, estructura de control de caudal, reja de entrada, seguido de un tanque séptico que dispone de dos cámaras, finalmente un filtro anaerobio circular de flujo ascendente, el mismo que estuvo en operación hasta diciembre del año 2021.

Figura 5.2 Esquema de configuración de la PTAR con filtro anaerobio



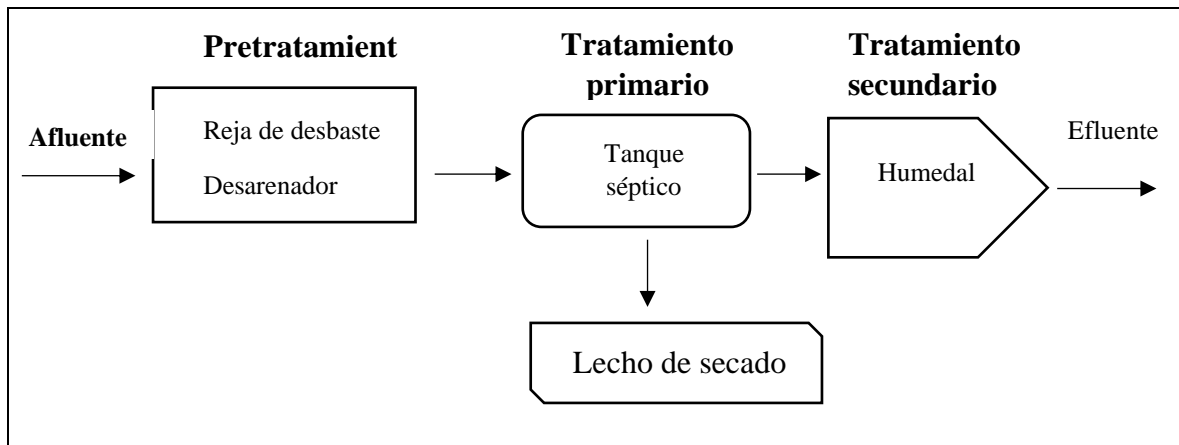
Fuente: (Caguana & Zhindón, 2023)

5.2.2. Humedal vertical de flujo subsuperficial

Actualmente la PTAR cuenta con las siguientes estructuras que se muestran en el esquema de la **Figura 5.3**: reja de entrada, desarenador, tanque séptico, un humedal vertical de flujo subsuperficial, que fue construido por la empresa ETAPA EP. La misma que está encargada de la operación y mantenimiento.

El área de los humedales es de 84.15 m², y se encuentra dividido en tres compartimentos iguales, cada uno con área de 28.05 m².

Figura 5.3 Esquema de configuración de la PTAR con humedal vertical



Fuente: (Caguana & Zhindón, 2023)

5.3. Costos de operación y mantenimiento

La empresa pública ETAPA EP está encargada de la operación y mantenimiento de las 25 PTAR de los sectores rurales, entre sus actividades se encuentran: toma de muestras, mantenimiento de las unidades de tratamiento y operación del sistema; mientras que los costos de operación y mantenimiento se dividen principalmente en: costos del personal, costos por insumos y costos por movilización.

Los costos de operación y mantenimiento dependen de la población servida en cada año de análisis, para ello fue importante definir una tasa de crecimiento poblacional para la comunidad de Acchayacu, esto se obtuvo mediante la información censal del año 2001 y 2010 publicada por el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo) y el método geométrico para su cálculo. Esto se muestra en la **Tabla 5.1**.

Tabla 5.1 Datos de población

CENSO DATOS INEC - 2021				
	Habitantes		Tasa	Caudal
PTAR	2001	2010	%	l/s
Acchayacu	2611	2935	1.18	3.24

Fuente: (Caguana & Zhindón, 2023)

5.3.1. Filtro Anaerobio

5.3.1.1. Personal

El personal de la PTAR realiza una variedad de funciones para garantizar la operación eficiente del sistema. Están compuestos por un equipo multidisciplinario que trabaja en conjunto para garantizar que las aguas residuales sean tratadas adecuadamente antes de ser vertidas al medio ambiente.

➤ *Chofer cuadrilla*

Son miembros importantes del equipo, su trabajo contribuye a la operación eficiente y segura de toda la planta. Su capacidad para movilizar a los trabajadores y entregar materiales en el momento adecuado es fundamental para mantener el sistema y toda la instalación funcionando sin problemas. Las actividades que realiza son:

- Transporte del personal: Se encarga de transportar al personal de operación y mantenimiento hasta los diferentes puntos de trabajo.
- Suministros y herramientas: Realiza la entrega de materiales, equipos y herramientas necesarias para las labores de la PTAR, asegurándose de que estén disponibles cuando se necesiten.

- **Mantenimiento y limpieza de vehículos:** Es responsable del mantenimiento básico de los vehículos utilizados, asegurando que estén en buen estado de funcionamiento y limpios para su uso diario.

➤ *Peón*

Los trabajadores de la PTAR, son trabajadores de nivel operativo que realizan una variedad de tareas de apoyo en la operación y mantenimiento de la planta. Sus responsabilidades pueden variar según la organización del sistema, pero algunas de ellas incluyen:

- Limpieza y mantenimiento
- Apoyo en tareas de reparación
- Control de maleza y vegetación
- Limpieza y manejo de residuos

➤ *Albañil*

Los albañiles, son trabajadores que se especializan en la construcción y mantenimiento de estructuras de concreto, albañilería e ingeniería civil. Su función principal puede variar según las necesidades específicas de la PTAR, sus tareas a realizar son:

- Colocación y reparación de estructuras.
- Revestimiento y sellado.
- Instalación de conductos y tuberías.
- Preparación del sitio.

➤ *Inspector*

Son profesionales responsables de las inspecciones y monitoreos dentro de la PTAR para asegurar que las operaciones y el mantenimiento se realicen correctamente y cumpliendo con las normas y reglamentos establecidos. Las responsabilidades del inspector son las siguientes:

- Inspección de las instalaciones de la PTAR.
- Monitorea los parámetros.
- Realiza la documentación y os reportes.
- Coordinación con el personal.
- Evaluación del cumplimiento normativo.
- Capacitaciones.

➤ *Auxiliar hidrocleaner*

Son trabajadores que realizan tareas específicas en la PTAR, es un miembro valioso del equipo de operaciones y mantenimiento, ya que su trabajo ayuda a mantener la eficiencia y el funcionamiento adecuado de las instalaciones y equipos de tratamiento de aguas residuales.

Su trabajo de limpieza y mantenimiento es fundamental para garantizar que se cumplan con los estándares de calidad del agua y las regulaciones ambientales. Algunas de las tareas que realiza incluyen:

- La limpieza del filtro anaerobio.
- Limpieza de conducciones y tuberías.
- Mantenimiento de equipos.
- Limpieza de cámara y tanques.

- El manejo de residuos.

➤ *Chofer hidrocleaner*

El chofer hidrocleaner es el trabajador que opera y conduce equipos especiales de limpieza y mantenimiento, ya que ayuda a garantizar un funcionamiento eficiente y seguro del filtro anaerobio y de toda la PTAR. Las responsabilidades pueden incluir:

- Mantenimiento de camión hidrocleaner.
- Limpieza de cámaras y tanques.
- Limpieza de equipos.
- Limpieza de áreas exteriores.

➤ *Ingeniero*

Los Ingenieros de las PTARS, son profesionales responsables de la planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Desempeña un papel clave en el funcionamiento eficiente y sostenible de la planta, su experiencia y conocimientos técnicos son fundamentales. Algunas de las responsabilidades del ingeniero en la PTAR son:

- Realiza el diseño del sistema.
- Supervisión de la construcción.
- Monitoreo y control.
- Operación y mantenimiento.
- Proyectos de mejora.

➤ *Chofer Ingeniero*

Es necesario enfatizar que la combinación de habilidades del trabajador puede ser beneficiosa en las plantas de tratamiento, ya que proporcionará una mayor movilidad y flexibilidad para los equipos de operaciones y mantenimiento. Sin embargo, los detalles de este rol dependerán de la estructura organizativa de la PTAR y las necesidades específicas del proyecto. Algunas de las actividades a realizar son las siguientes:

- Conducción y transporte.
- Monitoreo y control.
- Inspección y mantenimiento.
- Proyectos e implementación.

5.3.1.2.Insumos

En las PTAR, los insumos son los recursos, materiales y productos químicos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema. Se utilizan para garantizar que el proceso de tratamiento sea efectivo y logre el objetivo de eliminar los contaminantes de las aguas residuales. Algunos de los insumos más comunes usados son:

- Guantes
- Envases
- Cal
- Gasolina

5.3.1.3.Movilización

La movilización en una PTAR, ayuda en el desplazamiento dentro de la planta para llevar a cabo diversas tareas operativas, logísticas y de mantenimiento. Esta actividad es

necesario para transportar personal, equipos, materiales e insumos necesarios para el funcionamiento y mantenimiento del sistema. Uno de los equipos más utilizados es:

- Vehículo: tipo camioneta doble cabina

5.3.2. Humedal vertical de flujo subsuperficial

Los datos para el análisis de costos del humedal vertical de flujo subsuperficial se obtuvieron de las hojas de “REGISTRO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PTAR RURALES” otorgados por la empresa ETAPA EP. Las mismas que contienen la siguiente información:

5.3.2.1. Personal

Conformada por una cuadrilla tipo de 6 personas. Integrada por 1 chofer de cuadrilla, 2 peones, 1 inspector, 1 chofer ingeniero y 1 ingeniero. Registros de las actividades:

- Estructuras de ingreso: limpieza de basura acumulada en las rejillas, limpieza de arena acumulada en el desarenador, extracción de materiales, disposición de residuos y mitigación alcalina.
- Fosa séptica: extracción de material flotante, extracción de natas y reparación.
- Humedal: siembra de totora, extracción de hierbas y lechuguines, extracción de totora, poda de totora y limpieza de tubos de conexión.
- Mantenimiento general: poda de vegetación fuera de las lagunas, acumulación de materiales y residuos, desalojo de residuos.
- Muestreo: enjuague de recipientes mínimo 3 veces, envases estériles, llenado de envases (muestras físico-químicas), llenado de envases $\frac{3}{4}$ (muestras bacteriológicas),

cerrado de envases inmediato, etiquetado y guardado de las muestras en el contenedor y hora de entrega de la muestra en el laboratorio.

Todos estos datos son registrados y recopilados por el personal encargado de realizar el mantenimiento a la PTAR.

5.3.2.2.Insumos

Los insumos para el mantenimiento de la PTAR son: cal, la misma que es utilizada para la mitigación alcalina, Además de insumos complementarios: guantes y envases para la toma de muestras, y su posterior caracterización en los laboratorios de la empresa ETAPA EP que se considera como el principal costo dentro de este grupo. Se consideran costos adicionales por actividades como: poda de césped en el área dentro de la PTAR y bordillos.

5.3.2.3.Movilización

Se considera un vehículo utilizado para la movilización del personal desde las bodegas de la empresa ETAPA EP ubicadas en la Av. 10 de agosto hacia la PTAR.

5.4.Determinación de costos

Para determinar el costo total de operación y mantenimiento de la PTAR se cuantifico el costo por personal, costo por insumos y costo por movilización. El costo se cuantifico mensual y anualmente mediante la siguiente ecuación:

$$CT = CP + CI + CM \quad [1]$$

Donde:

CT: costo total de operación y mantenimiento

CP: costo del personal

CI: costo por insumos

CM: costo por movilización

5.5. Estadísticas

Los costos de operación y mantenimiento de estos dos sistemas, el filtro anaerobio y el humedal artificial, se han analizado tomando en cuenta las siguientes fórmulas para determinar los resultados de manera anual (Martínez, 2012).

5.5.1. Media

Es la suma de todos los valores de la variable las cuales son divididos por el número total de las observaciones.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad [2]$$

Donde

\bar{X} = Simboliza la media aritmética calculada para una muestra.

n = Número de valores que toma la variable

x_i = Valores que toma la variable en la muestra o en la población

5.5.2. Mediana

Encuentra el valor central (Murray, 2010)

$$Mediana = L_1 + \left(\frac{\frac{N}{2} - (\sum f)_1}{f_{mediana}} \right) c \quad [3]$$

Donde

L_1 = Frontera inferior de la clase mediana.

N = Número de datos.

$(\sum f)_1$ = Suma de todas las frecuencias.

$f_{mediana}$ = Frecuencia de la clase mediana.

c = Amplitud del intervalo de la clase mediana.

5.5.3. *Moda*

Es el valor que se encuentra con más frecuencia. (García C, 2016)

$$Moda = L_1 + \left(\frac{\Delta_1}{\Delta_1 + \Delta_2} \right) c \quad [4]$$

Donde

L_1 = Frontera inferior de la clase modal.

Δ_1 = Exceso de la frontera modal sobre la frecuencia en la clase inferior inmediata.

Δ_2 = Exceso de la frontera modal sobre la frecuencia en la clase superior inmediata

c = Amplitud del intervalo de la clase modal.

5.5.4. *Rango*

Es una medida de dispersión que representa la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo en un conjunto de datos. (García, 2005)

$$R = Máx_x - Mín_x \quad [5]$$

Donde

R = Es el rango.

Máx = Es el valor máximo de la muestra o población.

Mín = Es el valor mínimo de la muestra o población.

x = Es la variable sobre la que se pretende calcular esta medida.

5.6. Proyección de datos

Para realizar un análisis comparativo de costos de operación y mantenimiento en una misma línea de tiempo, se establece la proyección de costos de mantenimiento del filtro anaerobio para la fecha desde agosto del año 2022 hasta julio del año 2023.

Para los costos por personal se determina el porcentaje de incremento salarial para los años a proyectar, tomando como referencia los valores de salarios básicos unificados que presenta la Contraloría General del Estado cada inicio de año. El porcentaje de incremento se obtiene mediante la ecuación:

$$\%_{incremento} = \frac{\text{Salario año}_p - \text{Salario año}_b}{\text{Salario año}_b} * 100 \quad [6]$$

Donde:

$\%_{incremento}$: porcentaje de incremento salarial

Salario año_p: salario anual del año a proyectar

Salario año_b: salario anual del año base

Para determinar los costos proyectados por personal se utilizó la ecuación:

$$CPP = CP_b * (1 + \%_{incremento}) \quad [7]$$

Donde:

CPP: Costo por personal proyectado

CP_b: Costo por personal del mes base

%_{incremento}: porcentaje de incremento salarial

Para los costos de insumos y movilización, se realiza la proyección de datos mediante el Índice de Precios de Construcción, este es un indicador que mide los cambios en los precios de materiales y otros costos asociados en un determinado tiempo. Esta herramienta nos permite prever los costos a futuro.

Para determinar los costos proyectados se utilizó la ecuación:

$$C_p = \frac{IPCO_p}{IPCO_b} * C_b \quad [8]$$

Donde:

C_p: costos proyectados

IPCO_p: índice de precios del mes a proyectar

IPCO_b: índice de precios del mes base

C_b: costo del mes base

5.7.Determinación de eficiencias

Los parámetros analizados en laboratorio de las muestras obtenidas en la PTAR de Acchayacu son conductividad (Cond), demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO), fósforo total (PT), nitrógeno amoniacal (Namo), nitrógeno orgánico (Norg), oxígeno disuelto (OD), pH, sólidos sedimentables (SS), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos totales (ST), sustancias solubles al hexano (SusHexa), coliformes totales (CT) y coliformes termo tolerantes (Cter).

Los análisis de laboratorio son realizados bajo la metodología publicada por Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater (Métodos Estándar para Exámenes de Agua y Aguas Residuales).

Los parámetros considerados para evaluar la eficiencia entre un filtro anaerobio y un humedal vertical de flujo subsuperficial son: DBO₅ (mg/l), DQO (mg/l), y CT (NMP/100ml).

Para determinar la eficiencia de los parámetros medidos en la caracterización de la muestra se utilizó la ecuación:

$$E(\%) = \frac{(C_e - C_s)}{C_e} * 100 \quad [9]$$

Donde:

E (%): Eficiencia de remoción de contaminantes

C_e: concentración de carga contaminante de entrada a la PTAR

C_s: concentración de carga contaminante a la salida de la PTAR

6. RESULTADOS

6.1. Filtro Anaerobio

Se realiza un análisis de costos de operación y mantenimiento desde el mes de agosto del año 2020 hasta julio del año 2021. Se detalla mensualmente el costo del personal, insumos y movilización. Además, se presenta el número de muestreos mensuales realizados en la PTAR.

6.1.1. Número de mantenimientos

El mantenimiento en la PTAR con filtro anaerobio incluye actividades como limpieza, monitoreo y control de procesos, entre otros. El número de mantenimientos realizados tienen relación directa con los costos de operación y mantenimiento. Mientras mayor sea el número de mantenimientos, esto incrementará el costo de operación y mantenimiento.

Tabla 6.1 Número de mantenimientos realizados al filtro anaerobio

Año	Mes	No. Mantenimientos
2020	Agosto	2
	Septiembre	1
	Octubre	1
	Noviembre	2
	Diciembre	3
2021	Enero	1
	Febrero	2
	Marzo	2
	Abril	2
	Mayo	4
	Junio	4
	Julio	4
TOTAL		28

Los registros se analizaron desde agosto del año 2020 hasta julio del año 2021. En la **Tabla 6.1**, nos indica un total de 28 mantenimientos realizados en este periodo, siendo los meses de mayo, junio y julio los que presentan un total de 4 mantenimientos mensuales, mientras que en los meses de septiembre, octubre y enero se registra únicamente 1 mantenimiento.

6.1.2. Costos del personal

El análisis de costos del personal se realizó mensualmente desde agosto del año 2020 hasta julio del 2021. Los mismos que con el índice de precios de la construcción fueron proyectados hacia agosto del año 2022 hasta julio del año 2023.

Tabla 6.2 Costo por personal para el filtro anaerobio

Año	Mes	Costo por personal \$
2020	Agosto	\$ 111.67
	Septiembre	\$ 55.84
	Octubre	\$ 55.84
	Noviembre	\$ 111.67
	Diciembre	\$ 167.51
2021	Enero	\$ 56.60
	Febrero	\$ 84.90
	Marzo	\$ 113.20
	Abril	\$ 113.20
	Mayo	\$ 184.36
	Junio	\$ 226.41
	Julio	\$ 226.41
TOTAL		\$ 1,507.61

En la **Tabla 6.2**, se muestra que en los meses de septiembre y octubre el costo por personal es de \$55.84, mientras que los meses de junio y julio tienen un costo de \$226.41, siendo estos dos últimos los que registran el mayor costo por personal. El costo total por personal es de \$1507.61.

6.1.3. Costos por insumos

Para el costo por insumos de la PTAR, se analizó los datos de recursos, materiales y productos químicos utilizados en el mantenimiento. También se incluyen costos de mantenimiento general como: poda de la vegetación fuera de las lagunas.

Tabla 6.3 Costos mensuales de insumos del filtro anaerobio

Año	Mes	Costo por Insumos \$
2020	Agosto	\$ 233.69
	Septiembre	\$ 239.10
	Octubre	\$ 3.83
	Noviembre	\$ 242.93
	Diciembre	\$ 237.36
2021	Enero	\$ 239.10
	Febrero	\$ 240.77
	Marzo	\$ 242.43
	Abril	\$ 16.43
	Mayo	\$ 249.49
	Junio	\$ 246.29
	Julio	\$ 250.44
TOTAL		\$ 2,441.87

En la **Tabla 6.3**, se observa que en el mes de octubre del año 2020 y en abril del 2021, el costo por insumos es mínimo con relación a los otros meses esto debido a que no se registran toma de muestras para caracterización. El costo por caracterización de muestra es de \$ 229. 20.

6.1.4. Costos por movilización

Para determinar el costo por movilización se cuantifica por kilómetro recorrido, desde las bodegas de la empresa ETAPA EP ubicadas en la Av. 10 de agosto, hasta la PTAR de Acchayacu. Con una distancia recorrida de 12 km.

Tabla 6.4 Costos por movilización del filtro anaerobio

Año	Mes	Costo por movilización \$
2020	Agosto	\$ 2.72
	Septiembre	\$ 1.36
	Octubre	\$ 1.36
	Noviembre	\$ 1.36
	Diciembre	\$ 4.08
2021	Enero	\$ 0.91
	Febrero	\$ 1.79
	Marzo	\$ 2.68
	Abril	\$ 2.72
	Mayo	\$ 4.08
	Junio	\$ 4.08
	Julio	\$ 1.36
TOTAL		\$ 28.53

En la **Tabla 6.4** se detalla los costos analizados por movilización, donde se observa que, en el mes de diciembre del año 2020, en mayo y junio del 2021, el costo es de \$4.08 siendo este el mayor costo registrado. Mientras que en septiembre, octubre, noviembre y julio presentan un costo de \$1.36. El costo total por movilización es de \$28.53.

6.2. Humedal vertical de flujo subsuperficial

6.2.1. Número de mantenimientos

Se registraron datos desde el periodo comprendido entre agosto del año 2022 y mayo del año 2023, debido a que el humedal vertical de flujo subsuperficial inicia su operación desde el 04 de agosto del 2022.

Tabla 6.5 Número de mantenimientos para el humedal vertical de flujo subsuperficial

Año	Mes	#Mantenimiento
2022	Agosto	7
	Septiembre	10
	Octubre	8
	Noviembre	8
	Diciembre	12
2023	Enero	8
	Febrero	7
	Marzo	4
	Abril	7
	Mayo	8
TOTAL		79

En la **Tabla 6.5**, se registra un total de 79 mantenimientos para los meses comprendidos entre agosto del año 2022 y mayo del año 2023. En agosto del año 2022 se registra un total de 7 mantenimientos realizados la PTAR. En el mes de septiembre 10 mantenimientos, mientras que en diciembre se alcanza 12 mantenimientos siendo este el máximo mensual realizado, y en el mes de marzo con un mínimo de 4 mantenimientos.

6.2.2. Costos por personal

Los registros entregados por ETAPA EP, va desde el mes de agosto del año 2022, fecha que comienza a operar el humedal vertical de flujo subsuperficial, hasta mayo del año 2023.

Tabla 6.6 Costo del personal para el humedal vertical de flujo subsuperficial

Año	Mes	Costo por personal \$
2022	Agosto	\$ 66.71
	Septiembre	\$ 136.15
	Octubre	\$ 87.14
	Noviembre	\$ 87.14
	Diciembre	\$ 196.06
2023	Enero	\$ 87.11
	Febrero	\$ 76.24
	Marzo	\$ 21.78
	Abril	\$ 76.24
	Mayo	\$ 87.14
TOTAL		\$ 921.71

En la **Tabla 6.6**, se observa que en el primer mes correspondiente a agosto el costo por personal es de \$66.71, mientras que para el septiembre el valor se incrementa a \$136.15, en octubre y noviembre se mantiene el costo con un valor de \$87.14, para el mes de diciembre el costo es de \$196.06 siendo este el más representativo de los registros, durante el mes de marzo el costo del personal es de \$21.78 siendo este un costo mínimo. El costo total por personal es de \$921.71.

6.2.3. Costos por insumos

Se realizó el análisis de costos por insumo en la PTAR con sistema de humedal subsuperficial, considerando que al iniciar su operación, este sistema requiere mayor cantidad de toma de muestras para caracterización de parámetros y posterior comparación de eficiencias.

Tabla 6.7 Costos por insumos del humedal vertical de flujo subsuperficial

Año	Mes	Costo por Insumos \$	
2022	Agosto	\$	459.72
	Septiembre	\$	230.33
	Octubre	\$	233.69
	Noviembre	\$	276.88
	Diciembre	\$	230.80
2023	Enero	\$	229.86
	Febrero	\$	276.88
	Marzo	\$	276.88
	Abril	\$	276.88
	Mayo	\$	276.88
TOTAL		\$	2,768.81

En la **Tabla 6.7**, se muestra los registros obtenidos por insumos utilizados en la PTAR con humedal vertical de flujo subsuperficial. En el mes de agosto, cuando inicio de operación de humedal su observa un costo de \$459.72 siendo este el mayor costo registrado durante el periodo de análisis, esto debido a que se realizaron 2 tomas de muestras para análisis en laboratorio. Durante los meses restantes el costo no ha incrementado. El costo total por insumos es de \$2768.81.

6.2.4. Costos por movilización

El costo por movilización se establece en función de los kilómetros recorridos desde las bodegas de la ETAPA EP, situadas en la Av. 10 de agosto, hasta la PTAR de Acchayacu.

Tabla 6.8 Costos por movilización del humedal vertical superficial

Año	Mes	Costo por movilización \$
2022	Agosto	\$ 9.53
	Septiembre	\$ 13.62
	Octubre	\$ 10.89
	Noviembre	\$ 10.89
	Diciembre	\$ 16.34
2023	Enero	\$ 10.89
	Febrero	\$ 10.89
	Marzo	\$ 5.45
	Abril	\$ 10.89
	Mayo	\$ 10.89
	TOTAL	\$ 110.28

En la **Tabla 6.8**, se indica el costo por movilización registrados desde agosto del año 2022, hasta mayo del año 2023. Durante el primer mes de operación de este sistema el costo por movilización es de \$9.53, incrementándose a \$13.62 para septiembre, en los meses de octubre, noviembre, enero, febrero, abril y mayo el costo es de \$10.89, mientras que el mayor costo se registra en diciembre con un valor de \$16.34 y en marzo del 2023 se registró un costo mínimo de \$5.45. El costo total por movilización es de \$110.28.

6.3. Eficiencias

6.3.1. Filtro Anaerobio

Para la eficiencia del filtro anaerobio se analizó los datos desde agosto del año 2020 hasta marzo del año 2021. Los parámetros de caracterización fueron analizados en los laboratorios de la empresa ETAPA EP.

Tabla 6.9 Eficiencia del filtro anaerobio

Eficiencia del filtro anaerobio								
Parámetro	2020					2021		
	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
Cond	17.08%	7.76%	-	2.82%	9.79%	1.53%	-	-
DBO	87.67%	92.24%	-	89.84%	75.27%	86.44%	-	-
DQO	90.72%	90.54%	-	89.36%	67.37%	75.67%	-	32.04%
Pt	64.00%	78.51%	-	73.96%	64.78%	62.90%	-	-
Namo	12.48%	24.15%	-	-	-	-	-	-
Norg	78.01%	67.68%	-	-	65.39%	55.54%	-	-
OD	-	-	-	-	22.41%	-	-	4.76%
ph	6.37%	-	-	0.85%	0.56%	-	-	-
SS	100.00%	100.00%	-	100.00%	100.00%	100.00%	-	-
Ssusp	94.03%	98.63%	-	95.09%	95.76%	98.03%	-	56.10%
ST	65.63%	91.43%	-	79.47%	75.18%	77.21%	-	-
SustHexa	60.43%	94.40%	-	98.31%	15.21%	85.60%	-	33.33%
CT	99.59%	83.57%	-	93.14%	43.48%	23.53%	-	94.23%
Cter	98.46%	34.29%	-	39.23%	39.23%	53.53%	-	94.23%

En la **Tabla 6.9**, se muestra la eficiencia de los diferentes parámetros analizados en los laboratorios de ETAPA EP. El registro se realiza desde agosto del año 2020 hasta marzo del año 2021, durante los meses de octubre del 2020 y febrero del 2022 no se dispone de datos porque en los meses antes mencionados no se registra toma de muestras en la PTAR.

Analizando los parámetros de caracterización de la muestra tenemos: la demanda bioquímica de oxígeno en el mes de diciembre presenta un 75.27% de efectividad de remoción, siendo este el valor más bajo registrado en el periodo de análisis. La demanda química de oxígeno por su parte en el mes de marzo presenta una remoción de 32.04%, mientras que la menor remoción de coliformes totales se dio en el mes enero con un porcentaje de 23.53%.

6.3.2. Humedal vertical de flujo subsuperficial

Se determinó la eficiencia desde agosto del 2022 hasta marzo del año 2023. Registros que fueron entregados por parte de los laboratorios de ETAPA EP. Mediante análisis de laboratorio realizado por la misma empresa, se dispuso la caracterización de muestras obtenidas en la entrada y salida de la PTAR.

Tabla 6.10 Eficiencia del humedal vertical de flujo subsuperficial

Eficiencia del humedal vertical de flujo subsuperficial								
Parámetro	2022					2023		
	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
Cond	-	-	-	-	-	-	-	-
DBO	82.33%	68.00%	98.42%	-	97.50%	80.87%	96.58%	97.36%
DQO	72.80%	80.96%	80.96%	-	97.32%	97.32%	96.97%	97.02%
Pt	52.04%	49.10%	49.10%	-	61.06%	20.90%	48.81%	60.29%
Namo	21.03%	18.74%	18.74%	-	41.79%	-	76.53%	30.64%
Norg	21.03%	10.38%	10.38%	-	-	-	-	-
OD	-	-	-	-	-	-	-	-
ph	4.92%	5.21%	5.21%	-	5.05%	4.30%	1.83%	4.22%
SS	100.00%	100.00%	100.00%	-	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Ssusp	96.36%	95.53%	99.73%	-	99.56%	98.56%	99.69%	99.51%
ST	40.15%		85.75%	-	87.99%	49.63%	94.19%	82.91%
SustHexa	31.43%	95.45%	90.81%	-	96.00%	84.62%	95.10%	100.00%
CT	92.07%	83.54%	82.28%	-	95.29%	33.33%	77.43%	92.61%
Cter	94.29%	83.54%	59.13%	-	89.35%	60.61%	71.18%	90.00%

Desde la etapa inicial de funcionamiento del humedal vertical de flujo subsuperficial se observa en la **Tabla 6.10** que no existen registros para conductividad y oxígeno disuelto. Además, en el mes de noviembre no se realizó caracterización de la muestra y no presenta registros para los parámetros. Los registros permiten establecer que para la demanda bioquímica de oxígeno la remoción es de 97.36% al mes de marzo, para la demanda química de oxígeno es de 97.02% y para coliformes totales de 92.61%.

6.4. Comparación de costos de operación de mantenimiento entre un filtro anaerobio y un humedal subsuperficial

Tabla 6.11 Datos de costos proyectados del filtro anaerobio

DATOS PROYECTADOS - FILTRO									
Año	Mes	Costo por personal \$	Costo por Insumos \$	Costo por movilización \$	TOTAL/ME \$	No. Mant	CPM	MUESTREO	CPM*
2022	Agosto	\$ 118.65	\$ 228.54	\$ 2.66	\$ 349.85	2	\$ 174.93	1	\$ 174.93
	Septiembre	\$ 59.32	\$ 234.05	\$ 1.33	\$ 294.71	1	\$ 294.71	1	\$ 294.71
	Octubre	\$ 59.32	\$ 3.76	\$ 1.33	\$ 64.42	1	\$ 64.42	0	
	Noviembre	\$ 118.65	\$ 237.12	\$ 1.33	\$ 357.09	2	\$ 178.55	1	\$ 178.55
	Diciembre	\$ 177.97	\$ 231.31	\$ 3.98	\$ 413.27	3	\$ 137.76	1	\$ 137.76
2023	Enero	\$ 63.68	\$ 274.89	\$ 1.04	\$ 339.61	1	\$ 339.61	1	\$ 339.61
	Febrero	\$ 95.52	\$ 276.81	\$ 2.06	\$ 374.39	2	\$ 187.19	1	\$ 187.19
	Marzo	\$ 127.36	\$ 278.90	\$ 3.08	\$ 409.33	2	\$ 204.67	1	\$ 204.67
	Abril	\$ 127.36	\$ 18.39	\$ 3.05	\$ 148.80	2	\$ 74.40	0	
	Mayo	\$ 207.41	\$ 263.05	\$ 4.31	\$ 474.77	4	\$ 118.69	1	\$ 118.69
	Junio	\$ 254.71	\$ 259.24	\$ 4.30	\$ 518.25	4	\$ 129.56	1	\$ 129.56
	Julio	\$ 254.71	\$ 263.37	\$ 1.43	\$ 519.51	4	\$ 129.88	1	\$ 129.88
TOTAL		\$ 1,664.66	\$ 2,569.43	\$ 29.92	\$ 4,264.00	28	\$ 169.53	10	\$ 189.55

En la **Tabla 6.11** se presenta los costos por personal, insumos y movilización proyectados para el periodo de agosto del año 2022 hasta julio del año 2023, así con un costo total por personal de \$1664.66, costo total por insumos de \$2569.43, costo total por movilización \$29.92, con un total de 28 mantenimientos proyectados, y un costo promedio por mantenimiento de \$169.53. El costo total mantenimientos es de \$4264.00. Se estima 10 tomas de muestras con un costo promedio de \$189.55 por cada uno.

Tabla 6.12 Datos de costos del humedal vertical de flujo subsuperficial

DATOS HUMEDAL VERTICAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL										
Año	Mes	Costo por personal \$	Costo por Insumos \$	Costo por movilización \$	SUBTOTAL	#Mantenimiento	Muestreo	CPM	*CPM	
2022	Agosto	\$ 66.71	\$ 459.72	\$ 9.53	\$ 535.96	7	2	\$ 76.57		
	Septiembre	\$ 136.15	\$ 230.33	\$ 13.62	\$ 380.10	10	1	\$ 38.01	\$ 38.01	
	Octubre	\$ 87.14	\$ 233.69	\$ 10.89	\$ 331.72	8	1	\$ 41.46	\$ 41.46	
	Noviembre	\$ 87.14	\$ 276.88	\$ 10.89	\$ 374.91	8	0	\$ 46.86		
	Diciembre	\$ 196.06	\$ 230.80	\$ 16.34	\$ 443.20	12	1	\$ 36.93	\$ 36.93	
2023	Enero	\$ 87.11	\$ 229.86	\$ 10.89	\$ 327.86	8	1	\$ 40.98	\$ 40.98	
	Febrero	\$ 76.24	\$ 276.88	\$ 10.89	\$ 364.02	7	1	\$ 52.00	\$ 52.00	
	Marzo	\$ 21.78	\$ 276.88	\$ 5.45	\$ 304.11	4	1	\$ 76.03	\$ 76.03	
	Abril	\$ 76.24	\$ 276.88	\$ 10.89	\$ 364.02	7	0	\$ 52.00		
	Mayo	\$ 87.14	\$ 276.88	\$ 10.89	\$ 374.91	8	0	\$ 46.86		
TOTAL		\$ 1,106.05	\$ 3,322.58	\$ 132.33	\$ 4,560.96	79	8	\$ 50.77	\$ 47.57	

En la **Tabla 6.12** se presenta los costos por personal, insumos y movilización registrados para el periodo de agosto del año 2022 hasta mayo del año 2023, así con un costo total por personal de \$1106.05, costo total por insumos de \$3322.58, costo total por movilización \$132.33, con un total de 79 mantenimientos registrados, con un costo promedio de \$50.77. El costo total mantenimientos es de \$4560.96. Se realizaron 8 tomas de muestras, con un costo promedio por el número de muestreos realizados de \$47.57 por cada uno.

Al analizar la **Tabla 6.11** y la **Tabla 6.12**, se indica que para el filtro anaerobio son datos proyectados, mientras que para el humedal son datos registrados por el personal de la empresa ETAPA EP.

Se observa que los costos por personal para el filtro anaerobio son de \$1666.64 y mientras que para el humedal vertical de flujo subsuperficial es de \$1106.05, se refleja una diferencia de \$560.35, siendo el costo por personal del filtro anaerobio mayor al costo del humedal vertical de flujo subsuperficial.

En el costo por insumos se incluye la caracterización de muestras con un costo de \$229.20 por cada una, para el filtro anaerobio se muestra un costo total por insumos de \$2569.43, mientras que para el humedal vertical de flujo subsuperficial es de \$3322.58, al comparar estos costos el humedal vertical de flujo subsuperficial incrementa su costo con un valor de \$753.15, esto debido a que se realizaron un mayor número de tomas de muestras, para monitorear el inicio de operaciones de la PTAR con humedal.

El costo total por movilización para el filtro anaerobio es de \$29.92, mientras que para el humedal vertical de flujo subsuperficial es de \$ 132. 33, el costo de movilizaciones del humedal se incrementa debido a que registra un promedio de 8 mantenimientos mensuales lo que incrementa las movilizaciones hacia la PTAR.

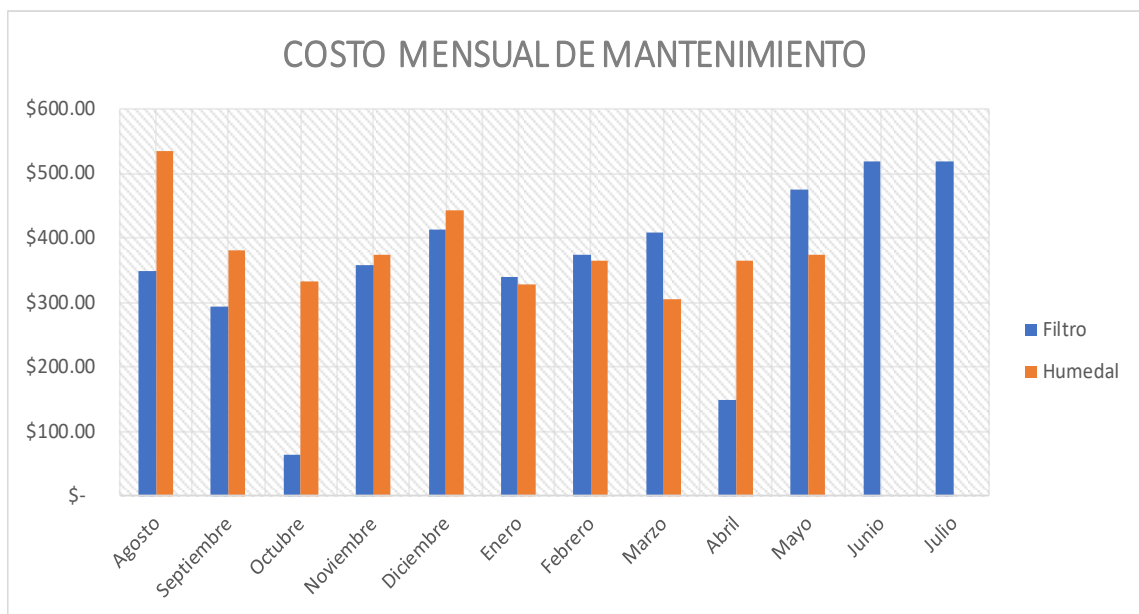
La cantidad de mantenimientos proyectados para el filtro anaerobio es de 28 para el periodo de análisis, con un promedio de 2 mantenimientos mensuales, mientras que el humedal vertical de flujo subsuperficial registra 79 mantenimientos, con un promedio de 8 mantenimientos mensuales, esto porque el humedal requiere lavado de tuberías y poda de totora.

El costo por mantenimiento para el filtro anaerobio es de \$169.53 mientras que el humedal vertical de flujo subsuperficial es de \$50.77, la diferencia entre costos es de \$118.76,

este costo se ve incrementado debido a que en el filtro se proyectaron apenas 2 mantenimientos mensuales.

6.4.1. Comparación de los sistemas de un filtro anaerobio y del humedal vertical de flujo subsuperficial

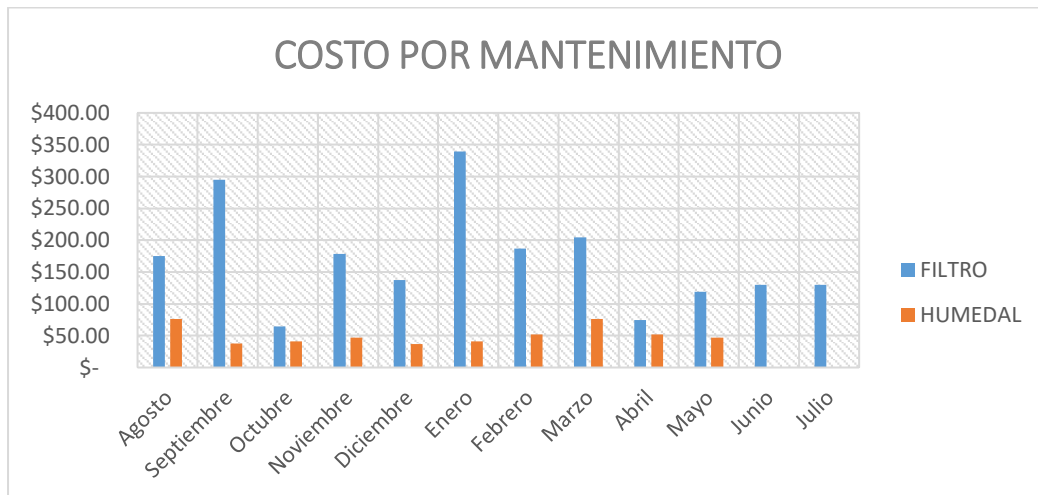
Figura 6.1 Costo mensual de mantenimiento filtro versus humedal



En la **Figura 6.1**, se compara los costos del filtro anaerobio y el humedal vertical de flujo subsuperficial para un periodo de agosto del año 2022 hasta mayo del 2023.

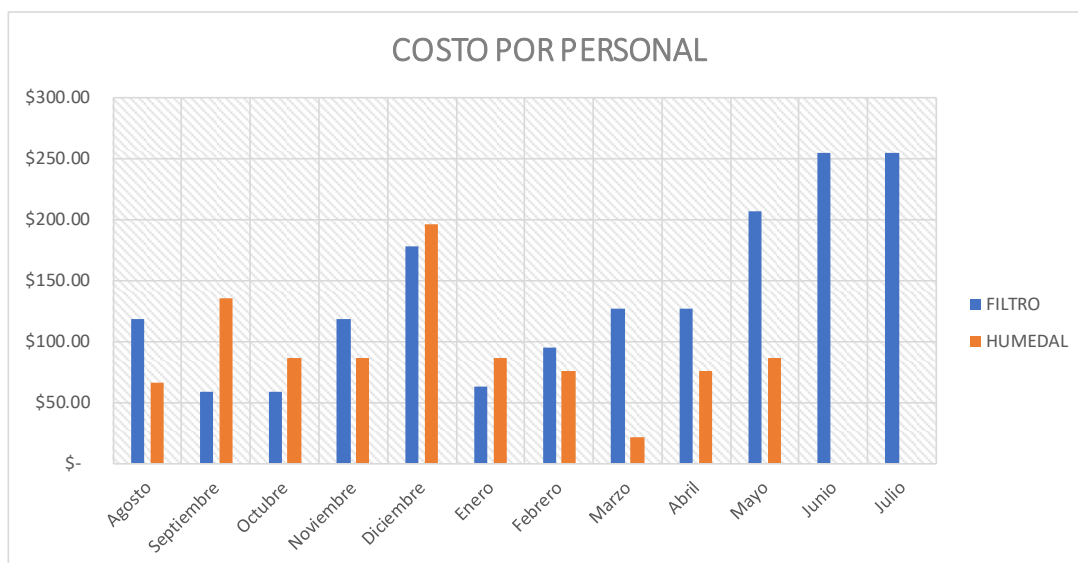
En el mes de agosto, septiembre, octubre y abril el costo de humedal es mayor al costo de mantenimiento del filtro, mientras que para los meses de enero, febrero, marzo y mayo el costo por mantenimiento del filtro ha incrementado.

Figura 6.2 Costo por mantenimiento filtro versus humedal



En la **Figura 6.2**, el costo por el número de mantenimientos realizados en el humedal vertical de flujo subsuperficial, es mayor al costo de mantenimientos del filtro, esto debido a que al iniciar su operación en el humedal se registraron una mayor cantidad de mantenimientos con un promedio de 8 mensuales.

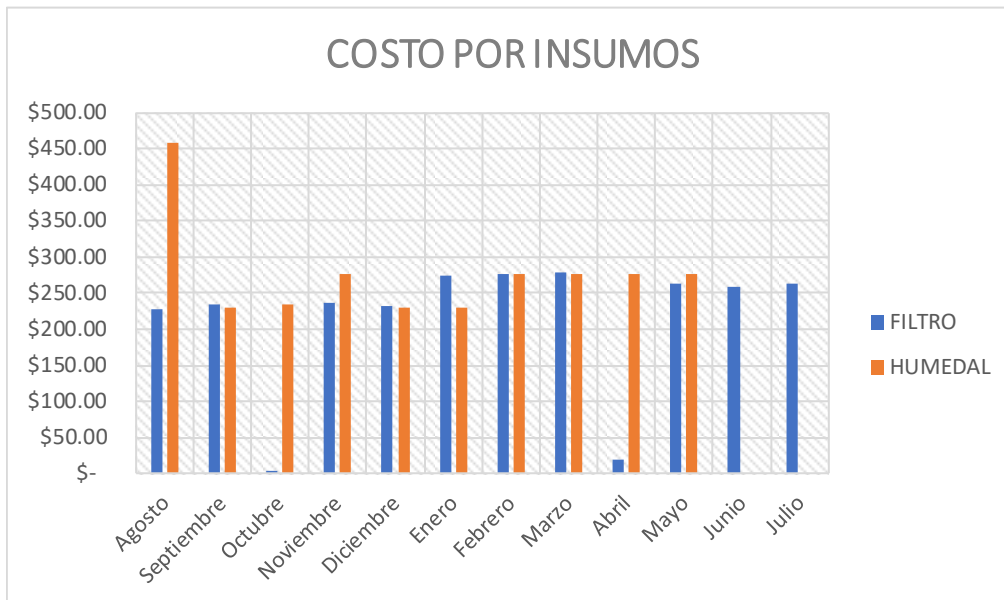
Figura 6.3 Costo por personal filtro versus humedal



En la **Figura 6.3**, se observa que el costo por personal del filtro anaerobio en el mes de agosto en comparación con el costo del personal para mantenimiento del humedal vertical de

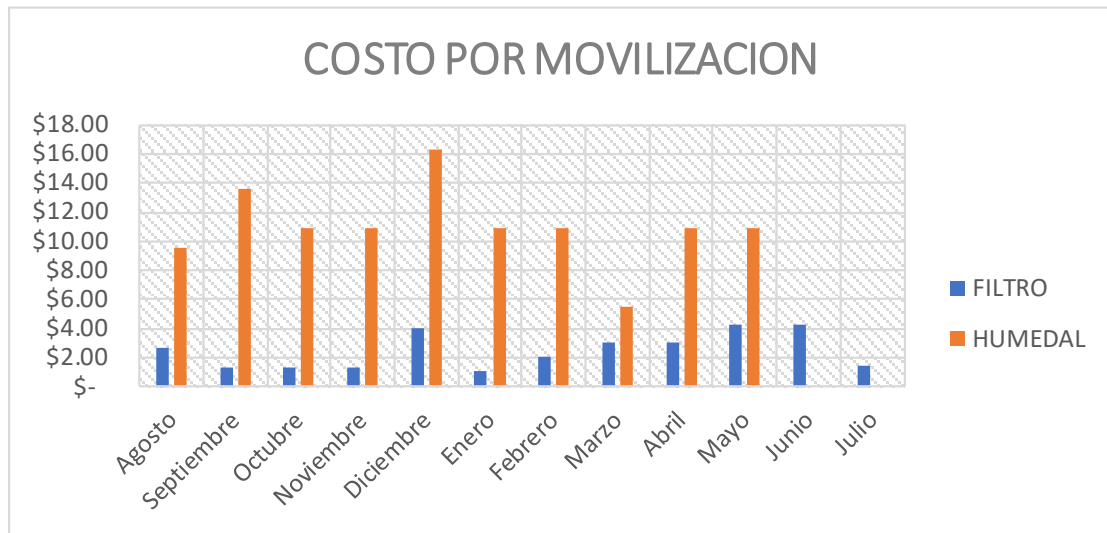
flujo subsuperficial es mayor. En los meses posteriores septiembre, octubre, diciembre y enero el costo por personal del humedal vertical de flujo subsuperficial es mayor al costo por personal del filtro anaerobio.

Figura 6.4 Costo por insumos filtro versus humedal



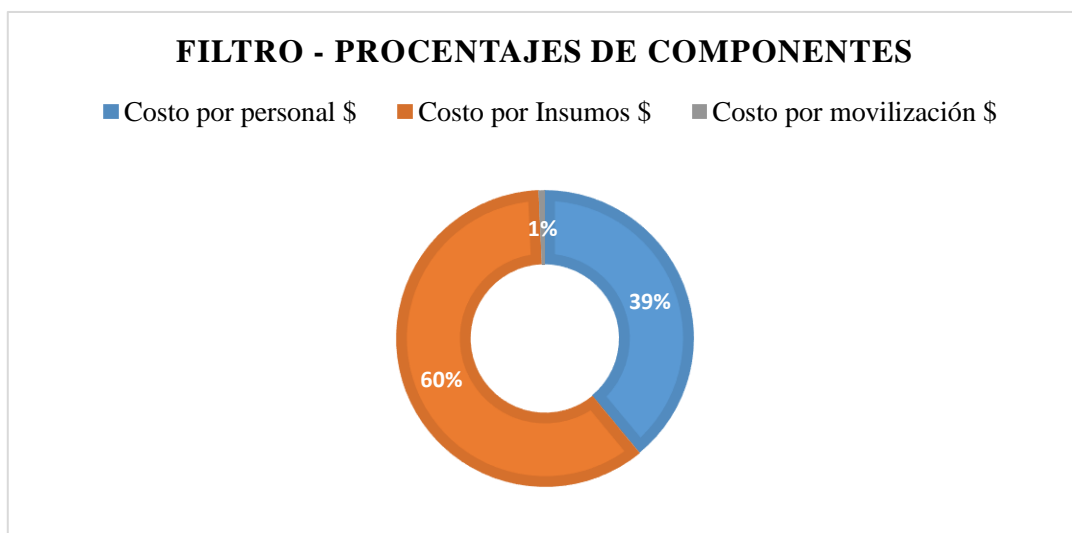
En la **Figura 6.4**, en el mes de agosto el humedal vertical de flujo subsuperficial registra su pico más alto en cuanto al filtro anaerobio con un valor de \$459.72, esto valor se ve incrementado debido a que al iniciar sus operaciones se tomaron 2 muestras, una al inicio de mes y la siguiente a finales para posterior verificar eficiencias de remoción de contaminantes.

Figura 6.5 Costo por movilización filtro versus humedal



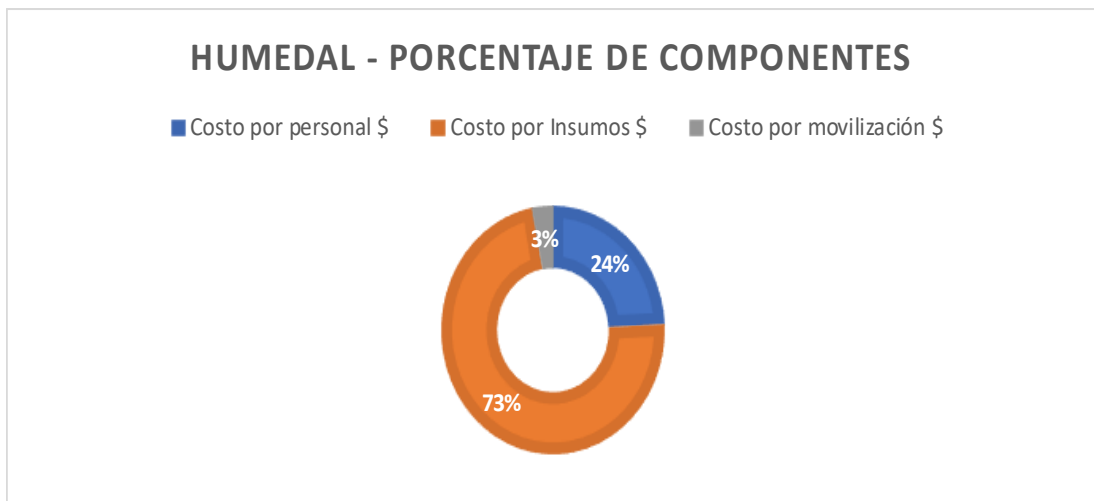
En la **Figura 6.5**, el costo por movilización del humedal vertical de flujo subsuperficial es elevado, en cuanto al costo del filtro anaerobio. Esto debido a que se realizaron una mayor cantidad de mantenimientos, para el humedal vertical de flujo subsuperficial lo cual implica mayor número de movilizaciones a la PTAR.

Figura 6.6 Porcentajes de componentes de costos para el filtro anaerobio



En la **Figura 6.6**, se observa que los costos para el filtro anaerobio presentan los siguientes porcentajes: costo por insumos con un 60% siendo este el mayor de los componentes, dentro de este se incluye la caracterización de muestras, seguido del costo por personal con 39%, finalmente con un porcentaje de 1% para la movilización hacia la PTAR, siendo este el menos significativo.

Figura 6.7 Porcentaje de costos para el humedal vertical de flujo subsuperficial

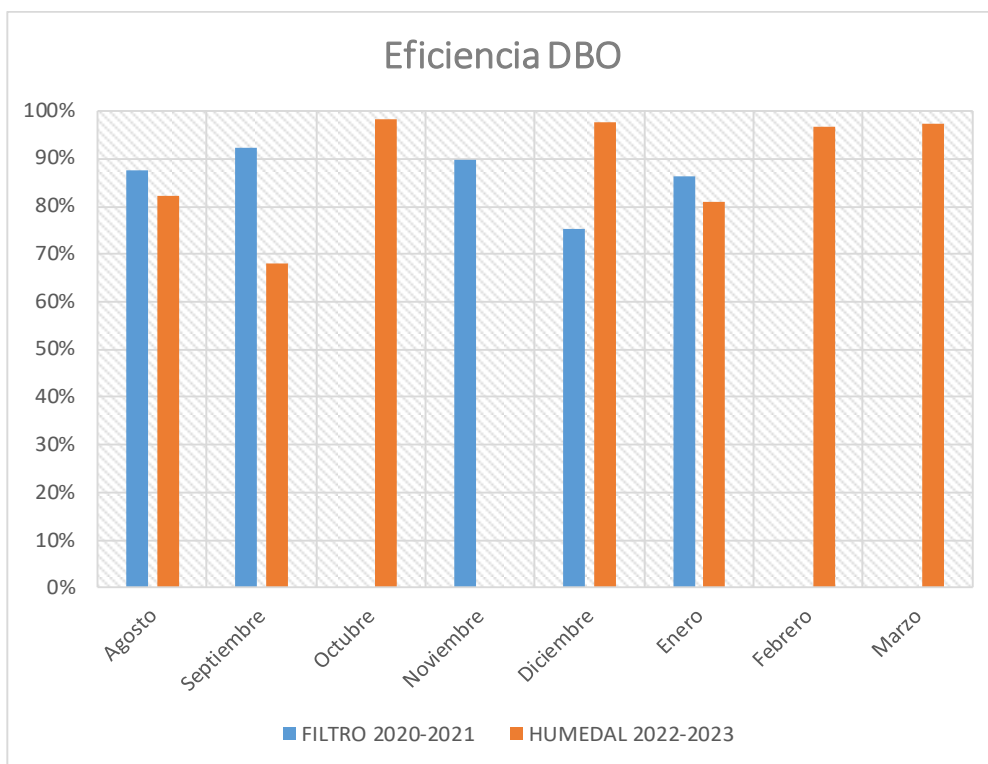


En la **Figura 6.7**, se establece el porcentaje de componentes para el humedal vertical de flujo subsuperficial, siendo el costo por insumos el mayor componente con un porcentaje de 73%, seguido del costo por personal con 24%, finalmente el costo por movilización representa el 3% solamente.

6.4.2. Eficiencia DBO

El análisis para el filtro anaerobio se establece desde agosto del año 2020 hasta marzo del año 2021, mientras que para el humedal vertical de flujo subsuperficial desde agosto del año 2022 cuando inicio su operación hasta marzo del 2023.

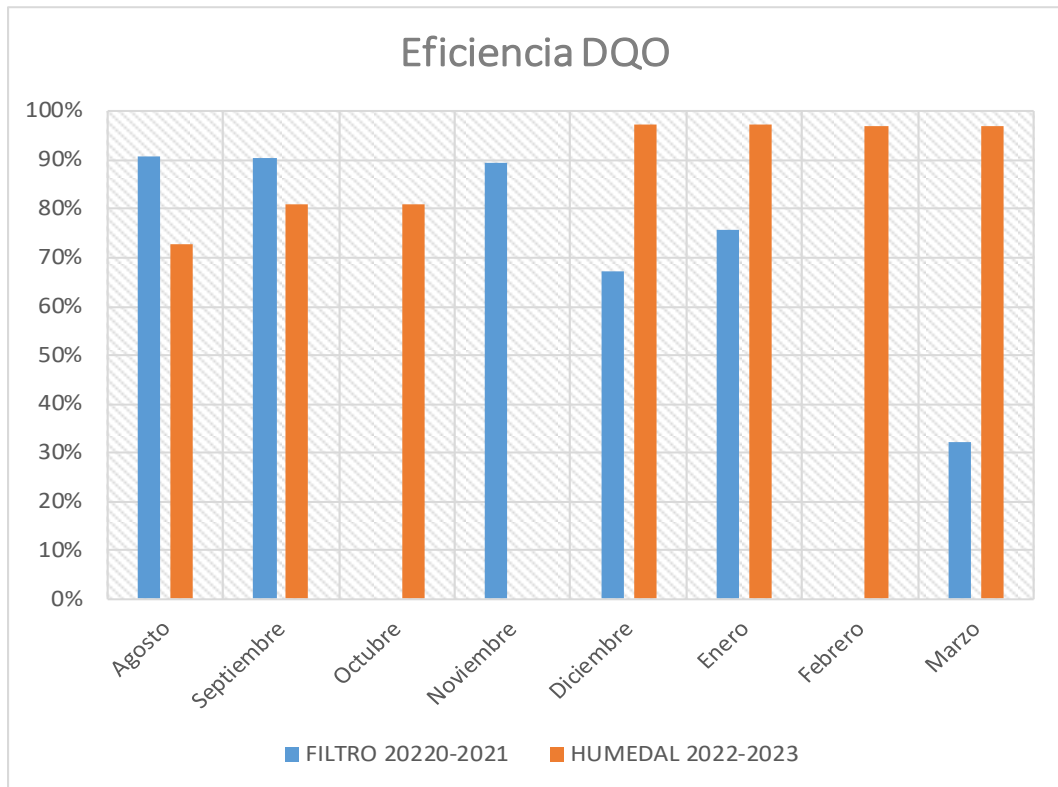
Figura 6.8 Eficiencia DBO del filtro anaerobio versus humedal vertical



En la **Figura 6.8**, se establece que la eficiencia del humedal en el mes de agosto y septiembre del año 2022, al iniciar su operación es menor a la eficiencia registrada por el filtro en la misma fecha. En el mes de octubre, diciembre, febrero y marzo la eficiencia del humedal esta alcanza valores de más del 90% de remoción.

6.4.3. Eficiencia DQO

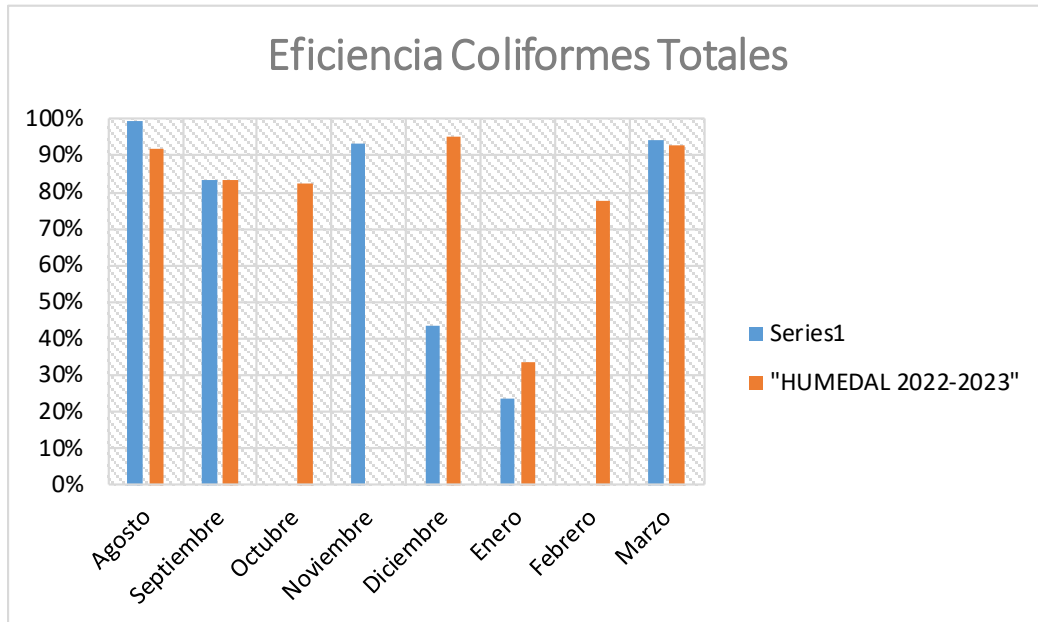
Figura 6.9 Eficiencia DQO del filtro versus el humedal vertical de flujo subsuperficial



La **Figura 6.9** compara la eficiencia de la demanda química de oxígeno entre el filtro anaerobio y el humedal vertical de flujo subsuperficial, en los meses de agosto, septiembre y noviembre la eficiencia del filtro es mayor a la del humedal, esto debido a que son los primeros meses de operación el humedal, mientras que, para los meses de diciembre, enero y marzo la eficiencia del humedal aumenta considerablemente y esta sobre el 95% de remoción, y garantiza la descarga al efluente.

6.4.4. Eficiencia Coliformes Totales

Figura 6.10 Eficiencia Coliformes totales del filtro versus humedal vertical de flujo subsuperficial



En la **Figura 6.10**, se observa que en el mes de agosto el filtro anaerobio alcanza una eficiencia de 99.59%, siendo este el máximo a comparación de los otros meses analizados. En el mes de septiembre tanto el filtro como el humedal registran eficiencias similares sobre el 80% de remoción, en el mes de diciembre la eficiencia del humedal se incrementa alcanzados valores de 95.29% y es considerablemente mayor a la eficiencia del filtro, mientras que en el mes de enero se observa un descenso de eficiencias en los dos sistemas. Finalmente, en el mes de marzo la eficiencia del filtro anaerobio es 1.62% mayor a la eficiencia del humedal.

7. CRONOGRAMA

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES															
OBJETIVOS	ACTIVIDADES	MES 1				MES 2				MES 3				HORAS	
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
Elaborar los costos de operación y mantenimiento de la PTAR con filtro anaerobio y una PTAR con humedal vertical	Identificar costos directos (mano de obra, insumos, materiales) y costos indirectos.	X	X												10
	Revisión bibliográfica	X	X	X											20
	Elaborar los costos de operación y mantenimiento		X	X	X										25
	Revisión con el tutor	X	X	X	X										8
	Redacción del documento			X	X										20
Comparar costos de operación y mantenimiento entre un filtro anaerobio y un humedal vertical	Revisión bibliográfica					X	X		X						16
	Realizar una comparación de costos de operación y mantenimiento entre un filtro anaerobio y un humedal vertical							X	X						20
	Interpretación de resultados								X						5
	Redacción del documento							X	X						25
	Revisión con el tutor					X	X	X	X						8
Comparar las eficiencias de un filtro anaerobio y un humedal vertical de flujo subsuperficial	Comparar eficiencias entre los dos sistemas de tratamiento									X	X				15
	Revisión bibliográfica									X	X				10
	Comparación con datos de años anteriores.									X	X				20
	Interpretación de resultados											X			5
	Redacción del documento										X	X			25
	Revisión con el tutor									X	X	X	X		8
		TOTAL DE HORAS												240	

8. CONCLUSIONES

Realizar este análisis comparativo entre el filtro anaerobio y el humedal vertical de flujo subsuperficial en la PTAR de Acchayacu proporcionó una visión clara de los costos y operaciones asociadas a ambos sistemas.

Para analizar los de costos y operación entre un filtro anaerobio y un humedal vertical de flujo subsuperficial de la PTAR de Acchayacu, se consideró datos e información que fueron registrados por la empresa de ETAPA EP, desde agosto del año 2022 hasta mayo del año 2023, para el humedal, mientras que para el filtro se proyectó datos desde agosto del 2020 hasta julio del 2021. Donde se determinó para el filtro anaerobio un total de 28 mantenimientos, costos por personal de \$1664.66, costos por insumos \$2569.43 y costos por movilización \$\$29.92; mientras que para el humedal subsuperficial fue un total de 79 mantenimientos, costos por personal de \$1106.05, costos por insumos \$3322.58 y costos por movilización \$132.33.

Al comparar los costos totales obtenidos entre ambos sistemas, se obtuvo un costo por mantenimiento para el filtro de \$169.53 y para el humedal un costo de \$55.77, se observa una diferencia significativa en los costos por mantenimiento entre ambos sistemas. Y al analizar los costos por m^3 / anual tratado, el humedal vertical subsuperficial obtuvo un valor de \$ 1.26, mientras que el filtro anaerobio fue de \$0.99. Por tal motivo, el humedal resulta ser el más barato y además presenta mejores eficiencias en la remoción de contaminantes.

Al analizar la eficiencia de los parámetros principales: BDO, DQO y coliformes totales (CT) que determinan la calidad del agua residual, se ha observado que el humedal vertical, al iniciar sus actividades de operación, mostró una eficiencia menor a la establecida por el filtro

durante los primeros meses. No obstante, después de tres meses de operación, el humedal ha logrado alcanzar eficiencias por encima del 90%, lo que garantiza la descarga de agua al efluente en condiciones aceptables. Estos resultados demuestran una mejora significativa en el rendimiento del humedal, permitiendo asegurar una adecuada calidad del agua tratada para su liberación al medio ambiente.

9. RECOMENDACIONES

Dado que no se dispone de los datos necesarios para caracterizar completamente la muestra tomada tanto a la entrada como a la salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), resulta imposible llevar a cabo un análisis y comparación exhaustiva de dichos parámetros. Por lo tanto, se sugiere la continuación del análisis una vez que se hayan recopilado datos anuales de la operación del humedal vertical de flujo subsuperficial. Estos datos adicionales permitirán obtener una visión más completa y precisa de la eficacia del proceso de tratamiento y su impacto en la calidad del agua tratada, facilitando la toma de decisiones informadas para mejorar el rendimiento y garantizar la adecuada calidad del efluente.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Caguana, A., & Zhindón, P. (2023). *Evaluación Operativa de PTARs Rurales y su Funcionamiento o a través de Costos Operativos*. 1–19.
- Eawag. (2023). *Eawag - Instituto Federal Suizo de Ciencias y Tecnologías Acuáticas - Eawag*. <https://www.eawag.ch/en/departament/sandec/>
- Falcon, C. (2009). *Manual de tratamiento de aguas negras* (Limusa, Ed.; 1st ed.).
- García, C. (2016). *Estadística Descriptiva y Probabilidades para Ingenieros* (Macro, Ed.; 1st ed.). Marcombo.
- García, J. (2005). *Estadística descriptiva y nociones de probabilidad*. Thomson Paraninfo.
- García, J., & Corzo, A. (2008). *Depuración con Humedales Construidos, Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*. Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Universidad Politécnica de Catalunya.
- López, C., Buitrón, G., García, H., & Cervantes, F. (2017a). *Tratamiento biológico de aguas residuales* (IWA).
- López, C., Buitrón, G., García, H., & Cervantes, F. (2017b). *Tratamiento biológico de aguas residuales* (IWA).
- Martínez, C. (2012). *Estadística y muestreo* (ECOFE, Ed.; 10th ed.).
- Murray, S. (2010). *Estadística* (MC. Graw, Ed.; 4th ed.).
- Ramalho, R. (1996). *Tratamiento de aguas residuales* (Reverté, Ed.; 1st ed.).
- Romero, J. (2004). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño* (Escuela Colombiana de Ingeniería, Ed.; 3rd ed.).
- Russell, D. (2012). *Tratamiento de aguas residuales un enfoque práctico* (Reverté, Ed.; 1st ed.).
- Valencia, C. (2016). *Aguas residuales. Una visión integral* (Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Ed.; 1st ed.).
- Yunga, A. (2019). *Análisis de sostenibilidad operacional de las plantas de tratamiento de aguas residuales del área rural de la ciudad de Cuenca*. Universidad de Cuenca.

11. ANEXOS

Anexo 1. Tabla de costos mensuales del filtro anaerobio

Fecha	Año	MES	Costo por personal [\$]	Costo por Insumos [\$]	Costo por vehículo [\$]	Subtotal	# Mantenimientos al Mes	TOTAL
Marzo/2015	2015.00	3	67.15	0.00	3.21	140.73	2.00	140.73
Mayo/2015	2015.00	5	56.16	0.00	2.72	58.89	1.00	58.89
Junio/2015	2015.00	6	56.16	12.60	2.72	71.49	1.00	71.49
Octubre/2015	2015.00	10	56.16	230.33	2.72	289.22	1.00	289.22
Noviembre/2015	2015.00	11	56.16	4.62	2.72	127.02	2.00	127.02
Diciembre/2015	2015.00	12	56.16	0.47	2.72	118.72	2.00	118.72
Enero/2016	2016.00	1	56.16	0.00	2.72	117.78	2.00	117.78
Febrero/2016	2016.00	2	56.16	9.24	2.72	68.13	1.00	68.13
Mayo/2016	2016.00	5	14.30	0.00	0.00	14.30	1.00	14.30
Junio/2016	2016.00	6	88.37	0.00	2.04	180.82	2.00	180.82
Julio/2016	2016.00	7	56.16	229.20	1.36	286.73	1.00	286.73
Septiembre/2016	2016.00	9	56.16	0.24	2.72	118.25	2.00	118.25
Noviembre/2016	2016.00	11	56.16	3.36	2.72	62.25	1.00	62.25
Enero/2017	2017.00	1	76.26	45.84	2.45	622.76	5.00	622.76
Marzo/2017	2017.00	3	65.24	57.30	1.36	495.59	4.00	495.59
Abril/2017	2017.00	4	56.93	114.93	2.04	347.81	2.00	347.81
Mayo/2017	2017.00	5	57.07	79.17	1.82	414.17	3.00	414.17
Junio/2017	2017.00	6	78.41	3.83	2.27	253.53	3.00	253.53
Julio/2017	2017.00	7	59.82	60.22	1.70	486.98	4.00	486.98
Agosto/2017	2017.00	8	65.09	60.34	2.04	509.88	4.00	509.88
Septiembre/2017	2017.00	9	60.78	3.52	1.82	198.35	3.00	198.35
Octubre/2017	2017.00	10	73.04	3.83	2.04	315.66	4.00	315.66
Noviembre/2017	2017.00	11	62.51	60.22	2.04	499.08	4.00	499.08
Diciembre/2017	2017.00	12	89.15	3.83	2.72	191.40	2.00	191.40
Enero/2018	2018.00	1	56.93	2.55	1.36	182.54	3.00	182.54
Febrero/2018	2018.00	2	59.44	48.85	1.36	548.27	5.00	548.27
Marzo/2018	2018.00	3	42.75	79.17	0.91	368.50	3.00	368.50
Abril/2018	2018.00	4	46.60	3.83	1.36	155.39	3.00	155.39
Junio/2018	2018.00	6	59.24	50.62	1.63	557.50	5.00	557.50
Julio/2018	2018.00	7	56.93	2.25	1.36	121.08	2.00	121.08
Agosto/2018	2018.00	8	56.93	116.85	2.04	351.64	2.00	351.64
Septiembre/2018	2018.00	9	14.39	121.47	0.00	271.70	2.00	271.70
Octubre/2018	2018.00	10	64.99	58.54	1.70	500.91	4.00	500.91

Noviembre/2018	2018.00	11	48.82	41.05	0.68	543.32	6.00	543.32
Diciembre/2018	2018.00	12	52.25	154.67	0.45	622.12	3.00	622.12
Enero/2019	2019.00	1	53.68	119.04	0.34	692.22	4.00	692.22
Febrero/2019	2019.00	2	55.84	0.47	0.00	56.31	1.00	56.31
Marzo/2019	2019.00	3	53.68	62.53	0.34	466.19	4.00	466.19
Abril/2019	2019.00	4	72.20	116.85	0.68	379.45	2.00	379.45
Mayo/2019	2019.00	5	51.52	121.23	1.36	348.22	2.00	348.22
Junio/2019	2019.00	6	55.84	116.85	1.36	348.09	2.00	348.09
Julio/2019	2019.00	7	55.84	8.45	1.36	131.30	2.00	131.30
Septiembre/2019	2019.00	9	53.68	5.07	1.36	240.41	4.00	240.41
Octubre/2019	2019.00	10	55.84	154.52	0.91	633.78	3.00	633.78
Noviembre/2019	2019.00	11	55.84	6.77	1.36	127.94	2.00	127.94
Diciembre/2019	2019.00	12	55.84	3.83	0.00	59.67	1.00	59.67
Enero/2020	2020.00	1	35.15	6.54	0.00	83.38	2.00	83.38
Febrero/2020	2020.00	2	55.84	114.93	1.36	344.25	2.00	344.25
Marzo/2020	2020.00	3	55.84	62.65	0.68	476.66	4.00	476.66
Abril/2020	2020.00	4	53.68	2.99	0.34	228.03	4.00	228.03
Mayo/2020	2020.00	5	55.84	82.41	0.00	414.74	3.00	414.74
Junio/2020	2020.00	6	55.84	2.15	1.36	118.70	2.00	118.70
Julio/2020	2020.00	7	55.84	13.07	0.00	68.91	1.00	68.91
Agosto/2020	2020.00	8	55.84	116.85	1.36	348.09	2.00	348.09
Septiembre/2020	2020.00	9	55.84	239.10	1.36	296.30	1.00	296.30
Octubre/2020	2020.00	10	55.84	3.83	1.36	61.03	1.00	61.03
Noviembre/2020	2020.00	11	55.84	121.47	0.68	355.96	2.00	355.96
Diciembre/2020	2020.00	12	55.84	79.12	1.36	408.95	3.00	408.95
Enero/2021	2021.00	1	56.60	239.10	0.91	295.70	1.00	296.61
Marzo/2021	2021.00	3	56.60	121.22	0.68	357.00	2.00	357.00
Abril/2021	2021.00	4	56.60	8.22	1.36	132.36	2.00	132.36
Mayo/2021	2021.00	5	46.09	62.37	1.02	437.94	4.00	437.94
Junio/2021	2021.00	6	56.60	61.57	1.02	476.79	4.00	476.79
Julio/2021	2021.00	7	56.60	62.61	0.34	478.21	4.00	478.21
Agosto/2021	2021.00	8	68.02	82.20	2.27	457.46	3.00	457.46
Septiembre/2021	2021.00	9	56.60	3.64	0.68	365.57	6.00	365.57
Octubre/2021	2021.00	10	14.56	9.24	0.00	23.80	1.00	23.80
Noviembre/2021	2021.00	11	56.60	50.75	1.09	542.22	5.00	542.22
Diciembre/2021	2021.00	12	56.60	4.52	0.00	183.38	3.00	183.38

Anexo 2. Tabla de costos mensuales del humedal vertical de flujo subsuperficial

MES	Costo por personal [€]	Costo por Insumos [€]	Costo por vehículo [€]	Subtotal	Nº Mantenimiento
2/8/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
4/8/2022	56.073864	229.86	1.3615	287.29536	1
8/8/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
23/8/2022	56.073864	229.86	1.3615	287.29536	1
25/08/20222	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
26/8/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
31/8/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
5/9/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
8/9/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
9/9/2022	56.073864	0.4717366	1.3615	57.9071	1
12/9/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
15/9/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
20/9/2022	56.073864	229.86	1.3615	287.29536	1
20/9/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
26/9/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
28/9/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
30/9/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
11/10/2022	56.073864	0.4717366	1.3615	57.9071	1
13/10/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
14/10/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
17/10/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
19/10/2022	56.073864	3.36	1.3615	60.795364	1
20/10/2022	56.073864	229.86	1.3615	287.29536	1
24/10/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
31/10/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
9/11/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
11/11/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
14/11/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
21/11/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
23/11/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
25/11/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
29/11/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1

30-nov	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
1/12/2022	56.073864	229.86	1.3615	287.29536	1
2/12/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
8/12/2022	56.073864	0.4717366	1.3615	57.9071	1
12/12/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
13/12/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
14/12/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
15/12/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
19/12/2022	56.073864	0.4717366	1.3615	57.9071	1
20/12/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
23/12/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
27/12/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
30/12/2022	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
3/1/2023	56.073864	229.86	1.36	287.29386	1
5/1/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
9/1/2023	56.073864		1.3615	57.435364	1
11/1/2023	56.073864		1.36	57.433864	1
16/1/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
19/1/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
23/1/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
30/1/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
3/2/2023	88.960227	0	2.723	91.683227	1
8/2/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
14/2/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
17/2/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
22/2/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
24/2/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
28/2/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
6/3/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
9/3/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
20/3/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
24/3/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
3/4/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
6/4/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
11/4/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
17/4/2023	88.960227	0	2.723	91.683227	1
20/4/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
25/4/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
28/4/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
3/5/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
10/5/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
12/5/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
15/5/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1

17/5/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
22/5/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
25/5/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
29/5/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1
2/6/2023	56.073864	0	1.3615	57.435364	1

Anexo 3. Índice de precios de la construcción

IPCO					
AÑO	MES	IPCO	AÑO	MES	IPCO
2020	Agosto	289.30	2022	Agosto	282.92
	Septiembre	289.16		Septiembre	283.05
	Octubre	288.85		Octubre	283.15
	Noviembre	289.88		Noviembre	282.94
	Diciembre	290.34		Diciembre	282.94
2021	Enero	292.72	2023	Enero	336.54
	Febrero	292.72		Febrero	336.54
	Marzo	293.40		Marzo	337.53
	Abril	301.84		Abril	337.87
	Mayo	320.45		Mayo	337.87
	Junio	320.99		Junio	337.87
	Julio	321.28		Julio	337.87

Anexo 4. Hoja de registro de mantenimiento preventivo PTAR rurales

# 1	
REGISTRO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PTAR RURALES	
Planta de Tratamiento: <u>Acchayeco</u>	Fecha: <u>Lunes</u>
Responsable: <u>Ing. Verónica Roda</u>	<u>20-Marzo-2023</u>
Inspector:	
Personal: <u>Xavier Aguilar - Nelson Villa - Orlando Merchán Chofer</u>	
Clima: <u>Soleado</u>	
Herramientas:	
PTAR:	
Materiales y Maquinaria:	
<u>Movil 648</u>	
Observaciones del día: <u>Lavado y escobinado del desarenador, Lavado de campo de cloro.</u>	
Caudal de operación (influyente):	Caudal de operación (efluente):
ESTRUCTURAS DE INGRESO	
Cámaras derivadoras de caudal:	
Rejillas:	<u>Se retira toda la Basura</u>
Desarenador:	<u>Se retira 4 baldes de sedimentos</u>
Estructuras de conducción ó distribución de caudal:	
Pozos internos:	
Otras estructuras:	
Extracción de materiales:	<u>del desarenador</u>
Disposición de residuos:	<u>en la fosa de secado</u>
Mitigación alcalina:	
Labores de reparación:	
Otras actividades (especifique):	
FOSA SEPTICA	
Extracción de materiales flotantes:	
Profundidad de la fosa (m):	
Espesor de lodos (m):	
Extracción de manto de lodos (0,30m bajo nivel tubo salida):	
Extracción de natas:	
Disposición de lodos o materiales flotantes:	
Mitigación alcalina:	
Presencia de turbiedad salida:	
Labores de reparación:	
Otras actividades (especifique):	
FILTRO ANAEROBIO (FAFA)	
Presencia de turbiedad salida:	
Retrolavado:	
Disposición de materiales removidos:	
Mitigación alcalina:	
Labores de reparación:	
Otras actividades (especifique):	

REACTOR ANAEROBIO (RAFA - UASB)
Burbujas de gas:
Presencia de biomasa (lodo):
Turbidez en la salida:
Purga del reactor:
Mitigación alcalina:
Labores de reparación:
Otras actividades (especifique):
HUMEDAL N°:
Extracción de hierbas y lechugines:
Extracción de totora:
Podá de totora:
Siembra de totora:
Limpieza de interior de los tubos de interconexión:
Extracción de natas:
Disposición de residuos:
Mitigación alcalina:
Revisión de nivel de agua del humedal:
Mantenimiento del talud de tierra:
Extracción de basura dentro de los humedales:
Existencia de flujos preferenciales:
Presencia de algas:
Presencia de sólidos en la salida:
Presencia de espuma en la salida:
Labores de reparación:
Otras actividades (especifique): Lavado de los 3 tubos de los humedales Cambio de función del filtro
MANTENIMIENTO GENERAL:
Candado en la puerta de acceso:
Podá de la vegetación fuera de las lagunas:
Acumulación de materiales y residuos:
Desalojo de residuos:
Siembra de plantas ornamentales:
Accesos dentro y fuera de la planta:
Revisión de la cerramiento:
Instalaciones de protección:
Manipulación de válvulas:
Labores de reparación:
Otras actividades (especifique):
MUESTREO:
Identificación de los puntos de muestreo, hora de recolección:
Enjuague de recipiente mínimo 3 veces con agua que se recolectará:
Envases estériles destinados a muestras bacteriológicas:
Llenado completamente de envases para el caso de muestras físico-químicas:
Llenado de envase solo hasta 3/4 de su capacidad muestras bacteriológicas:
Cerrado los envases inmediatamente después de recolectar las muestras:
Etiquetado y guardado de las muestras en el contenedor:
Hora de entrega de muestras en el laboratorio:

Anexo 5. Ubicación de la PTAR de Acchayacu

