

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
RECURSOS NATURALES



Tesis

**Mejoramiento del tratamiento de aguas residuales municipales mediante el
sistema de filtro estático en la asociación de productores propietarios
agrícolas Ccoricancha, Chinchero – 2024**

Asesor:

Mg. Pozo Gonzales, José Salustio

Autores:

Ccahua Molina, Venus Keller

Cusicuna Jorge, Alonso Ricardo

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero(a) Ambiental

Cusco – Cusco – Perú

2026



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES
"Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana"

Acta N°: 019

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Cusco, a los 08 días del mes de enero del año 2026, siendo las 10:30 horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Sub Directoral N° 212-2025-UTEA-FI-EPIARN-SD de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales, Facultad de Ingeniería

Presidente :	Econ. Vega Villafuerte Wilfredo Baltazar
Dictaminante :	Mg. Escobar Candia Yesenia
Replicante :	Dra. Loayza Chácará Sonia María

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

☒ Tesis ☐ Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Mejoramiento del tratamiento de aguas residuales municipales mediante el sistema de filtro estático en la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricanha, Chinchero – 2024

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Bach: Ccahua Molina, Venus Keller

Bach: Cusicuna Jorge, Alonso Ricardo

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero (a) Ambiental

Concluido el acto de Sustentación, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Unanimidad

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Bach: Ccahua Molina, Venus Keller	Aprobado
Bach: Cusicuna Jorge, Alonso Ricardo	Aprobado

Siendo las 12:50 pm horas concluyó el Acto Académico, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Econ. Vega Villafuerte Wilfredo Baltazar

Dictaminante: Mg. Escobar Candia Yesenia

Replicante: Dra. Loayza Chácará Sonia María

(*) **Mayoría:** Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; **Unanimidad:** Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.
(**) 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

3% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 2%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Metadatos

Datos del Autor		
Apellidos y nombres	:	Ccahua Molina, Venus Keller
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	74657670
URL ORCID	:	
Apellidos y nombres	:	Cusicuna Jorge, Alonso Ricardo
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	72741179
URL ORCID	:	
Datos del Asesor		
Apellidos y nombres	:	Mg. Pozo Gonzales, José Salustio
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	23964591
URL ORCID	:	https://orcid.org/0000-0002-4560-0072
Datos de la Investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales
Línea de Investigación	:	Calidad Ambiental
Rango de años en que se realizó la investigación	:	Dicembre 2024 – noviembre 2025
Fuente de Financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de Similitud	:	3%
URL OCDE	:	http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01

Dedicatoria

A Dios y al universo por la fortuna de
existir, a nuestros padres Rosalio, Ricardo,
Margarita y Pascuala,

A nuestros hermanos Yordan y Mayda,
por ser, la fuerza y el motivo de mi felicidad.

Los autores

Agradecimiento

El agradecimiento a nuestro asesor Mg. José Salustio Pozo Gonzales, por su gran apoyo con sus conocimientos impartidos que hicieron realidad la elaboración de nuestro trabajo de Tesis.

También el agradecimiento a nuestra querida Universidad Tecnológica de los Andes, que nos brindó el apoyo y la oportunidad de cursar nuestra carrera profesional un agradecimiento de corazón.

Los autores

Resumen

La asociación de Ccoricancha cuenta con un pozo séptico que trata las aguas residuales municipales de forma inadecuada. El objetivo del estudio es mejorar el tratamiento de aguas residuales municipales de la asociación Ccoricancha mediante el uso del sistema de filtro estático y obtener un agua tratada de calidad. La metodología implicó un diseño, construcción y propuesta de un filtro estático piloto capaz de reducir la carga contaminante del efluente del pozo séptico y mejorar sus parámetros físico-químicos, el sistema estará compuesto por una cámara de rejillas, sistema de bombeo, tanque de filtración (contiene capas que purificarán el agua residual) y una cámara de almacenamiento. En la cual la muestra de 40L del efluente del pozo séptico será sometido a tratamiento para después obtener muestras representativas que serán analizadas en laboratorios para verificar si el sistema redujo los niveles de contaminación. El resultado del filtro estático fue la reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO₅) en 89.67%, sólidos totales suspendidos (SST) en 97.63% y la demanda química de oxígeno (DQO) en 89.84%, demostrando su eficiencia en la reducción de contaminantes y mejora de la calidad del agua residual, impidiendo la generación de impactos negativos al medio ambiente y a los alrededores del sistema de tratamiento. Concluyendo, el filtro logró mejorar el tratamiento de aguas residuales como reducir la concentración de contaminantes y está dentro de los LMP establecidos para efluentes de PTAR. Siendo una alternativa eficiente para ser propuesta e implementada en la asociación o en diferentes zonas rurales.

Palabras clave: Filtro estático, DBO₅, SST, eficiencia y aguas residuales.

Abstract

The Ccoricancha community has a septic tank that inadequately treats municipal wastewater. The objective of this study is to improve the treatment of municipal wastewater in the Ccoricancha community by using a static filter system and obtaining high-quality treated water. The methodology involved the design, construction, and proposal of a pilot static filter capable of reducing the pollutant load of the septic tank effluent and improving its physicochemical parameters. The system will consist of a screen chamber, a pumping system, a filtration tank (containing layers that purify the wastewater), and a storage chamber. A 40L sample of the septic tank effluent will be treated in the filter, and representative samples will then be analyzed in laboratories to verify whether the system reduced pollution levels. The static filter resulted in an 89.67% reduction in biological oxygen demand (BOD₅), a 97.63% reduction in total suspended solids (TSS), and an 89.84% reduction in chemical oxygen demand (COD), demonstrating its efficiency in reducing pollutants and improving wastewater quality. This prevented negative impacts on the environment and the surrounding area of the treatment system. In conclusion, the filter improved wastewater treatment by reducing pollutant concentrations and remains within the established maximum permissible limits (MPLs) for wastewater treatment plant effluents. It is therefore an efficient alternative that can be proposed and implemented within the association or in various rural areas.

Keywords: *Static filter, BOD₅, TSS, efficiency, and wastewater.*

Índice

Portada	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Resumen	vii
Abstract.....	viii
Índice	ix
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xiii
Índice de anexos.....	xvi
Acrónimos	xvii
I. Introducción	18
II. Planteamiento del problema	22
2.1. Descripción y formulación del problema:	22
2.2. Objetivos:	35
2.2.1. Objetivo general:	35
2.2.2. Objetivos específicos:.....	36
2.3. Justificación e importancia:	36

2.4.	Hipótesis:	39
2.5.	Variables	40
III.	Marco teórico	41
3.1.	Antecedentes del problema.....	41
3.2.	Bases teóricas	52
3.3.	Definición de términos	87
IV.	Metodología.....	92
4.1.	Tipo y nivel de investigación.....	92
4.2.	Ámbito temporal y espacial.....	94
4.3.	Población y muestra	98
4.4.	Instrumentos	99
4.5.	Procedimiento	101
4.6.	Análisis de datos	129
4.7.	Consideraciones éticas.....	130
V.	Resultado y discusión	131
VI.	Conclusiones.....	172
VII.	Recomendaciones.....	174
VIII.	Referencias	175
IX.	Anexos.....	183

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Empresas prestadoras de servicio de saneamiento básico (agua potable y alcantarillado) en la región Cusco</i>	27
Tabla 2	<i>Factores para la caracterización de un olor</i>	56
Tabla 3	<i>Niveles de turbiedad del agua</i>	58
Tabla 4	<i>Etapas del tratamiento de aguas residuales</i>	66
Tabla 5	<i>Validación de instrumentos</i>	100
Tabla 6	<i>Resultados de los lechos filtrantes que componen el filtro</i>	113
Tabla 7	<i>Determinación del caudal</i>	123
Tabla 8	<i>Tiempo de retención hídrica de las capas</i>	128
Tabla 9	<i>Escala de valoración en puntos de la matriz de visualización detallada</i>	132
Tabla 10	<i>Criterios de ponderación de la matriz de visualización detallada</i>	132
Tabla 11	<i>Interpretación final de la matriz de visualización detallada</i>	133
Tabla 12	<i>Matriz de visualización detallada aplicada al pozo séptico de la asociación Ccoricancha</i>	134
Tabla 13	<i>Resultados iniciales del agua residual municipal analizados en el laboratorio de la UTEA</i>	137
Tabla 14	<i>Comparativa entre los LMP y valores iniciales obtenidos del efluente del pozo séptico analizados en el laboratorio de la UTEA</i>	138
Tabla 15	<i>Resultados finales del agua residual municipal tratada analizados en el laboratorio de la UTEA</i>	140
Tabla 16	<i>Comparativa entre los LMP y los valores finales obtenidos después del tratamiento por el sistema de filtro estático analizados en el laboratorio de la UTEA</i>	141

Tabla 17 Resultados iniciales obtenidos del agua residual municipal analizados por el laboratorio Louis Pasteur	144
Tabla 18 Comparativa de los LMP con los valores iniciales obtenidas del efluente pozo séptico	145
Tabla 19 Resultados finales obtenidos del agua residual municipal tratada por el sistema de filtro estático analizados por el laboratorio Louis Pasteur	147
Tabla 20 Comparativa de los LMP con los valores finales después del tratamiento por el sistema de filtro estático	148
Tabla 21 Comparativa entre el ECA de agua categoría 3 y los valores obtenidos después del tratamiento	151
Tabla 22 Resultado promedio inicial de los parámetros físico-químicos del efluente del pozo séptico	153
Tabla 23 Resultado final promedio de los parámetros físico-químicos después del tratamiento por el sistema de filtro estático.....	154
Tabla 24 Estadística sobre el PH.....	157
Tabla 25 Estadística sobre el DBO5	157
Tabla 26 Estadística sobre el DQO	158
Tabla 27 Estadística sobre el SST.....	159
Tabla 28 Estadística sobre la turbidez.....	159
Tabla 29 Caudal y tiempo estimado de la proyección	163
Tabla 30 Dimensión del sistema de filtro estático con sus respectivas proyecciones futuras	165
Tabla 31 Dimensión de los lechos filtrantes con sus respectivas proyecciones futuras	166

Índice de figuras

Figura 1	<i>Estado de plantas de tratamiento de aguas residuales en el Perú</i>	<i>26</i>
Figura 2	<i>Diagrama del diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de la asociación Ccoricancha</i>	<i>30</i>
Figura 3	<i>Tubería de entrada al tanque séptico.....</i>	<i>31</i>
Figura 4	<i>Pozo séptico de la asociación Ccoricancha</i>	<i>31</i>
Figura 5	<i>Tanque de infiltración o campo de drenaje actualmente colmatado</i>	<i>32</i>
Figura 6	<i>Efectos negativos del efluente del pozo séptico en sus alrededores</i>	<i>33</i>
Figura 7	<i>Solución alternativa puesta en práctica por la JASS de la asociación Ccoricancha</i>	<i>33</i>
Figura 8	<i>Agua residual vertida en un cuerpo de agua</i>	<i>52</i>
Figura 9	<i>Agua residual municipal de la asociación Ccoricancha (Afluente al pozo séptico).....</i>	<i>54</i>
Figura 10	<i>Variación de la temperatura de las aguas residuales</i>	<i>57</i>
Figura 11	<i>Diagrama de lodos activados.....</i>	<i>68</i>
Figura 12	<i>Diagrama de flujo de una PTAR.....</i>	<i>70</i>
Figura 13	<i>Pozo séptico de dos compartimentos</i>	<i>72</i>
Figura 14	<i>Tanque de Imhoff típico para pequeñas comunidades.....</i>	<i>73</i>
Figura 15	<i>Sistema de infiltración en la superficie del terreno</i>	<i>74</i>
Figura 16	<i>Estructura de un filtro estático casero</i>	<i>77</i>
Figura 17	<i>Diseño de un sistema de filtro estático</i>	<i>78</i>
Figura 18	<i>Proceso de un filtro estático con sus etapas</i>	<i>82</i>
Figura 19	<i>Mapa de la región del Cusco</i>	<i>95</i>
Figura 20	<i>Mapa de la provincia de Urubamba</i>	<i>95</i>
Figura 21	<i>Imagen del distrito de Chinchero.....</i>	<i>96</i>

Figura 22	<i>Imagen de la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha</i>	96
Figura 23	<i>Sistema de tratamiento de aguas residuales de la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha</i>	97
Figura 24	<i>Diagrama del proceso de Investigación</i>	101
Figura 25	<i>Prototipo del sistema de filtro estático</i>	102
Figura 26	<i>Tacho usado para almacenar la muestra de agua residual</i>	103
Figura 27	<i>Componentes del sistema de filtro estático</i>	104
Figura 28	<i>Capas del Filtro Estático</i>	106
Figura 29	<i>Colocación de llave de paso en el tacho de almacenamiento</i>	109
Figura 30	<i>Instalación de rejas para el pretratamiento</i>	109
Figura 31	<i>Instalación de mini bomba de agua</i>	110
Figura 32	<i>Depósito de agua (botella) utilizado para la construcción del filtro estático</i>	111
Figura 33	<i>Distribucion de las capas en el depósito de agua</i>	112
Figura 34	<i>Referencia de las capas introducidas dentro del filtro</i>	117
Figura 35	<i>Instalación de capas del filtro estático</i>	119
Figura 36	<i>Materiales requeridos para la recolección de muestras en el lugar In situ</i>	120
Figura 37	<i>Efluente del pozo séptico de la asociación Ccoricancha</i>	122
Figura 38	<i>Determinación del caudal, temperatura y pH del efluente del pozo séptico</i>	122
Figura 39	<i>Proceso de toma de muestras del efluente</i>	124
Figura 40	<i>Tacho que almacena la muestra de agua residual municipal de la asociación Ccoricancha</i>	125
Figura 41	<i>Sistema de filtro estático armado</i>	126
Figura 42	<i>Comparativa entre valores iniciales y finales del laboratorio de la UTEA</i>	142

Figura 43 <i>Comparativa entre valores iniciales y finales del laboratorio Louis Pasteur</i>	149
Figura 44 <i>Comparación entre los valores iniciales, LMP y valores finales obtenidos de los parámetros físico-químicos.</i>	150
Figura 45 <i>Comparación entre ECA categoría 3 y los valores obtenidos después del tratamiento</i>	152
Figura 46 <i>Relación de los parámetros iniciales entre los laboratorios Louis Pasteur y la UTEA</i>	153
Figura 47 <i>Relación final entre los laboratorios Louis Pasteur y la UTEA</i>	155
Figura 48 <i>Ubicación del sistema proyectado</i>	162
Figura 49 <i>Esquema propuesto con la incorporación del nuevo sistema de tratamiento</i>	164

Índice de anexos

Anexo 1 Matriz de consistencia de la investigación	184
Anexo 2 Solicitud presentada a la Asociación Ccoricancha	187
Anexo 3 Validación de instrumentos de los especialistas	188
Anexo 4 Cadena de custodia del laboratorio Louis Pasteur	190
Anexo 5 <i>Matriz de visualización detallada para cuantificar datos e interpretación</i>	191
Anexo 6 Ficha de campo de recolección de muestras de datos In-situ para el laboratorio de la Universidad Tecnológica de los Andes Basados en el protocolo R.M. N° 273-2013-VIVIENDA	192
Anexo 7 Informe emitido por el laboratorio de suelo, agua y aire de la Universidad Tecnológica de los Andes.....	194
Anexo 8 Informe emitido por el laboratorio Louis Pasteur	196
Anexo 9 Galería de fotos	208

Acrónimos

JASS: Junta Administradora de Servicios de Saneamiento

ECA: Estándar de Calidad Ambiental

SUNASS: Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento

LMP: Límites Máximos Permisibles

PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

DBO: Demanda Biológica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

SST: Sólidos Suspendidos Totales

PH: Potencial de Hidrogeno

MINAM: Ministerio del Ambiente

MVCS: Ministerio de vivienda, Construcción y Saneamiento.

INACAL: Instituto Nacional de Calidad

I. Introducción

El manejo y gestión de las aguas residuales presenta un reto significativo para las zonas rurales como asociaciones y comunidades. Especialmente cuando los métodos utilizados ya generan problemas ambientales y solucionarlos lleva a una inversión que no se puede cubrir por la falta de recursos económicos, generando que el problema ambiental se agrave con el tiempo sin una alternativa aparente. En este escenario, la propuesta de un sistema de filtro estático se presenta como una alternativa eficiente y de bajo costo. Este sistema emplea recursos que se pueden encontrar en la zona los cuales ayudaran a reducir la carga contaminante que presenta actualmente el agua residual municipal, además de hacernos recordar que la naturaleza tiene la capacidad de recuperarse por sí sola.

La investigación evalúa la factibilidad de un sistema de filtro estático para tratar el efluente del pozo séptico de la asociación Ccoricancha del Distrito de Chinchero, que actualmente cuenta con un pozo séptico que trata las aguas residuales municipales de manera inadecuada y está liberando un efluente con abundante carga contaminante que supera los LMP establecidos.

La presente investigación se refiere a mejorar el tratamiento de aguas residuales municipales en la asociación Ccoricancha mediante la implementación de un sistema de filtro estático, que busca reducir la carga contaminante del efluente del pozo séptico, mejorar los parámetros físico-químicos para estar dentro de los LMP y obtener un agua tratada de calidad para ser liberado al medio ambiente.

Se realizó para solucionar la problemática ambiental que afecta a la asociación de Ccoricancha causada por la contaminación de aguas residuales provenientes del efluente del pozo séptico, buscando una alternativa eficiente y de bajo costo que logre reducir la carga contaminante como cumplir con las normativas establecidos (LMP), también se busca promover la reutilización del agua residual tratada en otras actividades como es el riego de cultivos.

La investigación evalúa la calidad del efluente del pozo séptico e identifica los valores de los parámetros físico-químicos que superan los LMP y propone un sistema de filtro estático que logre mejorar el tratamiento de aguas residuales municipales del efluente de la asociación, reduzca su contaminación y permita la descarga del agua residual tratada sin generar impactos negativos al ambiente.

La metodología utilizada en la investigación fue la evaluación y propuesta de un sistema de filtro estático piloto para tratar el efluente del pozo séptico y obtener un análisis de los parámetros físico-químicos del agua residual municipal antes y después del tratamiento, con resultados de laboratorio que demuestran una reducción significativa en la carga contaminante y la obtención de agua tratada para su descarga al medio ambiente.

Las limitaciones presentadas durante la investigación fueron la ubicación geográfica de la asociación Ccoricancha y su limitado acceso al pozo séptico, el monitoreo del efluente como la evaluación cuantitativa del sistema de tratamiento y obtención de muestras de agua residual.

La investigación presenta una organización de Ítems, los cuales relatan su desarrollo tanto en bases teóricas como en investigaciones que respaldan el trabajo de investigación y proporcionan la información necesaria para indicar que la investigación resuelve una problemática actual, también se da a conocer que el sistema del filtro estático es un método no conocido, pero puede ser de mucha utilidad para solucionar problemas de nuestra realidad.

I: Introducción: El manejo y gestión de las aguas residuales presenta un reto significativo para las zonas rurales, como en la asociación de Ccoricancha donde las aguas residuales municipales generaron una problemática ambiental que se agrava con el tiempo y es por ello que el sistema de filtro estático se presenta como una alternativa eficiente y de bajo costo.

II: Planteamiento del Problema: El estudio aborda la problemática de la gestión de aguas residuales municipales en el distrito de Chinchero y como el pozo séptico de la asociación Ccoricancha no logra tratar correctamente las aguas residuales municipales liberando al ambiente un efluente con alta carga contaminante, proponiendo así el diseño de un filtro estático como alternativa para mejorar el tratamiento de aguas residuales municipales.

III: Marco Teórico: Esta investigación contiene antecedentes sobre el desarrollo, aplicación y propuestas de sistemas de filtros estáticos, destacando su eficiencia en la remoción de contaminantes, mejora de la calidad del agua residual, uso de materiales accesibles de bajo costo y el reaprovechamiento del agua residual. Además de conceptos y formulas fundamentales para comprender la investigación.

IV: Metodología: La metodología utilizada para la investigación fue de tipo aplicada cuantitativa, con un nivel descriptivo-explicativo y de un diseño experimental, que partió desde el diseño en programa 3D, aplicación del sistema de filtro estático en el tratamiento de aguas residuales municipales provenientes del efluente del pozo séptico de la asociación Ccoricancha y ser propuesta como alternativa de solución, con el objetivo de mejorar la calidad del agua residual y reutilizarla en riego de cultivos.

V: Resultados y Discusión: Se exponen los hallazgos obtenidos de la investigación, enfatizando la mejora en la calidad del agua residual, reducción de los parámetros físico-químicos y obtención de agua de categoría 3 para riego de cultivos.

VI: Conclusiones: El sistema de filtro estático mejoró el tratamiento de las aguas residuales municipales de la asociación Ccoricancha reduciendo la DBO5 en 89.67%, SST en 97.63% y DQO en 89.84%, además de obtener un agua tratada apta para el riego de cultivos.

VII: Recomendaciones: Es importante realizar monitoreos y mantenimientos preventivos, además de implementar un sistema de desinfección para obtener un agua de mejor calidad y considerar su implementación en la asociación como alternativa frente a la problemática estudiada.

VIII: Referencias: Donde se encuentra las referencias bibliográficas en las que se sustentó el trabajo de investigación.

IX: Anexos: Se complementa el trabajo de investigación con fotos del lugar, procedimiento del armado del filtro e incluso, los cuadros de registro de la matriz y de la ficha de campo utilizados y documentación complementaria del trabajo de investigación.

En todos estos Ítems se detalló todo el trabajo de investigación desde el inicio hasta su culminación.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema:

Las aguas residuales municipales son aquellas provenientes de las actividades humanas como es el lavado de manos, lavado de alimentos, bañarse, el uso del inodoro, etc., las cuales en ocasiones se juntan con las aguas pluviales provenientes de las lluvias.

Por otro lado, las aguas pluviales se infiltran en el suelo y en algunas zonas pobladas éstas están conectadas a las redes de alcantarillado, las aguas residuales presentan materia orgánica (restos vegetales, eses, etc.), detergentes, grasas, metales pesados y algunos nutrientes como son el fósforo y Nitrógeno, además dentro de las aguas residuales municipales se encuentra la presencia de agentes patógenos (bacterias y virus), los cuales son potencialmente dañinos para los seres humanos y el medio ambiente. Estas aguas residuales necesitan ser sometidas a un tratamiento antes de ser liberadas o descargadas a un cuerpo receptor o ser reutilizadas para otras actividades. Si no son tratadas correctamente ocasionan un impacto negativo para los seres vivos y el medio (entorno) que los rodea (UNESCO, 2017)

El incremento de la población en todo el mundo ocasiona una mayor demanda del recurso hídrico, generando que más agua sea destinada a satisfacer las necesidades de las personas. Ocasionando como consecuencia un incremento en la producción de agua residual, la cual debe ser tratada por los distintos sistemas de tratamiento de aguas residuales. Los sistemas de tratamiento son contruidos con la finalidad de mejorar la calidad del agua y reducir la carga contaminante que presenta el agua residual al entrar a un sistema de tratamiento, estos sistemas

son diseñados para tratar una cierta cantidad de agua residual denominada caudal pero este valor está directamente relacionado con el número de habitantes que presenta el lugar, al incrementarse la población origina que el sistema de tratamiento sobrepase su caudal y empiece a colapsar llegando a generar fallas en el tratamiento del agua residual, provocando que no se dé un correcto tratamiento a las aguas residuales, el mal tratamiento se ve reflejado en el efluente del sistema, debido a que los niveles (valores) que indica el efluente en su liberación a un cuerpo receptor son muy altos y en algunos casos son extremos sobrepasando lo que indica la normativa (LMP) para sistemas de tratamiento lo que ocasiona un impacto ambiental negativo que en muchos casos no se pueden remediar de forma sencilla y rápida perjudicando, a los seres vivos y a su entorno.

En el mundo el servicio de saneamiento básico (servicio de agua potable y desagüe) aumento de un 59% a un 68% en el transcurso de los años de 2000 al 2015 lo que indica que en la actualidad sigue aumentando la implementación del servicio de saneamiento básico tanto en zonas urbanas como rurales, para lograr que todos puedan acceder a un servicio de saneamiento básico, su implementación aunque se vea lenta, está llegando a zonas que antes no contaban con el servicio de saneamiento, el cual es fundamental para el desarrollo de muchas poblaciones y ciudades. La implementación de este servicio no solo brinda un beneficio a las personas, sino que reduce la contaminación en cuerpos de agua, el suelo ya no recibe una contaminación directa, el ambiente se encuentra más limpio incluso con la implementación del servicio de saneamiento básico se logra que se realicen sistemas de tratamiento de agua residuales más modernas llegando a obtener un agua de calidad que tenga la capacidad de reutilizar el recurso hídrico para otras actividades. (UNESCO, 2019)

El servicio de saneamiento básico, aunque aumento en su implementación aún no logra su objetivo de llegar a todas las personas debido al crecimiento poblacional, en el 2015 el saneamiento básico cubrió a 3.8 millones de la población y en el 2022 solo cubre 3.5 millones de la población lo que indica que, aunque el servicio de saneamiento básico este incrementándose el crecimiento poblacional es mayor y esto ocasiona que no se pueda cubrir a todas las personas. En un futuro el servicio de agua y alcantarillado no llegara a todos debido a que el incremento poblacional es mayor y cada vez se amplía el rango de personas que necesitan el servicio, en zonas donde antes no había viviendas hoy se puede apreciar asentamientos tanto en las zonas urbanas como rurales los cuales no presentan el servicio de saneamiento básico, siendo una situación alarmante, que demuestra que aunque el servicio de agua y alcantarillado se aumente, la población seguirá creciendo a un ritmo acelerado. (UNESCO , 2024)

La demanda del recurso hídrico se incrementa generando que haya una mayor cantidad de agua residual para tratar y sin los sistemas de tratamiento adecuados ocasionaran un impacto ambiental negativo que traerá contaminación, enfermedades e incluso pandemias debido a la mala calidad de vida, donde se tendrá como causa la mala gestión de las aguas residuales donde se perderá zonas de cultivo, masas acuáticas, hasta algunas especies de animales. (UNESCO , 2024)

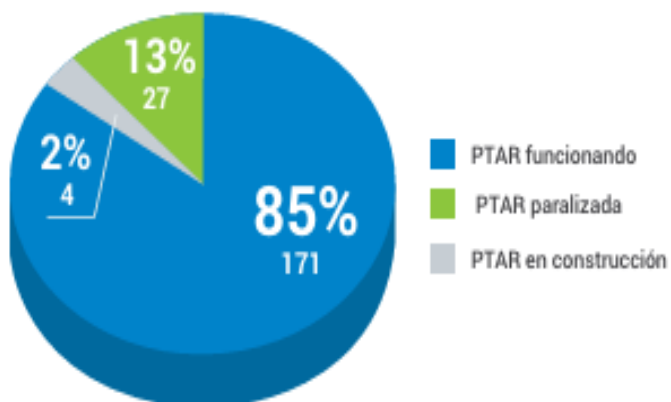
En el Perú existe un deterioro de la calidad de agua debido a la contaminación de los cuerpos receptores como lagos, ríos, arroyos, etc. Entre los problemas que afecta la calidad del agua están los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales, estas PTARs se encargan de tratar las aguas residuales después de ser utilizadas en las distintas actividades humanas como domésticas, industriales y recreativas, las cuales alteran las características naturales del agua y

la falta de sistemas de tratamiento en algunas zonas ocasionan que las aguas residuales no sean tratadas y en algunos casos llegan a ocasionar impactos ambientales negativos que no se pueden remediar con facilidad. En el Perú se estima que 2 217 946 m³/día de aguas residuales se vierten a las redes de alcantarillado de las cuales solo el 32% de estas aguas son tratadas antes de ser liberadas a los cuerpos receptores o reutilizadas. Lo que nos indica que más del 50% de agua residual no recibe ningún tipo de tratamiento y es descargado directamente al medio ambiente alterando sus características naturales lo cual ocasiona una contaminación directa que afecta al agua, suelo y aire. (OEFA, 2014).

La SUNASS presento un informe sobre las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en la cual indica que en el Perú existen 202 plantas de tratamiento de aguas residuales, pero solo 171 están en funcionamiento además la mayoría de ellas se encuentra en zonas urbanas, mientras que las zonas rurales cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales que en algunos casos no son suficientes y no llegan a dar un tratamiento correcto de las aguas residuales. El mal tratamiento ocasiona que el efluente tenga parámetros muy altos superando los Límites Máximos Permisibles (LMP) propuestos para efluentes de aguas residuales los cuales no son aptos para el medio ambiente ni para los seres vivos ya que son altamente contaminantes. Solo el 85% de las plantas de tratamiento logran remover y reducir los contaminantes evitando que estos al ser liberadas ocasionen un impacto ambiental negativo. (SUNASS, 2022).

Figura 1

Estado de plantas de tratamiento de aguas residuales en el Perú



Nota: Reportes emitidos por las empresas prestadoras del servicio de saneamiento año 2021 (SUNASS).

Cada habitante en el país llega a generar 142 litros de agua residual al día, los cuales son destinadas a los cuerpos receptores y a las plantas de tratamiento que presentan algunas zonas del país, se estima que con el crecimiento poblacional las plantas de tratamiento no puedan tratar correctamente el agua residual debido a su incremento ya que las plantas presentan un caudal máximo y si sobrepasan su capacidad (caudal) estas podrían colapsar debido a que el afluente que ingresaba con normalidad se incrementó, se estimó que para el 2024 la generación de agua residual fuera de 4 842 579 (m³/día) lo que es casi el doble de la cantidad que se generaba esto debido al incremento poblacional que sufre nuestro país y que sigue en aumento con el transcurso de años. (OEFA, 2014)

En la región del Cusco existen empresas prestadoras del servicio de abastecimiento de agua potable y de alcantarillado en la zona urbana se tiene cuatro empresas como son SEDACUSCO S.A., EPS EMAQ S.R.L., EPS EMPSSAPAL S.A. y EPS EMSAPA CALCA S.A., mientras que en el ámbito rural existen 3 929 empresas prestadores del servicio (agua potable y alcantarillado) de los cuales 3 780 son administrados por organizaciones comunales o

asociaciones y 149 por municipalidades cada una de ellas según su jurisdicción. Las cuales tratan las aguas residuales antes de ser descargadas a los cuerpos receptores, pero en la mayoría de ellos el tratamiento no es el más adecuado y la falta de manteniendo a los sistemas de tratamiento llega a ocasionar que estos no trabajen de forma adecuada, lo que ocasiona que varios de ellos no cumplan con los Límites Máximos Permisibles (LMP) que se exigen para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. (Gobierno Regional Cusco, 2023)

Tabla 1

Empresas prestadoras de servicio de saneamiento básico (agua potable y alcantarillado) en la región Cusco

Provincia	Localidades	Población Atendida	Prestador del Servicio
CUSCO	CUSCO	94, 036 habitantes	SEDA CUSCO S.A.
	PAUCARTAMBO		
	SICUANI		
CANCHIS	SANTO TOMAS	17, 377 habitantes	EMPSSAPAL S.A.
CALCA	CALCA	4, 560 habitantes	EMSAPA CALCA
LA CONVENCION	QUILLABAMBA	8, 369 habitantes	EMAQ SRL

Nota: Plan Regional de Saneamiento 2023-2027

El distrito de Chinchero presenta una zona tanto urbana como rural, las cuales están en constante crecimiento debido principalmente al turismo y ahora con la construcción del proyecto del aeropuerto internacional de Chinchero, el cual está haciendo que se amplíen las zonas urbanas como rurales causando que haya un incremento en la población del distrito, este incremento poblacional producirá un mayor consumo de agua potable y por consecuente un aumento en el caudal del afluente que llegara a los sistemas de tratamiento de aguas residuales

municipales tanto en zonas urbanas como en zonas rurales, haciendo que la capacidad de los sistemas de tratamiento se vean afectados e influyan en el correcto tratamiento de las aguas residuales. En el distrito el 60.3 % de las viviendas no cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales, el 28% presenta el sistema de pozo ciego o séptico, el 11.1% cuenta con red de desagüe que llega a una planta de tratamiento y el 0.6% descarga las aguas residuales directamente a un cuerpo receptor o al medio ambiente, provocando un impacto ambiental negativo que afecta al medio ambiente, a los residentes de las zonas aledañas, incluso a los animales que son criados en la zona y llegan a consumir el agua contaminada de forma directa o indirectamente. (Municipalidad de Chinchero, 2016)

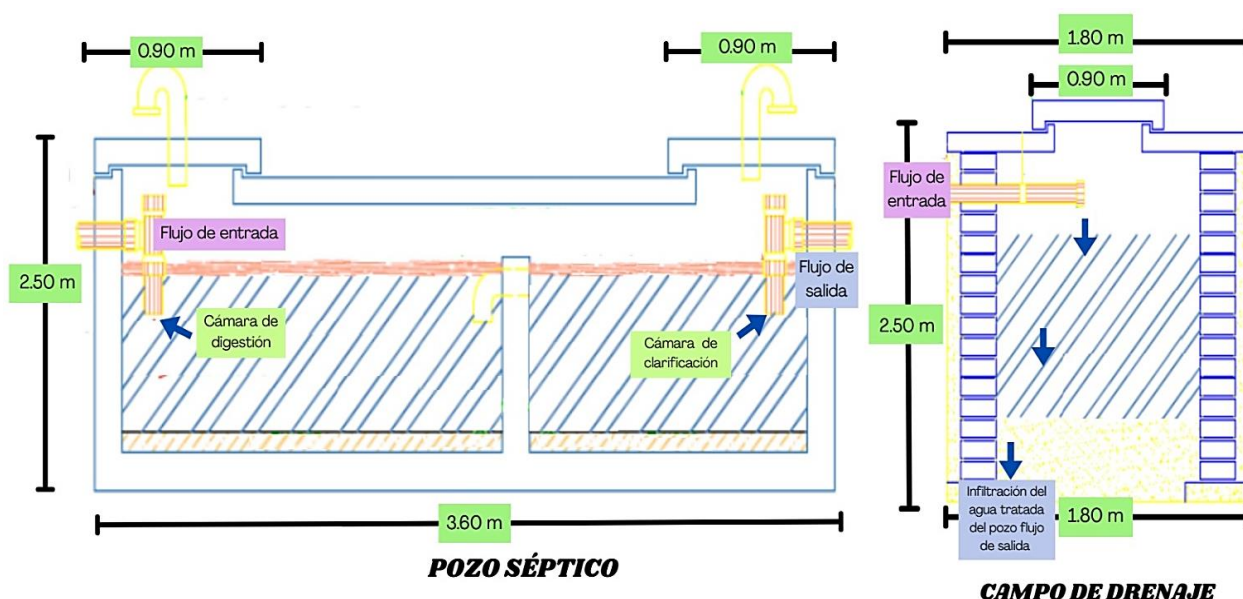
La asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha presenta un sistema de tratamiento de aguas residuales el cual es un pozo séptico, la administración del pozo séptico está a cargo de la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS) de la asociación, la JASS se encarga de brindarle mantenimiento al pozo séptico cada cierto tiempo para que este pueda tratar las aguas residuales y no presente problemas en su funcionamiento, como también se encarga de cobrar un cierto monto para realizar trabajos de mantenimiento y mejoras del pozo séptico como sería el cerco perimétrico del sistema de tratamiento y la limpieza de sus alrededores. Pero debido al incremento de la población ha ocasionado que el pozo séptico sobrepase las capacidades para los que fue diseñado, motivando a que éste colapse y el tanque de filtración no funcione correctamente llegando a liberar el efluente por la superficie del tanque, causando la contaminación de los alrededores. En las cuales se encuentran chacras utilizadas por la población tanto para cultivo como para zonas donde se alimenta el ganado, el agua del efluente por acción de la gravedad y la escorrentía se desplaza llegando a contaminar estas zonas y los animales beben de esta agua contaminada.

El pozo séptico al ya colapsar ocasiona que el agua residual se desplace con una carga contaminante muy alta llegando a impactar negativamente en el suelo, el cual ya muestra rasgos de contaminación que se aprecian a simple vista, respecto al agua se logra evidenciar que esta presenta una coloración verdosa con partículas suspendidas que flotan en el agua, actualmente se realizó un hoyo de una profundidad de 1.52 metros, en el cual se está almacenando el efluente del agua residual para impedir la contaminación de los alrededores, pero cada día que pasa este se encuentra más lleno y en caso se rebalse seguirá contaminando las zonas aledañas al pozo séptico debido al relieve del lugar el cual anteriormente ya ha sido afectado, hoy se encuentra en un estado de remediación natural el cual es un proceso muy lento debido a que las plantas tratan el agua residual por acción de la fitorremediación.

El pozo se encuentra ubicado cerca de una zona arqueológica como también de chacras en las cuales se practica la agricultura y ganadería, las chacras que se encuentran en los alrededores están siendo contaminadas, este problema está generando un impacto negativo tanto al medio ambiente como a las actividades que se practican, sin mencionar la presencia del mal olor el cual con el aumento de la temperatura se llega a percibir hasta en la zona arqueológica.

Figura 2

Diagrama del diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de la asociación Ccoricancha



El pozo séptico de la asociación Ccoricancha actualmente cuenta con el siguiente proceso de tratamiento.

- ❖ Tubería de entrada
- ❖ Tanque séptico
- ❖ Cámara de sedimentación
- ❖ Campo de drenaje (tanque de infiltración)

La tubería de entrada transporta las aguas residuales municipales hasta el tanque séptico para que empiece el tratamiento en la cámara de sedimentación, se separan los sólidos de los líquidos para que así entren a la cámara de trampa de grasas la cual retira algunas grasas y espuma que se generan en el proceso, mientras que la materia orgánica empieza a descomponerse por acción de las bacterias anaerobias (proceso biológico) que se generan en el pozo séptico, el pozo séptico es un sistema de tratamiento de aguas residuales subterráneo que no se puede apreciar.

Figura 3

Tubería de entrada al tanque séptico



Después el agua residual municipal pasa a la cámara de digestión para seguir con su tratamiento, en esta etapa se descompone la materia orgánica debido a las bacterias anaerobias las cuales trabajan sin presencia de oxígeno estas bacterias al degradar la materia orgánica ayudan a reducir la concentración de contaminantes y produce un efluente más limpio, también se llegara a la etapa de filtro en la cual se eliminan las bacterias y partículas dañinas que aún están presentes antes de ser dirigidos al campo de drenaje.

Figura 4

Pozo séptico de la asociación Ccoricancha



Campo de drenaje, esta etapa del sistema es la que no funciona correctamente llegando a verse colmatado por una sobrecarga en el sistema. Todo gracias al incremento poblacional y la falta de mantenimiento que hace que el sistema tenga que trabajar excediendo sus capacidades y afectando al tratamiento correcto de las etapas del sistema (pozo séptico), en especial a esta la cual es un proceso lento, por la infiltración en el suelo en la cual influye mucho la permeabilidad del suelo a pesar de eso este proceso sigue siendo lento y no se realiza de forma rápida lo cual ocasiona que el tanque de infiltración empiece a llenarse generando que se colmate (colapse) por la sobrecarga y tenga que salir por la parte superior sin purificarse completamente el agua residual, lo cual ocasiona la interrupción y el tratamiento inadecuado de las aguas residuales de la asociación.

Figura 5

Tanque de infiltración o campo de drenaje actualmente colmatado



Debido a la sobrecarga en el sistema, genera que haya una mayor cantidad de agua para infiltrar, pero el tanque de infiltración no logra abastecerse por completo y generando su colmatación. Superando así los niveles para los cuales está diseñado. El efluente que debe salir del campo de drenaje e ir purificándose por acción de la gravedad en el suelo, para impedir la

contaminación de los alrededores al pozo séptico es interrumpido. Lo cual ocasiona que el efluente aun no purificado salga por la parte superior y este contaminando la superficie del pozo séptico como de los alrededores generando impactos negativos al ambiente, los cuales se aprecian a simple vista sin una solución aparente por parte de la JASS la cual se encarga de administrar el sistema de tratamiento actual que presenta la asociación.

Figura 6

Efectos negativos del efluente del pozo séptico en sus alrededores



Figura 7

Solución alternativa puesta en práctica por la JASS de la asociación Ccoricancha



Lo que demuestra que si no se soluciona o se propone una alternativa pronto afectara en gran medida no solo la calidad de vida de los pobladores, sino que puede ocasionar enfermedades en animales, traer plagas e incluso que algunas cosechas presentaran sustancias nocivas para los seres vivos.

Al estar a cargo de la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS) y presentar una limitación de recursos económicos se busca formas de tratar el agua residual de forma eficiente y a un bajo costo, proponiendo así el sistema de filtro estático, el cual brindara un tratamiento eficiente a un muy bajo costo debido al uso de recursos que se pueden encontrar en la asociación o cerca de ella con la finalidad de ahorrar dinero para la asociación y solucionar su situación actual. Para evitar el problema del colapso del efluente se optimizará el tratamiento mediante la incorporación de una mini bomba de agua para acelerar el tratamiento debido a la acumulación que presenta actualmente el sistema es necesario optimizar el tratamiento ya que si no se optimiza la solución no sería eficiente, con la instalación de la mini bomba se busca trasladar el agua residual hasta el filtro estático reduciendo así el tiempo como minimizar el impacto ambiental, además con esta práctica promovemos la gestión del recurso hídrico en la asociación o simplemente para ser descargadas al medio ambiente sin correr el riesgo de llegar a contaminar las charas aledañas o incluso afectar la calidad de vida de los pobladores o seres vivos que necesitan el agua para subsistir. La propuesta del filtro estático al ser un método no muy conocido pero que demuestra tener una efectividad muy alta al remover contaminantes y algunas sustancias dañinas en aguas residuales municipales, contribuye no solo a la mejora de la calidad del agua residual, sino que logra disminuir los niveles de contaminación haciendo que el sistema ahora si cumpla con las normativas establecidas de los LMP para efluentes de PTAR, llegando a resolver la problemática que afronta la asociación en la actualidad.

Problema general:

- ❖ ¿Es posible mejorar el tratamiento de aguas residuales municipales mediante un sistema de filtro estático en la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha del distrito de Chinchero – 2024?

Problemas específicos:

- ❖ ¿Cuál es la situación actual del sistema de tratamiento de aguas residuales en la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha del distrito de Chinchero – 2024?
- ❖ ¿Cuáles son los valores de los parámetros físico-químicos del efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales en la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha del distrito de Chinchero – 2024?
- ❖ ¿Cuál es la eficiencia del filtro estático para tratar el efluente de aguas residuales municipales en la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha del distrito de Chinchero – 2024?
- ❖ ¿Se puede proponer un sistema de filtro estático en la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha en base a los resultados obtenidos, Chinchero – 2024?

2.2.Objetivos:

2.2.1. Objetivo general:

- ❖ Mejorar el tratamiento de aguas residuales municipales mediante un sistema de filtro estático en la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha del distrito de Chinchero – 2024

2.2.2. Objetivos específicos:

- ❖ Evaluar el sistema actual de tratamiento de aguas residuales en la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha del distrito de Chinchero – 2024
- ❖ Determinar los valores de los parámetros físico-químicos del efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales en la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha del distrito de Chinchero – 2024
- ❖ Determinar la eficiencia del filtro estático para tratar el efluente de aguas residuales municipales en la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha.
- ❖ Proponer un sistema de filtro estático en la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha en base a los resultados obtenidos, Chinchero – 2024.

2.3. Justificación e importancia:

La investigación se justifica por la necesidad de mejorar el sistema de tratamiento de aguas residuales municipales de la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha debido a que el efluente del pozo séptico con el que cuenta la asociación esta contaminando las zonas aledañas al pozo séptico donde se practica la agricultura y ganadería además de contaminar el río Ninantaynilloq. Toda esta contaminación ocasiona impactos negativos en el suelo, agua, aire y en la calidad de vida de los residentes de la asociación. Esta problemática ambiental y social motiva la búsqueda de una solución eficiente y de bajo costo, mediante la implementación de un sistema de filtro estático que imita el proceso natural de percolación se busca reducir la carga contaminante y permitir la reutilización del agua residual tratada para otras actividades como el riego de cultivos y bebida de animales contribuyendo así a la gestión del recurso hídrico.

La investigación se realizó con la finalidad de reducir y mitigar la contaminación ambiental causada por el efluente del pozo séptico, se escogió el tema con la finalidad de mejorar la calidad de vida de los socios como evitar los impactos negativos en el suelo, agua y aire de la asociación Ccoricancha mediante la implementación de un sistema de filtro estático, el cual es un método poco conocido en el tratamiento de aguas residuales pero que presenta una alta efectividad que beneficiara a la asociación al resolver su problemática ambiental, reducir la contaminación, proteger la flora y fauna aledaña al pozo séptico y promover la gestión integral del recurso hídrico como es el agua residual tratada lo cual ayudara al desarrollo de la asociación Ccoricancha e innovación en el distrito de Chinchero.

La investigación responde a la problemática ambiental que se observa en la asociación Ccoricancha ocasionada por la contaminación del sistema actual de tratamiento de aguas residuales municipales (pozo séptico), el cual libera un efluente con alta carga de contaminantes que son descargados al medio ambiente, afectando chacras, zonas de ganadería y cuerpos de agua como el rio Ninantaynilloq, además genera la sensación de desagrado en la zona arqueológica cercana (ruinas de Ninantay). La ausencia de tratamientos adecuados de aguas residuales en zonas rurales y la necesidad de dar soluciones accesibles como eficientes también ayudaron a elección del tema a investigar. Ya que el objetivo de la investigación es diseñar un filtro estático que mejore el tratamiento actual de aguas residuales de la asociación para así liberar un efluente de calidad y que pueda ser reaprovechado, además de reducir los niveles de contaminación y ser una solución práctica que puede implementarse en otras zonas rurales que presenten esta problemática.

El tema seleccionado busca resolver la problemática sobre la contaminación del agua residual y sobre el uso de tecnologías de bajo costo y alta eficiencia que puedan ser replicadas

en zonas con recursos limitados, la investigación aporta al conocimiento al demostrar la eficiencia de un filtro estático en tratar las aguas residuales municipales, y expandir su uso ya que es un método poco conocido en la región Cusco. Este método aprovecha los procesos naturales de filtración y percolación para remover los contaminantes, tratar las aguas residuales municipales y purificar el agua en el proceso con poca inversión y una alta efectividad. Además, promueve el uso de técnicas innovadoras como la matriz de visualización detallada usada en la evaluación del estado del pozo séptico, integrando así el análisis de campo y los datos de laboratorio para validar y respaldar la calidad del agua tratada y ser apta para su reutilización. Fomentando buenas prácticas de la gestión de agua residual.

El modelo de investigación fue de tipo aplicado experimental basado en la evaluación in situ del sistema actual de tratamiento de aguas residuales (pozo séptico), para la obtención de datos se utilizó la matriz de visualización detallada y fichas de campo, Además de un análisis físico-químico realizado en laboratorios para garantizar su confiabilidad. Este enfoque permite validar la eficiencia del método propuesto para ser aplicado en condiciones reales y solucionar así problemas ambientales que se perciben en nuestra actualidad.

Los aportes que proporciona el presente trabajo de investigación en la ingeniería ambiental son la mejora del tratamiento de aguas residuales municipales con un sistema de filtro estático eficiente y de bajo costo, también promueve la gestión del recurso hídrico como la reutilización del agua residual tratada como seria en el riego de cultivos, además genera un modelo replicable para zonas rurales con pocos recursos. También aporta en el conocimiento de técnicas naturales de filtración y percolación en la práctica de la ingeniera ambiental y fomenta el uso de herramientas innovadoras para la evaluación ambiental de sistemas de tratamiento de agua residuales.

2.4. Hipótesis:

2.4.1. *Hipótesis general:*

- ❖ El tratamiento de aguas residuales municipales por medio del filtro estático mejoró y redujo la carga contaminante de la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha del distrito de Chinchero – 2024

2.4.2. *Hipótesis específicas:*

- ❖ La situación actual del sistema de tratamiento de aguas residuales en la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha es deficiente debido a la colmatación, ocasionando que el efluente salga con un alto nivel de contaminación.
- ❖ El efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales presenta valores altos en los parámetros físico-químicos que superan los LMP de efluentes de PTAR.
- ❖ El filtro estático muestra una eficiencia de un 80% en el tratamiento del efluente de las aguas residuales municipales en la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha
- ❖ El sistema de tratamiento propuesto contribuye a la mejora de la gestión de aguas residuales municipales en la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha.

2.5.Variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Índices
Variable Dependiente Agua residual municipal	Las aguas residuales municipales provienen de la unión de aguas residuales domésticas y aguas pluviales, las cuales están contaminadas y presentan alteración en sus parámetros físicos y químicos, estas aguas necesitan un tratamiento antes de ser descargadas a un cuerpo receptor para impedir un impacto ambiental negativo. (Baldizón, 2019)	Las aguas residuales municipales se miden, según sus parámetros físicos, químicos y microbiológicos, los cuales brindan información sobre las características del agua residual y sus concentraciones (niveles de contaminación). (Osorio, 2021)	Parámetros Físicos-químicos (inicial-final)	Turbidez Temperatura SST: Sólidos totales suspendidos Olor PH: Potencial de hidrogeno DQO: Demanda química de oxígeno DBO ₅ : Demanda biológica de oxígeno	NTU °C mg/l TSS o ppm Hedor-olor (desagradable-agradable) $6.5 < \text{pH} < 8.5$ mg/l mg/l
Variable Independiente Filtro estático	Es un sistema que purifica las aguas residuales mediante la gravedad, imitando un proceso natural (percolación), lo que lo hace una técnica muy eficiente para tratar las aguas residuales domesticas e industriales. (Vera et al., 2023)	Sistema de bajo costo y alta eficiencia propuesta para tratar aguas residuales, depende del tipo de agua residual a tratar para implementar capas en el filtro que sean eficientes y logren limpiar las impurezas del agua como reducir su carga contaminante. (Sandoval & Yupanqui, 2022)	Eficiencia para purificar las aguas residuales	Remoción de contaminantes Tiempo de retención hídrica (TRH) Volumen de agua filtrada	Porcentaje = % TRH = L/s Litros= L

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes del problema

3.1.1. A nivel internacional.

(Castillo & Chimbo, 2021), Ecuador. Los cuales realizaron la investigación de tesis titulada “Eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros (*Eisenia foetida*) en aguas residuales domésticas para zonas rurales”. El cual tuvo como objetivo evaluar la eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros (*Eisenia foetida*) en aguas residuales domésticas para zonas rurales. El estudio fue de tipo experimental debido a que se diseñó un lombrifiltro con tres tipos de caudales para demostrar la eficiencia de remoción obteniendo 9 muestras debido a que se hizo tres veces el análisis. Los autores llegaron a la conclusión de que algunos parámetros estaban por encima de los límites máximos permisibles y otros estaban por debajo, sometiendo al tratamiento mediante el lombrifiltro el caudal de 5,18m³/día de aguas residuales domésticos obteniendo unas muestras representativas que demostraron una eficiencia de remoción de contaminantes del agua residual por acción de los lombrifiltros en valores de 52.25% para el DBO₅, un 66,74% para el DQO y un 52,91% para SST comprobando que el tratamiento fue eficiente.

(Delgado, 2022), Guayaquil – Ecuador. Quien realizó la investigación titulada “Diseño de un biofiltro a escala a base de carbón activado y zeolita para el tratamiento de agua de una laguna de oxidación”. El cual tuvo como objetivo diseñar un biofiltro a escala a base de carbón activado y zeolita para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la laguna de oxidación localizada en la ciudad de Las Orquídeas (Guayaquil – Ecuador). La metodología utilizada fue

de tipo experimental debido a que se realizaron 5 prototipos de filtración con el carbón activado y la zeolita en distintas proporciones para determinar cuál de todos es el más eficiente para reducir la contaminación del agua residual doméstica. El autor llegó a la conclusión de que el mejor prototipo para el tratamiento de aguas residual domesticas lo realizo el prototipo 3 el cual estuvo compuesto de 50% de carbón activado y 50% de zeolita ambos en estas proporciones demostraron tener una mayor eficiencia en la remoción y reducción de contantes del agua residual, el cual llegó a depurar las aguas residuales de la laguna de oxidación del distrito.

(Decima, 2024), Catamarca – Argentina. El cual desarrollo la investigación titulada “Elaboración y evaluación de un filtro purificador de agua casero con carbón activado previamente preparado y su reproducción por estudiantes avanzados del nivel secundario”. El trabajo de investigación tuvo como objetivo elaborar y evaluar un filtro purificador de agua casero para tratar las aguas contaminadas y reducir la mayor parte de contaminantes presentes en ellas. La metodología utilizada fue de tipo experimental debido a que se construyeron distintos filtros mediante el apoyo de los grupos de trabajo para tratar las aguas contaminadas con café, restos vegetales, semillas y otros. Para evidenciar el cambio en sus características del agua como en los parámetros analizados. Los materiales empleados fueron carbón vegetal, carbón activado, grava fina y gruesa, arena y algodón. Los cuales fueron introducidos en distintos frascos y en proporciones variadas para evidenciar el proceso de filtración por capas y ver como el agua contaminada empieza a cambiar en el pazo de cada una de las capas. La investigación concluyo en que, el purificador de agua casera demostró tener una alta eficiencia en tratar las aguas contaminadas y remover la presencia de hojas, semillas, tierra, etc. Además, se identificó que el prototipo propuesto es apto para implementarse en sistemas domiciliarios como en vertederos de ríos ya que se evidencio que mejoro las propiedades fisicoquímicas que

presentaba el agua inicialmente siendo ahora el agua tratada empleada para consumo humano. Además, se demostró que el carbón activado presenta una gran capacidad de absorción y retención de contaminantes purificando el agua y reduciendo los niveles de turbiedad presentes.

(Parra, 2023), Cuenca – Ecuador. El cual realizó la investigación titulada “Implementación y evaluación de un vermifiltro piloto empleado como tratamiento único de aguas residuales domésticas en una vivienda de la parroquia Baños, analizando su aplicación como una estrategia de economía circular”. Teniendo como objetivo implementar y evaluar un vermifiltro piloto empleado como tratamiento único de aguas residuales domésticas en una vivienda de la parroquia Baños y analizar su aplicación como una estrategia de economía circular. La investigación fue de tipo experimental debido a que diseñó un sistema de vermifiltro en la cual se utilizó a la lombriz roja (*Eusenia foetida*) junto a capas de grava, arena, aserrín para el tratamiento de las aguas residuales, la investigación concluyo en que el sistema de vermifiltro demostró una alta efectividad para remover los contaminantes presentes en las aguas residuales domesticas obteniendo una eficiencia de 85.7% hasta un 91.6% para DBO5 y para DQO la eficiencia fue de un 81.1% hasta un 87.1% a partir del día 35 de operación como reduciendo otros contaminantes como nitritos y nitratos además de una gran mejora en la turbiedad, demostrando así que el tratamiento fue un éxito.

(CONAGUA , 2023), Argentina. En el artículo científico titulado “Co-producción de soluciones basadas en la naturaleza para mitigar el impacto de los efluentes en la calidad del agua del arroyo san francisco: evaluación e implementación de biofiltros”, este artículo tuvo como objetivo la Co- producción de soluciones para mitigar el impacto de efluentes junto a trabajadores de una cooperativa social del Frente de Organizaciones en Lucha - FOL, diseñando biofiltros para la mitigación de los efluentes domésticos que ingresan al arroyo por medio de la

red doméstico y pluvial. El diseño de investigación que se realizó fue de tipo experimental diseñando y armando los biofiltros para tratar las aguas residuales del arroyo de San Francisco durante todo el año buscando mejorar la calidad de vida de los residentes de la zona, el artículo concluyó con que los biofiltros armados compuestos por capas la primera conformada por plantas que crecen en la zona la segunda de grava y por último una de arena siendo estas capas muy económicos y eficientes lograron reducir los niveles de contaminación de las aguas residuales municipales que presentaba el efluente para después ser descargados a los cuerpos de agua receptores llegando a ver su eficiencia en el proceso.

(Rodríguez & Escobar, 2018), El Salvador. Los cuales realizaron la investigación titulada “Evaluación del funcionamiento de filtros de bio carbón con arcilla en la potabilización de agua mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos”. La investigación tuvo como objetivo evaluar la capacidad de filtración de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos que tienen los filtros de bio carbón con arcilla sobre el agua. La metodología de la investigación fue de tipo experimental debido a que se armó dos filtros caseros los cuales fueron puestos a prueba durante 6 meses para mejorar la calidad del agua, reducir los contaminantes presentes en el agua y los metales pesados que se encuentran en ellos. La investigación concluyó indicando que los filtros de bio carbón con arcilla utilizados en el salvador y Ilobasco removieron un promedio de 99.9% de plomo, 95.49% de *Escherichia Coli* lo que indica que el tratamiento es efectivo para remover contaminantes físico-químicos en el agua además su efectividad depende de la cantidad de agua que filtra por día.

3.1.2. A nivel nacional.

(Gamarra, 2021), Sapallanga- Huancayo. cuya tesis titulada “Eficiencia del sistema de vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos de aguas residuales domésticas de la

comunidad La Punta – Sapallanga”, la tesis tuvo el objetivo de determinar la eficiencia del sistema de vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos de las aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta – Sapallanga. La metodología de la investigación fue de tipo experimental debido que se diseñó un vermifiltro para tratar aguas residuales domésticas de la planta de tratamiento de la Punta – Sapallanga, las cuales están contaminado sus alrededores debido al mal tratamiento de las aguas residuales provenientes de la comunidad la Punta, la investigación concluyo que el sistema de vermifiltro presenta una alta eficiencia en remover contaminantes del agua residual domestica llegando a remover un 97,6% de DBO, 86,6% DQO y 96,1% SST como la neutralización del pH para este tipo de aguas residuales.

(Mejía, 2023), Lima. La investigación de tesis titulada “Evaluación de dos sistemas de tratamiento de aguas grises para el reúso en áreas verdes en escuelas públicas, Lima, 2023”, la cual se realizó en la institución San Judas Tadeo de Lima. El objetivo de la investigación fue evaluar la eficiencia de los dos sistemas de tratamiento de aguas grises en el cumplimiento de la norma nacional para el reúso en áreas verdes en escuelas públicas. La metodología de la investigación fue de tipo experimental debido a que se diseñó y construyó dos sistemas de filtros con distintos componentes para verificar su efectividad al tratar las aguas residuales del colegio y brindarles un nuevo uso, la tesis concluyo indicando que ambos filtros son sistemas nuevos y de bajo costo pero alta eficiencia logrando controlar los contaminantes reales de las aguas grises del colegio así como una gran reducción de los parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en las aguas residuales grises, el filtro más efectivo en el tratamiento fue el filtro dos ya que logró reducir los ST en 425.0 mg/L (16.0%), SST en <5.0 mg/L (100%), DBO5 en <2.0 mg/L (100%), DQO en <5 mg/L (100%).

(Díaz, 2021), Cajamarca. Realizó la tesis titulada “Evaluación de la calidad de agua utilizando filtro de carbón activado y cloración por goteo en el río Quilish, teniendo como objetivo Evaluar la calidad de agua en un punto representativo del río Quilish luego de utilizar filtro de carbón activado y cloración por goteo. El tipo de investigación fue cuasiexperimental por la manipulación de una de las variables y su relación con la otra variable como es el río Quilish al cual se le aplicara el filtro con carbón activado para proseguir con un proceso de desinfección como es la una cloración y mejorar la calidad del agua, la investigación concluyo que el análisis del agua del rio Quilish después de la aplicación del filtro de carbón activado nos arrojó cambios significativos en la mejora de la calidad del agua, mejorando sus propiedades físico-químicos como la turbiedad en un 72.2%, el pH promedio llego a ser de 7.51 y una mejora de 95% con respecto a los aceites y grasas.

(Montes, 2018), Carabayllo – Lima. El cual desarrollo la investigación de tesis titulada “Implementación de biofiltro en un biodigestor auto limpiable para el tratamiento de agua residual doméstica del AA.HH. Las Garas – Carabayllo”, la cual se desarrolló en el distrito de Carabayllo – Lima. La tesis tubo el objetivo de evaluar la implementación del biofiltro en un biodigestor auto limpiable para el tratamiento de agua residual doméstica de AA.HH. las Garas. La metodología de la investigación fue de tipo experimental cuantitativo debido a la implementación de un biofiltro en un biodigestor para el tratamiento de aguas residuales domesticas las cuales mejoraron las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual, la tesis concluyo con la implementación del biofiltro en el biodigestor logrado mejorar las características del agua residual cumpliendo así con los LMP y los ECA para el reusó del agua en riego de cultivos presentando una efectividad de remoción de contaminantes como en

DBO 97.42%, DQO 98.35%, SST 98.51%, Coliformes termo tolerantes 99.99% demostrando así la efectividad del biofiltro.

(Santillan, 2021), Puente Piedra – Lima. El investigador realizo la tesis titulada “Tratamiento a nivel piloto de aguas residuales de la asociación san pedro de choque del Distrito de puente piedra mediante el diseño e Instalación de un biofiltro”. Teniendo el objetivo de tratar a nivel piloto las aguas residuales para un uso de Categoría 3 de la Asociación San Pedro de Choque del distrito Puente Piedra mediante el diseño e instalación de un biofiltro. La metodología de la investigación fue de un diseño cuantitativo y de tipo experimental debido a los datos obtenidos del cuerpo de agua tanto antes de la implementación del biofiltro como después, seguidamente ser sometido a la estadística y comprobar su eficiencia. La investigación concluyo que la remoción de contaminantes fue un éxito llegando a remover hasta un 80% de ellos, además se logró obtener agua de categoría 3 según los ECAs de agua, las proporciones de las capas de filtración para la efectividad del biofiltro fueron de un 50% de aserrín, un 20% de caña, otro 20% de piedra gruesa y un 10% de graba.

(Loro, 2018), Lima. La cual realizo la investigación titulada “Evaluación de la eficiencia del tratamiento secundario de aguas residuales domésticas utilizando un biofiltro con *Eisenia foetida* y un biofiltro convencional, esta se realizó en la planta de tratamiento de aguas residuales y residuos peligrosos de la Universidad Nacional de Ingeniería. Ubica en Lima. La cual tuvo el objetivo de determinar la eficiencia del biofiltro con la especie *Eisenia foetida* y el biofiltro convencional en la remoción y reducción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, como alternativas para el tratamiento secundario de aguas residuales domésticas con fines de ser apto para el riego de vegetales. La investigación presento una metodología de tipo experimental debido a la aplicación de dos filtros los cual trataran las aguas residuales

domésticas en busca de cuál de los filtros trata con mayor eficiencia las aguas residuales y si es apto para el riego de plantas. La investigación concluyo con determinar que el filtro convencional es más apto para el tratamiento de aguas residuales domésticas, mientras que el filtro con presencia de *Eisenia foetida* no es tan efectivo, además el filtro convencional logro remover los contaminantes después de su aplicación reduciendo parámetros fisicoquímicos y microbiológicos tanto en aceites, grasas, turbiedad, SST, DBO5, y Coliformes termo tolerantes.

3.1.3. A nivel local.

(Umasi, 2020), Cusipata – Cusco. Quien realizo la investigación de tesis titulada “Evaluación de la eficiencia de un lombrifiltro en (tres capas) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en el distrito de Cusipata”. La investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia del lombrifiltro de tres capas con la especie *Eisenia foetida* en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas del distrito de Cusipata. La metodología de la investigación es de un tipo cuantitativa y de un diseño experimental debido a la construcción de un lombrifiltro con tres capas para tratar el agua residual domestica buscando mejorar las propiedades del agua y que cumplan con lo establecido por el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM. La investigación concluye con que el lombrifiltro de tres capas logra tratar las aguas residuales domesticas con una eficiencia de 92% y presenta una gran remoción de DBO5, DQO, SST y Escherichia Coli logrando estar por debajo de los parámetros indicados en los LMP establecidos en el Decreto Supremo N°003-2010-MINAM.

(Arana, 2022), Cusco. El cual realizo el trabajo de tesis titulada “Influencia del lombrifiltro en la remoción de la DBO5 y DQO de las aguas residuales domésticas para zonas rurales de la provincia de Cusco”, esta se desarrolló en el departamento Cusco. Esta investigación tuvo como objetivo determinar la influencia del lombrifiltro en la remoción de la

DBO5 y DQO de aguas residuales domésticas en las zonas rurales de la provincia de Cusco. La metodología de la investigación fue de tipo experimental por la relación de ambas variables e implementado el uso de un diseño factorial obteniendo 4 tratamientos. Las cuales dieron muestras que fueron analizadas y estudiadas estadísticamente para ver si superan los LMP después de la implementación del lombrifiltro, la investigación de tesis concluyo que la remoción de DBO5 y DQO después de la aplicación del lombrifiltro fue de 73,36% y 84,37% además el caudal para evidenciar los cambios de remoción fue de 50ml/min, demostrando su eficacia en el tratamiento de aguas residuales domesticas rurales de la provincia de Cusco.

(Cartagena, 2021), Cusco. La cual realizo la investigación de tesis titulada “Efectividad de la *Eisenia foetida* en el tratamiento de aguas residuales en el distrito de San Sebastián, Provincia y Región del Cusco, 2020”. La investigación tuvo el objetivo de determinar la efectividad de la *Eisenia foetida* en el tratamiento de aguas residuales en el Distrito de San Sebastián, Provincia y Región del Cusco, 2020. La metodología de investigación fue de tipo cuantitativo debido a la utilización de datos para un análisis estadístico del trabajo determinando así la eficiencia de la *Eisenia foetida* en la remoción de contaminantes del agua residual, la investigación de tesis concluyo que el tratamiento implementado es efectivo logrando que los parámetros evaluados estén por debajo de los LMP del DS N° 003-2010-MINAM establecidos para efluentes de PTAR además que cumpla con los ECA de calidad de agua del DS N° 004-2017-MINAM, llegando a ser un tratamiento que previene el impacto ambiental como el aprovechamiento de material orgánico presente en las aguas residuales.

(Carrasco, 2022), Poroy- Cusco. La investigadora realizo la investigación titulada “Evaluación y propuesta para el mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, distrito de Poroy”. La investigación tuvo el objetivo de Conocer los resultados de la evaluación

y la propuesta para el mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, distrito de Poroy. La investigación presento una metodología de tipo cuasiexperimental debido al análisis de la planta y el modo de tratamiento además por la utilización de propuestas para optimizar la planta y los proceso para el tratamiento del agua residual. La investigación llego a la conclusión de que el estado de la planta es pésimo y el tratamiento de las aguas residuales no cumple con su propósito, como los valores obtenidos no están dentro de los LMP. La propuesta implementa en la planta un sistema de tratamiento completo el cual cumpla con todos los procesos de tratamiento de aguas residuales domésticas y con los valores del LMP establecidos siendo una propuesta de bajo costo de mantener y con proyección para su funcionamiento de unos 20 años a más.

(Ccorimanya & Elorrieta, 2024), San Jerónimo – Cusco. Quienes realizaron la investigación de tesis titulada “Eficiencia de la aplicación de un Sistema de Vermifiltro en el tratamiento de aguas residuales provenientes del camal Cusco, Distrito de San Jerónimo 2023”. La investigación tuvo el objetivo de determinar la eficiencia de la aplicación de un sistema de vermifiltro en el tratamiento de aguas residuales proveniente del camal Cusco, Distrito de San Jerónimo 2024. La investigación presenta una metodología de carácter aplicativo con el enfoque de tipo cuantitativo debido al análisis sobre la eliminación de DBO_5 de las aguas residuales del camal del distrito de San Jerónimo mediante el uso de un vermifiltro explicando, así como el vermifiltro es eficiente en el tratamiento de esta agua de origen industrial. La investigación de tesis concluyo determinando que la eficiencia de la aplicación de un sistema de vermifiltro en el tratamiento de aguas residuales provenientes del Camal Cusco, Distrito de San Jerónimo obtuvo una reducción de la Demanda Bioquímica del Oxígeno (DBO_5) con la combinación de las variables, tiempo (120 horas), caudal (10 ml/min) y la *Eisenia foetida* (300 unidades), así

mismo el sistema de vermifiltro tuvo como resultado eliminar uno de los principales contaminantes de las aguas residuales del Camal Municipal del Cusco y el sistema logró una notable reducción del 86,84% en la Demanda Bioquímica de Oxígeno, ya que en la DBO5 inicial fue de 1729,06 mg/L y una vez aplicado el vermifiltro se redujo a 227,54 mg/L.

(Oymas & Aguilar, 2022), Acomayo- Cusco, quienes realizaron la tesis titulada “Diseño de un sistema para el tratamiento de aguas residuales del distrito de Acomayo, en la provincia de Acomayo, región del Cusco”. La investigación tuvo el objetivo de determinar la situación actual del sistema de tratamiento de aguas residuales en el distrito de Acomayo y realizar una propuesta de solución frente a la problemática del distrito. La investigación presento una metodología de tipo aplicado por el conocimiento que se tiene a cerca de la problemática con un nivel descriptivo por que se describirá la situación actual del sistema de tratamiento del lugar. La investigación concluyó indicando que el distrito cuenta con una PTAR la cual no está trabajando adecuadamente debido a la falta de mantenimientos como se aprecia en la cámara de decantación y el tanque Imhoff, causando que el sistema se colapse y no logré tratar las aguas residuales municipales superando los LMP establecidos en la normativa peruana. Se propuso un sistema nuevo para el tratamiento del agua residual municipal el cual si logre cumplir con las normativas y su efluente sea apto para el vertimiento y no genere un impacto ambiental negativo en el ambiente.

3.2.Bases teóricas

3.2.1. Agua residual

Son aguas con impurezas, las cuales provienen de las diferentes actividades humanas que desarrollamos donde estas ocasionan que sus propiedades sean alteradas llegando a ser perjudicial para el ambiente como para los seres vivos, antes de ser liberadas o reutilizadas estas aguas deben de ser tratadas para impedir un impacto negativo en el ambiente. (OEFA, 2014)

Figura 8

Agua residual vertida en un cuerpo de agua



Nota: Imagen de caracterices de aguas residuales - Google

3.2.2. Tipos de agua residual

La clasificación de las aguas residuales se da en base al origen de estas, cada una presentan distintas concentraciones en sus propiedades debido a las actividades de las que proviene entre las principales tenemos las aguas residuales domésticas, industriales, municipales, agrícolas y comerciales.

A. Aguas residuales domésticas

Son aguas que se producen en las viviendas y edificios después de algunas actividades diarias que realiza el ser humano, estas aguas residuales en su mayoría presentan desechos fisiológicos. (OEFA, 2014)

Aguas grises: Las aguas grises son el grupo de aguas jabonosas las cuales provienen de actividades como las tinas, duchas, lavamanos, lavaplatos, lavadoras de ropa, lavado de alimentos, etc. Estas aguas son de color grisáceo y presentan una carga bacteriana pero que no presentan bacterias fecales, se ubican al medio entre las aguas residuales por su carga contaminante estas incluso se pueden reutilizar para agua de inodoro. (SOGUAPAC, 2022)

Aguas negras: Las aguas negras son aquellas que provienen de inodoros y urinarios, que contienen materia fecal y/u orina. En la cual se encuentran las bacterias fecales principalmente la *Escherichia coli* (E-Coli) la cual está dentro de las heces que llegan al alcantarillado. Este tipo de aguas necesariamente deben tener un tratamiento ya que tienen un alto potencial de causar daño al medio ambiente como a los seres vivos. (SOGUAPAC, 2022)

B. Aguas residuales industriales

Son las aguas provenientes de alguna actividad industrial o procesos para la obtención de algún producto a gran escala en este tipo de aguas residuales se encuentra la actividad minera, agroindustrial, energética, etc. (OEFA, 2014)

C. Aguas residuales municipales

Son las aguas residuales domésticas unidas con las aguas pluviales las cuales se juntan en un sistema de alcantarillado para así llegar a alguna planta de tratamiento antes de ser liberadas a un cuerpo receptor (OEFA, 2014)

Agua pluvial: Estas aguas provienen de agua de lluvia, granizo, nieve etc. las cuales caen y se desplazan por las superficies de la ciudad, ya que estas aguas no son absorbidas por el suelo y se transportan hasta llegar a los sistemas de drenaje o alcantarillado de las ciudades llegando a su destino final en las plantas de tratamiento. (OEFA, 2014)

Figura 9

Agua residual municipal de la asociación Ccoricancha (afluente al pozo séptico)



D. Aguas residuales agrícolas

Son aguas utilizadas en actividades de crianza de animales como en el riego de cultivos, los cuales presentan bastante materia orgánica y fertilizantes estas aguas en su mayoría son liberadas directamente al ambiente sin un tratamiento adecuado. (Baldizón, 2019)

E. Aguas residuales comerciales

Son aguas residuales provenientes de actividades o negocios pequeños como restaurantes, hoteles, mataderos, etc. Los cuales están conectados a la red de alcantarillado para su tratamiento respectivo. (Baldizón, 2019)

3.2.3. Parámetros del agua residual

Los parámetros o características de las aguas residuales se agrupan en tres grupos físicos, químicos y biológicos, estos parámetros nos indican el grado de contaminación de las aguas residuales y con el tratamiento se busca recuperar los valores alterados por las distintas actividades que pasaron. (Metcalf & Eddy, 1995)

A. Físicos

Son aquellos parámetros los cuales podemos distinguir a simple vista o incluso se aprecian con los sentidos del cuerpo entre ellos tenemos:

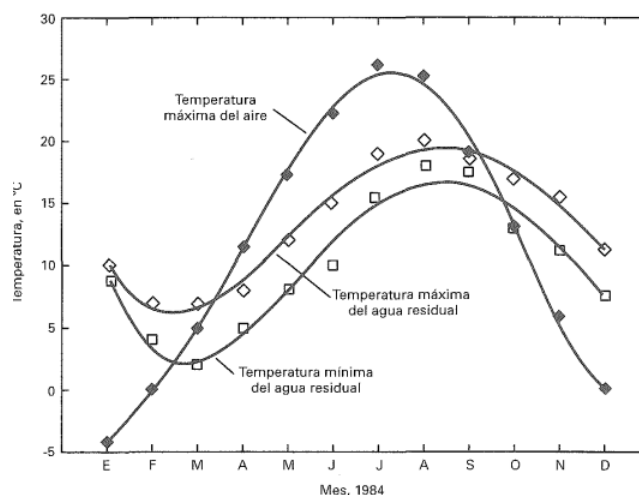
- ❖ **Olor:** El olor característico de las aguas residuales es desagradable debido a la presencia de materia orgánica en descomposición, la cual libera gases que generan ese particular hedor. Esta característica se aprecia en las aguas residuales al aire libre y es ligeramente tolerable debido a que al no estar tapado la concentración de gases es menor y el olor es soportable por los seres vivos, en caso de aguas residuales anaerobias o con pozos sépticos esté presenta una mayor concentración de gases, causando un daño para los seres vivos. Debido a la presencia de gases de sulfato de hidrogeno que son producidas por los microorganismos anaerobios en el proceso de descomposición de materia orgánica donde se trasforma el sulfato de hidrogeno a sulfito de hidrogeno. (Metcalf & Eddy, 1995)

Tabla 2*Factores para la caracterización de un olor*

Factor	Descripción
Carácter	Asociación mental con alguna sensación por el sujeto al percibir el olor
Detectabilidad	Cantidad de diluciones requerida para reducir el olor a su concentración mínima detectable
Sensación	Sensación de desagrado o agrado por el sujeto
Intensidad	Percepción del olor fuerte o suave se suele medir con el olfato metro de butanol

Nota: Ingeniería de aguas residuales, tratamiento y evacuación, 3ra edición.

- ❖ **Temperatura:** Las aguas residuales registran una temperatura que va desde los 10°C hasta los 21°C esto varía según las estaciones del año y las condiciones en las que se encuentra el agua residual, su temperatura es mayor al agua potable o de riego debido a que se le incorporo agua caliente proveniente de la ducha, cocina, industrias, los cuales usan distintas temperaturas para diferentes actividades ocasionando que las aguas residuales cambien la temperatura natural del agua. Además, se sabe que a mayor temperatura aumentan las reacciones químicas y el oxígeno disuelto empieza a agotarse. (Metcalf & Eddy, 1995)

Figura 10*Variación de la temperatura de las aguas residuales*

Nota: Ingeniería de aguas residuales, tratamiento y evacuación, 3ra edición

- ❖ **Turbidez:** La turbidez se manifiesta como disminución de la transparencia del agua, siendo muy importante debido a que mientras más trasparente sea el agua significa que la presencia de sólidos suspendidos es baja o nula y que el nivel de contaminación es menor además es más agradable apreciar un agua clara que una turbia. (Metcalf & Eddy, 1995)

La turbidez en las aguas residuales se mide mediante el método Nefelométrico, que mide la dispersión de la luz en una muestra, siendo sus unidades NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez).

Tabla 3*Niveles de turbiedad del agua*

Clasificación	Rango de NTU	Información
Agua clara	0-5 NTU	Aceptable para consumo humano
Agua turbia ligera	5-50 NTU	No es tan segura presenta algunos contaminantes
Agua turbia alta	50-1000 NTU	No es apta para consumo humano

Nota: Turbidez del agua – Oveolia

- ❖ **Color:** Este parámetro ayuda a identificar si las aguas residuales son recientes o llevan bastante tiempo en el sistema de alcantarillado, el agua residual presenta una coloración inicial gris claro pero cuando llega a la red de alcantarillado se vuelve gris oscuro y finalmente cuando llega a las plantas de tratamiento su coloración es negra lo que indica que hay una presencia de materia orgánica en descomposición, sólidos suspendidos y microorganismos los que le dieron esa coloración oscura llamándose agua residual séptica. (Baldizón, 2019)
- ❖ **Sólidos totales:** Son la presencia de materia orgánica en las aguas residuales las cuales se encuentran en suspensión (sólidos filtrantes), a todos estos se les domina sólidos totales, estos no son apreciados a simple vista debido a que el agua residual presenta partículas que son invisibles al ojo humano.

Sólidos filtrantes: Conocido como sólidos disueltos son materiales muy pequeños los cuales atraviesan los primeros filtros del tratamiento de aguas residuales, estas pueden medir entre 0.001 y 1 micrómetros, entre la mayoría de sólidos filtrantes podemos encontrar las sales, minerales, compuestos disueltos, etc. (Baldizón, 2019)

- ❖ **Sólidos suspendidos:** Son partículas las cuales se encuentran suspendidas en el agua residual, se aprecian a simple vista por el tamaño de las mismas, en la mayoría de casos son restos de materia orgánica, las cuales flotan en las aguas residuales para después por su peso y acción de la gravedad ser depositadas en la base dejando al agua fluir con poca presencia de estos, la presencia de estos en abundancia indica que hay un grado mayor de contaminación en el agua. (Baldizón, 2019)

B. Químicos

Los parámetros químicos presentes en el agua residual son las que no se pueden apreciar a simple vista, la cual tiene componentes orgánicos e inorgánicos como también algunos gases.

Componentes orgánicos: En su mayoría lo compone la materia orgánica proveniente de restos animales, vegetales los cuales en su mayoría presentan la composición de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre conocido como CHONPS en algunos alimentos están presentes estos elementos y hierro. Estos elementos al combinarse dan origen a grupos más complejos, los cuales al pasar por el proceso de descomposición de materia orgánica son más difíciles y lentos. (Metcalf & Eddy, 1995)

Proteínas: Las proteínas representan el 65% de la materia orgánica presente en las aguas residuales, su proceso de descomposición tarda un cierto tiempo generando olores desagradables en el ambiente. (Osorio et al., 2021)

Carbohidratos: Constituyen el 25% de materia orgánica presente en las aguas residuales en su mayoría estos son azúcares, almidones, celulosa degradándose por la presencia de las bacterias generando el proceso de fermentación. (Osorio et al., 2021)

Grasas y aceites: Denominados como lípidos, son compuestos estables y no pueden ser degradados por la actividad microbiana con facilidad, representan el 10% de la materia orgánica además la presencia de estos ocasiona obstáculos en el tratamiento de agua residual, así como en la estructura de las plantas de tratamiento llegando a ser el compuesto más odiado en ser tratado. (Osorio et al., 2021)

Productos químicos: En su mayoría provenientes de actividades agrícolas, que contaminan las aguas superficiales generando un impacto ambiental en la vida acuática y el ambiente, estos son pesticidas, herbicidas y más productos químicos. (Baldizón, 2019)

Componentes inorgánicos: Lo componen minerales y sales, que al estar en contacto con las aguas residuales se mezclan y cambian las características de las aguas debido a sus altas concentraciones de materia inorgánica, ocasionando la contaminación y con la evaporación del agua los restos inorgánicos se quedan presentes generando un mayor impacto al ambiente. (Metcalf & Eddy, 1995)

pH: El potencial de hidrógeno es un indicador de acidez de las aguas residuales donde indica el grado de acidificación que presenta el cuerpo de agua, el rango va desde 0 a 14 siendo 7 el punto neutro mientras más cerca del cero se encuentre el cuerpo de agua será ácido y mientras sea superior a 8 debe ser alcalino, es de suma importancia este indicador debido a que si el rango no es el adecuado puede alterar a los microorganismos y su

trabajo de descomposición. Además, puede generar que el efluente contamine otros cuerpos de agua. (Osorio et al., 2021)

Cloruros: La presencia de estos compuestos es ocasionado por las aguas residuales que están en contacto con minerales y rocas, los cuales liberan al cloro en el proceso que llegan a las plantas de tratamiento además las heces humanas contienen cloro en una cantidad de 10 gramos por día. (Baldizón, 2019)

Nitrógeno y fósforo: Proveniente de la descomposición de materia vegetal y animal, siendo fundamentales para el crecimiento de los microorganismos ya que los microorganismos necesitan nitrógeno para realizar su trabajo de descomponer materia orgánica en el tratamiento secundario en caso falte nitrógeno la descomposición presentara grandes deficiencias retrasando su tratamiento, el agua residual doméstica debe de contener 20 hasta 50 mg/l de nitrógeno y 12 hasta 40 mg/l de amonio para que la actividad microbiana funcione de forma eficiente. respecto al fósforo en las aguas residuales domesticas debe estar en un rango de 5 hasta 15 mg/l. Este es muy importante ya que los microorganismos necesitan ortofosfato el cual está presente en las aguas residuales para su desarrollo, además es un parámetro de eliminación de fósforo en el proceso biológico, estos dos elementos se deben controlar y reducir caso contrario logran contaminar cuerpos de agua receptores como ocasionar la proliferación de plantas que llegaran a ocasionar eutrofización y disminución de oxígeno. (Baldizón, 2019)

Sulfatos: Presentes en las aguas naturales como en las aguas residuales estas provienen del elemento azufre que por la acción microbiana se trasforma en sulfatos y después llegan a ser sulfuros de hidrogeno que están presentes en las alcantarillas llegando en algunos casos a ser corrosivos para las tuberías. (Metcalf & Eddy, 1995)

Metales pesados: Los metales pesados están presentes en las aguas residuales y eso es debido a sus distintos usos, en la mayoría los metales pesados están en pequeñas proporciones, pero el exceso de alguna de estas afecte al tratamiento de las aguas ya que estos son más difíciles de degradar por los microorganismos en su mayoría los metales pesados que podemos encontrar son: níquel (Ni), plomo (Pb), cromo (Cr), cadmio (Cd), cobre (Cu), hierro (Fe) y mercurio (Hg). (Metcalf & Eddy, 1995)

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): Es un parámetro el cual indica la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica presente en las aguas residuales como en las aguas naturales, además es un indicador de contaminación del agua, el cual es medido en su mayoría en un periodo de 5 días lo que se conoce como DBO₅ a una temperatura de 20°. Mientras más alto sea el DBO significa que mayor es el grado de contaminación que presenta el agua. (Umasi, 2020)

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Es un indicador que mide la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar la materia orgánica y otros contaminantes que no son degradados este presenta una relación con el DBO ya que ambos nos indican las cantidades de oxígeno que se encuentran las aguas residuales para ser tratadas.

La medición de este solo tarda 3 horas y se mide en miligramos por litro (mg/l), la relación que presenta la DBO con la DQO es de 2 a 1. (Metcalf & Eddy, 1995)

Gases

Los gases se encuentran disueltos en el agua y más en aguas residuales, los cuales según su uso pueden tener algunos gases tóxicos que pueden dañar al ambiente, entre los más comunes en las aguas residuales son nitrógeno (N_2), oxígeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno (H_2S), amoníaco (NH_3), y metano (CH_4).

Oxígeno Disuelto: El OD es un factor importante en el tratamiento de aguas residuales debido a que los microorganismos necesitan de este oxígeno presente en las aguas residuales para cumplir su función de degradar la materia orgánica y para poder sobrevivir, en caso haya poco oxígeno los microorganismos morirán y darán paso a algunos malos olores que produce el tratamiento de las aguas residuales. (Metcalf & Eddy, 1995)

Metano: Es un gas procedente de la descomposición de materia orgánica por la actividad microbiana anaerobia, la cual libera este gas en pequeñas cantidades, es un gas incoloro e inoloro, pero con un alto potencial para la combustión, el cual es muy peligroso y toxico en las plantas de tratamiento por ello sé que debe tener una correcta aireación para evitar la concentración de este gas. (Metcalf & Eddy, 1995)

C. Biológicos

Los parámetros biológicos en su mayoría están dados por la presencia de animales y microorganismos provenientes de las heces, donde cumplen la función de degradar la materia orgánica presente en las aguas residuales, debido a que si no se les da un tratamiento adecuado estos pueden ocasionar un daño a los seres vivos.

Bacterias: Son organismos esenciales para la degradación de la materia orgánica, estas bacterias se encargan de descomponer materia orgánica tanto sedimentada como disuelta

estabilizando así el agua residual, en su mayoría las bacterias provienen de las heces y su descomposición. Además, estas pueden ser anaerobias o aerobias dependiendo al tipo de tratamiento que aplique las aguas residuales, entre las principales bacterias podemos encontrar *Escherichia*, *Salmonella*, *estreptococos* fecales, *Proteus*, *Pseudomonas aeruginosa*, (Umasi, 2020)

Protozoarios: Son microorganismos muy importantes para el tratamiento de aguas residuales, ya que estos consumen a las bacterias y otros microorganismos que son dañinos para el ambiente, purificando así el agua residual y controlando la población microbiana, entre los principales protozoarios para un tratamiento adecuado necesitamos las amebas, los flagelados y los ciliados tanto libres como fijos, los cuales son fundamentales en el tratamiento de aguas residuales. (Metcalf & Eddy, 1995)

Virus: Los virus provienen de las heces de personas infectadas, las cuales sobreviven en la materia orgánica y se transportan por el agua residual hasta llegar a un portador donde este podrá infectar a más individuos y así propagarse, es por eso que es de vital importancia el control del agua residual como su desinfección. (Metcalf & Eddy, 1995)

Algas: Son plantas acuáticas que se encuentran expuestas a los efluentes de aguas residuales, los cuales sufren el efecto de enriquecimiento de nutrientes que efluyen de las plantas de tratamiento, donde estas generan que las plantas crezcan de una forma acelerada produciendo la eutrofización en cuerpos de agua estáticos mientras que en los cuerpos de agua móviles como ríos que transitan de forma rápida ya no lo puedan hacer e incluso en algunos se obstruyen llegando a producir olores desagradables por la disminución de oxígeno en el agua, (Metcalf & Eddy, 1995)

3.2.4. Tratamiento de aguas residuales

Es el proceso que se le aplica a las aguas residuales para eliminar los contaminantes presentes en el agua, el proceso puede variar según el uso que se le piense dar, en algunos puede ser para consumo humano, riego o solo liberar a un cuerpo de agua sin ocasionar un impacto ambiental.

Entre las etapas del tratamiento tenemos el pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y el tratamiento terciario, estas etapas buscan no solo reducir la carga contaminante presente, sino que recuperan las características naturales del agua. En la mayoría de casos no se logra recuperar al 100 % pero si un 80 %, lo que nos indica que el tratamiento está siendo eficiente ayudando no solo a conservar el medio ambiente sino promueve su reutilización del agua. (Cartagena, 2021)

Tabla 4*Etapas del tratamiento de aguas residuales*

Etapas del tratamiento de aguas residuales	
Pretratamiento	Utilizado para la separación de sólidos grandes los cuales pueden obstruir el tratamiento en su mayoría son rejas para gruesos y finos.
Tratamiento primario	Las partículas se sedimentan en la base por acción de la gravedad separando así el agua de solidos suspendidos.
Tratamiento secundario	Tratamiento enfocado en la actividad biológica los cuales se encargan de degradar la materia orgánica como otros compuestos presentes en el agua residual.
Tratamiento terciario	Tratamiento que elimina el resto de contaminantes y se aplica la desinfección de agua residual para ser liberada al medio ambiente o para su reutilización.

Nota: Tratamiento de Agua Residual (Cartagena, 2021)

3.2.4.1.Pretratamiento: Es la etapa inicial del tratamiento donde se realizan operaciones físicas o mecánicas denominado desbaste, este se encargara de separar los sólidos grandes del agua residual para lo cual consta de rejas de distintas dimensiones, en su mayoría una es para solidos grandes que puede tener una medida de 25 mm y otra es para sólidos pequeños con medida de 6 mm o incluso hasta 20 – 40 micrómetros según sea la cantidad de sólidos que desee retirar, ambas rejas se encuentran de manera inclinada para facilitar su limpieza como el recorrido del agua, además la velocidad del agua debe estar limitada a 0,5 m/s para poder pasar de reja en reja y facilitar la limpieza de las rejas dejando al agua residual lista para pasar a siguiente etapa. (Choquevilca, 2023)

3.2.4.2. Tratamiento primario: Se centra en la eliminación de partículas (materia orgánica en suspensión) de gran tamaño, las cuales no pudieron ser captadas en el pretratamiento, con la finalidad de limpiar las partículas en suspensión se utiliza la gravedad el cual hace que las particulares se sedimenten en la base de contenedores llamados tanques decantadores. Este proceso es físico-químico debido al peso que presentan las partículas se sedimentan en los tanques decantadores retirando casi el 30% de contaminantes también se emplean floculantes y coagulantes, los cuales son un conjunto de procesos que trabajan juntos con el objetivo de agrupar las partículas pequeñas hasta llegar a formar una de mayor tamaño el cual ya puede sedimentarse o separarse por el aumento del peso, eliminando así los sólidos suspendidos hasta en un 90%. En algunos casos también se pueden utilizar filtros para así quitar las partículas restantes y tener una mejor calidad en el efluente en su mayoría se utiliza arena por presentar porosidad muy pequeña capas de atrapar los contaminantes muy pequeños dejando así el camino listo para entrar al tratamiento secundario. (Choquevilca, 2023)

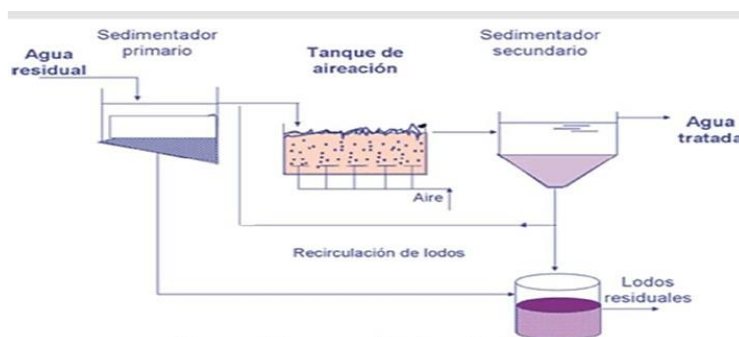
3.2.4.3. Tratamiento secundario: Una vez superadas las etapas de pretratamiento y tratamiento primario llega el tratamiento secundario también llamado tratamiento biológico que tiene la función de reducir la materia orgánica presente en las aguas residuales, incluye los siguientes sistemas: lagunas de estabilización, lodos activados, filtros biológicos y módulos rotatorios de contacto.

En estos procesos, la materia orgánica de las aguas residuales actúa como nutriente de una población bacteriana a la cual se le proporciona oxígeno y condiciones para su desarrollo ya que es fundamental para degradar la materia orgánica, para esto los microorganismos siguen su ciclo de vida la cual presenta etapas desde que empiezan a desarrollarse hasta la fase endógena donde empiezan a morir después de consumir toda la materia orgánica presente y al

no tener alimento estas empiezan a morir. Esta acción en su mayoría es desarrollada por microorganismos aerobios con bastante presencia de oxígeno para que la degradación sea más rápida en caso de que el oxígeno se agote entran a trabajar las bacterias anaerobias hasta que no haya alimento en el agua residual. En este tratamiento también están involucrados los lodos activados ya que en estos se encuentran la mayor parte de materia orgánica y los microorganismos se desarrollan en estos para transformar no solo la materia orgánica sino algunos elementos como el nitrógeno y el fósforo, los cuales terminan dentro de los lodos activados previniendo que estos sigan dentro de las aguas residuales ya que estos pueden llegar a ocasionar un impacto en los cuerpos receptores como en el ambiente. Después de esto pasaran a la desinfección del agua para así poder obtener un agua residual tratada. (Choquevilca, 2023)

Figura 11

Diagrama de lodos activados



Nota: Tratamiento de lodos activados – Google

- ❖ **Filtro percolador:** Es un sistema biológico utilizado en el tratamiento de las aguas residuales, el cual funciona por la percolación del agua mediante un lecho filtrante, con la finalidad de reducir la carga orgánica eliminando así los contaminantes por la acción de los microorganismos, estos hacen que se degrade la materia orgánica que está presente en el agua.

El agua se mueve mediante un sistema giratorio y mediante la percolación este se va sedimentando para que los microorganismos degraden la materia orgánica, este proceso generalmente es aerobio no necesita la introducción de aire por un mecanismo. (Augusto de Lemos & Bressani, 2023)

- ❖ **Lodos activados:** Es un proceso biológico aerobio empleado en el tratamiento de agua residuales donde se emplean bacterias heterótrofas facultativas que degradan la materia orgánica en compuestos más simples como el CO₂, agua, etc.

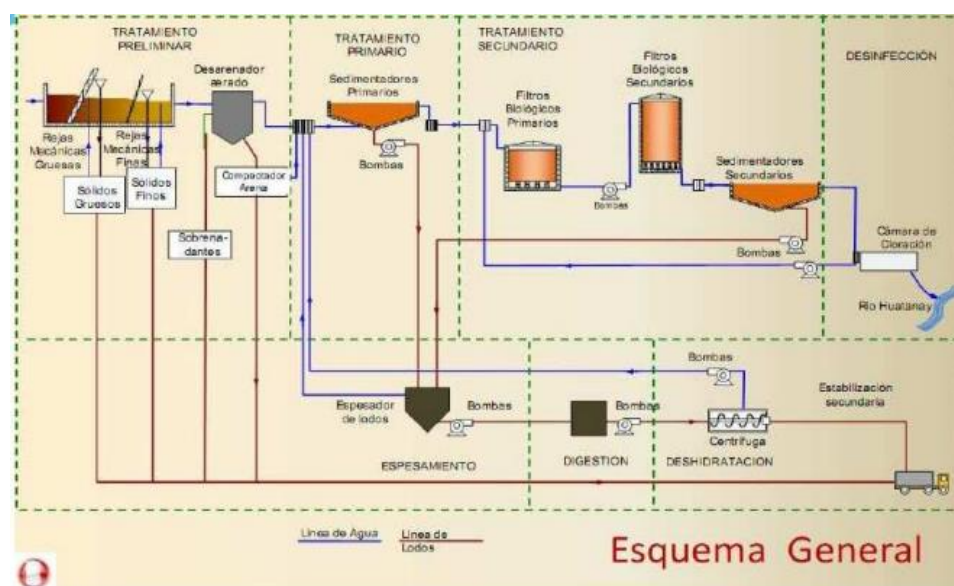
Este proceso empieza con la homogenización del agua residual para después entrar a un reactor o tanque en donde se encuentran las bacterias aerobias quienes degradan la materia orgánica y reducen la DBO, DQO y nitratos presentes en el agua, para después pasar a un tanque de sedimentación y recircular una vez más por el reactor de lodos separando así los sólidos biológicos del agua tratada. Obteniendo así un excedente el cual es llamado lodo activado excedente. (Augusto de Lemos & Bressani, 2023)

3.2.4.4. Tratamiento terciario: Ultima etapa del tratamiento y el más importante al tratarse de remover los contaminantes que no se pudieron degradar en las etapas anteriores, en esta etapa se usa componentes químicos los cuales son diluidos en el agua para así remover y desintegrar sus contaminantes para después ser liberados al ambiente o incluso reutilizarlo en otras actividades, además con la desinfección se llegan a cumplir los estándares de calidad como los LMP que permite tener el tratamiento de aguas residuales, los cuales deben de cumplirse para así saber que el tratamiento de aguas residuales es eficiente y cumple con su propósito, en caso que los valores no estén entre sus rangos estarán ocasionando un impacto al ambiente y no pueden ser liberados hasta llegar a cumplirlos. En la mayoría se utiliza el cloro como

desinfectante primordial pero también se puede usar los rayos UV y la ozonificación los cuales son métodos eficientes para desinfectar las aguas residuales. (Choquevilca, 2023)

Figura 12

Diagrama de flujo de una PTAR



Nota: EPS. Seda Cusco S.A.

3.2.5. Sistemas de tratamiento de aguas residuales en comunidades

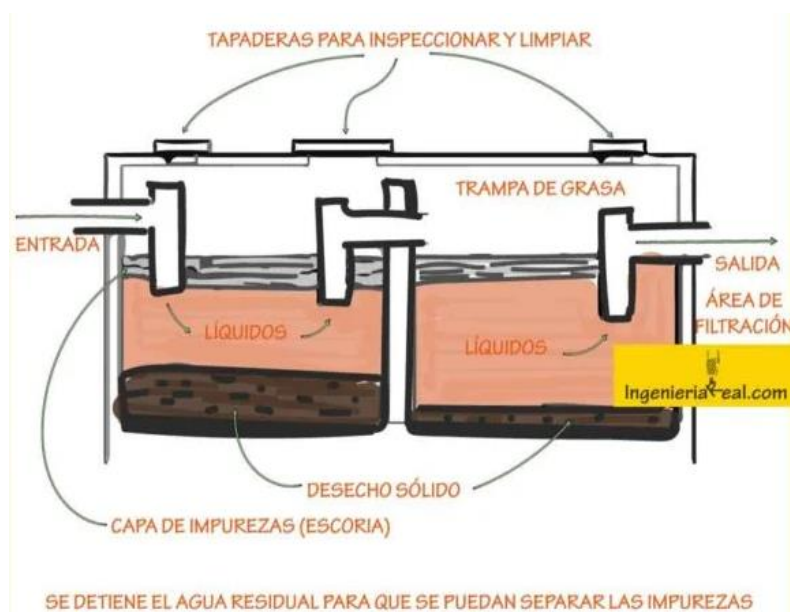
Las comunidades al ser organizaciones pequeñas con una presencia menor a 1000 habitantes, presentan sistemas de tratamiento económicos y funcionales que van según su población y la ubicación geográfica en la cual se encuentran. En su mayoría la falta de profesionales y de un lugar para instalar el sistema ocasiona que muchos de estos se encuentren en zonas donde se realiza agricultura y ganadería, en general los sistemas que se instalan en las comunidades son simples pero efectivos, si no se les brinda un mantenimiento adecuado estos empiezan a presentar problemas para tratar las aguas residuales y con ellos se manifiestan los impactos negativos, como son los olores desagradables, contaminación de las zonas de cultivo aledañas y si existe algún cuerpo de agua cerca este también se ve afectado por la presencia de

contaminantes provenientes del efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales. Entre algunos sistemas más comunes utilizados para el tratamiento de aguas residuales tenemos los pozos sépticos, tanque Imhoff y sistema de infiltración (Metcalf & Eddy, 1995)

3.2.5.1. Pozo séptico: Este es un sistema cerrado, construido para tratar las aguas residuales de poblaciones pequeñas. Está compuesto de cámaras por las que el agua residual pasa para así completar su tratamiento y después llega a los tanques de filtración en los cuales por acción de la gravedad empieza a infiltrarse en el suelo, purificándose el agua por completo.

El pozo séptico en su mayoría presenta una forma rectangular, construida de concreto(cemento) pero dejando la base sin construir, lo que genera que las heces y materia orgánica que ingresen dentro del pozo queden atrapados por su propio peso (gravedad) y por la acción de las bacterias anaerobias como Clostridium, bacteroides, pseudomonas, etc., empiezan a descomponer la materia orgánica presente en el agua residual, mientras que el agua que está junto con la materia orgánica pasa a la cámara de trampa de grasas en la cual quedan atrapadas las grasas, los sólidos se sedimentan en la base y el agua llega por ultimo a los tanques de filtración a donde ya llega con una presencia menor de carga contaminante y se acumulan en el tanque que tiene una forma cilíndrica y cerrada, el agua residual casi tratada empieza a infiltrarse en el subsuelo dejando que la naturaleza termine el trabajo de purificación del agua. El agua que por la acción de la gravedad se infiltra llega a la napa freática ya casi libre de impurezas y es donde se le puede dar un segundo uso al agua residual. (Metcalf & Eddy, 1995)

El pozo séptico funciona correctamente siempre y cuando se le brinde un mantenimiento adecuado, se debe limpiar los sedimentos sin retirar toda la materia orgánica debido a que en estas se encuentran los microorganismos y estos son fundamentales para la degradación de materia orgánica presente en el agua residual, (Metcalf & Eddy, 1995)

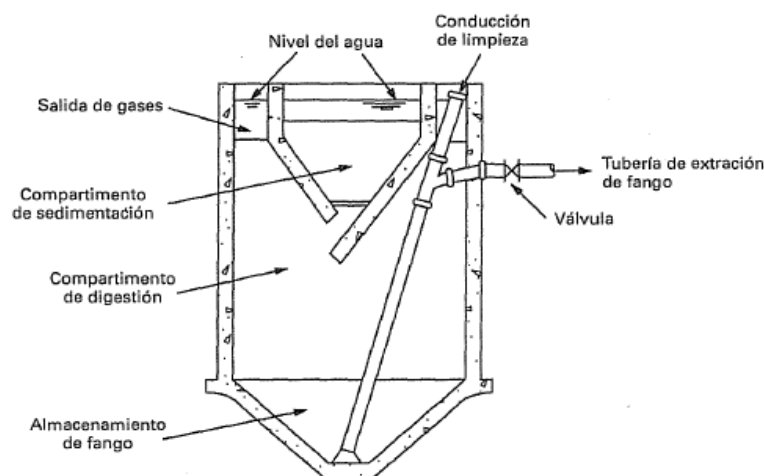
Figura 13*Pozo séptico de dos compartimentos*

Nota: Pozo Séptico- Ingeniera Real

3.2.5.2. Tanque Imhoff: El tanque es un sistema de tratamiento primario principalmente para tratar aguas residuales de forma fácil y eficiente, su función es degradar las heces y transformarlas por medio de bacterias anaerobias y retirarlas en forma de lodos para así seguir con el tratamiento de las aguas residuales, este tanque consta de dos cámaras una de ellas es para sedimentar la materia orgánica y la otra es para degradarla además presenta un espacio para la liberación de gases para así no perturbar en el tratamiento. La degradación por medio de las bacterias toma un tiempo de 30 días en los cuales se estabilizan los contaminantes para así ser liberados al ambiente sin ocasionar un daño es de fácil aplicación y el mantenimiento es muy económico es por eso que se aplica para comunidades pequeñas o habitantes menores a 1000. (Metcalf & Eddy, 1995)

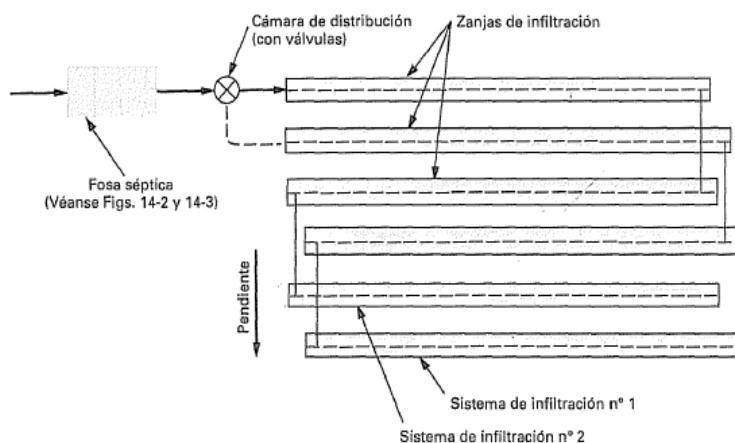
Figura 14

Tanque de Imhoff típico para pequeñas comunidades



Nota: Ingeniería de Agua Residuales volumen 2

3.2.5.3. Sistema de infiltración: El sistema es la última etapa en el tratamiento de las aguas residuales, en este el efluente que paso anteriormente por otros sistemas como el tanque Imhoff y el pozo séptico desemboca en el suelo y mediante zanjas de infiltración el suelo absorbe el agua para así poder purificarla y llevarla hasta el agua subterránea y alimentar los acuíferos por el subsuelo, su funcionamiento se basa en la gravedad ya que el efluente al ser depositado en el suelo pasa a ser absorbido (infiltración) y mediante las distintas capas que posee el suelo. El tratamiento del agua va mejorando por la purificación llegando a la napa freática sin contaminación y lista para reutilizarse para otras actividades completando así el tratamiento del agua residual. (Metcalf & Eddy, 1995)

Figura 15*Sistema de infiltración en la superficie del terreno*

Nota: Ingeniería de aguas residuales volumen 2

3.2.6. Filtros en el tratamiento de aguas residuales

Los filtros son esenciales en el tratamiento de aguas residuales ya que son primordiales para separar los sólidos suspendidos y reducir la carga contaminante presente en las aguas residuales, estos filtros funcionan como barreras las cuales impiden el paso de sólidos, partículas y elementos patógenos como microorganismos. Los cuáles serán removidos del agua, generando que el agua se empiece a tratar de una forma sencilla y rápida, el mantenimiento de estos tipos de filtro es muy fácil debido a que los contaminantes quedan atrapados en él, para después ser removidos y así seguir funcionando.

Los filtros son un sistema físico-químico ya que aparte de servir como barreras también absorben los distintos contaminantes reduciendo y recuperando el agua contaminada para poder darle un nuevo uso o incluso para ser descargado al ambiente sin ocasionar un impacto negativo.

(MITA Water Technologies S.r.l., 2024)

3.2.6.1. Tipos de filtros en el tratamiento de aguas residuales

Los tipos de filtro varían según a los contaminantes que se desean remover y estos funcionan en su mayoría por acción de la gravedad ya que esta es fundamental para separar los sólidos suspendidos. También es fundamental las capas que pueda presentar el filtro, ya que mientras más capas pueda presentar el tratamiento será más eficiente, el tiempo de retención es otro factor importante debido a la cantidad de capas el tiempo de retención aumenta, pero la eficiencia varía según cada capa, mientras las capas tengan la propiedad de remover mayor cantidad de contaminantes será mejor y más rápido el tratamiento. Entre los filtros pueden existir los filtros estáticos, filtros móviles y los filtros híbridos. (Fundación Publica Andaluza (CENTA), 2019)

A) Filtro estático: Es un sistema el cual se mantiene quieto y funciona solo por la acción de la gravedad, en esta se separan los contaminantes quedando atrapadas en las distintas capas que pueda tener, los más comunes en este sistema son:

- ❖ **Filtro de arena:** Se utiliza la arena para eliminar las partículas suspendidas en al agua, además reduce los contaminantes biológicos debido a que estos quedan atrapados en la capa de arena y solo pasa el agua purificada por los poros.
- ❖ **Filtro de grava:** Utilizadas para atrapar sólidos y eliminar contaminantes en esta se mezcla la grava de distintas dimensiones para que el trabajo sea más eficiente.
- ❖ **Filtro de carbón activado:** Utilizado para absorber no solo partículas suspendidas sino para absorber algunos elementos químicos para así transformarlos y liberar un agua libre de contaminantes y con una menor carga orgánica.

B) Filtro móvil: Estos filtros son diseñados para tratar las aguas residuales de una manera más eficiente y la cual en su mayoría utiliza un dispositivo el cual realiza todo el trabajo de una

forma más rápida y flexible purificando el agua para poder ser utilizada en otra actividad. Entre los principales filtros móviles tenemos: (Fundación Publica Andaluza (CENTA), 2019)

- ❖ **Filtro de tambor:** Dispositivo utilizado para la separación de sólidos y líquidos mediante un filtro giratorio el cual funciona para grandes caudales limpiando el agua de las impurezas.
- ❖ **Filtro de cinta:** Sistema que utiliza una cinta transportadora la cual se encarga de eliminar partículas suspendidas reduciendo la carga contaminante presente en el agua.
- ❖ **Filtro de flotación:** Los filtros de este tipo utilizan la densidad y el peso de los sólidos para separarlos, usando las microburbujas llegan a generar que los sólidos se agrupen y floten a la superficie para retirarlos y así separarlos del agua residual.
- ❖ **Filtro de disco:** Implementados para caudales pequeños, formados por un conjunto de anillos los cuales funcionan como limpiador de contaminantes tanto suspendidos como biológicos ya que quedan atrapados en los discos para después ser limpiados.

C) Filtro híbrido: Estos filtros combinan los filtros estáticos y móviles con la finalidad de darle un mejor tratamiento al agua residual en su mayoría deben ser compatibles y su eficiencia debe ser mayor a la de uno solo, entre ellos encontramos: (Fundación Publica Andaluza (CENTA), 2019)

- ❖ **Filtro de arena y carbón activado:** Se utiliza una combinación de arena y carbón que sirve para separar los sólidos grandes y atrapar los sólidos suspendidos para después mediante el carbón absorber los contaminantes, olores y obtener un agua tratada.
- ❖ **Filtro de grava y zeolitas:** Estos dos compuestos trabajan juntos, la grava se utiliza para separar los sólidos de gran tamaño mientras que la zeolita absorbe los contaminantes para así reducirlos y obtener un agua limpia que pueda reutilizarse para otras actividades.

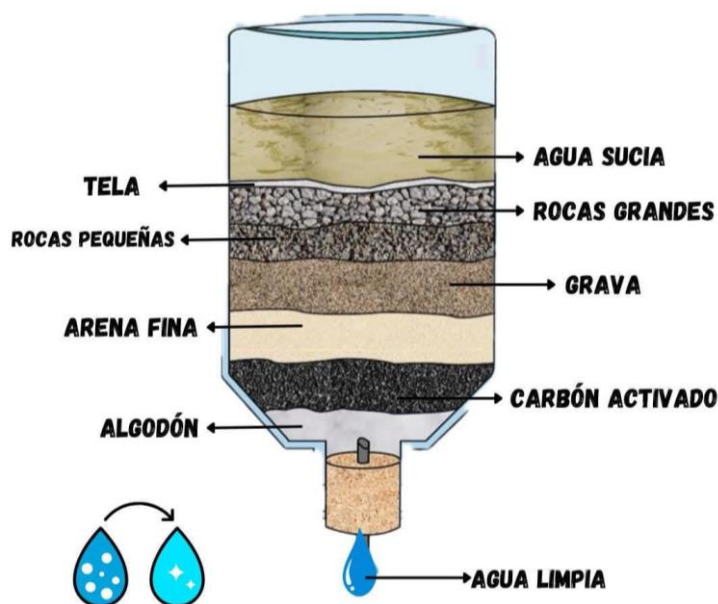
- ❖ **Filtro electrostático y arena:** Sistema que combina la electricidad para atrapar los sólidos suspendidos antes de empezar a filtrarse mientras que la arena los retiene por los poros limpiando y purificando el agua residual.

3.2.7. Estructura de un Filtro estático

La estructura del filtro estático es similar a un purificador de agua el cual funciona como un percolador en el que el agua empieza a filtrarse por las distintitas capas del suelo hasta llegar a la napa freática del subsuelo, reduciendo la carga de contaminantes mientras se infiltra por acción de la gravedad, para realizar este proceso el filtro cuenta con diferentes capas que son: piedra, grava, arena, carbón activado y una capa de algodón. Este sistema de filtro mejora la calidad del agua, pero no elimina al 100 por ciento las bacterias o virus. (Rossi, 2017)

Figura 16

Estructura de un filtro estático casero



Nota: Como purificar Agua - Fotografía Google

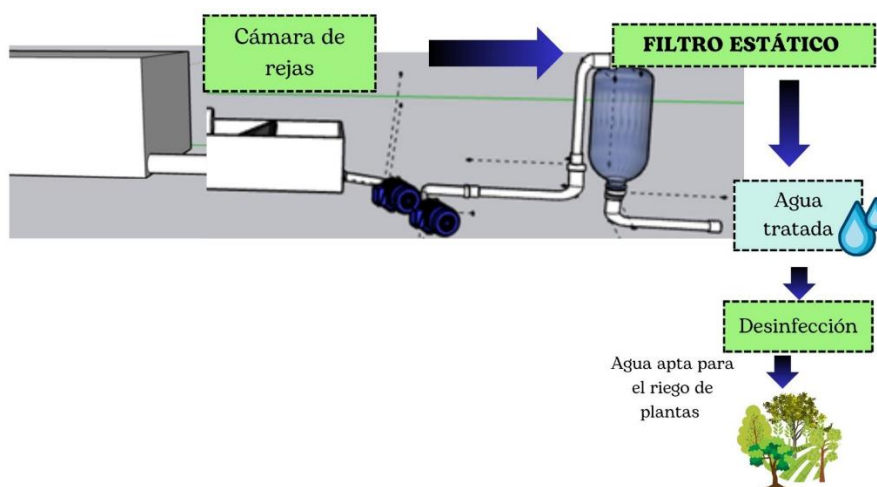
3.2.8. Diseño y construcción de un filtro estático

El diseño del filtro se basa en investigaciones como la de Carrión J. y Decima S. los cuales realizaron un purificador de agua en la cual trataron agua contaminada de distintos cuerpos de agua. Las aguas contaminadas pasaran por las distintas capas en las cuales sufren un cambio en sus propiedades físico-químicas demostrando la efectividad del tratamiento. (Decima, 2024)

Con respecto al sistema este estará conectado mediante tubos los cuales captaran el efluente del agua residual para tener un flujo constante y con la ayuda de la mini bomba de agua bombeara el agua residual al filtro estático en el cual se purificara el agua y reducirá sus contaminantes, las capas del filtro estático estarán ordenadas según su granulometría (tamaño de cada partícula), facilitando así la infiltración del agua residual y reduciendo los olores del agua residual, después se pasara a la recolección de muestras de agua tratada del proceso para ser sometidas a los exámenes de laboratorio.

Figura 17

Diseño de un sistema de filtro estático



3.2.9. Cálculo de capas del filtro estático

Para el cálculo de capas del filtro estático se utilizará una ecuación propuesta por Coronel N. en la cual se haya la altura de cada capa según el porcentaje que contenga cada capa y la altura del recipiente en el cual se va realizar el filtro. (Coronel, 2015)

$$H \text{ de Capas} = \frac{\% \text{ de la capa} * \text{altura del filtro}}{100 \%}$$

3.2.9.1. Descripción de capas del filtro estático

- ❖ **Canto rodado:** Es el fragmento de rocas la cual es pulida y redondeada mediante un proceso natural como es la acción de traslado de las piedras en un cuerpo de agua por la acción de la corriente el tamaño de estas puede variar de 2 cm hasta algunas de 25.6cm este tipo de piedras se puede encontrar comúnmente en ríos, quebradas, etc. (Decima, 2024)
- ❖ **Arena Gruesa:** Es un agregado el cual tiene un tamaño de 5mm, este se encuentra por debajo del canto rodado, pero por encima de la arena fina según su tamaño. Este agregado en su mayoría es usado en construcciones ahora para el filtro pasará por un cernidor en el cual se seleccionará la arena fina de la gruesa para poder tener mejor un desempeño al momento de filtrar el agua residual se pondrá primero la arena gruesa y después la arena fina. (Decima, 2024)
- ❖ **Arena Fina:** Es un material granular el cual presenta un tamaño inferior al de la arena gruesa, el tamaño máximo que tiene es de 2 milímetros. Al ser más pequeña que la arena gruesa los poros y espacios que deja abiertos son menores dejando un espacio mínimo para el paso del agua, lo cual es esencial para retener contaminantes grandes, esta arena se obtendrá después de un proceso de tamizado de la arena gruesa mediante un cernidor para la obtención de la arena fina. (Decima, 2024)

- ❖ **Carbón Activado:** Es un material poroso el cual es muy bueno para absorber compuestos orgánicos que pueden causar daño en los cuerpos de agua como reducir la presencia de olores desagradables en el agua, mejorar su color y calidad del agua. Este material es usado en su mayoría para absorber contaminantes tanto en el agua como en el aire, el carbón activado se puede encontrar en varias presentaciones, la más utilizada en tratamientos de agua contaminada es la granulada y en polvo, las cuales por su porosidad ayudan a tratar y mejorar la calidad de las aguas contaminadas. El carbón activado se puede obtener de dos formas la primera es de forma casera en la cual el carbón vegetal se activa mediante cítricos los cuales ayudan a activar sus propiedades para absorber contaminantes mientras que la otra es químicamente y se obtiene en laboratorios, la eficiencia es mayor debido a que químicamente está más concentrada, esterilizada y lista para usar. (Carrion, 2019)
- ❖ **Algodón:** Material que se puede encontrar en farmacias, es un material extraído de las plantas, funciona como un filtrante muy fino el cual retiene pequeñísimos contaminantes dejando que el agua salga ya tratada, siendo la penúltima capa del filtro y mediante gotas deja caer el agua a un recipiente en el que se recolecta para su desinfección. (Decima, 2024)

3.2.10. Eficiencia del sistema de filtro estático

La eficiencia del método fue demostrada con anterioridad en la investigación de (Rossi, 2017). En la cual se demostró que el método purifico el agua contaminada de zonas rurales mejorando la calidad del agua y reduciendo la carga contaminante que este presentaba. Logrando los siguientes resultados:

- Disminución de un 99.97% de la turbiedad del agua contaminada llegando a estar dentro de los LMP para consumo humano.
- Reducción de la dureza total del agua lo que indica que la concentración de minerales ha bajado, estando dentro de los parámetros permitidos de calidad de agua.
- Eliminación de un 90% de Sólidos Totales como un 95% en sólidos volátiles.
- Reducción de un 95% con respecto a la Demanda Química de Oxígeno en 5 días.
- Por último, presenta una eliminación de 99% de Coliformes Fecales.

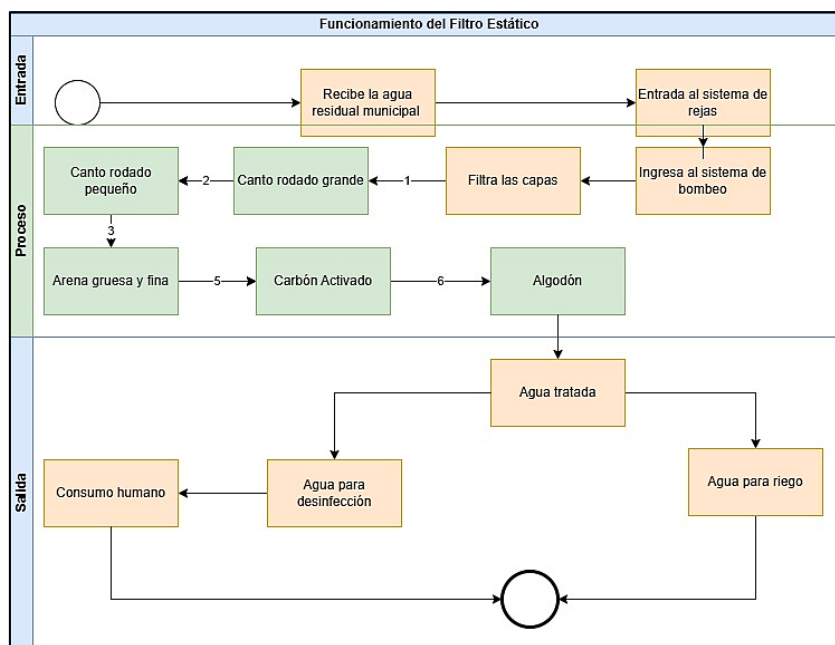
El sistema de filtro estático demostró que es eficiente para tratar aguas residuales de distintos tipos, reduciendo los contaminantes que tienen cada una de las aguas, esta reducción logra reducir los valores de algunos parámetros, los cuales antes del tratamiento superaban los LMP permitidos en la normativa y ahora se logró obtener un agua con mejores condiciones. (Arias & Tiquillahuanca, 2018)

3.2.11. Funcionamiento

El funcionamiento del sistema de filtro estático presenta distintas etapas las cuales se presentarán y describirán en el siguiente diagrama de proceso, detallando cada una de las etapas para su mejor entendimiento de su funcionamiento y desarrollo.

Figura 18

Proceso de un filtro estático con sus etapas



- ❖ **Entrada:** Es donde empieza el sistema de tratamiento de agua residual municipal, en la cual se capta el agua residual para después llegar a la cámara de rejillas y separar los sólidos grandes que aún se encuentran presentes en el agua residual. Después el agua será llevada a la mini bomba de agua la cual bombeará el agua residual al filtro para que en este ocurra la purificación y tratamiento del agua.
- ❖ **Proceso:** En esta etapa empieza la filtración del agua por cada una de las capas que presenta el filtro como son el canto rodado, arena, carbón activado y algodón. Debido a la acción de la gravedad empezará a infiltrar agua residual pasando por cada una de las capas del filtro, en las cuales se disminuirá la carga contaminante que contiene hasta llegar a la última capa, donde se obtendrá un agua casi limpia(purificada), la cual será almacenada para someterse ya sea a un proceso de desinfección, liberar al medio ambiente o para su reutilización en el riego de cultivos.

- ❖ **Salida:** El agua filtrada resultante que ha sido obtenida después del proceso del filtro estático es recolectada para después someterse a un análisis de laboratorio para comprobar que cumple con las normativas y si es apto para su reutilización en el riego de cultivos.

3.2.12. Características técnicas

Son los requisitos mínimos que se necesitan para la construcción del filtro estático ya que necesitamos saber esta información para según eso diseñar el sistema y que funcione correctamente en el tratamiento del agua residual municipal.

Hallar el Caudal: Para el cálculo del caudal a usar se utilizará el método volumétrico, este medirá la cantidad de agua que pasa en un tiempo determinado, en este caso lo usaremos para hallar el volumen del agua que se recolecta en un minuto en nuestro recipiente. El caudal puede variar según al diseño implementado, esta presenta una cierta capacidad (caudal) que no se debe de sobrepasar, si en caso se sobrepase la capacidad el caudal saturará el sistema e impedirá su correcto funcionamiento. (Umasi, 2020)

Cálculo del caudal

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

Donde:

Q = Caudal Unidades L/s, m³/h, etc.

V = Volumen Unidades L, m³, etc.

T = Tiempo Unidades s, h, min, etc.

Tiempo de retención hídrica: El TRH es el periodo que transcurre desde que el agua residual ingresa a un tratamiento hasta su culminación, el tiempo de retención hídrica también dependerá de la cantidad de agua a tratar y la estructura del diseño. El tiempo es fundamental

debido a que permite que el tratamiento del agua residual sea adecuado y efectivo, según la cantidad y calidad del agua el tiempo puede aumentar, para un agua al 90% a veces se requiere de un mayor TRH que otro al 75% demostrando así su efectividad mientras más tiempo en el sistema la calidad del agua será mayor. (Umasi, 2020)

Cálculo del tiempo de retención hídrica (TRH)

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

Donde:

TRH = Tiempo de Retención Hídrica Unidades: s, min

Q = Caudal Unidades: L/s, m³/h, etc.

V = Volumen Unidades: L, m³, ml, etc.

3.2.13. Operación y mantenimiento

La operación del sistema dependerá de las condiciones del agua residual como la cantidad de contaminantes que presenta, además la presencia de rejas en las primeras etapas ayudaran a separar los sólidos flotantes del agua dejando así una mínima cantidad de estos, los cuales serán pocos y no se almacenaran en gran medida en el filtro estático. El mantenimiento del sistema de filtro estático se debe dar cada 6 meses, previniendo así fallas en el tratamiento como el cambio de las capas filtrantes como es la del carbón activado el cual pierde sus propiedades absorbentes con el paso del tiempo y la capa de algodón debe de ser retirada y cambiada. Además de una limpieza de otras capas como la piedra y la arena para seguir trabajando de manera adecuada. (Carrion, 2019)

3.2.14. Ventajas del sistema de filtro estático:

Presenta varios beneficios los cuales demuestran que el sistema es muy práctico y rentable para tratar las aguas residuales. Entre ellas tenemos: (Rossi, 2017)

- Ayuda a mejorar la calidad del agua obteniendo un agua de calidad.
- Promueve la reutilización del agua para ser utilizada en otras actividades.
- Presenta un funcionamiento sencillo y no necesita supervisión.
- Implementación económica (trabaja con materias de la zona) para recurrir costos.
- Mejora la calidad física, química y biológica del agua, es muy eficiente para países en desarrollo.
- La operación y mantenimiento pueden ser realizados por mano de obra no especializada.
- Proceso respetuoso con el medio ambiente, simulando un proceso natural de percolación.
- Diseño adaptable, se puede escalar a varios tamaños según sean las necesidades del objetivo.

Base Legal

- ❖ **Decreto supremo N.º 003-2010-MINAM. Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (2010)**

Norma vigente que tiene el objetivo de controlar los excesos de niveles de concentración de sustancias físicas, químicas y biológicas presentes en efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales,

la cual es la medida máxima permitida de las concentraciones o contaminantes que debe tener el agua residual caso contrario pueden generar contaminación e impactos negativos en el ser humano y el medio ambiente. (MINAM , 2010)

❖ **Decreto supremo N.º 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental ECA para agua y establecen disposiciones complementarias (2017)**

Norma vigente que tiene el objetivo modificar y eliminar algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros. (MINAM, 2017) Esta cuenta con cuatro categorías las cuales tienen subcategorías la cuales son:

Categoría 1: Poblacional y recreacional.

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.

❖ **Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA, Aprobar el Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, aprobado en el 2019.**

El protocolo busca estandarizar y dar un monitoreo de calidad a las aguas residuales tratadas (efluente) de las distintas plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (PTAR). Además, ayuda en el proceso de monitorear el estado de la planta de tratamiento de aguas residuales y es una herramienta que supervisa la calidad del agua que sale de la planta de tratamiento de aguas residuales, también proponiendo mejoras para no perjudicar al medio ambiente. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019)

3.3.Definición de términos

Sistema de tratamiento de aguas residuales

Un sistema de tratamiento de aguas residuales es un conjunto de acciones la cual está conformada por procesos y operaciones tanto físicos, químicos y biológicos las cuales tienen el objetivo de eliminar los contaminantes presentes en el agua. (Humanante, 2022)

Estos sistemas forman parte de las grandes plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales son complejas debido a que incorporan más procesos y operaciones en el tratamiento correcto de las aguas residuales, en estas plantas de tratamiento influye la cantidad de agua que llega a tratar. Además, estas plantas deben cumplir con normativas tanto en el tratamiento como en el efluente que liberan a los cuerpos de agua receptores y sobre todo la responsabilidad que tienen de disminuir la carga contaminante para no generar un impacto negativo al medio ambiente. (Umasi, 2020)

Fuente de agua

Es el origen del agua, que se encuentra en un punto y es de este que nacen los distintos cuerpos de agua como ríos, lagos y manantiales, etc. el cual es captado para satisfacer las distintas actividades humanas (Agencia de Protección Ambiental, 2025)

Calidad de agua

Es el conjunto de características que hacen que el agua sea apta para ser utilizados en distintas actividades, como son los de consumo humano, riego de vegetales, recreativas, etc. todas definidas según parámetros y estándares los cuales se comprueban antes de ser utilizadas en cierta actividad. (Agencia de Protección Ambiental, 2025)

Contaminación de agua

Definida como la alteración de la composición natural del agua, la cual genera que se altere sus características físicas, químicas y biológicas llegando a ser nociva o toxica para los seres vivos como para el medioambiente, en su mayoría es contaminada por acción del hombre, lo cual lleva a perder un cuerpo de agua limpio que trae por consecuencia enfermedades y pérdida de biodiversidad. (OMS, 2023)

Agua residual

Las aguas residuales son todas aquellas que han sido contaminadas o alteran sus características naturales después de haber sido utilizadas en las actividades humanas, las aguas residuales son vertidas a cuerpos de agua para después ser trasportadas a las plantas de tratamiento. En la cual controlan su contaminación y disminuyen la carga contaminante que presenta el agua residual antes de ser liberado al medio ambiente, el agua residual en su mayoría presenta contaminantes físicos, químicos y biológicos. Los cuales provienen de distintas fuentes como son las actividades domésticas, industriales y agrícolas, además también la incorporación de la lluvia la cual arrastra minerales, particulares y nutrientes los cuales terminan infiltrándose en las redes de alcantarillado aumentando así el grado de contaminación del agua residual. (Ccorimanya & Elorrieta, 2024)

Agua residual municipal

Son la mezcla de aguas residuales domésticas y las aguas pluviales. Esta combinación se da debido a que las aguas residuales domesticas provenientes de las viviendas ya han sido utilizadas y son vertidas a red de alcantarillado hasta llegar a una planta de tratamiento, mientras que las aguas pluviales proveniente de la tropósfera llega al suelo y empieza a infiltrarse poco a poco en suelo arrastrando con ella contaminantes químicos que se encuentran en la superficie

del suelo llegando hasta la red de alcantarillado, estando hay ambas se juntan llegando a formar una apariencia homogénea, las cuales llegan a formar una sola agua residual que debe ser tratada en una planta de tratamiento antes de ser liberada al ambiente o reutilizar el agua para otras actividades. (Arana, 2022)

Afluente

Es el agua residual que después de haberse juntado en las distintas redes de alcantarillado llega a un colector general el cual desemboca o ingresa a una planta de tratamiento o a un sistema de tratamiento, para mejorar sus características y reducir la carga de contaminación del agua residual. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019)

Efluente

Es la corriente de agua ya tratada el cual es liberada a un cuerpo receptor después de realizarse un proceso de tratamiento adecuado al agua residual, esta agua tratada presenta características inofensivas para el medio ambiente e incluso son aprovechadas para otros usos como el riego de cultivos. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019)

Filtro estático

Es un dispositivo el cual copia el tratamiento de la naturaleza, conformado por materiales porosos y el carbón activado llegando a formar capas, los cuales se encargan de purificar y mejorar la calidad del agua mediante la gravedad, la cual actúa por los poros separando los contaminantes y partículas tóxicas que llegan ocasionar daños a la salud, obteniendo un agua limpia y de calidad que se puede reutilizar para otras actividades como es el riego de vegetales y bebida de animales, etc. (Carrion, 2019)

Caudal

Es la cantidad de agua que fluye en un tiempo determinado en los distintos cuerpos de agua que existen. El caudal es registrado en litros por segundo (l/s), siendo un dato importante al momento de trabajar con cuerpos de agua para así diseñar sistemas que se adapten y funcionen de manera eficiente. (Arana, 2022)

Carbón activado

Es un polvo granular de origen natural altamente poroso, obtenido mediante la quema de alguna especie vegetal como es la madera, cáscaras de coco o turba para después pasar a ser activado mediante cítricos, calor o químicamente. Este polvo se utiliza para tratar aguas contaminadas, absorbiendo no solo los olores y mejorando el color del agua, sino que atrapa los contaminantes presentes en el agua, llegando a purificar y mejorar la calidad del agua contaminada. (Carrion, 2019)

Canto rodado

Son las rocas provenientes del río las cuales son de forma lisa y pulida, debido a que la corriente del río las arrastra y estas sufren golpes entre ellas además sufren el proceso de erosión debido a la presencia del agua y el viento, estas pueden ser de distintos tamaños, pero todas conservan esa forma lisa y sin esquinas que las caracteriza. (Decima, 2024)

Gravedad

La gravedad es la fuerza que atrae todos los cuerpos al centro del planeta y para el tratamiento del agua residual es fundamental ya que purifica el agua de forma natural e interviene en las etapas del tratamiento como son la sedimentación y la decantación de los sólidos que se encuentran en el agua residual. (Metcalf & Eddy, 1995)

Mini bomba de agua

Es un dispositivo creado para aumentar la presión del agua y trasportarla, el dispositivo bombea agua a presión la cual es trasportada de un lugar a otro con mayor facilidad y velocidad, al implementarse en el tratamiento de agua residual ocasiona que la filtración de agua sea más eficiente(rápida) debido a la acción de la gravedad, generando así que el agua llegue con mayor presión y rapidez dentro del filtro reduciendo el TRH y acelerando la obtención del agua tratada, manteniendo su efectividad en el proceso. (INDUCOM, 2024)

Pozo séptico

Es un sistema de tratamiento de aguas residuales en su mayoría empleado para comunidades pequeñas. El pozo séptico presenta cámaras en las cuales se realiza el tratamiento del agua residual y por último llega al tanque de infiltración para que el agua residual complete el proceso tratamiento del agua (deja que la naturaleza termine el proceso en el subsuelo). (Salazar, 2005)

Tiempo de retención hídrica (TRH)

El TRH mide la duración que una sustancia permanece dentro de un sistema hasta que esta sale dándonos un intervalo de tiempo en cual se refleja cuanto demora en salir del recipiente, esta se calcula al dividir el volumen del recipiente por el tiempo de que demora en salir del sistema. (Ccorimanya & Elorrieta, 2024)

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

4.1.1. Tipo de investigación

Según, (Hernández, 2014). El enfoque de tipo cuantitativo se basa en el conocimiento objetivo el cual se genera a partir de mediciones numéricas y el análisis estadístico para así deducir y comprobar las hipótesis formuladas en el trabajo de investigación. Este enfoque es asociado en su gran mayoría a prácticas que emplean datos para su comprobación y verificación de hipótesis.

Es debido a eso el enfoque de la investigación de tesis es de tipo aplicado cuantitativo debido a la recolección de valores de los distintos parámetros del agua residual tanto en el afluente como el efluente, debido a que tiene como objetivo mejorar el tratamiento de las aguas residuales de la asociación cumpliendo así los LMP de PTAR para aguas residuales. También se verifica los ECAs de agua del efluente del filtro estático demostrando que el agua tratada puede reaprovecharse para riego de cultivos.

4.1.2. Nivel de investigación

De acuerdo a (Arias F. G., 2012) la investigación presenta un nivel descriptivo - explicativo ya que este se encarga de buscar la razón o el por qué a los acontecimientos mediante la relación causa-efecto. Es por eso que se centra en estudiar las causas para así obtener ciertos resultados poniendo a prueba sus hipótesis llegando a una conclusión en la que este genera un

conocimiento mayor que se tiene aportando así a la investigación y el desarrollo de conocimientos.

Por ende, el nivel de la investigación es descriptivo - explicativo, puesto que tiene el propósito de describir el estado actual y explicar como el filtro estático mejora el tratamiento de agua residual de la Asociación Ccoricancha llegando a producir un efluente con menor carga contaminante y de mejor calidad para ser reutilizada en otras actividades, siendo de gran importancia para la gestión del agua.

4.1.3. Diseño de investigación

Según (Ramos, 2021) la investigación experimental se basa en el uso de dos variables, la cual se manipula la variable independiente para ver los efectos sobre la variable dependiente, además también influye la estadística y las probabilidades según sea la manipulación del investigador al momento de relacionar las variables, experimentado con ellas y llegando a obtener un resultado el cual ya ha sido corroborado y demostrado.

Debido a eso la investigación utiliza el diseño experimental ya que se pondrá a prueba el filtro estático en el tratamiento de las aguas residuales municipales, logrando así reducir la carga contaminante que sale del sistema de tratamiento de aguas residuales de la asociación, también se observara como varían los valores físico-químicos del agua residual y se le realizará la comparativa para ver si cumplen con los valores establecidos en LPM de PTAR demostrando así la eficiencia del filtro estático en el tratamiento de las aguas residuales municipales.

4.2.Ámbito temporal y espacial

4.2.1. Temporal

El trabajo de investigación sobre el mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales mediante la utilización del sistema de filtro fue desarrollado entre los meses de Diciembre del 2024 hasta Agosto del 2025.

4.2.2. Espacial

La presente tesis tiene como ámbito de influencia la región del Cusco Figura 19, Provincia de Urubamba Figura 20, Distrito de Chinchero Figura 21 y la Asociación de Productores Propietarios Agrícolas Ccoricancha Figura 22.

La asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha se encuentra ubicado a 22 kilómetros de la ciudad de Cusco, la cual presenta un pozo séptico como sistema de tratamiento de aguas residuales municipales que en la actualidad se encuentra colmatado, ocasionando un impacto negativo al ambiente, el sistema requiere una mejora inmediata para así poder tratar correctamente las aguas residuales de la asociación.

Localización política

Región	:	Cusco
Provincia	:	Urubamba
Distrito	:	Chinchero
Asociación	:	Asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha

Figura 19

Mapa de la región del Cusco



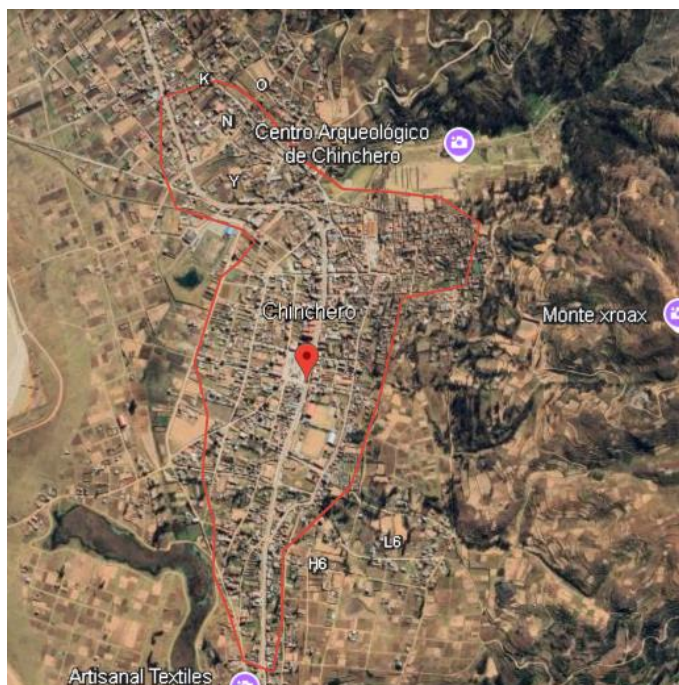
Nota: Imágenes de Google - Departamentos del Perú

Figura 20

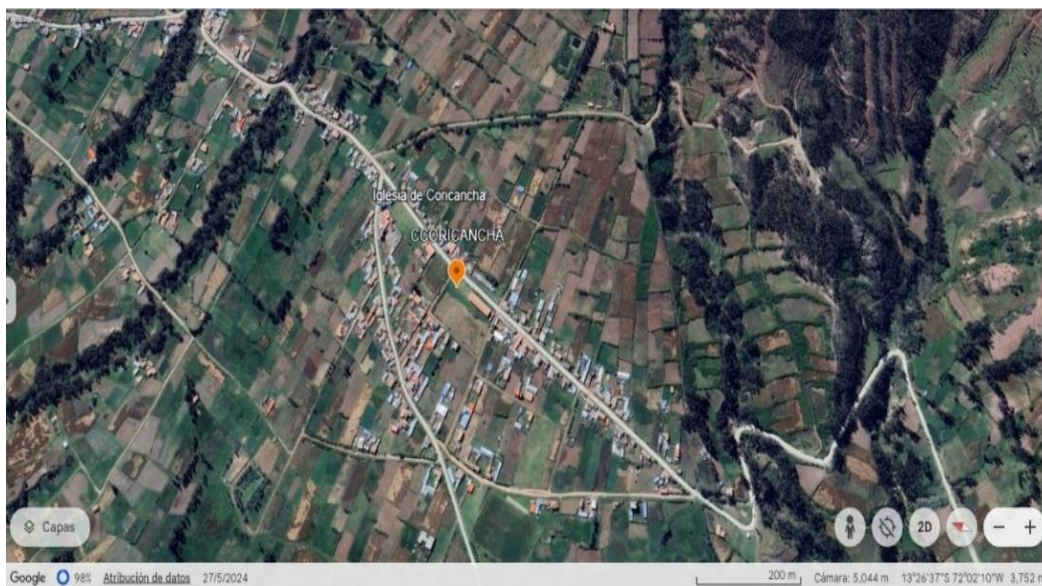
Mapa de la provincia de Urubamba



Nota: Imágenes de Google - Provincias del Cusco

Figura 21*Imagen del distrito de Chinchero*

Nota: Google Earth - Distrito de Chinchero

Figura 22*Imagen de la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha*

Nota: Google Earth - A.P.P.A. Ccoricancha

Ubicación geográfica

Proyección horizontal: DATUM WGS84 ZONA 18

Asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha

Zona de sector:

ESTE: 132701.8

NORTE: 72026.6

LATITUD: -13.450510

LONGITUD: -72.040713

ALTITUD: 3687 msnm

Figura 23

Sistema de tratamiento de aguas residuales de la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha



Nota: Sas Planet - pozo séptico de la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha

4.2.3. Social

La investigación estudia el sistema de filtro estático usado en el tratamiento de aguas residuales municipales, para remover los niveles de contaminación que presenta actualmente el efluente del pozo séptico en sus parámetros físico-químicos. El sistema demuestra que funciona además es de bajo costo y alta eficiencia, permitiendo que la asociación de Ccoricancha logre tratar correctamente las aguas residuales municipales, Los resultados obtenidos ayudan a mitigar

y prevenir problemas ambientales como promover la gestión integral del recurso hídrico, además sirve como base para futuros proyectos los cuales busquen la recuperación y reutilización de este importante recurso frente a su escasez.

4.2.4. Conceptual

El sistema de filtro estático es un método no conocido (difundido) para purificar el agua residual en varios lugares, es un método amigable con el medio ambiente, por no causar daño al ambiente. La implementación del sistema fue debido a que proporciona una eficiencia en la purificación de agua, elimina la presencia de contaminantes y disminuyen los niveles de contaminación como los valores de los distintos parámetros fisico-químicos, los cuales son: el Potencial de Hidrogeno (pH), la turbidez, los sólidos en suspensión (SS), la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), y Temperatura (T). Mejorando la calidad del agua. (Salazar, 2005)

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

La población, para la presente investigación fue el efluente proveniente del pozo séptico, el cual trata las aguas residuales municipales de la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha del distrito de Chinchero provincia de Urubamba de la región del Cusco.

4.3.2. Muestra

La muestra representativa que se utilizó para el estudio será de 40 litros de agua residual municipal proveniente del efluente del pozo séptico, el cual trata actualmente las aguas residuales municipales de la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha.

Volumen de agua a extraer: Según el protocolo de Monitoreo de la calidad de efluentes de PTAR de aguas residuales domésticas o municipales (R.M. 273-2013-Vivienda), volumen mínimo requerido para la muestra, la cual incluye la recolección y su análisis fisicoquímico es de 1000 ml o 1L, no teniendo una restricción para un volumen máximo. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019)

4.4.Instrumentos

Se utilizó como instrumentos la matriz de visualización detallada en la cual se describe y analiza la situación actual del sistema de tratamiento y la ficha de campo para registrar los valores de los distintos parámetros del efluente a estudiar, como algunas observaciones que se aprecian en el lugar in situ. Las cuales estarán detalladas en los anexos documentarios, además de las fichas proporcionadas por el laboratorio como es la:

- ❖ Matriz de visualización detallada – Anexo 5
- ❖ Ficha de campo – Anexo 6
- ❖ Cadena de custodia otorgada por el laboratorio Louis Pasteur – Anexo 4

Validez del instrumento

Para asegurar la confiabilidad del instrumento de investigación utilizado en este estudio, se sometió a un proceso de validación y aprobación por expertos calificados (ver Tabla 6), quienes son profesionales de las carreras de ingeniería Química y biología con registro oficial. los cuales nos brindaron el apoyo para la validación y ejecución de la toma de muestras y análisis en el laboratorio.

Tabla 5*Validación de instrumentos*

Especialistas	Cargo/Profesión	% de validación
Hanco Loayza Helidia	Mtr. Ing. Químico	78%
Allende Ramos Gladys	Bióloga	60.4%
Promedio total de validación 69.2%		

Nota: Ficha de validación de instrumentos proporcionada por la universidad UTEA – Anexo 3

Técnicas

Con relación a las técnicas empleadas en la investigación se utilizó el análisis experimental estas serán:

- Observación no estructurada apoyada por la matriz de visualización detallada (cuantitativa)
- Recolección y análisis de información
- Muestreo (según el protocolo de Monitoreo)
- Análisis de resultados

Además, se llevó a cabo la construcción del sistema de filtro estático la cual estará compuesta de estratos (capas) donde la muestra obtenida del pozo séptico se someterá al tratamiento para obtener unas muestras representativas de agua tratada, las cuales serán llevadas al laboratorio para ser analizadas y verificar la eficiencia del tratamiento.

4.5.Procedimiento

Se proseguirá a describir el proceso detallado que se realizó en la investigación, mediante las etapas que se emplearon hasta su culminación.

Figura 24

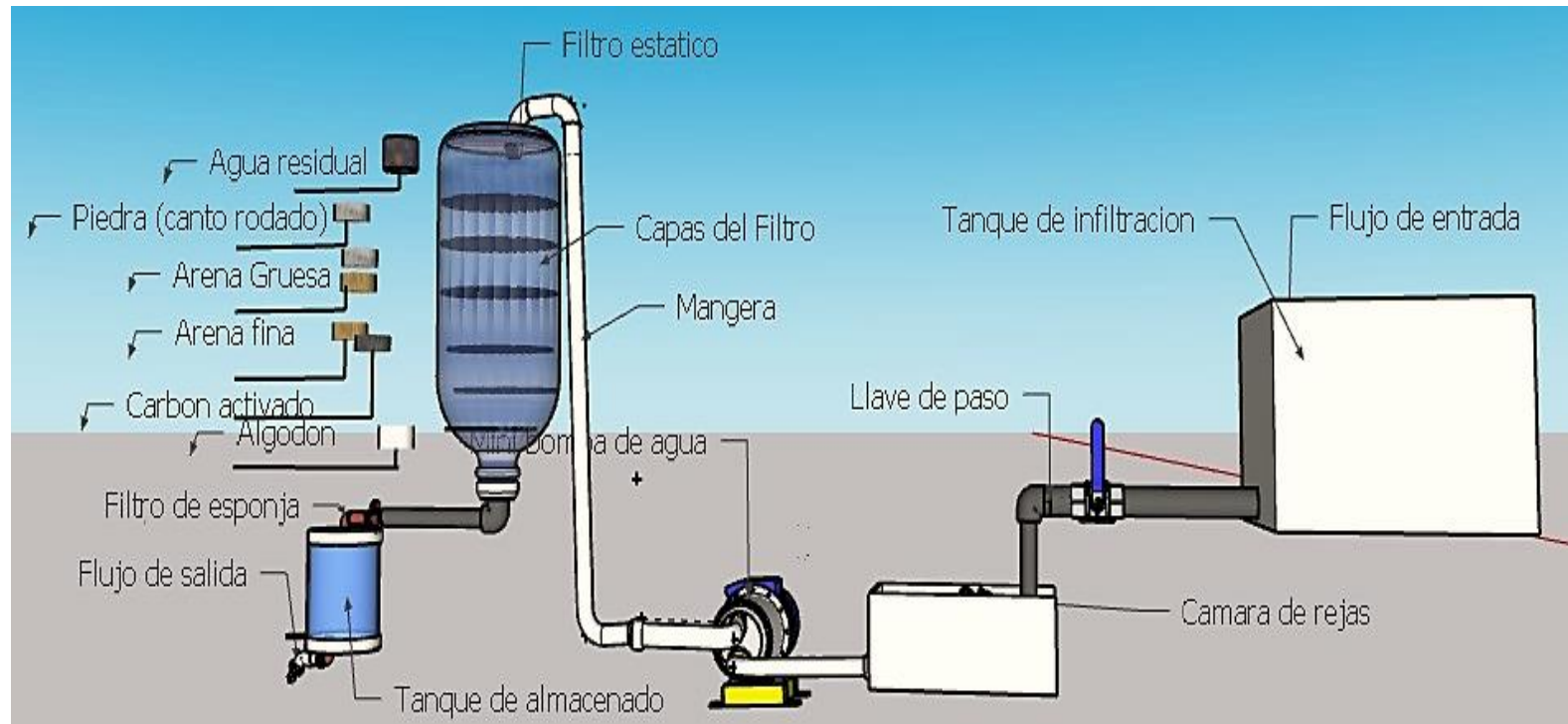
Diagrama del proceso de Investigación



Etapas 1: Diseño del proceso del filtro estático

Primero se diseñó el prototipo del filtro en un software de diseño en 3D llamado sketchup, para poder ver la distribución de las etapas, componentes, como identificar los materiales que serán necesarios para su ejecución.

Mediante el prototipo también se dimensiona las capacidades para las cuales estará diseñado el sistema de filtro estático en todas las etapas hasta la obtención del agua residual tratada. Proceso fundamental ya que se busca su réplica a escala para poder así construirla y ponerla a prueba como sistema piloto para ver la efectividad en el tratamiento de las aguas residuales municipales.

Figura 25*Prototipo del sistema de filtro estático*

Etapla 2: Recolección de materiales para la construcción del sistema de filtro estático

La recolección empieza con la adquisición de componentes para la construcción del sistema de filtro estático, para después colocar los componentes del filtro los cuáles serán las capas (lechos filtrantes), estas capas serán ensambladas una vez el sistema ya esté casi construido debido a que primero se debe construir las etapas previas al filtro y después se unirá al filtro estático el cual es la parte fundamental dentro del tratamiento de aguas residuales municipales.

❖ Componentes para el sistema de filtro estático

Entre los cuales destacan el recipiente que simulara ser el tanque de infiltración en el cual se almacenara la muestra de agua residual municipal extraída del efluente del pozo séptico, para después ser sometido al tratamiento mediante el sistema de filtro estático.

Figura 26

Tacho usado para almacenar la muestra de agua residual



Nota: Imagen Google

Después del tacho de 60L se utilizó recipientes de distintos volúmenes, los cuales conformaran todas las etapas del sistema de filtro estático empleado en tratamiento de aguas residuales municipales hasta llegar a la obtención del agua residual municipal tratada, que presentará una mejor calidad y características distintas a la inicial.

Figura 27*Componentes del sistema de filtro estático*

- Recipiente de 16L, el cual trabajara en el sistema de pretratamiento, contando con un sistema de rejillas en dos tiempos ambas de distintas dimensiones con la finalidad de retirar solidos grandes que puedan estar presentes en el agua residual debido a la carencia de mantenimiento en el pozo séptico por parte de la asociación y la JASS.
- Mini bomba de agua, equipo utilizado para bombear el agua residual municipal hacia el filtro estático para que empiece su tratamiento por medio de la acción de la gravedad, al ser una prueba piloto la potencia de la mini bomba debe ser baja sino obstruirá al sistema de filtración ya que mientras más lento sea el proceso más eficiente el tratamiento. Según sus especificaciones la potencia de la mini bomba será de 1.8L/min.

- Tanque de 20L, el cual será el filtro estático, este recipiente es fundamental debido a que en este se colocara cada una de las capas las cuales serán los lechos filtrantes para filtrar el agua residual municipal. La forma del recipiente es el de una botella de agua lo cual ayudara a que toda el agua residual que se le introduzca baje por acción de la gravedad hasta quedarse completamente vacío el filtro y solo queden los lechos filtrantes.
- Balde de 16L, el cual será el último contenedor de agua, este recipiente va recepcionar el agua filtrada y almacenarla para su toma de muestra y su análisis respectivo, además al ser un recipiente transparente se podrá apreciar si el agua tuvo o no un cambio significativo con respecto a la muestra inicial.
- Tuberías de $\frac{1}{2}$ como también mangueras y abrazaderas, los cuales servirán como conectores para trasportar el agua residual por los distintos recipientes simulando así el proceso de tratamiento del agua residual municipal de la asociación, además estas contarán con llaves de paso los cuales ayudaran a regular el flujo de agua que pasa por las tuberías para así controlar el caudal e impedir que haya una sobrecarga que pueda dañar al sistema del filtro estático.

Todos los recipientes y accesorios mencionados son fundamentales debido a que ellos trabajaran en conjunto para el correcto tratamiento del agua residual municipal llegando a conformar todo el sistema de filtro estático.

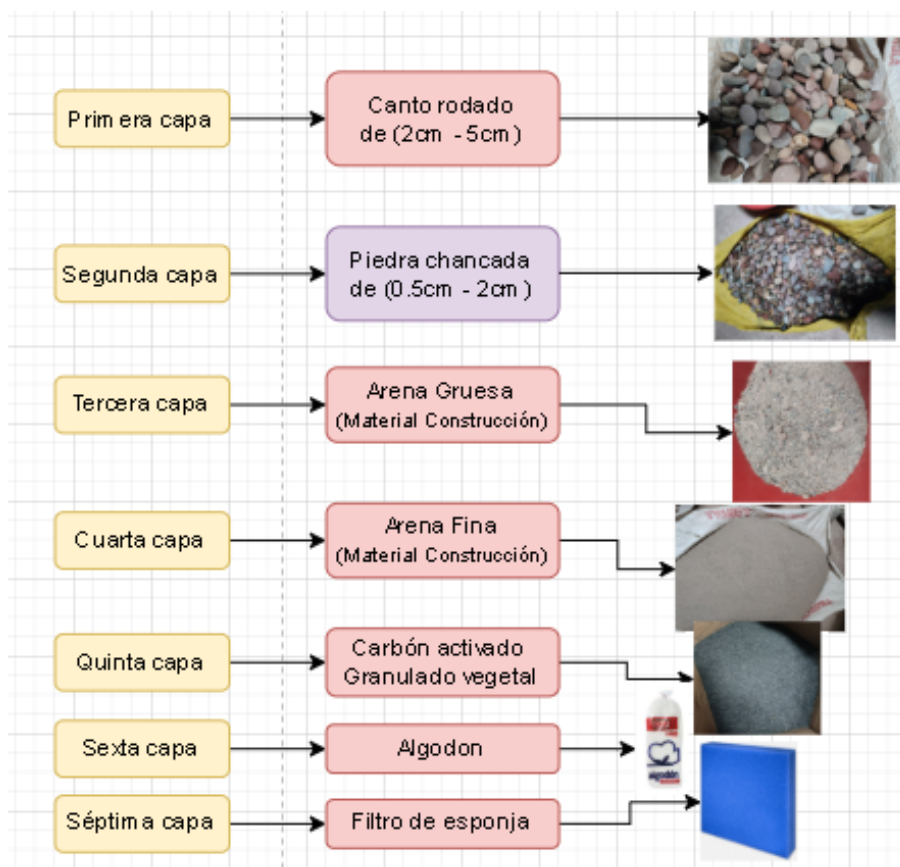
❖ Componentes del filtro (lechos filtrantes)

Los componentes del filtro estático o también conocido como lechos filtrantes son las capas más importantes dentro del tratamiento ya que estas realizarán todo el trabajo de la descontaminación del agua residual es por eso su importancia. Cada una de estas será

introducida dentro del recipiente en forma de botella, el cual será el contenedor de cada capa llegando a formar el filtro estático. Cada una de las capas será introducida en distintos porcentajes según sea conveniente para que trabajen en conjunto en el tratamiento del agua residual municipal.

Figura 28

Capas del Filtro Estático



- La primera capa: Contiene canto rodado el cual es piedra proveniente del río ya que se extrae como material de construcción conocido como hormigón esta capa contara con piedras de 2cm-5cm siendo las más grandes que se introducirán al contenedor del filtro, esta capa presenta una porosidad superior a las demás capas por el espacio que deja entre cada una de las piedras.

- Segunda capa: Conformada por piedra chancada también proveniente del río, pero sus dimensiones serán menores en comparación con las de la primera capa su dimensión será de 0.5cm-2cm, estas presentan una porosidad menor debido al espacio más reducido que hay entre cada una de ellas por las cuales pasara el agua hasta llegar a la última capa purificándose en el transcurso.
- Tercera capa: Ocupada por arena gruesa la cual también es extraída de los ríos usado para trabajos de construcción, este material presenta una porosidad muy reducida funcionando como un colador permitiendo así el paso del agua, pero en pocas cantidades y removiendo algunas partículas que puedan seguirse.
- Cuarta capa: Conformada por arena fina la cual es seleccionada por el proceso de tamizado de la arena gruesa, obteniendo un material más fino y con menor porosidad lo que hace que el agua residual pase, pero de una forma lenta infiltrándose por sus poros que son mínimos y limpiando impurezas en el proceso de infiltración.
- Quinta capa: Compuesta por el carbón activado granulado este es un purificador de agua que remueve y absorbe las sustancias contaminantes que puedan existir en el agua residual, llegando a ser fundamental en la limpieza de impurezas del agua, esta es una de las capas con mayor presencia en el filtro debido a que no solo mejora las propiedades del agua residual sino que ayuda a quitar el mal olor presente y ocasiona que la coloración mejore(turbiedad) lo que indica que el tratamiento está funcionando correctamente.
- Sexta capa: Contiene algodón el cual ayuda a que el carbón activado no salga del recipiente trabaja como una esponja en la cual el carbón activado se asiente para

no salir del recipiente que lo contiene y así solo se acumule y no permita el descenso de ninguna de las capas del filtro.

- Séptima capa: Conformada por la esponja de filtro que solo es una esponja que ayudara a que el algodón no descienda por el exceso de peso que presenta, al mojarse la capa de algodón esta reducirá sus dimensiones y puede que intente descender. El filtro de esponja servirá como un amortiguador que impida su descenso pero que permita el paso del agua sin ninguna restricción.

Caso de no contar con demasiados recursos se puede utilizar en vez del carbon activado carbon vegetal el cual también ayuda a purificar el agua, además se puede quitar la capa de algodón y solo utilizar la capa de esponja de filtro la cual tiene la misma finalidad.

Etapas 3: Construcción del sistema de filtro estático

Para la construcción del sistema de filtro estático, primero se utilizó un depósito de agua de una capacidad de 60 litros que estará a una altura de 78cm, el recipiente tendrá la función de un tanque de infiltración que presenta la asociación actualmente a este se le agregara un sistema de salida de agua, conformado por una llave de paso para controlar la salida del agua residual, el agua que sale entrara al nuevo sistema propuesto que tendrá rejillas en su primera etapa debido a la situación actual en la que se encuentra el sistema de tratamiento de aguas residuales, el efluente se encuentra expuesto a contaminantes externos, como la presencia de vegetación, residuos orgánicos e inorgánicos que podrían obstruir el sistema de infiltración o dar la acumulación de sedimentos en la parte superior del filtro.

Figura 29

Colocación de llave de paso en el tacho de almacenamiento



Seguidamente se realizará la elaboración de las rejillas para la prueba piloto del sistema, esta será la fase de pretratamiento consistiendo en dos rejillas que servirán para retener sólidos grandes o contaminantes que estén flotando en el agua residual por cómo se encuentra la situación actual y sean propensos a obstruir el nuevo sistema.

La primera rejilla es de 5mm esta simulara ser una rejilla que retiene contaminantes de gran tamaño como residuos sólidos (botellas, plásticos, etc.) de un tamaño considerable. Los cuáles serán removidos cuando se de mantenimiento al sistema. El material utilizado es malla de acero inoxidable de 5mm x 5mm.

Figura 30

Instalación de rejillas para el pretratamiento



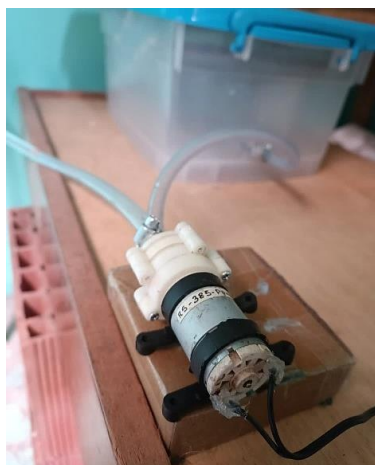
- La segunda reja es de dimensiones más pequeñas de 2mm, esta reja será utilizada para retirar los sólidos pequeños que se puedan a ver seguido y llegan a traspasar la primera reja, logrando así retirar todos los sólidos de gran tamaño dejando solo el paso al agua residual y materia orgánica que no presente un problema para el filtro estático.

Para el mantenimiento de las rejillas estas serán limpiadas periódicamente según se vea la acumulación de los residuos y para facilitar su limpieza la llave de paso del tanque de filtración será cerrada hasta que se retire los contaminantes que hayan quedado atrapados en ambas rejillas, para después ser colocados y abrir nuevamente el paso de agua y siga funcionando nuevamente.

Después proseguiremos a la incorporación del sistema de bombeo el cual contará con la mini bomba de agua para bombear el agua que ya se encuentra sin presencia de sólidos grandes para ser destinada hacia el filtro estático, para evitar fugas en el sistema de bombeo este tendrá abrazaderas las cuales generan presión en la entrada y salida de la mini bomba logrando que el agua no escape por ningún lado logrando así que el sistema no presente fugas ni fallas en su funcionamiento.

Figura 31

Instalación de mini bomba de agua



La mini bomba tiene la función de bombear el agua residual de la cámara de pretratamiento hasta el filtro estático, la mini bomba está a una altura de 52cm, para evidenciar como se realizó el proceso de filtración del agua residual, el tanque del filtro es transparente lo que ayuda a visualizar el paso del agua residual por cada una de las capas del filtro hasta la salida del agua tratada, la incorporación de la mini bomba es para llevar el agua residual a una mayor velocidad hacia el filtro que se encuentra a una altura de 1.40m y por acción de la gravedad se logró purificar el agua en cada uno de los lechos filtrantes.

❖ Construcción del filtro (lechos filtrantes)

Para la construcción del filtro primero se utilizó un depósito (botella de agua natural) de capacidad de 20L, el cual fue elegida por su peculiar forma debido a que esta al almacenar agua y ser vaciada poco a poco no deja restos al momento de vaciarse siendo la razón por la cual se la eligió.

El depósito de agua presenta una capacidad de almacenamiento de 20L y una altura de 48cm distribuida de la siguiente forma 10cm la conforma la tapa hasta el cuello de la botella mientras que desde el cuello hasta su base tiene 38cm y el diámetro que presenta es de 26cm.

Figura 32

Depósito de agua (botella) utilizado para la construcción del filtro estático



Nota: Imagen de Google

❖ Dimensión de las capas del filtro (lechos filtrantes)

Según el estudio realizado por (Salazar, 2005) y corroborado por (Coronel, 2015) sobre el armado de las capas del filtro estas están distribuidas según su porosidad siendo las más importantes el carbón activado y la arena fina, estas están distribuidas considerando el tamaño del depósito de agua y sus medidas, las capas representaran un porcentaje total del filtro.

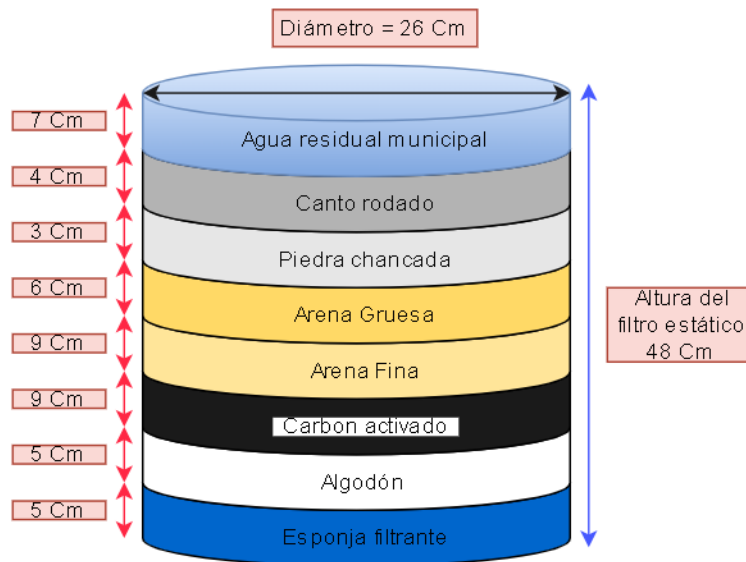
A) Cálculo del porcentaje de cada capa

$$\% \text{ capa} = \frac{\text{Altura de la capa}}{\text{Altura del filtro estatico}} * 100\%$$

Se calculo mediante la formula el porcentaje de cada capa (lecho filtrante) que tendrá el filtro, según la distribución en el depósito de agua de 20L.

Figura 33

Distribución de las capas en el depósito de agua



El filtro está conformado por 7 capas de lechos filtrantes, distribuidas por su tamaño y función que desempeñan en el filtro, los cuales trabajan en conjunto con la finalidad de purificar el agua residual y mejorar sus características físico-químicas.

❖ **Hallando el porcentaje que ocupa cada una de las capas**

$$\% \text{ capa 1(canto rodado)} = \frac{4\text{cm}}{48\text{cm}} * 100\%$$

$$\% \text{ capa 1(canto rodado)} = 0.0833 * 100\%$$

$$\% \text{ capa 1(canto rodado)} = 8.33\%$$

La misma fórmula se repetirá en cada una de las capas para obtener el porcentaje que ocupa cada uno en el filtro de 20L. El resto lo ocupa el efluente de aguas residuales municipales que ingresara al tratamiento.

Tabla 6

Resultados de los lechos filtrantes que componen el filtro

Lechos filtrantes	Altura en cm	%
Canto rodado	4cm	8.33%
Piedra chancada	3cm	6.25%
Arena gruesa	6cm	12.50%
Arena fina	9cm	18.75%
Carbón activado	9cm	18.75%
algodón	5cm	10.41%
Esponja filtrante	5cm	10.41%
Suma total	41cm	85.4%

El porcentaje sobrante lo completa el agua residual que ingresara al filtro para ser tratada y purificada mientras desciende por cada una de las distintas capas.

B) Cálculo de capas del filtro estático

(Coronel, 2015) propuso un método cuantitativo el cual ayuda a determinar las proporciones de cada capa por medio de ecuaciones, favoreciendo con ellos al tratamiento de agua residuales ya que sus métodos combinan la filtración mecánica de las capas con acción biológica lo cual ayuda a una mejor distribución de las capas y determina un grosor recomendable para brindar una mayor eficiencia en el tratamiento maximizando los resultados como se observó en la Tabla 6.

❖ Cálculo de capa 1 (canto rodado o piedra gruesa)

$$capa\ 1 = \frac{\% \text{ total del canto rodado} * \text{Altura del filtro estatico}}{100\%}$$

$$capa\ 1 = \frac{8.33\% * 48\ cm}{100\%}$$

$$capa\ 1 = \frac{399.84\ \% \ cm}{100\%}$$

$$capa\ 1 = 3.99\ cm$$

❖ Cálculo de capa 2 (piedra chancada)

$$capa\ 2 = \frac{\% \text{ total de piedra chancada} * \text{Altura del filtro estatico}}{100\%}$$

$$capa\ 1 = \frac{6.25\% * 48\ cm}{100\%}$$

$$capa\ 1 = \frac{300\% \ cm}{100\%}$$

$$capa\ 1 = 3\ cm$$

❖ Cálculo de capa 3 (arena gruesa)

$$capa\ 3 = \frac{\% \text{ total de arena gruesa} * \text{Altura del filtro estatico}}{100\%}$$

$$capa\ 1 = \frac{12.50\% * 48\ cm}{100\%}$$

$$capa\ 1 = \frac{600\% \ cm}{100\%}$$

$$capa\ 1 = 6\ cm$$

❖ Cálculo de capa 4 (arena fina)

$$capa\ 4 = \frac{\% \text{ total de arena fina} * \text{Altura del filtro estatico}}{100\%}$$

$$capa\ 1 = \frac{18.75\% * 48\ cm}{100\%}$$

$$capa\ 1 = \frac{900\% \ cm}{100\%}$$

$$capa\ 1 = 9\ cm$$

❖ Cálculo de capa 5 (carbón activado)

$$capa\ 5 = \frac{\% \text{ total de carbon activado} * \text{Altura del filtro estatico}}{100\%}$$

$$capa\ 1 = \frac{18.75\ \% * 48\ cm}{100\%}$$

$$capa\ 1 = \frac{900\% \ cm}{100\%}$$

$$capa\ 1 = 9\ cm$$

❖ Cálculo de capa 6 (algodón)

$$capa\ 6 = \frac{\% \text{ total algodón} * \text{Altura del filtro estatico}}{100\%}$$

$$capa\ 1 = \frac{10.41\% * 48\ cm}{100\%}$$

$$capa\ 1 = \frac{499.68\% \ cm}{100\%}$$

$$capa\ 1 = 4.99\ cm$$

❖ Cálculo de capa 7 (esponja)

$$capa\ 7 = \frac{\% \text{ total de esponja} * \text{Altura del filtro estatico}}{100\%}$$

$$capa\ 7 = \frac{10.41\% * 48\ cm}{100\%}$$

$$capa\ 7 = \frac{499.68\% \ cm}{100\%}$$

$$capa\ 7 = 4.99\ cm$$

❖ Cálculo de la altura total de todas las capas

$$altura\ total = ca1 + ca2 + ca3 + ca4 + ca5 + ca6 + ca7$$

$$altura\ total = 3.99\ cm + 3\ cm + 6\ cm + 9\ cm + 9\ cm + 4.99\ cm + 4.99\ cm$$

$$altura\ total = 40.97\ cm$$

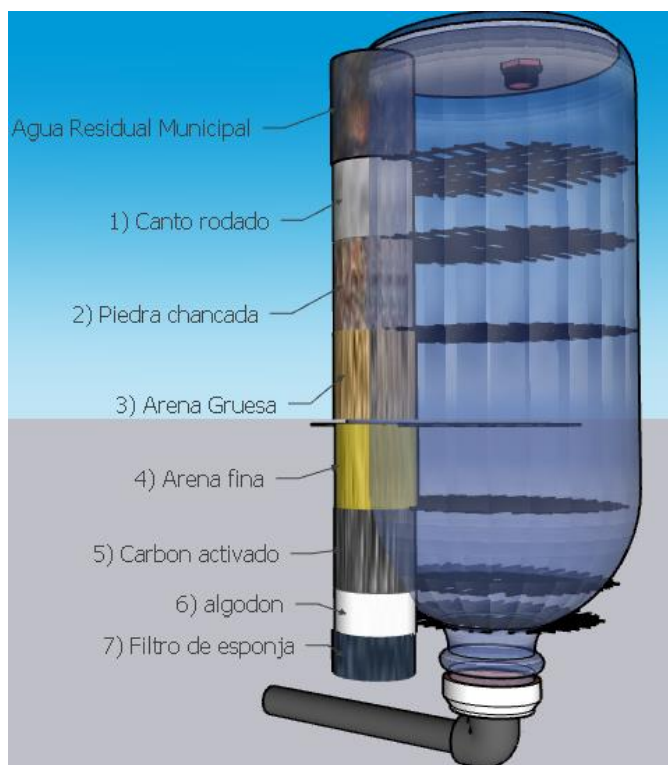
La altura restante del filtro estático es ocupada por el agua residual que ingresa dentro del filtro, y por acción de la gravedad el agua empezara a infiltrarse limpiando los contaminantes, como mejorando las características para obtener un agua limpia que no perjudique al medio ambiente.

Etapa 4: Colocación de capas en el filtro

Después del cálculo sobre el espesor de las capas para el filtro estático se empezó a colocar dentro del tanque de agua con las medidas ya obtenidas para comenzar con el armado de los lechos filtrantes y pueda estar listo para la recepción del agua residual municipal.

Figura 34

Referencia de las capas introducidas dentro del filtro



- ❖ Primero se realizó un corte en el depósito de agua y se invirtió el depósito para que se pueda introducir con mayor facilidad cada una de las capas, la primera capa introducida fue la esponja filtrante, el numero de la capa es 7, esta se introdujo por la boca de la botella compactándola para impedir que se caiga hasta la altura de 5 cm.

- ❖ Después se empezó a colocar la capa de algodón el cual sirve como un amortiguador que impedirá que el carbón activado se desplace fuera de la botella al ser un material delgado este se compactará hasta llegará a un espesor de 5 cm para una mayor prevención.
- ❖ Después se introdujo el carbón vegetal activado que es una de las capas más importantes, esta capa al estar en forma granulada debe ser introducida, pero tomando las precauciones debidas, ya que puede inhalarse y ocasionar problemas respiratorios como intoxicación es por ello que la introducción fue realizada con los EPPs para prevenir alguna situación riesgosa. La capa tuvo una altura de 9 cm debido a su importancia en la purificación del agua residual.
- ❖ Seguidamente se introdujo la capa de arena fina la cual ya fue tamizada y separada de la arena gruesa para poder ser colocadas en la botella, se recomienda que esta arena se encuentre limpia y sin impurezas. tiene una altura de 9 cm.
- ❖ Después se introdujo la arena gruesa si esta presenta impurezas es recomendable retirarlas debido a que podrían afectar el tratamiento. Por último, colocaremos las capas finales que son de piedra chancada de 3cm y piedra gruesa de 4cm, ambas previamente lavadas, desinfectadas por agua destilada y sometidas a un secado por el sol para que estén listas para su colocación al filtro estático.

Todas las capas fueron distribuidas equitativamente en la proporción obtenida con la fórmula propuesta anteriormente, para que sea más eficiente en el tratamiento de las aguas residuales. Toda la instalación se realizó de forma manual, pero con mucho cuidado y precaución para que no se generan problemas en especial por el uso del carbón activado.

Figura 35

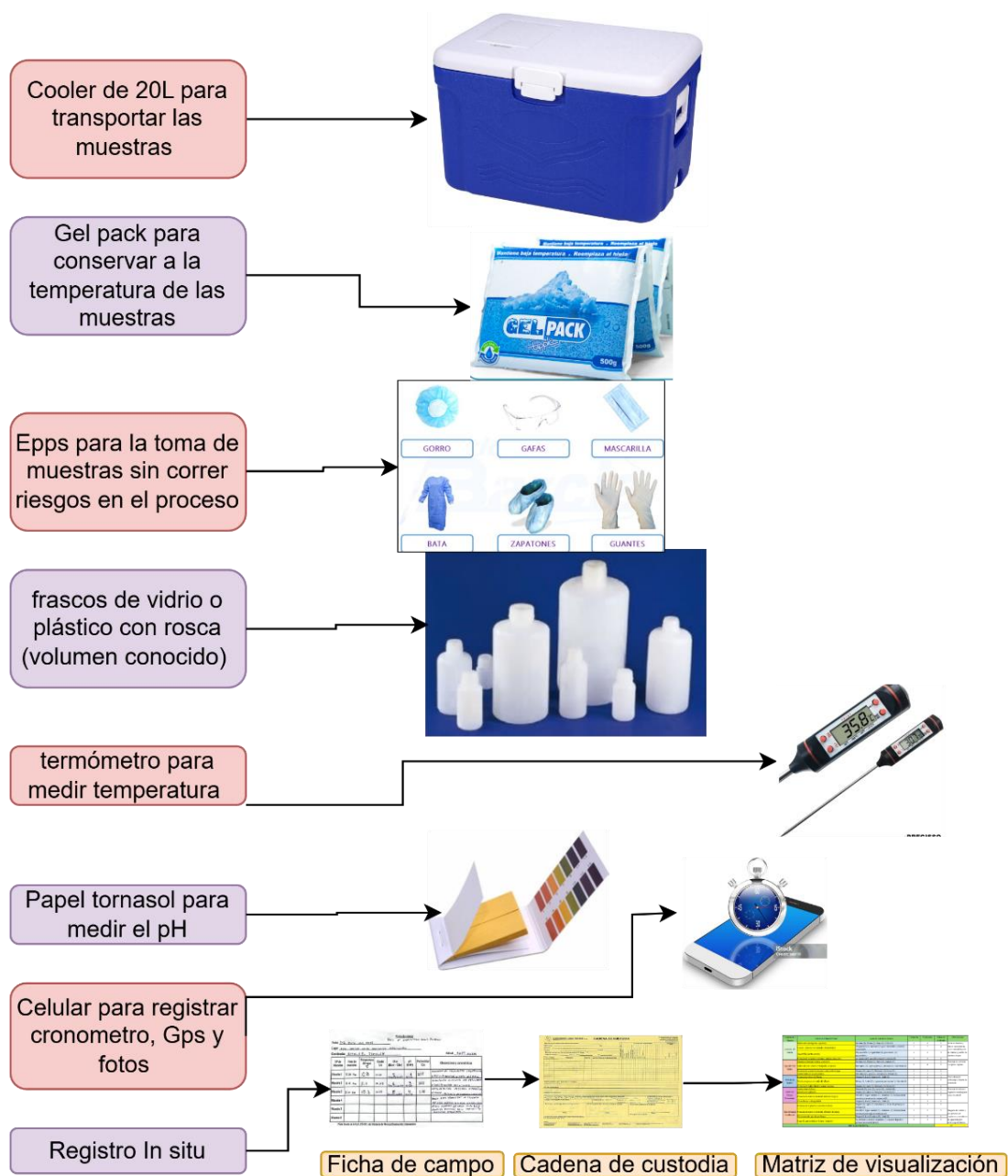
Instalación de capas del filtro estático



Antes de realizar la toma de muestras y su recolección, se preparó los materiales a utilizar en el lugar in situ como son las fichas de campo (cadena de custodia), frascos, cooler, EPPs, instrumentos de campo como termómetro, papel tornasol, GPS, cronómetro y cámara fotográfica. Todos estos fueron esenciales para la toma de muestras y evaluación de la situación actual mediante el uso de la matriz de visualización detallada, la cual emitirá un valor que con su interpretación nos dará el estado del sistema de tratamiento de aguas residuales de la asociación, además también se obtendrá información importante como el caudal, temperatura, pH y otras observaciones que serán registradas en las fichas de campo.

Figura 36

Materiales requeridos para la recolección de muestras en el lugar In situ



Etapa 5: Recolección de muestras y su caracterización

Para iniciar el proceso de muestreo de agua residual municipal se consideró **el protocolo de monitoreo de la calidad de efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales R.M. 273-2013 Ministerio de vivienda**, con el cual realizaremos la toma de muestras del efluente de aguas residuales de la asociación de Ccoricancha, la cual cuenta con un pozo séptico de las cuales se obtendrá las muestras para ver el estado en que se encuentra y poder identificar los valores actuales que presenta. A simple vista se aprecia que el sistema de tratamiento no es eficiente y se necesita una mejora para que cumpla con los valores establecidos según los LMP.

- Primero se completó la matriz de visualización detallada la cual nos brinda información del pozo séptico y su situación actual, calificándola según los criterios establecidos para evaluar el estado del pozo séptico y si necesita una intervención.
- Se completo la matriz de visualización detallada como se muestra en la Tabla 12
- Se completo la ficha de campo basada en el protocolo – Anexo 6
- Además, se completó la cadena de custodia otorgada por el laboratorio Louis Pasteur para tener una mayor confiabilidad del análisis – Anexo 4

Figura 37

Efluente del pozo séptico de la asociación Ccoricancha



Para la toma de muestra, primero se realizó la medición del caudal utilizando el método volumétrico para ello se utilizó un recipiente de una medida conocida con su registro del tiempo para así obtener el caudal del efluente del pozo séptico y ser registrado en la ficha de campo. Posterior a ello se tomó la temperatura y se realizó la medición del pH del agua residual para así registrarlos en la ficha de campo según lo indica el protocolo de la R.M. 273-2013 Ministerio de vivienda.

Figura 38

Determinación del caudal, temperatura y pH del efluente del pozo séptico



Para la determinación del caudal se usó el método volumétrico de la siguiente fórmula

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

Q = Caudal en L/s

V= Volumen L, ml

T= Tiempo min., seg.

Cálculo de caudal 1(primer prueba)

$$Caudal = \frac{Volumen}{Tiempo}$$

$$Caudal = \frac{370ml}{2.58s} * \frac{1L}{1000ml}$$

$$Caudal = 0.143 L/s$$

Una vez hallado el Caudal 1 se realizará un par de pruebas más para determinar un caudal promedio, con el que sabremos con exactitud cuál es el caudal del efluente del pozo séptico.

Tabla 7

Determinación del caudal

Contenedor (litros o ml)	Tiempo (segundos)	Caudal (L/seg)
370ml	2.58 s	0.143(L/s)
370ml	2.59s	0.143(L/s)
370ml	3.05s	0.121(L/s)
Caudal promedio		0.136(L/s)

La toma de muestra fue recolectada en frascos de plásticos los cuales estaban esterilizados y sellados en volúmenes de 1L, 250ml y 500ml, los cuales fueron sellados y puestos a un cooler, en el interior del cooler estarán puestos gel pack para preservar la temperatura y ser

transportados al laboratorio y en el laboratorio puedan ser analizados en DBO₅, DQO, pH, SST. Turbidez y Temperatura. Los parametros microbiológicos no seran estudiados directamente debido a que el financiamiento es propio, además la universidad no cuenta con los equipos necesarios para este tipo de análisis.

Para la muestra que será sometida al tratamiento por el sistema de filtro estático se llevó muestras de agua en baldes de 20L de capacidad hasta llegara a obtener los 40L de muestras que serán transportados al lugar donde se encuentra el sistema de filtro estático y ser sometida a su tratamiento. Después del tratamiento se obtendrá un agua residual tratada el cual se llevó al laboratorio Louis Pasteur para su respectivo análisis. Y comprobación de la eficacia del sistema propuesto.

Figura 39

Proceso de toma de muestras del efluente



Etapas 6: Proceso de aplicación para la fase experimental

Se utilizó la muestra de 40L de agua residual municipal proveniente del efluente del pozo séptico de la asociación Ccoricancha, el agua residual municipal será almacenada en un

tacho de una capacidad de 60L no se usará toda la capacidad debido a que necesita un espacio para su ventilación.

Figura 40

Tacho que almacena la muestra de agua residual municipal de la Asociación Ccoricancha



El tacho fue colocado a una altura de 78cm, para que pueda entrar al sistema por acción de la gravedad simulando el relieve de la asociación, para el control del afluente al sistema de filtro estático cuenta con una llave de paso el cual controla el flujo de paso del sistema según sea conveniente y también para ayudar a realizar la limpieza y mantenimiento del sistema.

Después el agua residual ingresará a cada uno de los ambientes que conforman el sistema de filtro estático, pasando por la cámaras de rejillas, después llega a la mini bomba que bombea el agua residual al filtro estático, que se encuentra a una altura de 1m, donde se almacena la muestra y después por acción de la gravedad el agua residual municipal libre de residuos de un gran tamaño ingresara al tanque de filtración para infiltrarse por cada uno de los lechos filtrantes, llegando a salir el agua tratada con contaminantes reducidos y con cambios notorios en sus parámetros físico-químicos. De los 40L sometidos a tratamiento se recuperó 38.5L de agua tratada en un tiempo de 9 horas con 4 minutos de los cuales se recolecto una muestra

representativa de 6L, los cuales fueron transportados al laboratorio para su respectivo análisis y comprobar la eficiencia del tratamiento además se verificará si cumple con los LMP para efluentes de PTAR.

Figura 41

Sistema de filtro estático armado



Para determinar el tiempo en que se logra tratar el agua residual en su totalidad se utilizó la fórmula de TRH (tiempo de retención hídrico) este nos ayuda a saber el tiempo en que el sistema logra tratar el agua residual y pasa por las distintas capas hasta que salga la primera gota como también a determinar en cuanto tiempo el sistema logra tratar los 40L de agua residual que se encuentran en el tanque de almacenamiento.

Tiempo de retención hídrico (TRH). Para el cálculo de TRH en los lechos filtrantes, se analizó el tiempo que transcurre desde que el agua residual ingresa dentro del filtro estático pasando por cada una de las capas del proceso de filtración hasta salir del sistema y obtener un agua de mejor calidad, este tiempo es fundamental para garantizar la adecuada remoción de los contaminantes presentes en el agua residual como los sólidos suspendidos, DBO₅, DQO,

turbiedad y pH logrando reducir la sobrecarga orgánica y mejorando la calidad del agua además de evaluar la eficiencia del tratamiento. (Caicedo, 2017)

$$\text{Fórmula de TRH} = \frac{vol}{Q}$$

Donde:

Q = Caudal de entrada o salida del efluente L/min

Vol = volumen del material o unidad de tratamiento unidad en L o m³

Cálculo de TRH del filtro estático por capas

❖ Cálculo de TRH de capa 1 canto rodado (piedra gruesa)

$$TRH \text{ de canto rodado} = \frac{vol \text{ del lecho filtrante}}{caudal \text{ que ingresa en el filtro estatico}}$$

Vol. del lecho filtrante = Volumen de capa _____ % de la capa

Volumen del contenedor (L) _____ 100% de capa

Vol. del lecho filtrante = volumen de capa

$$= \frac{vol \text{ del contenedor} * \% \text{ de capa}}{100\%}$$

$$Vol. \text{ del lecho filtrante} = vol. \text{ de capa} = \frac{20L * 8.33\%}{100\%}$$

$$Vol. \text{ del lecho filtrante} = vol. \text{ de capa} = 1.67L$$

Una vez hallado el volumen que presenta la primera capa, se va a realizar el mismo procedimiento para cada las capas repitiendo el mismo proceso y así obtener el volumen que reemplazaremos en la fórmula de TRH.

Respecto al caudal que ingresa dentro del filtro estático este estará definido por la potencia de la mini bomba de agua, la cual tiene la capacidad de bombear 1.8L/min. Este valor fue obtenido de las especificaciones de la mini bomba siendo así que este valor será reemplazado

en la fórmula del TRH, para así obtener el resultado de cada una de las capas debido a que presenta intervención directa sobre cada una de ellas (es el caudal de ingreso al filtro y es el cual ingresa a cada una de las capas).

$$TRH \text{ de canto rodado} = \frac{\text{vol del lecho filtrante}}{\text{caudal que ingresa en el filtro estatico}}$$

$$TRH \text{ del canto rodado} = \frac{1.67L}{1.8L/m}$$

$$TRH \text{ del canto rodado} = 0.93 \text{ min}$$

Con las dos fórmulas anteriormente propuestas será posible hallar el TRH de cada una de las capas, obteniendo así el tiempo de retención hídrico total que tendrá el filtro estático y ese será el tiempo que tardo en filtrar el agua residual municipal.

Tabla 8

Tiempo de retención hídrica de las capas

Capas	Volumen de la capa	Tiempo de retención hídrica
Cap 1 = Canto rodado	1.67 L	0.93 min
Cap2 = Piedra chancada	1.25 L	0.69 min
Cap3 = Arena gruesa	2.50 L	1.39 min
Cap4 = Arena fina	3.75 L	2.08 min
Cap5 = Carbón activado	3.75 L	2.08 min
Cap6 = Algodón	2.08 L	1. 16 min
Cap7 = Filtro de esponja	2.08 L	1.16 min
Tiempo de retención hídrico total		9.49 min

Como se evidencio en la Tabla 8 el THR total del filtro estático fue de 9.49 minutos, siendo el tiempo que el agua residual se infiltra y pasa por cada una de las capas (lechos filtrantes) hasta salir del filtro, se observó que la capa de arena y carbón activado presentan el mayor tiempo de retención (se infiltra el agua de forma más lenta), influenciado por el espesor de la capa y su porosidad, son las más porosas por ello se retiene el agua al momento de infiltrarse. Mientras que las de menor TRH fueron las piedras de canto rodado y piedra chancada debido a la porosidad que es la mayor en comparación con las demás capas, lo que permite que el agua no se retenga por mucho tiempo y se infiltre con mayor facilidad hacia las siguientes capas (lechos filtrantes).

Etapas 7: Análisis del agua obtenida

Para el estudio completo del agua residual municipal se sometieron muestras representativas a un análisis en dos laboratorios para corroborar la información sobre los parámetros físico-químicos que presenta el efluente del agua residual al inicio y después de ser sometida al tratamiento por el sistema de filtro estático. Los laboratorios escogidos fueron el de la universidad tecnológica de los andes (UTEA) y el laboratorio Louis Pasteur, los cuales cuentan con equipos e instrumentos capaces de medir los distintos parámetros del agua residual municipal.

4.6. Análisis de datos

La información obtenida mediante las fichas de campo, matriz de visualización y el análisis del laboratorio fueron organizados con ayuda del programa Microsoft Excel, para tener una mejor interpretación y visualización mediante tablas y figuras, que demostraran la mejora en los parámetros físico-químicos de las aguas residuales municipales como reducir la carga contaminante que presentaba inicialmente. Complementando al análisis estadístico se utilizó la

prueba T – student para demostrar las diferencias significativas que presentaron los parámetros del agua residual. además, se realizó la relación de resultados obtenidos entre el laboratorio Louis Pasteur y el laboratorio de suelo, agua y aire de la universidad tecnológica de los andes para comprobar su veracidad, comportamiento y tendencia.

4.7.Consideraciones éticas

La investigación realizada presenta principios éticos, legales y morales los cuales fueron empleados para la realización de la investigación empleando información verídica que puede ser verificada con las fuentes utilizadas. Además, se respetaron los derechos de autor según lo establece las normas APA en su séptima edición, en esta investigación se citaron todas las referencias indicadas, por último, se empleó la estructura indicada por la universidad para este tipo de investigaciones.

V. Resultado y discusión

5.1. Resultados

Se obtuvieron datos como información relevante que ayudó a alcanzar los objetivos propuestos, además, de obtener distintos resultados los cuales se detallaran por separado para su mejor entendimiento y comprensión.

5.1.1. Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales municipales de la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha.

Al realizar la visita al sistema de tratamiento de aguas residuales municipales que tiene la asociación de Ccoricancha se evidencio que el sitio de estudio cuenta con un pozo séptico el cual trata las aguas residuales de la población, pero este sistema ya presenta deterioro por el incremento poblacional y la falta de mantenimiento, lo cual ocasionando que no pueda tratar correctamente las aguas residuales que se generan en la asociación como se evidencio en el análisis físico-químico que se obtuvo de los laboratorios.

Se utilizó la matriz de visualización detallada para cuantificar el estado actual del sistema de tratamiento de la asociación y evidenciar mediante valores y criterios su estado, ubicada en la Tabla 12. Donde se evaluó cada una de las etapas del pozo séptico, su importancia para el tratamiento. Para obtener un resultado con su interpretación y así saber si el sistema necesita una intervención o solo necesita algunos arreglos para seguir funcionando y tratando las aguas residuales de la asociación. Basado en la matriz de Leopold (Ponce, 2021) y complementado con la visualización de datos de (Nathan, 2011)

Tabla 9*Escala de valoración en puntos de la matriz de visualización detallada*

Escala de valoración (puntos):	
3	Condición óptima o sin problemas visibles.
2	Condición aceptable con algunos signos menores de deterioro o funcionamiento no ideal.
1	Condición preocupante con problemas evidentes que podrían afectar el funcionamiento.
0	Condición crítica que requiere atención inmediata o indica un fallo significativo.

Nota: Basado en (Nathan, 2011) y (Ponce, 2021)

La escala de valoración en puntos representa desde 0 a 3, indica el estado en el que se encuentran los componentes del pozo séptico la cual evalúa si estos presentan daños o signos de deterioro según se vean reflejados en cada uno de ellos. Para que después se les de su puntuación y ser introducidos a la matriz.

Tabla 10*Criterios de ponderación de la matriz de visualización detallada*

Criterio de ponderación	
1	Irrelevante
2	Moderado
3	Significativo
4	Esencial
5	Vital

Nota: Basado en (Nathan, 2011) y (Ponce, 2021)

Los criterios de ponderación son analizados según la numeración de 1 a 5, según sea su importancia para el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales (pozo séptico), mientras mayor sea su valor mayor importancia tendrá en el tratamiento de agua residuales municipales de la asociación

Tabla 11

Interpretación final de la matriz de visualización detallada

Interpretación de la puntuación total	
< 50 puntos	Estado preocupante, necesita una inspección detallada e intervención para el mantenimiento correctivo urgente.
50 - 75 puntos	Estado regular, requiere seguimiento y posible mantenimiento preventivo.
> 75 puntos	Buen estado en general del sistema de tratamiento

Nota: Basado en (Nathan, 2011) y (Ponce, 2021)

La interpretación final proviene del valor obtenido después de la aplicación de la matriz de visualización detallada la cual nos brindara un valor que indicara el estado actual en el que se encuentra el pozo séptico de la asociación, mientras más alto sea el valor obtenido indica que el sistema funciona correctamente y no presenta fallas, además que el estado de conservación es el muy bueno y no necesita de arreglos. Pero mientras más bajo sea la puntuación obtenida indica que el sistema se encuentra en un estado pésimo, también se aprecian fallas a simple vista y necesita con urgencia una intervención y un mantenimiento.

Tabla 12

Matriz de visualización detallada aplicada al pozo séptico de la asociación Ccoricancha

Compone nte o aspecto	Criterio de evaluación visual	Escala de valoración (puntos)	Puntuaci ón	Ponderaci ón	Puntuaci ón pondera da	Observacio nes
Perímetro del sistema	Diseño estructural (grietas, rajaduras)	Sin daños (3), Menor (2), Mayor (1), Crítico (0)	0	4	0	Existe un deterioro y falta de mantenimiento cerco rustico (falta poda de malezas) y cambio de alambres de púas
	Cerrado (deterioro en materiales, vulnerabilidad)	Resguardado (3), moderado (2), poco vulnerable (1), totalmente vulnerable (0)	2	2	4	
	Accesibilidad (camino, trocha)	Muy accesible (3), Ligeramente (2), poco acceso (1), inaccesible (0)	2	2	4	
	Presencia de vegetación (arbustos, malezas, raíces, etc.)	sin vegetación (3), poca (2), escaza (1), excesiva (0)	0	3	0	
Tapa del Pozo Séptico	Integridad estructural (roturas, corrosión)	Sin daños (3), Menor (2), Mayor (1), expuesto (0)			0	Presencia de corrosión en algunas esquinas,
	Sellado del pozo (marcos y bisagras, se ajusta)	Buen ajuste (3), Ligeros golpes (2), descuadrado (1), Mal sellado (0)	0	4	0	
	Presencia de vegetación excesiva o raíces sobre la tapa	Ninguna (3), Ligera (2), Moderada (1), Severa (0)	0	3	0	
	mantenimiento de sus alrededores	bien cuidado (3), poco (2), casi nada (1), olvidado (0)	1	3	3	
	Presencia de olores del efluente	Ninguno (3), leve (2), intenso (1), fétido (0)	1	3	3	Nivel colmatado

Nivel de los líquidos	Nivel con respecto a la salida del efluente	Debajo (3), A nivel (2), Ligeramente por encima (1), Muy alto (0)	0	4	0	sobrecarga el sistema de tratamiento
	Presencia de sólidos flotantes o natas excesivas	Ninguna (3), Ligera (2), Moderada (1), Severa (0)	2	3	6	
Estado del Terreno Circundante	mantenimiento del área	Mantenido (3), poco (2), escaso (1), olvidado (0)	0	4	0	Presencia de malezas y vegetación excesiva (pasto crece sin control)
	presencia de vegetación	Ninguna (3), Ligera (2), Moderada (1), Severa (0)	0	4	0	
	Presencia de charcos o humedad alrededor del pozo	Normal (3), Ligero aumento (2), abundante (1), Encharcamiento excesivo con presencia de vegetación (0)	0	4	0	
	Olores fuertes o desagradables	Ninguno (3), leve (2), intenso (1), fétido (0)	2	3	6	
Tapa del tanque de infiltración	Presencia de vegetación o excesiva en el área	Ninguna (3), Ligera (2), abundante (1), Exceso de plantas ya ni distingue (0)	0	3	0	Desgaste del concreto y por presencia de vegetación y acumulación de agua residual por sobrecarga del sistema
	Presencia de charcos o humedad alrededor de la tapa	Normal (3), Ligero aumento (2), abundante (1), Encharcamiento excesivo con presencia de vegetación (0)	1	5	5	
	Olores inusuales que sale por la tapa	Ninguno (3), leve (2), intenso (1), fétido (0)	3	2	6	
	Fugas de agua residual por la tapa (saturado)	No derrame (3), leve (2), abundante (1), excesivo llegando a provocar su escurrimiento (0)	0	4	0	
PUNTUACION TOTAL					37	

Como se aprecia en la Tabla 12, los resultados obtenidos de la matriz de visualización detallada presento un valor final de 37 puntos, lo cual indica que el sistema de tratamiento actual de la asociación presenta problemas en su funcionamiento y necesita una intervención inmediata para su mantenimiento, como una inspección detallada debido a que no cumple tratar las aguas residuales municipales de forma correcta. Este inadecuado funcionamiento ocasiona la contaminación de los alrededores del sistema de tratamiento como la presencia de un olor desagradable generado por el efluente, el cual se descarga directamente al suelo y por acción de la gravedad contamina las chacras aledañas así mismo el efluente medio de la infiltración y percolación del suelo llega a contaminar el río Ninantainilloq.

5.1.2. Valores de los parámetros físico-químicos del efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales de la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha.

El agua residual municipal obtenida del efluente del pozo séptico de la asociación presenta parámetros con valores los cuales fueron sometidos a un análisis de laboratorio tanto en la UTEA como en el laboratorio Louis Pasteur descubriendo así cuáles son sus valores en los parámetros físico-químicos que presenta actualmente el agua residual municipal.

A) Análisis de los parámetros iniciales-finales realizados en el laboratorio de la Universidad Tecnológica de los Andes (UTEA)

❖ Análisis de los parámetros iniciales UTEA

Las muestras de agua residual municipal fueron sometidos al análisis en el laboratorio de suelo, aire y agua de la universidad tecnológica de los andes siendo un total de 12 muestras 6 para el caso de agua residual sin tratamiento provenientes del efluente del pozo séptico y 6 muestras de agua residual municipal tratadas por el sistema de filtro estático.

Tabla 13

Resultados iniciales del agua residual municipal analizados en el laboratorio de la UTEA

N°	Tipo de Muestra	Afluente (efluente del pozo séptico)	Parámetros						
			pH 0-14	Temperatura °C	DBO5 mg/l	DQO mg/l	SST mg/l	Turbidez NTU	Olor
1	Agua residual municipal del efluente del pozo séptico	M-1	6	11.5	39	869	141	130	desagradable
2	Agua residual municipal del efluente del pozo séptico	M-2	6.2	11.2	39	828	140	134	desagradable
3	Agua residual municipal del efluente del pozo séptico	M-3	6.9	12	0	885	141	133	desagradable
4	Agua residual municipal del efluente del pozo séptico	M-4	7	12.3	51	728	134	121	desagradable
5	Agua residual municipal del efluente del pozo séptico	M-5	7.1	13	0	830	139	127	desagradable
6	Agua residual municipal del efluente del pozo séptico	M-6	7.15	12.8	39	897	145	135	desagradable
Promedio de resultados de agua residual municipal del efluente del pozo séptico			6.73	12.13	28	839.50	140	130	desagradable

Resultado de las 6 muestras de agua contaminada Tabla 13 muestra los valores iniciales de los parámetros físico-químicos que tiene el efluente del pozo séptico actualmente, presenta un nivel alto de contaminación.

El resultado promedio de la Tabla 13 de las muestras de agua residual municipal provenientes del efluente del pozo séptico, analizado en el laboratorio de la universidad tecnológica de los andes fue sometido a una comparación con los LMP para efluentes de PTAR para determinar si el tratamiento de la asociación mediante su sistema actual (pozo séptico) realiza un tratamiento correcto de las aguas residuales municipales.

Tabla 14

Comparativa entre los LMP y valores iniciales obtenidos del efluente del pozo séptico analizados en el laboratorio de la UTEA

Parámetros	Promedio de muestra del Efluente del pozo séptico	LMP para los efluentes de PTAR	Cumple
pH 0-14	6.73	6.5 - 8.5	si
Temperatura °C	12.13	<35	si
DBO ₅ mg/l	28	100	si
SST mg/l	140	150	si
Olor	desagradable	Inolora	no
Turbidez NTU	130	<5	no
DQO mg/l	839.50	200	no

Los resultados de la Tabla 14 muestran que el sistema actual del pozo séptico con el que cuenta la asociación de Ccoricancha tiene un tratamiento parcial de las aguas residuales, logra tratar algunos parámetros de los LMP establecidos en la normativa, se observa que el pH es de un 6.73 del efluente del pozo séptico y los LMP es de 6.5-8.5 cumpliendo con la normativa, en DBO₅ se obtuvo 28 mg/l y el LMP es de 100 mg/l cumpliendo con el parámetro mientras que en turbidez el efluente del pozo septico obtuvo 130 NTU pero la normativa indica que la turbidez debe ser <5 no cumpliendo con los LMP establecidos, asi mismo en DQO se obtuvo 839.50mg/l mientras los LMP establece que solo debe haber 200mg/l no cumpliendo con este parámetro.

Lo que demuestra que necesita una intervención y una mejora del sistema, para que logre tratar completamente todos los parámetros del agua residual municipal proveniente de la asociación.

❖ Análisis de los parámetros finales UTEA.

Las 6 muestras de agua residual restantes (finales) que fueron tratadas mediante el sistema de filtro estático fueron sometidas a su análisis en el laboratorio de suelo, aire y agua de la universidad tecnológica de los andes, siendo estas 6 muestras tomadas del efluente del sistema de filtro estático consideradas como agua residual municipal tratada.

Tabla 15

Resultados finales del agua residual municipal tratada analizados en el laboratorio de la UTEA

N°	Tipo de Muestra	Efluente del sistema filtro estático	Parámetros						
			pH 0-14	Temperatura °C	DBO5 mg/l	DQO mg/l	SST mg/l	Turbidez NTU	Olor
7	Agua Residual Municipal tratada por el sistema de Filtro Estático	L-1	8.3	12.4	0	555	97	82	inolora
8	Agua Residual Municipal tratada por el sistema de Filtro Estático	L-2	7.9	12.6	0	524	103	79	inolora
9	Agua Residual Municipal tratada por el sistema de Filtro Estático	L-3	7.7	12.3	0	501	84	89	inolora
10	Agua Residual Municipal tratada por el sistema de Filtro Estático	L-4	7.9	12.4	0	542	87	78	inolora
11	Agua Residual Municipal tratada por el sistema de Filtro Estático	L-5	7.7	12	0	647	111	100	inolora
12	Agua Residual Municipal tratada por el sistema de Filtro Estático	L-6	7.8	12.1	0	538	108	101	inolora
promedio de resultados de Agua Residual Municipal tratada por el sistema de Filtro Estático			7.88	12.30	0	551.17	98.33	88.17	inolora

La Tabla 15 muestra el resultado de las 6 muestras de agua residual sometidas al tratamiento del sistema de filtro estático para mejorar sus parámetros y cumplan con los LMP establecidos. Ayuda a determinar si los valores finales cambiaron o se siguen manteniendo los valores iniciales.

Al incorporarse el sistema del filtro estático al tratamiento del pozo séptico con el que ya cuenta la asociación de Ccoricancha, se logra obtener un efluente con menor carga contaminante como se ve en la Tabla 15

El resultado promedio obtenido en la Tabla 15 se sometió a una comparación para ver si el nuevo efluente cumple con los LMP establecidos para su liberación al medio ambiente sin generar contaminación en los alrededores como en el cuerpo de agua receptor al cual llega el efluente.

Tabla 16

Comparativa entre los LMP y los valores finales obtenidos después del tratamiento por el sistema de filtro estático analizados en el laboratorio de la UTEA

Parámetros	Promedio de muestra del efluente del sistema de filtro estático	LMP para los efluentes de PTAR	Cumple
pH 0-14	7.80	6.5 - 8.5	si
Temperatura °C	12.30	<35	si
DBO₅ mg/l	0	100	si
SST mg/l	98.33	150	si
Olor	Inolora	Inolora	si
Turbidez NTU	88.17	<5	no
DQO mg/l	551.17	200	no

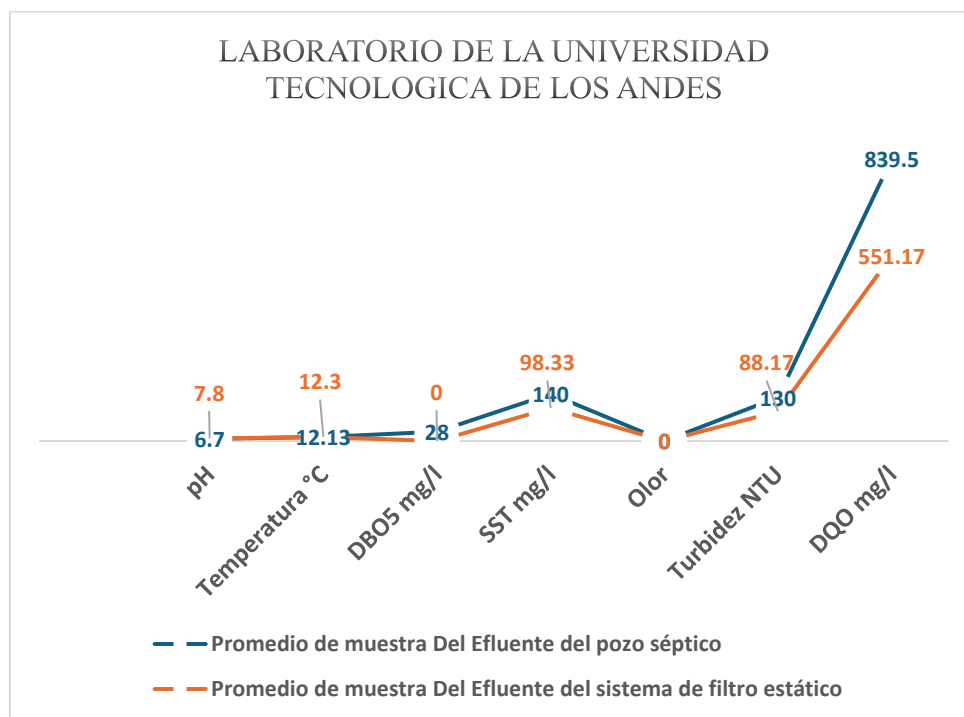
La Tabla 16 muestra como los parámetros finales que se obtuvieron después de someter las muestras de agua residual al tratamiento mediante el sistema de filtro estático redujeron en gran medida, en caso del pH se obtuvo un 7.80 lo cual esta dentro de los LMP el cual va desde los 6.5-8.5, los SST obtenidos son de 98.33mg/l el cual esta dentro de los LMP siendo el limite 150mg/l y en DBO₅ se obtuvo 0mg/l de 100mg/l permitidos.

Disminuyendo la carga contaminante y ahora casi la totalidad de los parámetros está dentro de lo establecido en los LMP para efluentes de PTAR. se aprecia una reducción notoria

en comparación con los valores iniciales analizados en el mismo laboratorio, lo que demuestra la efectividad del tratamiento.

Figura 42

Comparativa entre valores iniciales y finales del laboratorio de la UTEA



Nota: Resultados del laboratorio de la universidad UTEA

La Figura 42 muestra que el tratamiento realizado a las aguas residuales municipales por medio del sistema de filtro estático logra reducir los niveles de contaminación, mostrando un cambio significativo en los valores iniciales con respecto a sus valores finales, mejorando las propiedades del agua residual municipal extraídas de la asociación Ccoricancha como lo indica los resultados del laboratorio de suelo, aire y agua de la universidad tecnológica de los andes demostrando que el tratamiento optado es eficiente para tratar aguas residuales municipales.

B) Análisis de los parámetros iniciales - finales realizados en el laboratorio Louis Pasteur**❖ Análisis de los parámetros iniciales.**

El análisis de muestras sometidas al laboratorio Louis Pasteur el cual cuenta con acreditación del INACAL (Instituto Nacional de Calidad) fueron de 6 muestras divididas en dos grupos de 3 muestras cada uno, las primeras fueron muestras del efluente de agua residual municipal de la asociación de Ccoricancha (efluente del pozo séptico).

Para la toma de muestras se usaron 6 litros de agua residual municipal sin tratamiento obtenidas del efluente del pozo séptico, que es lo mínimo requerido por el laboratorio Louis Pasteur. Las cuales fueron transportados en un cooler hacia el laboratorio para su respectivo análisis y determinación de sus valores en los parámetros físico-químicos antes mencionados.

Tabla 17

Resultados iniciales obtenidos del agua residual municipal analizados por el laboratorio Louis Pasteur

N°	Tipo de Muestra	Afluente (efluente del pozo séptico)	Parámetros						
			pH	Temperatura °C	DBO5	DQO	SST	Turbidez	Olor
			0-14		mg/l	mg/l	mg/l	NTU	
1	Agua Residual Municipal del efluente del pozo séptico	M-1	6.84	21.3	194.69	223.11	78	50.8	desagradable
2	Agua Residual Municipal del efluente del pozo séptico	M-2	6.01	20.6	189.67	245.42	79	56	desagradable
3	Agua Residual Municipal del efluente del pozo séptico	M-3	6.15	20.7	96.02	127.49	68.5	61.2	desagradable
Promedio de resultados de Agua Residual Municipal del efluente del pozo séptico			6.33	20.87	160.13	198.67	75.17	56	desagradable

La Tabla 17 muestra los valores de los parámetros físico-químicos del agua residual municipal del efluente del pozo séptico de la asociación de Ccoricancha, en los cuales se ve que el nivel de contaminación es alto.

Con el resultado promedio de las aguas residuales municipales obtenidas del efluente del pozo séptico como se muestra en la Tabla 17 se hará una comparación con los LMP para efluentes de agua residuales municipales y evidenciar si cumplen con lo establecido en las normativas vigentes.

Tabla 18

Comparativa de los LMP con los valores iniciales obtenidas del efluente pozo séptico

Parámetros	Promedio de muestra del efluente del pozo séptico	LMP para los efluentes de PTAR	Cumple
pH	6.33	6.5 - 8.5	no
Temperatura °C	20.87	<35	no
DBO5 mg/l	160.13	100	no
SST mg/l	75.17	150	si
Olor	desagradable	Inolora	no
Turbidez NTU	56	<5	no
DQO mg/l	198.67	200	si

Nota: Resultados del laboratorio Louis Pasteur

Como se puede apreciar en la Tabla 18 los valores obtenidos del agua residual municipal provenientes del sistema actual con el que cuenta la asociación Ccoricanha que es el pozo séptico. Se evidencia que el tratamiento que recibe actualmente no cumple con los parámetros establecidos según la normativa para LMP de efluentes de agua residual municipal. Lo que indica que el efluente aun presenta bastante carga contaminante y no es apto para su liberación al medio ambiente, el cual está causando un impacto ambiental negativo en los alrededores del pozo séptico de la asociación.

Análisis de los parámetros finales

El análisis de las muestras restantes (finales) realizadas en el laboratorio Louis Pasteur fue de 3 muestras, las ultimas muestras se obtuvieron del efluente del sistema de filtro estático las cual trato las aguas residuales municipales provenientes del efluente del pozo séptico de la asociación Ccoricancha. En las cuales se utilizaron también 6 litros de agua residual municipal tratada que es lo mínimo requerido por el laboratorio Louis Pasteur. Las cuales fueron trasportadas en un cooler hacia el laboratorio para su respectivo análisis y determinación de sus valores en los parámetros físico-químicos antes mencionados.

Tabla 19

Resultados finales obtenidos del agua residual municipal tratada por el sistema de filtro estático analizados por el laboratorio Louis Pasteur

N°	Tipo de Muestra	Efluente del sistema de filtro estático	Parámetros						
			pH 0-14	Temperatura °C	DBO ₅ mg/l	DQO mg/l	SST mg/l	Turbidez NTU	Olor
4	Agua Residual Municipal tratada por el sistema de Filtro Estático	L-1	7.2	22.1	15.91	22.31	<1.79	1.3	inolora
5	Agua Residual Municipal tratada por el sistema de Filtro Estático	L-2	7.44	22.3	11.32	12.75	<1.79	1.37	inolora
6	Agua Residual Municipal tratada por el sistema de Filtro Estático	L-3	7.14	20.9	22.38	25.5	<1.79	1.45	inolora
Promedio de resultados de Agua Residual Municipal tratada por el sistema de Filtro Estático			7.26	21.77	16.54	20.19	<1.79	1.37	inolora

En la Tabla 19 se aprecia una reducción de los parámetros físico-químicos, la cual es muy notable e indica que el tratamiento mediante el sistema de filtro estático funciona, teniendo una reducción de contaminantes y una mejora en sus valores, lo que indica una mejora en la calidad del agua tratada.

El resultado promedio que se ve en la Tabla 19 fue sometido a una comparación con los LMP para efluentes de PTAR identificando así si el agua tratada por el sistema de filtro estático cumple con lo establecido en las normativas.

Tabla 20

Comparativa de los LMP con los valores finales después del tratamiento por el sistema de filtro estático

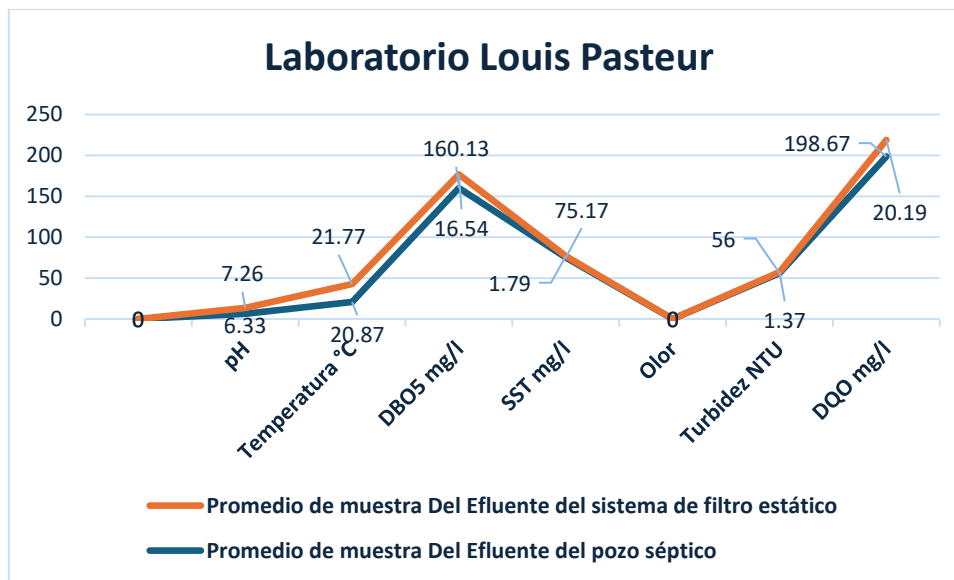
Parámetros	Promedio de muestra del efluente del sistema de filtro estático	LMP	Cumple
pH	7.26	6.5 - 8.5	si
Temperatura °C	21.77	<35	si
DBO5 mg/l	16.54	100	si
SST mg/l	<1.79	150	si
Olor	Inolora	Inolora	si
Turbidez NTU	1.37	<5	si
DQO mg/l	20.19	200	si

Nota: Resultados del laboratorio Louis Pasteur

Se evidencia en la Tabla 20 que el agua residual municipal sometida al tratamiento mediante el sistema de filtro estático presenta una mejora significativa en sus parámetros físico-químicos, comparando con los LMP establecidos se observa que cumple con cada uno de los parámetros, demostrando que el tratamiento es efectivo para tratar las aguas residuales municipales de la asociación.

Figura 43

Comparativa entre valores iniciales y finales del laboratorio Louis Pasteur

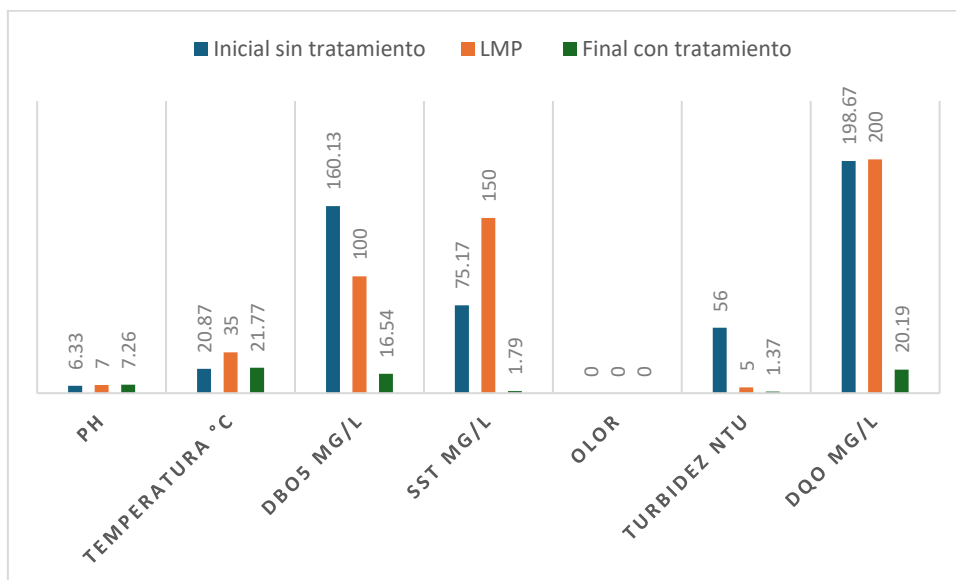


Nota: Resultados del laboratorio Louis Pasteur

Se evidencia en la Figura 43 los resultados obtenidos por el laboratorio Louis Pasteur que demuestran que el agua residual tratada por el sistema de filtro estático en comparación con los valores iniciales obtenidos del sistema de pozo séptico redujo de forma significativa, lo que indica que el sistema logro reducir la carga contaminante que aun presentaba el efluente del agua residual, como una mejora en su calidad y aspecto. Comprobando que el agua residual tratada cumple con las normativas y es apta para su descarga al medio ambiente.

Figura 44

Comparación entre los valores iniciales, LMP y valores finales obtenidos de los parámetros físico-químicos.



Nota: Resultado del laboratorio Louis Pasteur

La Figura 44 muestra la comparación entre los valores que se obtuvieron del análisis realizado en el laboratorio Louis Pasteur inicial-final y los LMP establecidos. Se muestra su análisis inicial antes de ser sometida a algún tipo de tratamiento, después se aprecia los LMP para efluentes de agua residual municipal y por último los valores obtenidos después del tratamiento por el sistema de filtro estático. Dando por resultado que el tratamiento fue efectivo y los valores obtenidos están por debajo de los LMP permitidos para efluentes de PTAR, demostrando que la calidad del agua residual tratada mejoró y la carga contaminante se redujo en gran medida,

❖ Comparativa con el ECA de agua categoría 3

Agua destinada para riego de vegetales y bebida de animales para los cuales se tiene parámetros y valores establecidos mientras que el agua cumpla con estos parámetros puede ser utilizada para esta actividad sin correr el riesgo de contaminación u ocasionar algún impacto

negativo al medio ambiente. Se logro obtener valores que provienen del análisis del laboratorio Louis Pasteur que cuenta con certificación por el INACAL, los cuales se someterán a una comparativa para evidenciar si efectivamente el agua residual tratada podría estar dentro de lo indicado en la normativa (ECAs de agua categoría 3),

Tabla 21

Comparativa entre el ECA de agua categoría 3 y los valores obtenidos después del tratamiento

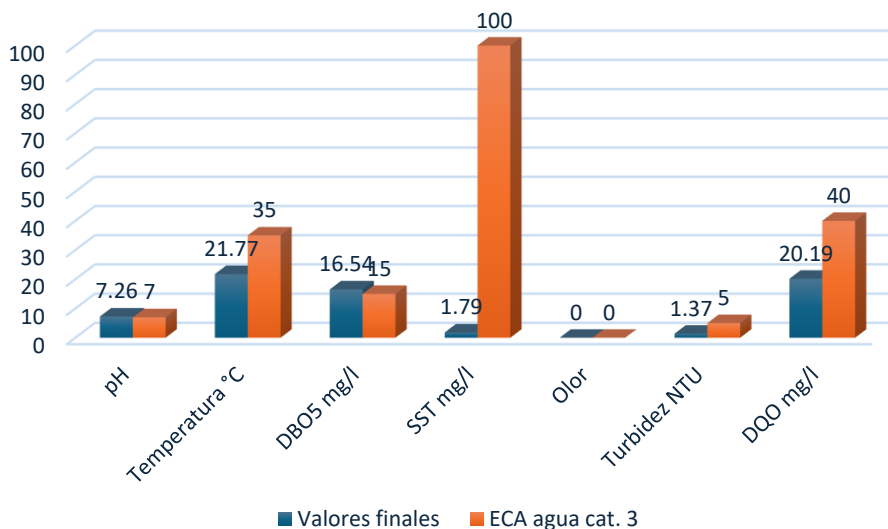
Parámetros	Promedio de muestra del efluente del sistema de filtro estático	ECA de agua Cat.3	Cumple
pH	7.26	6,5 – 8,5	si
Temperatura °C	21.77	<35 °C	si
DBO ₅ mg/l	16.54	15	no
SST mg/l	<1.79	≤ 100	si
Olor	inolora	inolora	si
Turbidez NTU	1.37	< 5	si
DQO mg/l	20.19	40	si

Nota: Resultados emitidos por el laboratorio Louis Pasteur

La Tabla 21 indica que el agua residual tratada por el sistema de filtro estático tiene una mejor calidad y tiene el potencial para ser reutilizada para otras actividades, aunque no logra cumplir con todos los parámetros analizados según lo demuestra la tabla anterior, de los 7 parámetros analizados solo 1 no logra cumplir con lo indicado para el uso en riego de vegetales y bebida de animales teniendo que necesitar un mayor análisis para confirmar si se puede reutilizar en esta categoría.

Figura 45

Comparación entre ECA categoría 3 y los valores obtenidos después del tratamiento



Nota: Resultados del laboratorio Louis Pasteur

Relación entre los resultados obtenidos por ambos laboratorios

El método trata de entender el comportamiento entre ambos laboratorios para pronosticar la tendencia del agua residual con respecto al método utilizado del sistema de filtro estático. Este método ayuda a entender si los resultados obtenidos son semejantes o presentan las mismas características (semejante comportamiento) en este caso se evidencio que los parámetros analizados presentan una reducción notable en sus valores demostrando así que el tratamiento empleado fue eficiente.

❖ Valores iniciales de los parámetros físico-químicos y su relación

Se observó que los resultados obtenidos mediante los análisis físico-químicos realizados tanto al agua residual municipal inicial proveniente del efluente del pozo séptico como al agua residual municipal tratada por el método del sistema de filtro estático fueron los siguientes.

Tabla 22

Resultado promedio inicial de los parámetros físico-químicos del efluente del pozo séptico

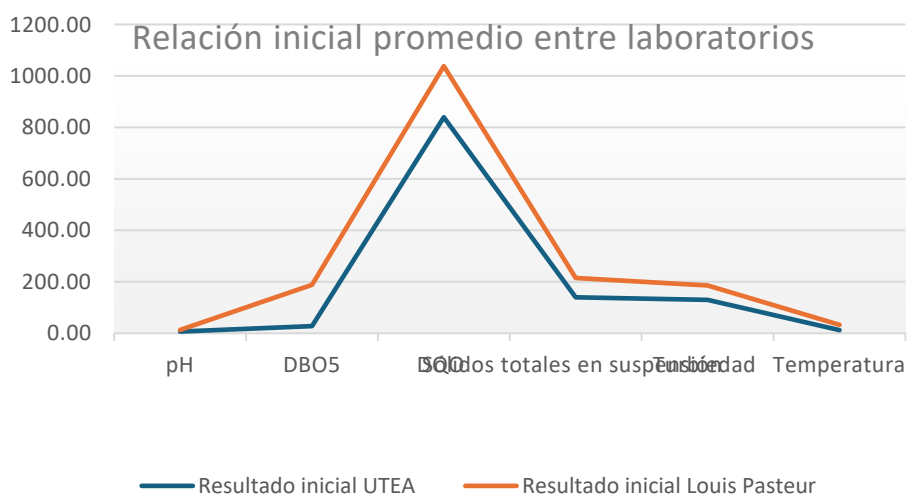
Parámetros	Unidad	Resultado promedio inicial en la UTEA	Resultado promedio inicial en Louis Pasteur
pH	Unidades de pH	6.73	6.33
DBO₅	DBO ₅ , mg/L	28	160.13
DQO	DQO as mg/L O ₂	839.50	198.67
Sólidos totales en suspensión	STS mg/L	140	75.17
Turbiedad	NTU	130	56
Temperatura	°C	12.13	20.87

Nota: Resultados del laboratorio Louis Pasteur y resultados del laboratorio de la UTEA

La Tabla 22 muestra los parámetros físico-químicos analizados en ambos laboratorios antes de la aplicación del sistema de filtro estático para tener referencia de los valores iniciales que presentaba el agua residual proveniente del efluente del pozo séptico de la asociación Ccoricancha, evidenciando así que varios de los parámetros superan los LMP establecidos y no son aptos para su descarga al medio ambiente como se aprecia en la Tablas 14 y 16.

Figura 46

Relación de los parámetros iniciales entre los laboratorios Louis Pasteur y la UTEA



Como se aprecia en la Figura 46 se ve que ambos laboratorios que analizaron las muestras del efluente del pozo séptico, dieron resultados semejantes lo cual indica que ambos laboratorios presentan la misma tendencia, aunque los resultados relativamente son distintos lo cual se puede dar debido al tiempo, condiciones climáticas o condiciones externas que hacen que varíe el valor obtenido, pero presentando el mismo comportamiento, demostrando que el análisis realizado a las muestras y los valores obtenidos son correctos.

❖ Valores finales de los parámetros físico-químicos y su relación

Se analizó los valores obtenidos después de ser sometido al tratamiento por el sistema de filtro estático, el análisis se realizó en el laboratorio acreditado de Louis Pasteur y el laboratorio de la universidad UTEA para realizar la relación verificando si ambos presentan el mismo comportamiento.

Tabla 23

Resultado final promedio de los parámetros físico-químicos después del tratamiento por el sistema de filtro estático

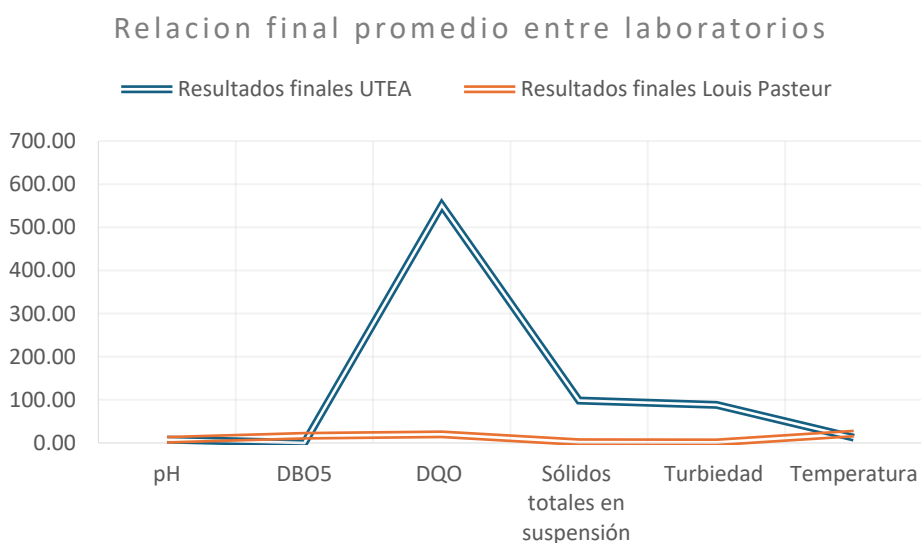
Parámetros	Unidad	Resultado final promedio en la UTEA	Resultado final promedio en Louis Pasteur
pH	Unidades de pH	7.88	7.26
DBO₅	DBO ₅ , mg/L	0	16.54
DQO	DQO as mg/L O ₂	551.17	20.19
Sólidos totales en suspensión	STS mg/L	98.33	<1.79
Turbiedad	NTU	88.17	1.37
Temperatura	°C	12.30	21.77

Nota: Resultados del laboratorio Louis Pasteur y resultados obtenidos de UTEA

Se aprecia en la Tabla 23 que existe una reducción considerable de los valores iniciales en comparación con los valores finales de los parámetros analizados en ambos laboratorios, demostrando una mejora en la calidad del agua y una disminución de la contaminación del agua residual municipal, lo cual demostró que el sistema de tratamiento del filtro estático es eficiente y logra el propósito de mejorar la calidad del agua residual del efluente de la asociación como cumplir con las normativas establecidas (LMP).

Figura 47

Relación final entre los laboratorios Louis Pasteur y la UTEA



La Figura 47 muestra la relación entre los valores finales de los parámetros analizados (físico-químicos) del agua residual tratada por el sistema de filtro estático, en la cual se aprecia el comportamiento que presenta la mayoría de los parámetros siendo semejantes, mientras que en el DQO aún se mantiene alto, pero tiende a reducir, lo cual demuestra que el tratamiento funciona, llegando a obtener un agua de calidad que está por debajo de los LMP establecidos como se aprecia en la Tabla 16.

5.1.3. Eficiencia del filtro estático para tratar aguas residuales municipales de la Asociación de Productores Propietarios Agrícolas. Ccoricancha

❖ Método de la Prueba T-Student

La prueba T es el procedimiento estadístico que es utilizado para comparar dos mediciones del mismo grupo (por ejemplo: antes y después de un tratamiento) generalmente empleado en poblaciones pequeñas las cuales serán cuantificadas, también se observa si son significativamente diferentes entre ambos grupos. Este procedimiento sirve para evaluar las hipótesis medias poblacionales en muestras pequeñas y que tenga una distribución normal. Busca comparar y evaluar la eficiencia de un tratamiento para lo cual compara el antes y el después. Mediante fórmulas obtiene la respuesta el cual depende del T crítico para su interpretación. Demostrando en el proceso si el cambio fue significativo o solo producto del azar. (Ortega, 2023)

Prueba T-Student para muestras pareadas

La prueba T para esta muestra busca comparar el antes y después, para evidenciar si los cambios que sufrió la muestra fueron significativos o solo a una casualidad.

H_0 (hipótesis nula): No hay diferencia entre ambas (la media de las diferencias = 0).

H_1 (hipótesis alternativa): Sí hay diferencia entre ambas (la media de las diferencias $\neq$ 0) y con la obtención de T y el T crítico proporcionado por tablas se determina que:

Si $|t| > T$ crítico se rechaza la H_0 (hay diferencia significativa)

Si $|t| < T$ crítico se rechaza la H_0 (no hay diferencia significativa)

Prueba T – Student para los parámetros fisicoquímicos analizados anteriormente para determinar si el tratamiento del filtro estático logra mejorar dichos parámetros. (Ortega, 2023)

A) Prueba T – Student para el pH

Tabla 24

Estadística sobre el PH

Muestra	pH antes	pH después	Diferencia por muestra pH	Media de PH	DS pH	T	T critico ($\alpha=0,05$) bilateral
1	6.84	7.20	-0.36	-0.93	0.44	-4.22	3.1824
2	6.01	7.44	-1.43				
3	6.15	7.14	-0.99				
4	6.33	7.26	-0.93				

Según la Tabla 24 se obtuvo que $|t|=4.22 > 3.182$ por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, indicando que si existe una diferencia estadísticamente significativa entre los valores del pH tanto iniciales y finales de pH ($t = 4.22 > 3.182$; $p < 0.05$). Demostrando que si existe una diferencia significativa en el pH antes y después del tratamiento por el filtro estático. El filtro estático logro estabilizar el pH del agua residual aumentando su valor de un pH ácido a un pH neutro.

B) Prueba T – Student para el DBO₅

Tabla 25

Estadística sobre el DBO₅

Muestra	DBO ₅ mg/l antes	DBO ₅ mg/l después	Diferencia por muestra DBO ₅	media de DBO ₅	DS DBO ₅	T	T critico ($\alpha=0,05$)
1	194.69	15.91	178.78	143.59	49.46	5.81	3.1824
2	189.67	11.32	178.35				
3	96.02	22.38	73.64				
4	160.13	16.54	143.59				

Según la Tabla 25 se obtuvo que $|t|=5.81 > 3.182$ demostrando que sí hay una diferencia significativa entre los valores de DBO_5 antes y después del tratamiento, con un 95% de confianza. Demostró que el tratamiento aplicado disminuyó de manera significativa la DBO_5 de las muestras ($t = 5.81 > 3.182$; $p < 0.05$). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que el tratamiento del filtro estático fue efectivo en la reducción de la DBO_5 .

C) Prueba T – Student para DQO

Tabla 26

Estadística sobre el DQO

Muestra	DQO mg/l antes	DQO mg/l después	Diferencia por muestra DQO	media de DQO	DS DQO	T	T critico ($\alpha=0,05$)
1	223.11	22.31	200.80	178.49	55.63	6.42	3.1824
2	245.42	12.75	232.67				
3	127.49	25.50	101.99				
4	198.67	20.19	178.49				

Según la Tabla 26 el valor calculado de la prueba ($t = 6.42$) fue superior al valor crítico ($t_{\text{critico}} = 3.182$), lo que indica una diferencia estadísticamente significativa entre los valores de DQO antes y después del tratamiento ($p < 0.05$). En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que el tratamiento con el sistema de filtro estático logró una reducción significativa en la DQO de las muestras analizadas, con un nivel de confianza del 95%.

D) Prueba T – Student para SST

Tabla 27

Estadística sobre el SST

Muestra	SST mg/l antes	SST mg/l después	Diferencia por muestra SST	media de SST	DS SST	T	T critico ($\alpha=0,05$)
1	78.00	1.78	76.22	73.39	4.73	31.02	3.1824
2	79.00	1.78	77.22				
3	68.50	1.78	66.72				
4	75.17	1.78	73.39				

Según la Tabla 27 el valor obtenido por la prueba ($t=31.02$) fue superior al valor critico ($t_{\text{critico}}= 3.182$), demostrando que hay una diferencia significativamente alta entre los valores de SST antes y después del tratamiento ($p < 0.05$). por ultimo se rechaza la hipótesis nula y se concluye que el tratamiento por el sistema de filtro estático logra una reducción significativamente alta con respecto a los SST de las muestras analizadas con un nivel de confianza de un 95%.

E) Prueba T – Student para la turbiedad

Tabla 28

Estadística sobre la turbidez

Muestra	Turbidez antes	Turbidez después	Diferencia por muestra Turbidez	media de Turbidez	DS turbidez	T	T critico ($\alpha=0,05$)
1	50.80	1.30	49.50	54.63	4.18	26.11	3.1824
2	56.00	1.37	54.63				
3	61.20	1.45	59.75				
4	56.00	1.37	54.63				

Según la Tabla 28 muestra mediante el cálculo por la prueba T se obtuvo que ($t=26.11$) demostrando que supera el t critico (t critico = 3.1824), resultado que, si hay una diferencia significativa muy alta con respecto a los valores de turbiedad antes y después del tratamiento, con un nivel de confianza de 95%, rechazando así la hipótesis nula y comprobando que el tratamiento del sistema de filtro estático presenta una alta reducción de la turbiedad con respecto a los valores iniciales analizados.

❖ **Método para la determinación de la eficiencia del sistema de filtro estático**

Para corroborar el desempeño del sistema utilizado se sometió a una evaluación mediante la fórmula de la eficiencia en los parámetros más significativos como es el de DBO_5 , DQO, y SST los cuales fueron analizados experimentalmente como se evidencio en los resultados de la Tabla 22 y 23, los cuales se utilizarán para calcular la eficiencia en los parámetros mencionados. (Salazar, 2005)

Eficiencia de DBO_5 : Con respecto a la eficiencia del DBO_5 en la implementación del sistema del filtro estático, demostrando la eficiencia de remoción del oxígeno al degradar la materia orgánica. Para el cálculo de la eficiencia expresada en porcentaje sobre la disminución o remoción de DBO_5 utilizando el sistema propuesto (filtro estático) se utilizará la siguiente formula y los datos de la tabla Tabla 22 y 23:

$$\text{Eficiencia} = \left(\frac{(\text{concentracion inicial} - \text{concentracion final})}{\text{concentracion inicial}} \right) * 100\%$$

$$\text{Eficiencia} = \left(\frac{(160.13 - 16.54)}{160.13} \right) * 100\%$$

$$\text{Eficiencia} = \left(\frac{(143.59)}{160.13} \right) * 100\%$$

$$\% \text{Eficiencia} = (0.8967) * 100\%$$

$$\text{Eficiencia} = 89.67\%$$

Como se demostró con respecto a la eficiencia de reducción de contaminantes de los parámetros analizados el DBO₅, demuestra tener una reducción de 89.67% en DBO₅ con respecto al DBO₅ inicial, demostrando que el método propuesto para el tratamiento de las aguas residuales municipales de la asociación es altamente eficiente.

Eficiencia de DQO: Con respecto a la eficiencia del DQO en la implementación del sistema del filtro estático, demostrando la eficiencia de remoción del oxígeno al oxidar la materia orgánica.

$$Eficiencia = \left(\frac{(198.67 - 20.19)}{198.67} \right) * 100\%$$

$$Eficiencia = \left(\frac{(178.48)}{198.67} \right) * 100\%$$

$$\%Eficiencia = (0.8983) * 100\%$$

$$Eficiencia = 89.84\%$$

Con respecto al DQO demuestra que el sistema logro remover un 89.84%, comprobando que el sistema propuesto (filtro estático) para el tratamiento de las aguas residuales municipales de la asociación es altamente eficiente.

Eficiencia de SST: Con respecto a la eficiencia del SST en la implementación del sistema del filtro estático, demostrando la eficiencia de remoción de partículas suspendidas las cuales pueden ser orgánicas e inorgánicas.

$$Eficiencia = \left(\frac{(75.17 - 1.78)}{75.17} \right) * 100\%$$

$$Eficiencia = \left(\frac{(73.39)}{75.17} \right) * 100\%$$

$$\%Eficiencia = (0.9763) * 100\%$$

$$Eficiencia = 97.63\%$$

En el caso de los SST se logró remover unos 97.63% demostrando que el sistema propuesto es altamente eficiente en el tratamiento de aguas residuales municipales.

El sistema tuvo una efectividad alta superando el 85% en todos los parámetros analizados. Lo cual indica una mejora en la calidad del agua y una reducción del nivel de contaminantes que presentaba inicialmente, comprobando que ahora el agua si puede ser descargada al medio ambiente sin correr el riesgo de generar contaminación.

5.1.4. Propuesta del sistema de filtro estático en la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha en base a los resultados obtenidos

El sistema del filtro estático recibe las aguas residuales del campo de drenaje (tanque de infiltración) producidas de la asociación Ccoricancha. El filtro estático será del tipo de tratamiento físico-químico y el agua tratada podrá ser descargada al ambiente o ser reaprovechada para otras actividades.

Figura 48

Ubicación del sistema proyectado



❖ Estimación del caudal propuesto para la asociación Ccoricancha

Según los resultados obtenidos de la prueba piloto se trataron 40L de agua residual municipal provenientes del efluente del pozo séptico, el caudal de entrada al filtro estático fue de 1.8L/min. El caudal que se midió y se descarga actualmente del campo de drenaje (tanque de infiltración) y que está provocando la problemática ambiental es de 0.136L/s, siendo este caudal el que se debe tratar para impedir que se siga dando la problemática ambiental.

❖ Cálculo del tiempo estimado según el caudal que presenta la asociación:

sistema piloto 1.8L/min _____ 9Horas 4min

proyeccion del sistema 8.16L/min _____ XHoras

$$Tiempo (horas) = \frac{(8.16L/min * 544min)}{1.8L/min}$$

$$Tiempo (horas) = \frac{(4439.04min)}{1.8}$$

$$Tiempo (horas) = 2466.13 min * \frac{1H}{60min}$$

$$Tiempo (horas) = 41horas 10min$$

Tabla 29

Caudal y tiempo estimado de la proyección

	Caudal	Tiempo
Sistema piloto	1.8 L/min	9H.4 min
Proyección del sistema	8.16 L/min	41H.10min

Como se aprecia en Tabla 29 la proyección estimada del tiempo y del caudal hallado se sabe que para tratar 1.8L/min se realizó en 9horas con 4 minutos y ahora la proyección presenta un caudal de 8.16L/min con un tiempo de 41horas y 10 minutos, lo que demuestra que el sistema

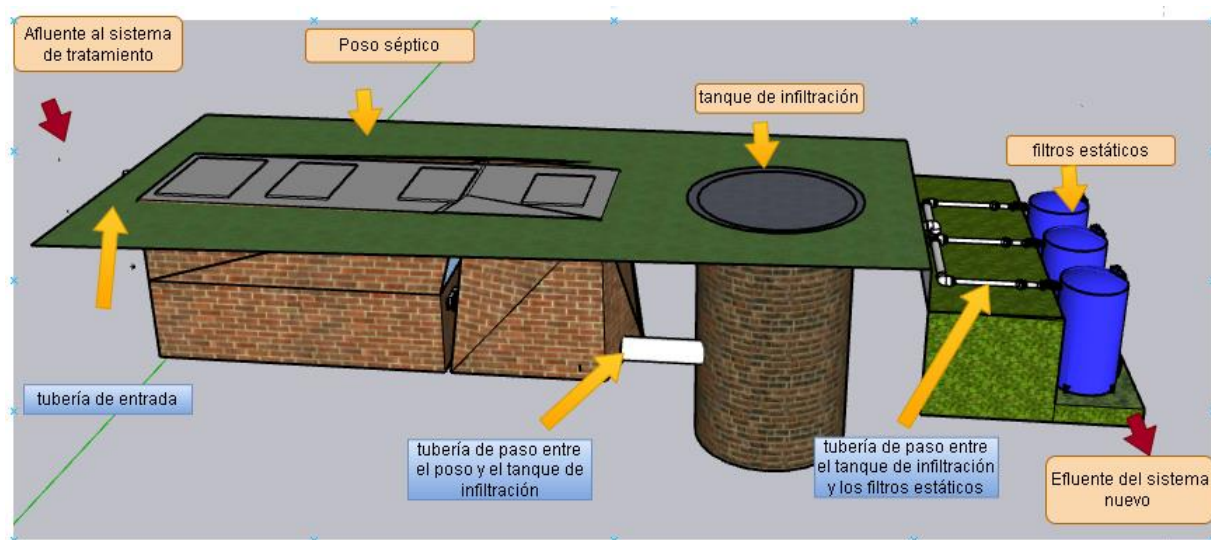
para tratar ese nuevo caudal se debe incrementar las dimensiones de cada componente del sistema para cumplir con el objetivo de tratar el agua residual proveniente del efluente del pozo séptico y de su campo de drenaje.

❖ Esquema del sistema nuevo sistema de tratamiento de aguas residuales de la asociación

El sistema propuesto no reemplazará al sistema ya existente de la asociación, sino que será incorporado al final del tanque de infiltración que ya presenta la asociación, para evitar repetir la problemática actual y así logrando mejorar el sistema de tratamiento de agua residuales de la asociación Ccoricancha.

Figura 49

Esquema propuesto con la incorporación del nuevo sistema de tratamiento



Con el esquema ya propuesto en la Figura 49 se va dimensionar el nuevo sistema para que logre tratar el nuevo caudal y se obtenga un agua tratada de calidad. Como se demostró con los resultados obtenidos el filtro estático piloto con las dimensiones establecidas logro tratar el agua residual municipal a un caudal de 1.8 L/min, pero para un caudal mayor de requiere ajustar

las dimensiones tanto de las capas del filtro como el tamaño de los materiales puestos a prueba en el tratamiento piloto.

❖ **Proyección de las dimensiones del filtro para ser aplicado al nuevo caudal**

Para las proyecciones sobre las dimensiones de los contenedores utilizados se aplicará la multiplicación del caudal piloto hasta sobrepasar el caudal requerido y según esa multiplicación, se le aplicará a cada una de los contenedores para mantener así el funcionamiento óptimo del sistema.

Caudal piloto es de 1.8L/min para cubrir las necesidades del nuevo caudal se debe incrementar 6 veces las dimensiones de los equipos utilizados debido a que el caudal que se puede tratar con esas nuevas dimensiones es de 10.8L/min, siendo este caudal mucho mayor al medido actualmente que es de 8.16L/min y en caso aumente el caudal el sistema logre trabajar con normalidad sin colapsar en el proceso.

Tabla 30

Dimensión del sistema de filtro estático con sus respectivas proyecciones futuras

Materiales	Antes (piloto)	Proyección futura	Medida final
Tanque del filtro estático	20 L	40 * 6	240 L de capacidad
Recipiente para el agua tratada	16 L	16 * 6	96 L de capacidad
Tubos	1/2	4'	4'
Sensores de flujo	0	0	4 a 6

Como se aprecia en la proyección de la Tabla 30 esas serían las nuevas dimensiones de los contenedores a implementarse para el nuevo caudal corrigiendo en este las deficiencias del

prototipo realizado como la dimensión del tanque de filtración la cual se duplico para aumentar la cantidad de agua a infiltrarse, mejorando así la eficiencia del sistema y logrado que trabaje de una manera más optima.

Para la proyección de los lechos filtrantes (capas del filtro) que serán introducidos dentro del nuevo sistema para tratar las aguas residuales de igual forma se incrementarán para cubrir el tratamiento de las aguas residuales municipales y que se siga obteniendo un agua de calidad que pueda ser reaprovechada para otras actividades o simplemente ser descargada al ambiente sin ocasionar un impacto ambiental en la asociación como se aprecia en la actualidad.

Tabla 31

Dimensión de los lechos filtrantes con sus respectivas proyecciones futuras

Materiales	Antes (piloto)	Proyección futura	Medida final
Canto rodado	4 cm	4 * 6	24 cm
Piedra chancada	3 cm	3 * 6	18 cm
Arena gruesa	6 cm	6 * 6	36 cm
Arena fina	9 cm	10 * 6	60 cm
Carbón activado	9 cm	18 * 6	108 cm
Filtro de esponja	10 cm	15 * 6	90 cm

Como se observa en la Tabla 31 estas serían las nuevas medidas de las capas o lechos filtrantes a implementarse dentro del tanque de filtro estático, se incrementó el tamaño de la capa de arena fina por su porosidad pequeña que limita el ingreso de solidos en suspensión e impide el paso de partículas de gran tamaño, también se incrementó la capa de carbón activado,

debido a sus propiedades de absorción de contaminantes, elimina la presencia de olores desagradables, y elimina sustancias tóxicas que se encuentren presentes en el agua residual.

❖ **Propuesta para la conservación y mantenimiento del nuevo sistema propuesto**

A) Programa de concientización a la población

El plan de concientización tiene la finalidad de recomendar a la población de hacer un buen manejo de los sistemas del tratamiento de las aguas residuales, para tener un buen uso responsable de los servicios de alcantarillado y la conservación del ambiente.

Estos programas son para brindar charlas, talleres y campañas de sensibilización a la asociación sobre el manejo y mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales como la práctica del reúso de las aguas residuales tratadas para riego de cultivos, como los beneficios que tienen estas aguas (contienen nutrientes que son beneficiosos para los diferentes cultivos).

También la sensibilización ayudara a preservar el nuevo sistema de tratamiento como mantener el antiguo en óptimas condiciones para impedir así la generación de impactos ambientales negativos en un futuro.

5.2. Discusión de resultados

Como objetivo general se tuvo mejorar el tratamiento de aguas residuales municipales mediante un sistema de filtro estático en la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha del distrito de Chinchero. En base a ello se considera el estudio realizado por Parra (2023), señala que los biofiltros y vermifiltros presentan una alta capacidad de remoción de contaminantes como de reducir la materia orgánica siendo una tecnología muy eficiente para el tratamiento de aguas residuales domésticas obteniendo como producto un agua tratada apta para el riego de cultivos. De igual manera la investigación de Rodríguez & Escobar (2018), demostraron que los filtros artesanales que están compuestos por lechos filtrantes presentan una alta eficiencia en la remoción de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos mejorado la calidad del agua y sus parámetros, además es una alternativa muy económica para tratar las aguas residuales domésticas. En la presente investigación se comprobó que mejoró la calidad de las aguas residuales municipales donde hubo una gran reducción en comparación con sus valores iniciales que presentaba el efluente del pozo séptico de la asociación. Demostrando que el sistema de filtro estático mejoró significativamente los parámetros físico-químicos de las aguas residuales municipales, las cuales ahora cumplen con lo establecido en la normativa (LMP) impidiendo la generación de impactos negativos al medio ambiente.

Como primer objetivo específico se planteó evaluar el sistema actual de tratamiento de aguas residuales en la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha del distrito de Chinchero, comprobando que el sistema actual con el que cuenta la asociación de Ccoricancha es un pozo séptico el cual tiene la finalidad de tratar las aguas residuales municipales, las cuales están conformadas por las aguas residuales domésticas y pluviales que por el sistema de alcantarillado llegan a este sistema de tratamiento y de la misma forma que

Oymas & Aguilar (2021) el sistema no está logrando tratar las aguas residuales municipales correctamente debido a la falta de mantenimiento que presentan tanto el pozo séptico como la PTAR con la que contaba el distrito de Acomayo, algunas partes del sistema se colmataron impidiendo su correcto funcionamiento, así mismo coincide con Carrasco (2022), el cual indica que el efluente proveniente de la PTAR de Poroy está liberando un efluente que supera los LMP indicados en la normativa y generando un impacto ambiental negativo en los alrededores de la PTAR, al igual que el pozo séptico esta contaminando las chacras aledañas y el cuerpo de agua del río Ninantaynilloq lo cual se corroboró en la presente investigación.

Como segundo objetivo específico se planteó determinar los valores de los parámetros físico-químicos del efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales en la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha del distrito de Chinchero, en la investigación los valores iniciales encontrados provenientes del efluente del pozo séptico en los parámetros físico-químicos analizados fueron: DBO₅ tiene 160.13mg/l, en DQO tiene 198.67mg/l, SST tiene 75.17mg/l, turbidez tiene un 56 NTU y en pH 6.34 demostrando que no cumple con los LMP establecidos en el D.S. 003-2010-MINAN para efluentes de PTAR. Presentando similitud con los resultados obtenidos por Montes (2018), la cual evaluó parámetros iniciales los cuales demostraron tener una elevada carga de contaminantes superando lo indicado en la normativa siendo necesario la implementación de un sistema de tratamiento para las aguas residuales con la finalidad de reducir los niveles de contaminación. Así mismo presenta similitud con la investigación de Delgado (2022), en la cual se corroboró que los parámetros iniciales del agua residual domestica presenta una carga contaminante que sobrepasa los LMP establecidos en el acuerdo ministerial 097-A llegando a aplicar filtros como prototipos para reducir la carga

contaminante y mejorar los parámetros fisicoquímicos como microbiológicos que presentan las aguas residuales domésticas depurándolas en el proceso.

Como tercer objetivo específico se planteó determinar la eficiencia del filtro estático para tratar el efluente de aguas residuales municipales en la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha del distrito de Chinchero, al contrastar estos resultados con antecedentes científicos se observa que en el estudio realizado por Umasi (2020). Se determinó que la eficiencia de la aplicación del lombrifiltro, logrando una reducción de DBO de 88.33% en el caso de DQO tuvo una reducción 86.69%, en SST tuvo una remoción de 95%, el pH se alteró, pero después se estabilizo dentro de lo permitido en los LMP. De igual forma la investigación de Cartagena (2021), se evidencio un tratamiento eficiente de las aguas residuales domésticas del distrito de San Sebastián mediante el uso del sistema de lombrifiltro logrando tener una eficiencia de remoción en DBO5 de 63.77%, DQO de 60.45%, en SST de 92.74% en caso de turbidez logró obtener 3.07 NTU, pero en la presente investigación se encontró que la eficiencia al aplicar el sistema de filtro estático logro remover en DBO5 un 89.67%, DQO un 89.84%, SST un 97.63%, en pH casi neutro de 7.26 y en turbidez un 1.37NTU los cuales están dentro de los LMP indicados en el D.S. 003-2010-MINAM. Demostrando su eficiencia al tratar las aguas residuales municipales.

Como cuarto objetivo específico se planteó proponer un sistema de filtro estático en la asociación de productores propietarios agrícolas Ccoricancha en base a los resultados obtenidos, la investigación demuestra mediante los resultados obtenidos que el sistema propuesto, es apto para tratar las aguas residuales municipales provenientes del efluente del pozo séptico, debido a que logro mejorar los parámetros físico-químicos analizados que superaban los LMP indicados en la normativa. Llegando a obtener un agua tratada de calidad que puede ser descargada al

medio ambiente. Lo cual demuestra la eficiencia del sistema de filtro estático para tratar las aguas residuales municipales provenientes de la asociación. Al igual que CONAGUA (2023) los biofiltros son métodos para tratar las aguas residuales que demuestran tener una alta eficiencia, las cuales presentan un bajo costo de inversión, mantenimiento sencillo y su implementación es relativamente fácil.

VI. Conclusiones

- ❖ El sistema de filtro estático logró mejorar el tratamiento de aguas residuales municipales del efluente del pozo séptico en la asociación Ccoricancha del distrito de Chinchero, el filtro mejoro los parámetros físico-químicos del agua residual como una reducción significativa de los niveles de contaminación con los que contaba inicialmente, aumentando significativamente la calidad del agua tratada y obteniendo un efluente apto para su descarga al medio ambiente sin correr el riesgo de provocar un impacto negativo en zonas aledañas al pozo séptico.
- ❖ La evaluación del sistema actual (pozo séptico) de tratamiento de aguas residuales municipales en la asociación Ccoricancha del distrito de Chinchero demostró que el pozo séptico no logra tratar las aguas residuales correctamente, llegando a obtener una puntuación de 37 puntos mediante la matriz de visualización detallada, corroborando el mal estado en el que se encuentra el sistema actual, necesitando una intervención urgente para que el sistema de tratamiento vuelva a funcionar correctamente y no provoque la contaminación que actualmente presenta debido a su inadecuado funcionamiento.
- ❖ Los valores actuales de los parámetros físico-químicos que presenta el efluente del pozo séptico en la asociación Ccoricancha son altos y no cumplen con lo establecido en los LMP, en DBO₅ se obtuvo un 160.13 mg/l, en DQO un 198.67 mg/l, en SST un 75.17 mg/l, en PH un 6.33, en turbidez 56 NTU y en temperatura tiene 20.87 °C, con respecto al olor presenta un hedor desagradable, este efluente con estos valores es descargado directamente al ambiente. Los valores obtenidos superan los LMP establecidos por la normativa vigente del D.S. 003-2010MINAM, comprobando que las aguas residuales no están siendo tratadas correctamente y están provocando la contaminación de los alrededores del sistema de

tratamiento, en zonas que se realiza la agricultura y ganadería por los mismos socios de la asociación.

- ❖ La eficiencia de la ampliación del sistema de filtro estático para tratar las aguas residuales municipales provenientes del efluente en la asociación Ccoricancha, obtuvo una reducción de la carga contaminante como una mejora en los parámetros físico-químicos, en DBO_5 se redujo un 89.67%, en SST un 97.63% y en DQO un 89.84%. corroborando así su alta eficiencia para tratar de aguas residuales municipales, además logro que los parámetros analizados después del tratamiento mediante el sistema de filtro estático estén dentro de lo establecido en la normativa cumpliendo con los LMP para su descarga al medio ambiente.
- ❖ Con los resultados obtenidos se evidencia que el sistema de filtro estático logra tratar las aguas residuales municipales de la asociación Ccoricancha, siendo una alternativa eficiente para la mejora del sistema de tratamiento de aguas residuales municipales que presenta actualmente la asociación, que puede ser propuesta e implementada en la asociación y en otras zonas rurales que presenten la misma problemática ambiental ya que no solo se obtiene un efluente de mejor calidad sino que contribuye a la mejora de la gestión del recurso hídrico.

VII. Recomendaciones

- ❖ La JASS responsable debe realizar monitoreos y mantenimientos preventivos al sistema de tratamiento actual de aguas residuales municipales para prevenir la contaminación de los alrededores, reducir el impacto ambiental en zonas aledañas y estar dentro de la normativa vigente (LMP).
- ❖ Para futuras investigaciones, se recomienda realizar mayores análisis en cuanto a los parámetros estudiados e incluir análisis microbiológicos (coliformes termotolerante, escherichia coli y huevos de helmintos) como también los análisis de metales pesados debido a que en esta investigación no se incluyeron.
- ❖ También se recomienda incrementar la altura de las capas del filtro estático con el fin de optimizar la remoción de los parámetros físico-químicos del agua residual lo que permitirá obtener un agua tratada de mejor calidad que tenga el potencial de ser reaprovechado en otras actividades.
- ❖ Se recomienda incrementar al final del sistema de filtro estático una etapa de cloración para que el tratamiento sea más completo y pueda ser reutilizada para otras actividades.
- ❖ Por último, se recomienda que el tanque de filtración debe presentar una mayor capacidad de almacenamiento en lo posible el doble de volumen del tanque de almacenamiento para poder mejorar el proceso de filtrado (flujo de agua residual), además debe contar con un operario que controle el sistema de bombeo y apertura de llaves para que el flujo de agua que ingrese al sistema sea constante.

VIII. Referencias

- MITA Water Technologies S.r.l. (26 de Noviembre de 2024). *MITA Water - Filtración terciaria de aguas residuales*. MITA Water - Filtración terciaria de aguas residuales: <https://www.mitawatertechnologies.com/es/tecnologias/filtracion-terciaria-de-aguas-residuales/>
- Sandoval Quispe, L., & Yupanqui Quispe, J. (29 de Octubre de 2022). *Repositorio de Universidad Continental*. Repositorio de Universidad Continental: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13861/9/IV_FIN_107_TE_Sandoval_Yupanqui_2023.pdf
- Agencia de Protección Ambiental. (21 de Febrero de 2025). *Agencia de Proteccion Ambiental de Estados Unidos*. Agencia de Proteccion Ambiental de Estados Unidos: <https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-sobre-la-proteccion-de-las-fuentes-de-agua#:~:text=Una%20fuente%20de%20agua%20se,potable%20y%20a%20los%20pozos%20privados.>
- Alvarez, G. (13 de junio de 2017). *INAU*. INAU: https://inau.gub.uy/content_page/download/4282/2000/16#:~:text=OBSERVACI%C3%93N%20NO%20ESTRUCTURADA%20NO%20REGULADA,ayuda%20de%20medios%20t%C3%A9cnicos%20especiales.
- Arana, H. J. (18 de Julio de 2022). *Repositorio Institucional Continental*. Repositorio Institucional Continental: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11525>
- Arias, F. G. (Julio de 2012). *Google Academic*. Google Academic: <https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=W5n0BgAAQBAJ&oi=fnd&pg=P>

A11&dq=nivel+explicativo+segun+autores&ots=kZlQhJyw15&sig=AdZHIwCpV9A7
ofeFzKOWdebxY8Y#v=onepage&q&f=false

Arias, Y. G., & Tiquillahuanca, Y. L. (2018). *Repositorio de la Universidad Señor de Sipan*.

Repositorio de la Universidad Señor de Sipan: chrome-
extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/
handle/20.500.12802/5770/Tiquillahuanca%20Mechan%20%26%20Arias%20Fernand
ez.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Augusto de Lemos, C., & Bressani, T. (21 de febrero de 2023). *Tratamiento de aguas residuales*

municipales. Tratamiento de aguas residuales municipales:
https://publications.iadb.org/es/tratamiento-de-aguas-residuales-municipales

Baldizón, I. M. (2019). II UNIDAD: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. En I. M.

Aguilar, *Ingeniería Sanitaria II* (págs. 129 - 167).

Caicedo Campoverde, J. A. (2017). *REPOSITORIO*.

https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/db25a2e3-41a2-40ad-
b70e-7060bbf66ba9/content

Carrasco, J. I. (2022). *Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo*. Repositorio de la

Universidad Cesar Vallejo: https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/22384

Carrion, J. (2019). *Repositorio de la Universidad Nacional de Trujillo*. Repositorio de la

Universidad Nacional de Trujillo: https://dspace.unitru.edu.pe/items/6f61a8f5-61b6-
49b3-88a4-963de5c3557f

Cartagena, M. M. (2021). *Repositorio UCV*. Repositorio UCV:

https://hdl.handle.net/20.500.12692/72655

- Castillo, J. G., & Chimbo, J. E. (Febrero de 2021). *SPAM SMLF*. Repositorio SPAM SMLF: <https://repositorio.esпам.edu.ec/handle/42000/1434>
- Ccorimanya, J. Y., & Elorrieta, P. M. (setiembre de 2024). *Repositorio UTEA*. Repositorio UTEA: <https://repositorio.utea.edu.pe/bitstreams/fac13014-2d1e-48ea-a174-5fe3e007c4a3/download>
- Choquevilca, W. (2023). *Purificacion y tratamiebt de agua para uso poblacional*. cusco, cusco, cusco.
- CONAGUA . (agosto de 2023). *INA*. INA: chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj/<https://repositorio.ina.gob.ar/server/api/core/bitstreams/cd9c5cb2-f4f4-4d33-bbd0-e455b27dcc11/content>
- Coronel, N. (29 de Julio de 2015). *Repositorio de la Escuela Superior Politecnica de Chimborazo*. Repositorio de la Escuela Superior Politecnica de Chimborazo: <https://core.ac.uk/download/pdf/234574519.pdf>
- Decima. (26 de Febrero de 2024). Revista Tecnologica y Cientifica. *Elaboración y evaluación de un filtro purificador de agua casero con carbón activado previamente preparado y su reproducción por estudiantes avanzados del nivel secundario*, pág. 23. <https://doi.org/https://doi.org/10.33414/rtyc.49.14-36.2024>
- Decima, S. (16 de Febrero de 2024). *Universidad Tecnologica Nacional*. Universidad Tecnologica Nacional: <https://rtyc.utn.edu.ar/index.php/rtyc/article/view/1284/1222>
- Delgado, G. A. (03 de mayo de 2022). *UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR*. UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR: chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj/<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/DELGADO%20PINTO%20GERSON%20AARON.pdf>

- Díaz, R. E. (21 de Noviembre de 2021). *Repositorio Universidad Privada del Norte*. Repositorio Universidad Privada del Norte: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/27753>
- Fundación Publica Andaluza (CENTA). (2019). *Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales*. Bolibia: CEDEX.
- Gamarra, B. (27 de octubre de 2021). *Repositorio Institucional Continental*. Repositorio Institucional Continental: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10204>
- Gobierno Regional Cusco. (2023). *Plan Regional de Saneamiento del Gobierno Regional Cusco 2023 -2027*. Cusco: GORE CUSCO.
- Hernández, R. (29 de abril de 2014). *Metodologia de la investigacion 6 Edicion*. Metodologia de la investigacion 6 Edicion: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Humanante, J. J. (15 de Junio de 2022). *Scielo Peru*. Scielo Peru: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2414-10462022000200177
- INDUCOM. (12 de Agosto de 2024). *INDUCUM Soluciones Industriales*. INDUCUM Soluciones Industriales: <https://inducum.com.pe/bomba-de-agua-pequena-beneficios-y-aplicaciones/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20una%20Bomba%20de,se%20necesita%20una%20soluci%C3%B3n%20port%C3%A1til>.

- Loro, A. C. (2018). *Repositorio de la universida Cientifica del Sur*. Repositorio de la universida Cientifica del Sur:
<https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/567?show=full>
- Mejía, J. A. (2023). *Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo*. Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/130986/Mej%c3%ada_IJA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Metcalf & Eddy. (1995). *ingenieria de aguas residuales*. España: Copyright © MCMXCI, por McGraw-Hill, Inc.
- MINAM . (17 miercoles de MARzo de 2010). *Sistema Nacional de Informacion Ambiental*. SINIA: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/limites-maximos-permisibles-lmp-efluentes-plantas-tratamiento-aguas>
- MINAN. (Junio de 2017). *Ministerio del Ambiente*. Ministerio del Ambiente: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2013). *SINIA*. SINIA: <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sial-sialtrujillo/archivos/public/docs/2478.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (03 de Setiembre de 2019). *SINIA Sistema Nacional de Informacion Ambiental*. SINIA Sistema Nacional de Informacion Ambiental: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/protocolo-monitoreo-calidad-efluentes-las-plantas-tratamiento-0>
- Montes, O. (2018). *Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo*. Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/55361>

- Municipalidad de Chinchero. (2016). *PLAN DE DESARROLLO LOCAL CONCERTADO CHINCHERO AL 2021*. Chinchero .
- Nathan, y. (08 de Julio de 2011). *The Information Lab*. The Information Lab: Visualize This: The Flowing Data Guide to Design, Visualization, and Statistics by Nathan Yau
- OEFA. (2014). *Fiscalizacion ambiental en aguas residuales* . Lima: OEFA.
- OMS. (13 de setiembre de 2023). *Organizacion mundial de la salud*. OMS: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Ortega, C. (2023). *Blog CruestionPro*. Blog CruestionPro: <https://www.questionpro.com/blog/es/prueba-t-de-student/>
- Osorio Rivera, M. (01 de Marzo de 2021). *Polo del Conocimiento*. Polo del Conocimiento: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es>
- Osorio Rivera, M. A., Carrillo Barahona, W. E., Loor Lalvay, X. A., Negrete Costales, J. H., & Riera Guachichulca, E. J. (01 de marzo de 2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *polo del conocimiento*, pág. 18.
- Oymas, R. E., & Aguilar, J. J. (09 de septiembre de 2022). *Repositorio de la Universidad Continental*. Repositorio de la Universidad Continental: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11790>
- Parra, J. J. (24 de Julio de 2023). *Universidas de Cuenca*. Universidas de Cuenca: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/42492/1/Trabajo-de-Titulaci%c3%b3n.pdf
- Ponce, V. M. (12 de Agosto de 2021). *Universidad Nacional de San Martin*. Universidad Nacional de San Martin: <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-de-san-martin-peru/gestion-ambiental/la-matriz-de-leopold/65544078>

- Ramos, C. (junio de 2021). *DISEÑOS DE INVESTIGACIÓN*. DISEÑOS DE INVESTIGACIÓN: <file:///C:/Users/Alonsitho/Downloads/Dialnet-Editorial-7890336.pdf>
- Rodríguez, V., & Escobar, J. (Agosto - Setiembre de 2018). *UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR*. UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR: <https://www.agronomia.ues.edu.sv/agrociencia/index.php/agrociencia/article/view/82/97>
- Rossi, G. (2017). *Repositorio de la UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN*. Repositorio de la UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/acd2296e-ef91-4701-9069-1e8777bc2462/content>
- Rossi, G. (2017). *Repositorio de la UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN*. Repositorio de la UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN : <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/acd2296e-ef91-4701-9069-1e8777bc2462/content>
- Salazar Miranda, P. I. (13 de Julio de 2005). *Repositorio de la universidad Austral de Chile*. Repositorio de la universidad Austral de Chile: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcis161s/doc/bmfcis161s.pdf>
- Salazar, P. I. (2005). *Repositorio de la UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE*. Repositorio de la UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcis161s/doc/bmfcis161s.pdf>
- Santillan, A. L. (07 de Diciembre de 2021). *Repositorio de la Universidad Privada del Norte*. Repositorio de la Universidad Privada del Norte: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/29187>

- SOGUAPAC. (12 de Febrero de 2022). *¿Qué son las aguas negras y grises y cuál es su impacto en el medioambiente?* ¿Qué son las aguas negras y grises y cuál es su impacto en el medioambiente?: <https://www.saguapac.com.bo/que-son-las-aguas-negras-y-grises-y-cual-es-su-impacto-en-en-medioambiente/>
- SUNASS. (2022). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del ámbito de las empresas prestadoras de servicios de saneamiento*". Lima: SUNASS.
- Torres, S. L., & Castañeda, N. L. (2023). *Universidad Catolica de Colombia*. Universidad Catolica de Colombia: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/4657ab25-a240-49c8-9733-0c4fe543e8dd/content>
- Umasi, E. I. (22 de Diciembre de 2020). *Repositorio de la Universidad peruana Union*. Repositorio de la Universidad peruana Union: <https://repositorio.upeu.edu.pe/items/97160c93-e97f-4e43-91bc-219689c716d6>
- UNESCO . (01 de julio de 2024). *Unesco Water for prosperity and peace*. Unesco Water for prosperity and peace: <https://www.unesco.org/es/articles/informe-mundial-de-las-naciones-unidas-sobre-el-desarrollo-de-los-recursos-hidricos-2024-agua-para>
- UNESCO. (2017). *Aguas Residuales el Recurso Desaprovechado*. Francia: UNESCO.
- UNESCO. (2019). *No dejar a nadie atras*. Francia: UNESCO.
- Vera Zelada, P., Vera Zelada, L., Saucedo Osorio, E., & Mamani Arias, L. (10 de Julio de 2023). *RECAE*. RECAE: file:///C:/Users/Alonsitho/Downloads/admin,+a2-e511+P.pdf

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes