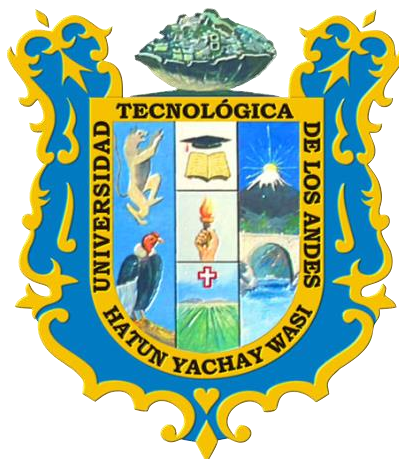


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
RECURSOS NATURALES**



Tesis

**Eficiencia del proceso físico, químico y biológico de la planta de tratamiento de
aguas residuales del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros - Apurímac,
2023**

Asesor:

Dr. Núñez Fernández, Anderson

Autor:

Pacheco Jerí, Marx Thonny

Para optar por el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Abancay - Apurímac –Perú

2024



Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales
"Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo"

ACTA DE TITULO N°. 009-2024-UTEA-FI-EPIARN

Reunidos los Jurados constituidos por los señores Docentes:

- | | |
|---------------------------------|-------------------------|
| • Mg. Kristhel J. Calderón Aedo | PRESIDENTE. |
| • Mg. Jessica Alvarado Ramos | PRIMER MIEMBRO. |
| • Mg. Yhon Fuentes Huamán | SEGUNDO MIEMBRO. |

El postulante al TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

Don (ña): **PACHECO JERI, Marx Thony**; ha cumplido con las exigencias del Reglamento General de Grados y Titulos de la Universidad Tecnológica de los Andes y el Reglamento de Grados y Titulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales.

MODALIDAD DE (*) **SUSTENTACIÓN DE TESIS.**

INTITULADA: **Eficiencia del proceso físico, químico y biológico de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros- Apurímac, 2023**

Habiendo aprobado con la nota de: **CATORCE (14).**

Se extiende el Acta, conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, folio(s) N° 142 y 143.

Abancay, 15 de octubre del 2024.


.....
Mg. Kristhel J. Calderón Aedo
PRESIDENTE


.....
Mg. Jessica Alvarado Ramos
**PRIMER MIEMBRO
DICTAMINANTE**


.....
Mg. Yhon Fuentes Huamán
**SEGUNDO MIEMBRO
DICTAMINANTE**

Eficiencia del proceso físico, químico y biológico de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros - Apurímac, 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

20% INDICE DE SIMILITUD	20% FUENTES DE INTERNET	11% PUBLICACIONES	9% TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------	--------------------------------------

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	repositorio.upsc.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante	1%
4	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%

Metadatos Complementarios

Datos del Autor	
Apellidos y nombres	: Pacheco Jerí, Marx Thonny
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 70048926
URL ORCID	:
Datos del Asesor	
Apellidos y nombres	: Núñez Fernández, Anderson
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 43478034
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0002-6565-0392
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	: 2023-2024
Fuente de financiamiento	: Autofinanciada
Porcentaje de similitud	: 20%
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01

Dedicatoria

Primeramente dedico mi tesis a Dios, quien en todo momento me dio la fuerza necesaria para cumplir esta meta.

A mis padres, hermanos y mi pareja, por brindarme su apoyo incondicional con paciencia y amor, y así poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos, demostrando ser un mejor profesional por vocación al servicio de mi país.

Agradecimientos

- ✓ Agradezco a la Universidad Tecnológica de los Andes que me exigió tanto y al mismo tiempo haberme permitido obtener mi tan anhelado título. A cada directivo por su comprensión y gestión, sin la cual no la hubiera podido llevar a cabo.
- ✓ Agradezco a mi asesor de tesis Dr. Anderson Núñez Fernández, por haberme tenido paciencia y haber sido esa persona que pudo explicarme cada detalle durante la elaboración de la tesis, en base a su vasta experiencia y sabiduría, el cual ha sabido direccionar todos mis conocimientos y plasmarlos en mi tesis y así servir de fuente para futuras investigaciones, a la Mg. Elena Elvira Gonzales Mamani y a la Mg. Jessica Alvarado Ramos, quienes al haber sido mis dictaminantes me proporcionaron tiempo y conocimientos para poder mejorar y concluir mi investigación.

Resumen

El presente estudio tiene el objetivo de evaluar la eficiencia de eliminación de contaminantes mediante los procesos físicos, químicos y biológicos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros-Apurímac, 2023. El método empleado en la presente investigación fue inductivo-deductivo, de tipo básica, con un nivel descriptivo y un diseño no experimental. Para poder comprobar el objetivo principal, se tomaron muestras en los puntos del afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ranracancha. Los resultados del laboratorio y el cálculo de la eficiencia mostraron un valor medio de depuración, evidenciando niveles moderados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), las muestras recolectadas en el afluente evidenció una demanda bioquímica de oxígeno de 76.8 mg/L, una demanda química de oxígeno de 155.5 mg/L, Sólidos Totales en Suspensión (STS) de 86 mg/L y presencia de coliformes termotolerantes de 22000 NMP/100 ml; mientras que en el efluente, se obtuvo una demanda bioquímica de oxígeno de 41.9 mg/L, una demanda química de oxígeno de 84.8 mg/L, sólidos totales en suspensión de 62 mg/L y presencia de coliformes termotolerantes de 1700 NMP/100 ml. Por lo que se concluye que la planta de tratamiento de aguas residuales de Ranracancha está cumpliendo con el proceso de depuración con una eficiencia media según los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de plantas de tratamiento domésticas o municipales, para de esta manera preservar la calidad del agua y su entorno.

Palabras clave: tratamiento de aguas residuales, eficiencia, afluente y efluente.

Abstract

The objective of this study is to evaluate the efficiency of contaminant removal through the physical, chemical and biological processes of the Wastewater Treatment Plant (WWTP) of the Ranracancha district, province of Chincheros-Apurímac, 2023. The method used in this research was inductive-deductive, basic, with a descriptive level and a non-experimental design. In order to verify the main objective, samples were taken at the influent and effluent points of the Ranracancha wastewater treatment plant. The laboratory results and the efficiency calculation showed an average purification value, evidencing moderate levels of Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD), the samples collected in the tributary showed a biochemical oxygen demand of 76.8 mg/L, a chemical oxygen demand of 155.5 mg/L, Total Suspended Solids (STS) of 86 mg/L and presence of thermotolerant coliforms of 22000 NMP/100 ml; while in the effluent, a biochemical oxygen demand of 41.9 mg/L, a chemical oxygen demand of 84.8 mg/L, total suspended solids of 62 mg/L and the presence of thermotolerant coliforms of 1700 NMP/100 ml were obtained. Therefore, it is concluded that the Ranracancha wastewater treatment plant is complying with the purification process with an average efficiency according to the Maximum Permissible Limits (LMP) for the effluents of domestic or municipal treatment plants, in order to preserve the quality of the water and its environment.

Keywords: wastewater treatment, efficiency, influent and effluent.

Índice general

Portada	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos Complementarios	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice general	ix
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xii
Índice de anexos	xiii
I. Introducción	14
II. Planteamiento del Problema	17
2.1 Descripción y Formulación del Problema	17
2.1.1 Problema General	21
2.1.2 Problemas Específicos	21
2.2. Objetivos	21
2.2.1 Objetivo General	21
2.2.2 Objetivos Específicos	21
2.3. Justificación e Importancia	22
2.4 Hipótesis	23
2.4.1 Hipótesis General	23
2.4.2 Hipótesis Específicas	23
2.5 Variables	24
III. Marco teórico	26
3.1. Antecedentes	26
3.1.1 A Nivel Internacional	26

3.1.2	A Nivel Nacional	29
3.1.3	A Nivel Regional o Local	33
3.2.	Bases Teóricas	34
3.3.	Definición de Términos	46
IV.	Metodología	49
4.1.	Tipo y Nivel de Investigación	49
4.1.1	Tipo	49
4.1.2	Nivel	49
4.2.	Ámbito Temporal y Espacial	49
4.2.1	Temporal	49
4.2.2	Espacial	49
4.3.	Población y Muestra	53
4.3.1	Población	53
4.3.2	Muestra	53
4.3.3	Muestreo	53
4.4.	Instrumentos	54
4.4.1	Técnicas	54
4.4.2.	Instrumentos	62
4.5.	Procedimientos	64
4.6.	Análisis de Datos	65
4.7.	Consideraciones Éticas	65
V.	Resultados y Discusión	66
5.1.	Resultados	66
5.2.	Discusión de Resultados	80
VI.	Conclusiones	83
VII.	Recomendaciones	85
VIII.	Referencias	86
IX.	Anexos	¡Error! Marcador no definido.

Índice de tablas

Tabla 1 Operacionalización de variable	25
Tabla 2 LMP para los efluentes de PTAR a un cuerpo de agua	45
Tabla 3 Coordenadas UTM (WGS84) de la PTAR de Ranracancha	50
Tabla 4 Coordenadas UTM (WGS84) de los puntos de monitoreo en la PTAR de Ranracancha	55
Tabla 5 Determinación de los caudales promedios del afluente y efluente de la PTAR (L/s)	58
Tabla 6 Toma de muestras de agua residual y preservación de las muestras	60
Tabla 7 Parámetros y métodos de análisis en laboratorio: INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.	62
Tabla 8 Materiales y equipos para la toma de muestras	64
Tabla 9 Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ranracancha	66
Tabla 10 Nivel de concentración del pH vs LMP	71
Tabla 11 Nivel de concentración de sólidos totales en suspensión vs LMP	72
Tabla 12 Nivel de concentración de la temperatura vs LMP	73
Tabla 13 Nivel de concentración de aceites y grasas vs LMP	74
Tabla 14 Nivel de concentración de la DBO5 vs LMP	75
Tabla 15 Nivel de concentración de la DQO vs LMP	76
Tabla 16 Nivel de concentración de coliformes termotolerantes vs LMP	78

Índice de figuras

Figura 1 Filtros percoladores.....	43
Figura 2 Esquema de una PTAR	44
Figura 3 Ubicación de la zona geográfica del distrito de Ranracancha	50
Figura 4 Delimitación espacial de la PTAR de Ranracancha.....	51
Figura 5 Eficiencia de los parámetros fisicoquímicos de la PTAR de Ranracancha para A y G, DBO5, DQO y SST	68
Figura 6 Eficiencia del parámetro biológico de la PTAR de Ranracancha para coliformes termotolerantes.....	69
Figura 7 Nivel de concentración del pH vs LMP	71
Figura 8 Nivel de concentración de sólidos totales en suspensión vs LMP	72
Figura 9 Nivel de concentración de la temperatura vs LMP.....	73
Figura 10 Nivel de concentración de aceites y grasas vs LMP	75
Figura 11 Nivel de concentración de la DBO5 vs LMP	76
Figura 12 Nivel de concentración de la DQO vs LMP	77
Figura 13 Nivel de concentración de coliformes termotolerantes vs LMP	78

Índice de anexos

No se encuentran elementos de tabla de ilustraciones.

I. Introducción

El aumento en la población ha generado un notable incremento en el consumo de agua y la producción de efluentes domésticos. Este fenómeno ha ocasionado diversos impactos ambientales que van desde las actividades cotidianas en los hogares hasta los procesos industriales. Tanto el uso doméstico, como el industrial, incluyendo desde el uso de sanitarios hasta la irrigación en cultivos, contribuyen a la creciente demanda de agua, resultando inevitablemente en la producción de aguas residuales.

El objetivo de la depuración de efluentes es eliminar los contaminantes para la reutilización utilizando procesos físicos, químicos y biológicos. Numerosas ciudades globales han construido plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en respuesta a esta situación. Estas instalaciones cumplen con las regulaciones y producen efluentes que cumplen con las normas a través de un proceso sistemático.

Evaluar la eficiencia de las PTAR es crucial para comprender el impacto en los recursos hídricos de la descarga de agua tratada. Estas medidas previenen cambios medioambientales, reducen la degradación de la biodiversidad y reducen los riesgos para la salud pública.

El 17 de marzo de 2010 se conmemora la fecha en que el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM fija los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de PTAR domésticas o municipales. Los propietarios de las PTAR deben cumplir con los requisitos para el monitoreo de efluentes como se describe en el Protocolo de Monitoreo de Calidad. El protocolo debe abordar la ubicación, los métodos y las técnicas de los puntos de control, junto con los parámetros y la frecuencia de muestreo para cada uno.

En el distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros-Apurímac, 2023, el objetivo principal del estudio fue evaluar la eficiencia de eliminación de contaminantes en la PTAR. Esta tesis se ha distribuido en los siguientes capítulos:

Capítulo I. Se contempla la introducción al trabajo de investigación, identificando de manera global los aspectos que implican las aguas residuales en cuanto a los problemas

que generan en el ambiente y en la salud humana, y así también comparar con la normativa nacional vigente para el cumplimiento de los efluentes de la PTAR de Ranracancha.

Capítulo II. Se identifica la realidad problemática teniendo en cuenta una visión global, nacional y local; en la cual detallo de qué manera afectamos el ambiente y los efectos que generan en nosotros mismos, al no disponer de tecnologías adecuadas o aun así contando con ellas no se cumplen con los estándares de vertimiento debido a malas prácticas en la operación y mantenimiento de las PTAR, por otro lado la PTAR de Ranracancha se encuentra con una eficiencia de depuración media en el tratamiento de aguas residuales, aun así se pueden mejorar estos valores operando de mejor manera cada uno de los sistemas. Por esto nace el tema de investigación y hacerla viable para poder servir de sustento a futuros investigadores y autoridades locales, y así tomar acciones para mejorar los parámetros de vertimiento dentro del distrito y no afectar al río que recibe toda la descarga de la PTAR.

Capítulo III. Se detalla el marco teórico en la cual la información plasmada muestra las realidades de muchas PTAR, gracias al estudio de tesis a nivel global, y no solamente ver estos valores de los efluentes líquidos, sino también evaluar que daños están generando, como podemos mejorar y servir como base para otras investigaciones. Para entender es necesario conocer conceptos en tratamiento de aguas residuales, parámetros físicos, químicos y biológicos; además de tecnologías y tipos de tratamiento mediante el uso de medios naturales o artificiales para obtener un efluente que presente menor cantidad de contaminantes.

Capítulo IV. La eficiencia promedio de la PTAR del distrito de Ranracancha en el tratamiento de aguas residuales se determinó utilizando la siguiente metodología, estos valores responden a un diseño de investigación no experimental, tipo de investigación básica, nivel de investigación descriptiva y metodología inductiva-deductiva. En consecuencia, las aguas residuales de la PTAR de Ranracancha sirvieron de población de estudio. Se recogieron un total de 16 muestras -ocho en la entrada y ocho en la salida- del afluente y el efluente respectivamente de la PTAR, equivalentes a un total 9.6 L de aguas

residuales recolectadas; para lo cual se tomó todas las previsiones del caso de inocuidad de los materiales a utilizar y no exponerme a los contaminantes presentes en el agua residual doméstica, así como la correcta preservación y transporte de las muestras para evitar errores en su evaluación; y finalmente poderlos comparar con los LMP para efluentes de PTAR domésticas, según lo emitido por el D.S. N° 003-2010-MINAM.

Capítulo V. Se detallan los resultados obtenidos y discusiones plasmadas mediante la comparación con los autores de otros trabajos de investigación citados en la tesis, así también se contrastó la evaluación de los parámetros los cuales están cumpliendo los LMP.

Capítulo VI y VII. En relación a los resultados obtenidos y las discusiones realizadas, se plantearon las conclusiones y recomendaciones correspondientes para poder mejorar la eficiencia de tratamiento en toda la PTAR proveniente del uso de los habitantes del distrito de Ranracancha.

II. Planteamiento del Problema

2.1 Descripción y Formulación del Problema

“En las últimas décadas, las actividades antropogénicas, junto con la rápida urbanización e industrialización, han generado una presión ecológica sobre el medio ambiente acuático que afecta directa o indirectamente en la salud humana” (Aniyikaiye et al., 2019, p. 1). Un claro ejemplo es la generación de aguas residuales, estas provienen de “aguas residuales sin tratar emitidas por actividades antropogénicas, mientras que los efluentes de aguas residuales se refieren a aguas residuales tratadas o no tratadas de forma efectiva en una planta de tratamiento” (Makuwa et al., 2020, p. 1). “En todo el mundo, 2100 millones de personas carecen de acceso al agua potable y alrededor de 4500 millones no tienen acceso a un saneamiento adecuado” (Aniyikaiye et al., 2019, p. 2).

En Sudáfrica, el 19% de la población rural carece de acceso a agua potable y, por lo tanto, se continúa dependiendo de la utilización de aguas superficiales no tratadas, que a menudo están contaminadas por efluentes de aguas residuales contaminadas. Si bien se han desarrollado plantas de tratamiento con el fin de cumplir con las normas y estándares de descarga, el crecimiento intensificado de la población sudafricana constituye la problemática más difícil de controlar, en vista de que se cuenta en la actualidad con grandes descargas de volúmenes de aguas residuales al medio ambiente y, en consecuencia, contaminantes ambientales que son una amenaza para la salud pública. (Makuwa et al., 2020, p. 1)

Otro acontecimiento de mayor escala se encuentra en la India. País donde se encuentra el Yamuna, uno de los ríos más contaminados del mundo. El principal causante del deterioro de dicho río se debe a la presencia de los vertidos de las industrias, las aguas residuales parcialmente tratadas o sin tratar y los residuos agrícolas. Casi el 85% de la contaminación total del río Yamuna se da a través de las fuentes domésticas e industriales, principalmente de las ciudades urbanas como

Delhi y otras aledañas. Delhi lidera la lista de ciudades con una carga de contaminación del 79% en el río Yamuna (Joshi et al., 2022).

Debido a la degradación de la calidad del agua del río Yamuna, el Plan de Acción de Yamuna (YAP-I) fue lanzado en 1993 por el Ministerio de Medio Ambiente y Bosques (MoEF) de India para rejuvenecer el río Yamuna, especialmente en el segmento de Delhi que tiene la máxima carga de contaminación. Otras ciudades como Haryana y Uttar Pradesh, también se incluyeron junto con Delhi, y en conjunto se estimó una inversión de más de 130 millones de dólares designados a la creación de nuevas plantas de tratamiento. Sin embargo, en vista de que la densidad poblacional se incrementó de manera descontrolada, estudios recientes del 2021 demuestran que no se están obteniendo resultados favorables en la mejora de la calidad del agua del río Yamuna. Ya que los valores de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) se ven por encima de los límites superiores. Asimismo, la alcalinidad total rara vez cumple con los estándares mínimos.

Por otro lado Colombia, es un país caracterizado por su variedad de fuentes hídricas, las cuales han sido afectadas de manera paulatina por vertimientos que no consideran el impacto o las consecuencias ambientales producidas. Esto no solo altera negativamente al ecosistema, sino que indirectamente a la población con problemas de salud pública, bienestar y carencia del recurso hídrico de excelente calidad. Al año 2011, se había intervenido alrededor del 30% de las aguas residuales totales, generadas o recibidas por el alcantarillado; sin embargo, el 70% restante se vierte sin ningún control; observando así, un déficit en cuanto a la eficiencia y aplicación en las PTAR. (Vargas et al., 2020, p. 316)

“En Latinoamérica el 48% de la población está conectada a sistemas de alcantarillado convencional y 31% a sistemas individuales, solo el 14% es tratada donde el 6% recibe adecuado tratamiento” (Núñez, 2020, p. 91).

A través de un estudio de envergadura mundial, se presenta una base de datos denominada HydroWASTE, quien tomó registro de 58 502 Plantas de Tratamiento

de Aguas Residuales (PTAR) y sus características a nivel mundial. Esta base de datos se desarrolló en combinación, tanto de datos nacionales como regionales, y se menciona a Perú en cuestión de un análisis correspondiente al 2018. Se tomó en cuenta un total de 184 PTAR por medio del reporte emitido por SUNASS; la evaluación resultante indicó que como país, se encuentra por debajo del promedio establecido como país responsable y eficiente con el tratamiento de las aguas residuales. (Ehalt et al., 2022, p. 563)

En efecto, en Perú se tiene solo 53 PTAR que se les podría asignar como exitosas. De las 204 PTAR existentes en el territorio nacional y su administración por 51 Empresas Prestadoras de Servicio (EPS), se determinó que solo el 26% contribuye al cuidado del medio ambiente a través de sus efluentes en canales de regadíos. Asimismo, se supo que solo el 32% de las PTAR cumplen con los valores exigidos por los Límites Máximos Permisibles (LMP); mientras que, el 68% no tiene la capacidad necesaria para lograr alcanzarlo. La mayor dificultad de las PTAR peruanas se encuentra en la falta de tratamientos efectivos para reducir los coliformes termotolerantes y aquellos parámetros como el DQO y DBO. (Núñez, 2020, p. 91)

La provincia de Chincheros, se encuentra en la región de Apurímac, a una altura de 2795 msnm, la cual, según el último registro censal, se conforma por una población de 47 522 habitantes y cuenta con una superficie de 1246,77 km². Asimismo, cuenta con 11 distritos, entre ellos, Ancohuayllo, Chincheros, Cocharcas, Huaccana, Ocobamba, Ongoy, Uranmarca, Rocchac, El Porvenir, Los Chancas y Ranracancha y 560 centros poblados adheridos, así como existen 11 Áreas Técnicas Municipales (ATM) según el Diagnóstico sobre el Abastecimiento de Agua y Saneamiento en el Ámbito Rural (DATASS), Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS) y el Gobierno Regional. Cabe mencionar que, existe un 48,8% de brecha de calidad de agua en cuanto al cloro residual utilizado en las pequeñas ciudades de la provincia de Chincheros, además, se considera dicha provincia con los niveles

más bajos de continuidad del servicio de agua potable a nivel regional. Aunado a ello, se estima que 10 167 personas carecen del servicio de agua potable y 13 036 personas no acceden al servicio de alcantarillado. (Plan regional de saneamiento, 2020)

El distrito de Ranracancha, cuenta con 12 comunidades campesinas tales como: Villa el Salvador, San Cristóbal, Llatanaco, Padre Rumi, Ccenhua, Santa Rosa, Huaribamba, San Martín, Sinhuapata, Occepata, Ranracancha y Huacsone, con más de 4589 habitantes. Por otro lado, cabe mencionar que los servicios de saneamiento en el ámbito urbano son prestados por la municipalidad de Ranracancha, la cual, según el diagnóstico de Agua y Saneamiento en Pequeñas Ciudades del MVCS, el servicio de agua potable es cubierto al 100% en el distrito, así como el servicio de disposición sanitaria de excretas. (Plan regional de saneamiento, 2020)

Actualmente, el distrito de Ranracancha está experimentando un aumento de la población, lo que produce más aguas residuales, así mismo la PTAR de Ranracancha viene funcionando desde octubre del 2016 alrededor de 7 años, con la dotación del servicio a aproximadamente 900 usuarios, los cuales generan un caudal promedio de aguas residuales de 2.15 L/s y mantenimiento rutinario a cargo de la municipalidad distrital de Ranracancha y las comunidades de San Antonio, Villa El Salvador y San Cristóbal. Sin embargo, según el diagnóstico la municipalidad distrital de Ranracancha no cumple con el protocolo de monitoreo de calidad para efluentes de plantas de tratamientos de aguas residuales domésticas o municipales, no cumpliendo así los monitoreos para la evaluación de las aguas residuales, por lo que no se cuenta con la data correspondiente, razón por la cual se realizaron los monitoreos para el trabajo de investigación. Además se necesitaría un personal capacitado, el cual realice la operación y mantenimiento constante de la PTAR de Ranracancha, ya que lo realizan los mismos pobladores a cargo de la municipalidad, de esta manera se evitaría la acumulación de residuos sólidos mayores y arenas, los cuales se evidenciaron mediante los registros fotográficos, por consiguiente el entorno natural, la

salud de las personas y la calidad del agua del río Ranracancha se verían mínimamente afectados.

2.1.1 Problema General

¿Cuál es la eficiencia de eliminación de contaminantes en la PTAR del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros-Apurímac, 2023?

2.1.2 Problemas Específicos

- ✓ ¿Los parámetros físicos en el afluente cumplen con los LMP en la PTAR del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros-Apurímac, 2023?
- ✓ ¿Los parámetros químicos en el afluente cumplen con los LMP en la PTAR del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros-Apurímac, 2023?
- ✓ ¿Los parámetros biológicos en el afluente cumplen con los LMP en la PTAR del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros-Apurímac, 2023?
- ✓ ¿Los parámetros físicos en el efluente cumplen con los LMP en la PTAR del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros-Apurímac, 2023?
- ✓ ¿Los parámetros químicos en el efluente cumplen con los LMP en la PTAR del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros-Apurímac, 2023?
- ✓ ¿Los parámetros biológicos en el efluente cumplen con los LMP en la PTAR del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros-Apurímac, 2023?

2.2. Objetivos

2.2.1 Objetivo General

Evaluar la eficiencia de eliminación de contaminantes en la PTAR del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros-Apurímac, 2023

2.2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Determinar los parámetros físicos en el afluente de la PTAR del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros-Apurímac, 2023
- ✓ Determinar los parámetros químicos en el afluente de la PTAR del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros-Apurímac, 2023

- ✓ Determinar los parámetros biológicos en el afluente de la PTAR del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros-Apurímac, 2023
- ✓ Determinar los parámetros físicos en el efluente de la PTAR del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros-Apurímac, 2023
- ✓ Determinar los parámetros químicos en el efluente de la PTAR del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros-Apurímac, 2023
- ✓ Determinar los parámetros biológicos en el efluente de la PTAR del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros-Apurímac, 2023

2.3. Justificación e Importancia

La investigación llevada a cabo surge de la necesidad de gestionar de manera eficiente el tratamiento de las aguas residuales domésticas dentro de la PTAR del distrito de Ranracancha, para garantizar la sostenibilidad de los recursos hídricos, la minimización de los riesgos en la salud pública y el cuidado del medio ambiente. Estos son algunos de los principales motivos que respaldan y/o justifican la realización de este estudio:

Importancia de un tratamiento eficiente en las aguas residuales: radica en la eliminación y/o minimización de los contaminantes en referencia a la normativa nacional de los LMP para efluentes de PTAR domésticas o municipales, cumpliendo de esta manera cada uno de los parámetros y garantizando la sostenibilidad en el tiempo de los recursos hídricos.

Reutilización de los efluentes tratados: su amplio campo de aplicación se ve directamente en el aprovechamiento como un recurso valioso, que sirve para el sustento principalmente en la agricultura, ya que sus actividades demandan grandes cantidades de agua, de esta manera las fuentes naturales que se poseen se destinarían solamente al consumo humano como prioridad.

Desde un punto de vista social, con los hallazgos obtenidos del estudio, se logró comparar los análisis con otras investigaciones mencionados en la tesis permitiendo evaluar dichos resultados y emerger nuevas propuestas alternativas, para que las autoridades puedan tomar medidas frente a la protección del ambiente y de los habitantes;

además, dicho estudio beneficia a todos los habitantes que se encuentran en áreas aledañas del distrito de Ranracancha y a aquellos seres vivos que dependen de las propiedades del cuerpo del río de Ranracancha, con la finalidad contribuir y promover la prestación de servicios que apuesten por la calidad de vida de sus pobladores, tanto socialmente como en el ámbito ambiental.

Desde un punto de vista práctico, los efectos directos de un tratamiento incorrecto de las aguas residuales se reconocieron especialmente a partir de los resultados del estudio de los parámetros físicos, químicos y biológicos. Por otra parte, el valor de la eficiencia de la PTAR Ranracancha es un parámetro que permitirá tomar medidas correctivas para poder lograr un mejor tratamiento.

Desde un punto de vista metodológico, con la asistencia de AQUA TERRA LABORATORIO Y CONSULTORES E.I.R.L., se recolectaron las muestras y los análisis fueron realizados por INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C., reconocida por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Las muestras se tomaron en dos lugares representativos: las primeras ocho muestras se tomaron en el afluente de la PTAR Ranracancha, mientras que las últimas ocho muestras se tomaron en su efluente. Los resultados permitieron conocer el valor real de la eficiencia de la PTAR, en vista de ello, se logró comparar con los valores estandarizados de los LMP y, por ende, facilitar la replicabilidad del estudio en nuevas investigaciones.

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis General

La eficiencia de eliminación de contaminantes en la PTAR del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros-Apurímac, 2023 es alta

2.4.2 Hipótesis Específicas

- ✓ Los parámetros físicos en el afluente cumplen los LMP en la PTAR del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros-Apurímac, 2023

- ✓ Los parámetros químicos en el afluente cumplen los LMP en la PTAR del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros-Apurímac, 2023
- ✓ Los parámetros biológicos en el afluente cumplen los LMP en la PTAR del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros-Apurímac, 2023
- ✓ Los parámetros físicos en el efluente cumplen los LMP en la PTAR del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros-Apurímac, 2023
- ✓ Los parámetros químicos en el efluente cumplen los LMP en la PTAR del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros-Apurímac, 2023
- ✓ Los parámetros biológicos en el efluente cumplen los LMP en la PTAR del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros-Apurímac, 2023

2.5 Variables

Tabla 1*Operacionalización de variable*

Variable	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Escala de medición
Eficiencia de la PTAR de Ranracancha	Dimensión 1: Parámetros físicos	-pH	1.1	-----
		-Sólidos totales suspendidos (STS)	1.2	mg/L
		-Temperatura	1.3	°C
La eficiencia de la instalación de tratamiento de aguas residuales se basa en su capacidad para reducir los niveles de parámetros físicos, químicos y biológicos utilizando la menor cantidad de recursos posibles (Bolong et al., 2022, pp 1-2).	Dimensión 2: Parámetros químicos	-Aceites y grasas	2.1	mg/L
		-Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	2.2	mg/L
		-Demanda química de oxígeno (DQO)	2.3	mg/L
	Dimensión 3: Parámetros biológicos	-Coliformes termotolerantes	3.1	NMP/100 mL

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes

3.1.1 *A Nivel Internacional*

Vintimilla (2022), presentó su estudio: “Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales Laureles ubicado en la parroquia Santa Ana del Cantón Cuenca”, con el fin de ser acreedor al título profesional de Ingeniero Ambiental. En vista de que la comunidad Laurel cuenta con una PTAR, el autor del estudio propuso determinar su nivel de eficiencia que le corresponde. Se basó en rutas metodológicas, cuyas características denotaban un estudio de alcance descriptivo y de enfoque cuantitativo. Adicional a ello, se menciona que la recolección de datos se dio en función a dos etapas; la primera fue tomar las muestras y la segunda procesarlos en un laboratorio acreditado. Por otro lado, dichos resultados tenían que ser comparados con lo establecido por el Código Orgánico del Ambiente (COA). Los resultados que se obtuvieron para cada parámetro miden el porcentaje de eficiencia de la PTAR, estos valores analizan tanto los niveles de dichos parámetros físico-químicos de entrada como de salida, por lo que los valores de eficiencia son: DBO5 con 63,94%, DQO con 64,21%, sólidos disueltos con 51,30% y sólidos suspendidos con 71,02%. El estudio concluyó con que dichos valores de eficiencia no son los suficientes como para ser aceptados por el COA.

Bailón y Rodríguez (2022), expusieron su tesis: “Evaluación de la eficiencia de cada unidad de tratamiento de la planta de agua residual doméstica de la parroquia Cristóbal Colón del cantón Montúfar de la provincia del Carchi”, con el objetivo de que cada uno obtenga el título de Ingeniero Químico. El motivo del estudio fue determinar el nivel promedio de eficiencia con el que contaba la PTAR de la parroquia Cristóbal Colón. Los valores que se espera calcular son los parámetros físicos-químicos del agua; estos tendrán que ser comparados y evaluados por medio de la norma reguladora de Ecuador. El método del estudio abordó dos semanas de trabajo; la primera fue motivo de cálculo del máximo caudal; la segunda semana fue clave para la recolección de las muestras durante cinco

días consecutivos. Como instrumento necesario, el laboratorio certificado de la universidad aledaña estuvo a la disposición del estudio. Los parámetros a saber mostraron los siguientes valores: la eficiencia global de BDO alcanzó solo un 26,2 %, STD un 7,7% y el SST un 34,6%. Como conclusión, los autores aprueban que la eficiencia de la PTAR no es la suficiente como para encontrarse dentro de los rangos permisibles que se estableció en la normativa TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente).

Makuwa et al. (2020), presentaron un estudio científico con título “Evaluación de la prevalencia de coliformes fecales e indicadores fisicoquímicos en el efluente de una planta de tratamiento de aguas residuales en la provincia del noroeste de Sudáfrica”. Los autores vieron pertinente conocer los valores fisicoquímicos del punto más lejano del efluente de la PTAR. El método a disposición consistía en analizar dichos parámetros y compararlos en su posterioridad con los valores estándares regulatorios, que en su mayoría implican desactivar posibles patógenos microbianos y eliminar o reducir los residuos orgánicos. Se evaluó el desempeño de la PTAR mediante medidas biológicas, físicas y químicas en el agua tratada. La *Escherichia coli* osciló entre 0 y 2420 cuentas/100 ml en el efluente final. Los valores registrados para los parámetros fisicoquímicos constaron de los siguientes intervalos: DQO (1–73 mg/L), pH (7,03–8,49), conductividad eléctrica (81,63–126,5 mS/m), sólidos en suspensión (0,40–20,4 mg/L), amoníaco (0–22,15 mg/L), nitrato (0–16,1 mg/L), ortofosfato (0–8,58 mg/L) y cloro libre (0–3,21 mg/L). Además, la concentración de metales pesados tóxicos se registró entre 1 y 10 ug/L para arsénico, cadmio, plomo y mercurio. En conclusión, todos los parámetros que se evaluaron en este estudio indican que la PTAR estudiada está funcionando de acuerdo con los límites generales prescritos.

Aniyikaiye et al. (2019), presentaron su trabajo científico con título: “Análisis físico-químico de la descarga de aguas residuales de industrias de pintura seleccionadas en Lagos, Nigeria”. Existe la necesidad de investigar el cumplimiento de las normas reglamentarias por parte de las aguas residuales descargadas de las industrias de pintura. Por tanto, el enfoque del estudio se dirigió al cálculo de las propiedades fisicoquímicas de

las aguas residuales sin tratar y tratadas, las eficiencias de las PTAR, así como el nivel de cumplimiento de cinco empresas de fabricación de pintura seleccionadas en Lagos, Nigeria, con algunas normas reglamentarias: Ministerio Federal de Medio Ambiente (FME) en Nigeria, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Departamento de Asuntos Hídricos (DAH) en Sudáfrica. Todos los parámetros investigados se analizaron usando métodos estándar. Los valores de pH, conductividad eléctrica (EC) y sólidos disueltos totales (TDS) estuvieron en el rango de 4–12,2, 149,1–881,3 mS/m y 1100–6510 mg/L, respectivamente. El rango de otros parámetros incluye sólidos suspendidos totales (TSS); 0–2470 mg/L, ST; 1920–6510 mg/L, cloruro; 63,8–733,8 mg/L, oxígeno disuelto (OD); 0–6,7 mg/L, aceite y grasa (O y G); 44–100 mg/L, DBO; 162,8–974,7 mg/L, DQO; 543–1231 mg/L, nitratos; 12,89–211,2 mg/L. Los resultados indicaron que las PTAR de las empresas de pintura estudiadas fueron ineficaces para reducir los TS, SST, DBO, DQO y (O y G) a límites aceptables. Por lo tanto, se recomienda el monitoreo de rutina de las aguas residuales de las industrias de pintura para evitar el riesgo de contaminación de la cuenca receptora de la que dependen muchas comunidades como fuente de agua para uso doméstico.

Nabi et al. (2018), desarrollaron un estudio con tema: “Evaluación estacional de parámetros fisicoquímicos y evaluación de la calidad del agua del río Yamuna, India”. El presente estudio delineó la evaluación de parámetros fisicoquímicos como temperatura del agua, pH, OD, DBO, DQO, fosfatos, nitratos, conductividad eléctrica (EC) y cloruros. Además, se calculó el Índice de calidad del agua (WQI) para las muestras de agua recolectadas de las estaciones seleccionadas del río Yamuna con el fin de evaluar su idoneidad para beber, irrigar y propósitos agrícolas. Se utilizó el método del índice aritmético ponderado para calcular el WQI; además, el trabajo científico se encontraba dentro de un nivel investigativo del tipo descriptivo, con enfoque cuantitativo. Se encontró que el WQI estaba por encima de 100 en las tres estaciones, lo que era crítico e indicaba que la calificación de la calidad del agua estaba en la categoría E, lo que hacía que el agua no fuera apta para beber ni para fines agrícolas. La evaluación de los parámetros

fisicoquímicos indicó que las estaciones seleccionadas fueron fuertemente impactadas por efluentes industriales y aguas residuales domésticas; por lo tanto, el agua del río debe tratarse antes de su uso para evitar enfermedades relacionadas con el agua que pueden tener efectos nocivos para la especie humana y la flora y fauna acuática.

Vargas et al. (2020), realizaron el estudio titulado: *“Análisis de los principales sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia”*. Este documento ofrece una revisión exhaustiva de los diferentes métodos utilizados en Colombia para el tratamiento de aguas residuales domésticas. El objetivo principal es identificar la evolución de estas tecnologías, así como sus posibles alternativas, analizando sus procesos de eliminación, costos y viabilidad operativa. Hasta el 80% de la materia orgánica y los sólidos en suspensión son eliminados por la mayoría de estos tratamientos biológicos. Se dedujo que, existen otras opciones de tratamiento biológico disponibles; sin embargo, los más comunes en Colombia son los sistemas de lodos activados, los humedales y lagunas de estabilización. Los sistemas biológicos presentan altos porcentajes de eficiencia como lo demuestran los resultados, sin embargo, cuando estos sistemas se combinan, los porcentajes de eficiencia superan el 90%, lo que indica que estos sistemas complementados son los mejores disponibles para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

3.1.2 A Nivel Nacional

Atalaya (2022), presentó su trabajo de tesis con título: “Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en los parámetros DBO, DQO, SST, PH, temperatura, aceites y grasas, en Sorochuco, Celendín” en Cajamarca, con el fin de convertirse en Ingeniero Ambiental. El objetivo del estudio se direccionó en la obtención de los valores numéricos de aquellos parámetros fisicoquímicos de la planta de tratamiento de Sorochuco; dichos valores muestran el nivel de eficiencia con el que se contaba en ese entonces. Dicho trabajo, se estructuró bajo una metodología que consistía en describir los resultados obtenidos por medio de los análisis in situ y laboratorio. Los datos son cuantificables; sin embargo, el tipo de investigación se limitaba a un estudio básico. El

laboratorio con el cual se contaba, estaba acreditado por la entidad de calidad INACAL, quien a través de sus políticas de regulación otorgaba valores estandarizados por los Límites Máximos Permisibles (LMP). Los resultados se obtuvieron por medio de instrumentos diferentes. Primero se midió la temperatura y el pH; resultando, sus valores de 17,13 °C y 7,31 respectivamente. Seguidamente, se culminó la obtención de los otros resultados a través de la respuesta emitida por el laboratorio; los valores fueron de DBO (70,00%), DQO (67,68%), SST (78,80%), aceites y grasas (64,34%). En vista de los valores administrados, se arribó a la conclusión que, la planta de tratamiento de Sorochuco opera bajo un nivel eficiente debido a que sus resultados mostraron estar dentro de los rangos establecidos por el MINAM.

Membrillo (2022), sustentó su trabajo de investigación con título: “Determinación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la planta Cumani – Antauta” en Puno, con el fin de obtener el título académico de Ingeniero Ambiental. El estudio consistió en determinar aquellos parámetros físicos-químicos del afluente de salida de la planta de tratamiento de Cumani, que además provenía del tratamiento previo que realizaba la planta Unidad Minera San Rafael. El punto estratégico desarrollado se ubica en el distrito de Antauta, su análisis se dio dentro del mes de septiembre del 2019. El método científico que se aplicó consistió en utilizar recipientes de vidrios al ingreso de la planta con el fin comparar los resultados con los valores estipulados por el MINAM. Los resultados que se obtuvieron in situ marcaron un pH de 7,8 y una temperatura de 10,8 °C. Por otra parte, el análisis de la muestra arrojó que los aceites y grasas fueron de 1.859 mg/L, DBO con <2 mg/L, DQO 19 mg/L, sólidos totales en suspensión 57 mg/L y coliformes termotolerantes con <1,8 NMP/100 ml. La eficiencia de la planta de tratamiento Cumani demostró ser positivo debido a que los valores físicos-químicos se encontraban dentro del rango estipulado por el LMP.

Díaz (2021), defendió su trabajo investigativo: “Eficiencia en la remoción de materia orgánica de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Lajas, 2020” en Cajamarca, con el fin de convertirse en Ingeniero Ambiental. El estudio se caracterizó por

la propuesta científica de calcular el valor de la eficiencia del sistema de tratamiento que se instaló en la ciudad de Lajas. La estructura de la metodología abordó una recolección de data informativa de manera numérica y un desenlace científico a nivel descriptivo, por ende, solo se analizaron los resultados de la eficiencia en base al acontecimiento ocurrido entre los meses de noviembre del 2020 hasta febrero del 2021. Además, la muestra estipulada se constituyó de ocho recipientes al ingreso (I) de la planta y otros ocho a la salida (S). Los resultados que se obtuvieron al ingreso de la planta de tratamiento fueron: DBO5 con 67,9 mgO₂/l, DQO con 131,8 mgO₂/l y SST de 41,0. A la salida, dichos parámetros fueron: DBO5 con 5,6 mgO₂/l, DQO con 12,3 mgO₂/l y SST de 10,65 mg/l. Además, estos parámetros resultaron demostrar que la planta contaba con un sistema de remoción de residuos orgánicos de alta eficiencia, ya que la PTAR de la ciudad de Lajas remueve un 91,83% de DBO5; 90,72% de DQO y 73,79% de los SST. Adicionalmente, dichos valores a la salida se encuentran dentro del LMP propuesta por la MINAM.

Arias (2021), presentó su trabajo investigativo: "Análisis de eficiencia del tratamiento físico-químicos de las aguas residuales de la planta de tratamiento norte del distrito de Chucuito, provincia de Puno – 2020" en Puno con el propósito de obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental. El interés de determinar la eficiencia de la planta de tratamiento del sector norte del distrito de Chucuito hace que la propuesta investigativa se plantee en calcular el porcentaje de eficiencia de los parámetros físicos-químicos. Para su determinación, se ha propuesto aplicar una metodología de nivel descriptivo, cuyas características engloban los análisis de los resultados obtenidos en laboratorio e in situ. Los resultados obtenidos por el laboratorio INIA se comprenden en dos repeticiones de análisis. Para la primera repetición los valores obtenidos de los parámetros físico-químicos fueron: pH con 1,75% de efectividad, y los valores del STS, DBO Y DQO presentaron eficiencias correspondientes de -19,69%, -0,01% y -17,86%, lo que permite concluir que la PTAR de la planta analizada fue deficiente. Para la segunda y última repetición, dichos parámetros fueron: pH, STS, DBO Y DQO con valores correspondientes de 7,99%, -7,48%, 2,60% y 1,85%. Finalmente, se concluye que la planta de tratamiento del sector norte del

distrito de Chucuito sobrepasa a la normatividad establecida por el MINAM, por ende, su eficiencia no es significativa.

Franklin (2019), presentó su tesis en Cajamarca con título: “Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la reducción de la demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno en Celendín – Cajamarca” con el fin de convertirse en Ingeniero Ambiental. El desarrollo del estudio se enfocó en determinar el porcentaje de eficiencia que presentaba la planta de tratamiento de Celendín. Por tanto, es imprescindible obtener los valores de los parámetros físicos y bioquímicos de las aguas residuales. El método de investigación se limitó a un análisis descriptivo, en vista de que se pretende analizar en dos puntos. El primer punto se constituye por el afluente; mientras que, el segundo fue el efluente. La obtención de los resultados está en función a tres muestras, dichas ellas fueron tomadas durante tres meses. Los resultados se agrupan en valores de afluencia y efluente, cuyos valores obtenidos se dieron: para el punto afluente DBO_5 , DQO, T° y pH son representados por sus valores correspondientes de 245,95 mgO_2/l , 495,13 mgO_2/l , 13 y 6,3. Para el punto efluente los valores de DBO_5 , DQO, T° y pH fueron de 41.03 mgO_2/l , 149,63 mgO_2/l , 14 y 6,4. Finalmente, se obtuvo los valores de eficiencia para los parámetros de DBO_5 , DQO con 83,32%; 69,78%. De los resultados se afirma que el sistema es eficiente en la disminución de DBO_5 e ineficiente en la depuración de la DQO, lo que no se ajusta a la premisa de diseño.

Cayllahua (2022), presentó su estudio con tema: “Evaluación de la PTAR Sicuani y su impacto en la calidad del agua del río Vilcanota” a fin de obtener el título profesional de Ingeniero Químico. Existe la necesidad de evaluar la PTAR Sicuani y determinar su influencia en el punto efluente en destino a la corriente del río Vilcanota. El método aplicado abarcó un desarrollo descriptivo, con un carácter numerativo en cuanto a la recolección de la información. Asimismo, su evaluación consistió en comparar los resultados de los parámetros fisicoquímicos con los valores del LMP establecido por el MINAM. Los resultados fijaron que la eficiencia de la PTAR indicó que respecto a la demanda bioquímica de oxígeno se obtuvo un (90,49 -98,53%), demanda química de oxígeno (86,47-96,91%),

aceites y grasas (83,17- 98,22%), sólidos totales en suspensión (73,80-88,75%) y, finalmente, en cuanto a los coliformes termotolerantes (99,9-100%). En vista de que la PTAR Sicuani mostró resultados favorables, se concluyó que dicha instalación resultó tener un buen efecto sobre la calidad del agua del río Vilcanota.

Carrasco (2022) presentó su tesis: “Evaluación y propuesta para el mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, distrito de Poroy, Cusco-2022” con el fin de obtener el título profesional en Ingeniería Civil. La intención de la investigación se sumergió dentro de la problemática de la PTAR ubicada en Poroy. En consecuencia, el objetivo del estudio fue evaluar la PTAR y proponer una solución a la realidad encontrada. La metodología se enfocó a un nivel explicativo, con intención de desarrollarse dentro del tipo de investigación aplicada y cuantificarse dichos valores dentro de un rango determinado de tiempo. La población de estudio estuvo enmarcada por la totalidad de la instalación y la técnica para la recabación de información estaba sujeta a la aplicación de una ficha de evaluación. Los resultados más pertinentes del laboratorio arrojaron los siguientes valores tanto para el punto afluente como efluente: para afluente; DBO fue de 135,09 mg/l, DQO 305,98 mg/l, SST con 114,62 mg/l, coliformes termotolerantes con 17×10^5 , T° con 20,5°C y pH de 7,55; para el punto efluente el DBO fue de 101,09 mg/l, DQO 205,89 mg/l, SST con 80,54 mg/l, coliformes termotolerantes con 15×10^5 , T° con 20,3°C y pH 7,42. En efecto, estos valores no se encuentran dentro del rango establecido por el MINAM, por ende, la eficiencia de la PTAR es mínima.

3.1.3 A Nivel Regional o Local

Flores (2021), llevó a cabo el estudio denominado: “Construcción del Colector General y Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para Disminuir los Problemas Gastos Intestinales en Chincheros, Llimpe, Tejahuasi, Uripa, Provincia de Chincheros – Apurímac”. Ese estudio describió cómo la infraestructura y la instalación de una planta de tratamiento de aguas contaminadas pueden reducir los problemas gastrointestinales en Chincheros, Llimpe, Tejahuasi, Uripa – Chincheros – Apurímac. La investigación fue aplicada, se basó en el uso de conocimientos especializados en el desarrollo del proyecto

de suficiencia profesional sobre la Construcción del Colector General y la PTAR para reducir los problemas gastrointestinales. El diseño de la investigación fue descriptivo-explicativo, ya que implica la narración y comprensión de la construcción del colector general y la PTAR. Los resultados del estudio muestran que la implementación del proyecto beneficiará positivamente a los 15 mil habitantes, mejorando su calidad de vida. Cuando el proyecto esté terminado, se reducirán los efectos nocivos que las aguas residuales tienen en el medio ambiente. Entre los beneficios para la población, especialmente para los más vulnerables, se encuentra la reducción de enfermedades causadas por la presencia de aguas residuales, lo que a su vez puede disminuir la migración hacia otras áreas. Además, la agricultura en la zona del proyecto podría aumentar su productividad debido a la mejor calidad del suelo.

Nolasco (2020), Realizó una investigación sobre el impacto de la goma de tara en el tratamiento del agua del río Chumbao. Se utilizaron métodos cuantitativos con un enfoque experimental. Se utilizaron tres puntos a lo largo del río Chumbao para componer la población. En cada punto, se recogieron muestras de 600 ml en recipientes separados, lo que dio como resultado un total de 1,8 litros de muestra por área. El agua del río Chumbao tuvo una turbidez de 60 NTU, pH de 8.01 y una conductividad de 0.46 en el sector de Talavera. La adición de 300 mg/l de coagulante disminuyó la turbidez a 11,7 NTU. Trabajar con un pH de 9 es más eficaz y conduce a una turbidez favorable de aproximadamente 11 NTU. El pH es un factor clave en los procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de agua del río Chumbao. La goma de tara (*Caesalpinia spinosa*) reduce y elimina significativamente los sólidos suspendidos, lo que resulta en una disminución del 81% en la turbiedad residual y una disminución en la conductividad de 34 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 22,03 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

3.2. Bases Teóricas

3.2.1 Teoría del Agua Residual

“Las aguas residuales se derivan de aguas residuales sin tratar de actividades antropogénicas, mientras que los efluentes de aguas residuales se refieren a aguas

residuales tratadas o no tratadas correctamente en un planta de tratamiento” (Makuwa et al., 2020, p. 1).

Un potencial contaminador ambiental son las aguas residuales industriales que se liberan en los cauces de los ríos. La descarga de desechos en los cuerpos de agua por parte del hombre ha provocado la modificación de la calidad del agua ambiental, lo que hace que cantidades sustanciales de agua no sean aptas para varios usos.

Las aguas residuales liberadas se distribuyen en el suelo, destruyendo parte de la microfauna y, por lo tanto, dificultando la biodiversidad de organismos microbianos en el suelo. El tratamiento de las aguas residuales antes de su vertido al medio ambiente es, por tanto, esencial para prevenir la contaminación. (Aniyikaiye et al., 2019, p. 2)

En general, el tratamiento convencional de aguas residuales consiste en una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos; la razón de su aplicación se debe a que busca eliminar sólidos, incluidos coloides, materia orgánica, nutrientes, contaminantes solubles (metales, orgánicos...) etc. La existencia de diversas técnicas de tratamiento se utilizan y prueban con el fin de recuperar y eliminar los puntos emergentes de contaminación. (Crini y Lichtfouse, 2018)

Las aguas residuales tratadas generalmente se aplican para fines no potables, como la agricultura, la tierra, el riego, la recarga de aguas subterráneas, el riego de campos de golf, el lavado de vehículos, descargas de inodoros, extinción de incendios y actividades de construcción de edificios. La reutilización de aguas residuales tratadas ha experimentado un crecimiento muy rápido y los volúmenes de su aplicación se han incrementado entre un 10% y un 29% por año en Europa, EE. UU., China y hasta un 41% en Australia. Sin embargo, si se hace mención al mayor usuario de aguas residuales tratadas, Israel cuenta con una representación del 90% como recurso para las actividades del riego de tierras agrícolas. (Kesari et al., 2021, p. 2)

3.2.2 Eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

La eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales es determinada por medio del cálculo de los porcentajes de reducción de los parámetros físicos, químicos y biológicos. Asimismo, su proceso debe asegurar que dichas aguas tratadas deban ser descargadas al medio ambiente de manera segura y sin afectación a la salud humana. (Bolong et al., 2022, pp 1-2)

La ecuación (1) se ha utilizado para el cálculo de remoción de contaminantes:

$$E = \frac{C_0 - C}{C_0} * 100 \quad (1)$$

Dónde:

E = Eficiencia de la PTAR

C₀ = Cantidad de contaminante en el afluente (DQO en mg/L, DBO₅ en mg/L o SST en mg/L).

C = Cantidad de contaminante en el efluente (DQO en mg/L, DBO₅ en mg/L o SST en mg/L).

3.2.3. Contaminación Tóxica de las Aguas Residuales

La descarga de aguas residuales sin tratar en el río puede tener graves implicaciones para la salud. Las aguas residuales domésticas y municipales contienen una gran cantidad de materiales orgánicos y microorganismos patógenos y estos microorganismos infecciosos son capaces de propagar diversas enfermedades como la fiebre tifoidea, la disentería, la diarrea, los vómitos y la mala absorción. Además, las industrias farmacéuticas también juegan un papel clave en la regulación y descarga de agentes biológicamente tóxicos, ya que de cierta manera las cantidades de medicamentos fabricados e ingeridos por los usuarios contribuyen a la contaminación de la fuente potable al momento de ser estos evacuados por el organismo humano. En efecto, las aguas residuales sin tratar contienen un grupo de contaminantes que son tóxicos para los humanos. Estas

contaminaciones tóxicas se han clasificado en dos grandes grupos: (i) contaminación química y (ii) contaminación microbiana. (Kesari et al., 2021, pp 6-7)

Contaminación química: en su mayoría, varios tipos de compuestos químicos liberados por industrias, curtiembres, talleres, tierras de regadío y aguas residuales domésticas son responsables de varias enfermedades. Estos contaminantes pueden ser materiales orgánicos, hidrocarburos, compuestos volátiles, pesticidas y metales pesados. La exposición a tales contaminantes puede causar enfermedades infecciosas como dermatosis crónicas y cáncer de piel, infección pulmonar e irritación ocular. La mayoría de estos contaminantes son no biodegradables e intratables. Por lo tanto, pueden persistir en los cuerpos de agua durante un período muy largo y podrían acumularse fácilmente en nuestro sistema de cadena alimentaria. Asimismo, la presencia de los productos farmacéuticos para el cuidado personal y surfactantes pueden contener compuestos tóxicos como nonilfenol, estrona, estradiol y etinilestradiol. Estos compuestos son químicos disruptores endocrinos y la existencia de estos compuestos en el cuerpo humano, incluso en pequeñas cantidades, puede ser altamente peligrosa para la salud. Además, la presencia de compuestos perfluorados dentro de las aguas residuales, que son tóxicos por naturaleza, tienen la posibilidad de producir enfermedades como la preeclampsia, defectos de nacimiento, fertilidad humana reducida, inmunotoxicidad, neurotoxicidad y carcinogénesis. (Kesari et al., 2021, p. 7)

Contaminación microbiana: los investigadores han registrado la gravedad que producen los contaminantes microbianos en la salud, en especial estos pueden llegar a ser mortales cuando las aguas residuales no son tratadas correctamente. El grupo diverso de microorganismos causa graves implicaciones para la salud como campilobacteriosis, diarrea, encefalitis, fiebre tifoidea, giardiasis, hepatitis A, poliomielitis, salmonelosis y gastroenteritis. Pocas especies bacterianas como *P. aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*, *Vibrio cholerae*, *G. intestinales*, *Legionella spp.*, *E. coli* y *Shigella sonnei* han sido reportadas por la propagación de

enfermedades transmitidas por el agua y enfermedades agudas en seres humanos. Estos microorganismos antes mencionados pueden liberarse en el medio ambiente desde la red de alcantarillado municipal, las ganaderías u hospitales y entrar en la cadena alimentaria a través de los sistemas públicos de abastecimiento de agua o por consumo directo de productos orgánicos. (Kesari et al., 2021, p. 7)

3.2.4. Características de las Aguas Residuales

3.2.4.1. Parámetros Físicos.

- **pH.** Evalúa el nivel de acidez o alcalinidad de las aguas residuales. El pH 7 es el valor neutro de una solución. “El pH del agua normalmente disminuye durante la oxidación biológica” (Baranyika et al., 2023).

- **Temperatura.** “Es un parámetro importante a considerar al evaluar la calidad del agua para diferentes actividades, incluida la velocidad de las reacciones químicas, la amplificación de los sabores, la reducción de la solubilidad de los gases y el color del agua” (Baranyika et al., 2023).

Por otro lado, su importancia dentro del proceso de tratamiento produce dependencia en el cálculo de otros parámetros, ya que la temperatura tiene la capacidad de afectar el sedimento y el crecimiento microbiano entre otras características del agua y también es un hecho conocido que la velocidad a la que ocurren las reacciones químicas aumenta con el aumento de la temperatura y la velocidad de las reacciones bioquímicas. Normalmente, se observa un incremento en la cantidad de estas reacciones conforme la temperatura se eleva en intervalos de 10,0°C, duplicándose cada vez. Desde un punto de vista físico, la cantidad de oxígeno que puede ser disuelta en agua a temperatura tibia es menor en comparación con la cantidad que puede ser disuelta en agua fría. Esto ocurre porque cuando la temperatura aumenta, la capacidad de los gases para disolverse en agua disminuye debido a un fenómeno conocido como disminución de la solubilidad de los gases. Un incremento en la temperatura provoca un aumento en la frecuencia respiratoria, lo que resulta en un incremento en la cantidad de oxígeno

consumido y una aceleración en la descomposición de la materia orgánica. Por tanto, la temperatura afecta la concentración de componentes biológicos, físicos y químicos del agua, el análisis fisicoquímico es decir, sólidos disueltos en agua (TDS), sólidos suspendidos totales (SST), turbidez, oxígeno disuelto (OD), oxígeno bioquímico, demanda química de oxígeno (DQO) y dureza total (TH). (Bhutiani y Ahamad, 2016, pp 135-136)

- ***Oxígeno Disuelto.***

La determinación del oxígeno disuelto (OD) en aguas residuales proporciona datos esenciales sobre la concentración de oxígeno en una muestra de agua. Es uno de los parámetros más importantes a considerar cuando se trata de la calidad del agua, debido a que este brinda información directa e indirecta sobre la disponibilidad de los nutrientes. Proporciona información sobre la estratificación, las actividades metabólicas de los microorganismos y la fotosíntesis en el cuerpo de agua. (Baranyika et al., 2023)

La importancia de analizar este parámetro radica en que el oxígeno dentro de los sistemas acuáticos es primordial para el sustento de la vida. El oxígeno existe en el agua en una etapa disuelta a un nivel igual a su concentración de saturación, que depende principalmente de la temperatura. Su determinación se hace a través del Método yodométrico de Winkler. Para ello debe encontrarse disuelto y su dependencia se encuentra por medio de los valores de aireación de la atmósfera, la temperatura, la presión del aire y la salinidad. (Bhutiani y Ahamad, 2016, p. 138)

- ***Sólidos Suspendidos Totales.*** Los SST de una muestra de agua se determina “vertiendo un volumen de agua cuidadosamente medido a través de un filtro previamente pesado de un tamaño de poro específico, luego pesando el filtro nuevamente después del secado para eliminar todos los sólidos suspendidos totales que imparten turbidez al agua” (Bhutiani y Ahamad, 2016, p. 136).

3.2.4.2. Parámetros Químicos.

- ***Demanda Química de Oxígeno (DQO).***

El análisis de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) consiste en la medición de la cantidad de oxígeno consumido durante el proceso de oxidación de la materia orgánica, lo cual permite evaluar la contaminación del agua. Por consiguiente, el valor obtenido representa una pista indirecta que muestra el nivel de materia orgánica que se encuentra presente. La diferencia principal entre la prueba de DBO y la nomenclatura de ambas pruebas es notablemente evidente. La Demanda Bioquímica de Oxígeno está vinculada a la descomposición aerobia de la materia orgánica, llevada a cabo exclusivamente por microorganismos. La demanda química de oxígeno (DQO) se refiere al proceso de descomposición química de la sustancia orgánica utilizando un agente oxidante potente como el dicromato de potasio en una solución ácida. Esta prueba es muy utilizada, el tiempo que demanda en obtener los resultados sólo dura de dos a tres horas; debido a la rápida respuesta, la prueba se puede utilizar para el control operativo. (Von, 2007, p. 40)

“En cuanto a su aplicación dentro del tratamiento de aguas servidas, la DBO examina la concentración de materia orgánica en muestras de agua que promueve la descomposición por parte de microorganismos” (Baranyika et al., 2023).

- ***Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)***. “Es una prueba que se basa en mediciones de OD antes y después de 5 días de incubación de muestras de agua” (Baranyika et al., 2023).

La contaminación orgánica disminuye los niveles de oxígeno del agua, lo que afecta la ecología. Analizamos la solución en el laboratorio para medir el consumo de oxígeno de un volumen determinado de líquido dentro de un período de tiempo específico. De esta manera se presentó el concepto esencial de DBO. La DBO cuantifica el oxígeno necesario para estabilizar la materia orgánica y carbonosa mediante procesos bioquímicos. (Von, 2007, pp 38-39)

- ***Aceites y Grasas Contaminantes en las Aguas Residuales***. “Consisten en la fracción de materia orgánica soluble en hexano. Los aceites y grasas proceden de los alimentos que se encuentran en las aguas residuales domésticas” (Von, 2007, p. 32).

3.2.4.3. Parámetros Biológicos.

- ***Coliformes Termotolerantes.***

Los Coliformes Fecales (FC) son un grupo de bacterias predominantemente originadas a partir del tracto intestinal de humanos y otros animales. Este grupo engloba a los géneros *Escherichia* y, en menor grado, especies de *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*. La prueba de FC se completa a una temperatura alta, con el objetivo de suprimir bacterias de origen no fecal. Sin embargo, incluso en estas condiciones, es posible la presencia de bacterias no fecales (de vida libre), aunque en menor número en comparación con la prueba de coliformes totales. Como resultado, incluso la prueba de coliformes fecales no garantiza que la contaminación sea realmente fecal. Por ello, recientemente los coliformes fecales han sido denominados preferentemente coliformes termotolerantes, por el hecho de ser resistentes a las altas temperaturas de la prueba. (Von, 2007, p. 52)

3.2.5. Técnicas de Tratamiento de Aguas Residuales

3.2.5.1. Tratamiento Preliminar.

El objetivo principal de las unidades preliminares es preparar las aguas residuales para los procesos posteriores, como la eliminación de aceites y grasas, arenas sedimentables y materiales flotantes gruesos. La cámara de rejillas, el desarenador y el desengrasador son las unidades empleadas en la depuración preliminar. (SUNASS, 2022, p. 101)

3.2.5.2. Tratamiento Primario.

Este paso elimina los sólidos que se encuentran en las aguas residuales sin tratar. Utiliza cribado y sedimentación gravitacional para la separación de sólidos. Se emplean medios mecánicos para las separaciones sólido/líquido, ocasionalmente ayudadas por productos químicos para una sedimentación más rápida. Este paso de tratamiento reduce la DBO entre un 20% y un 30% y los sólidos suspendidos totales entre un 50% y un 60%. (Kesari et al., 2021, p. 9)

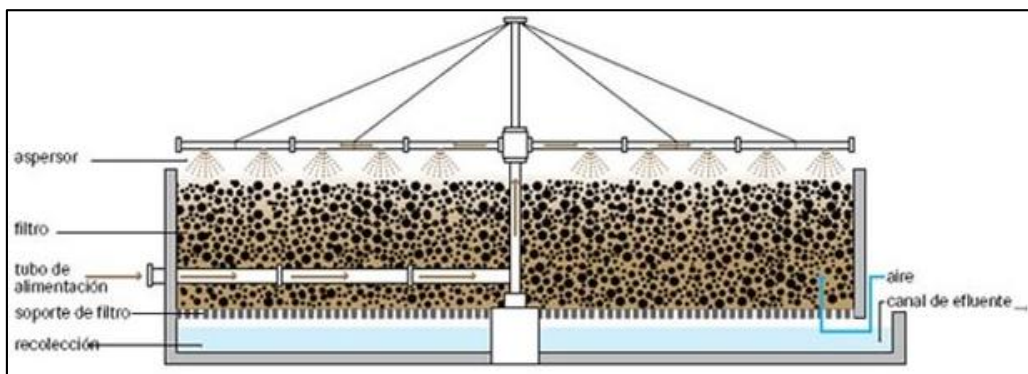
De manera más extensa, este primer tratamiento incluye mecanismos de filtración, flotación y sedimentación. Los procesos físicos primarios de eliminación buscan eliminar aquellos sólidos suspendidos como es el caso abundante de los plásticos. El proceso de flotación se centra en la eliminación de partículas de baja densidad, en mayor dificultad se encuentran los polímeros, como poliestireno expandido, polipropileno, polietileno de baja y alta densidad con una densidad igual o inferior a 960 kg m^{-3} . (Kurt et al., 2022)

3.2.5.3. Tratamiento Secundario.

El tratamiento secundario (biológico) de aguas residuales conlleva en aplicar procesos biológicos, en especial la oxidación, que ayudan en la purificación de las aguas residuales. En promedio casi el 85% de los sólidos en suspensión y la demanda biológica de oxígeno (DBO) se pueden eliminar con un tratamiento secundario. (Kesari et al., 2021, p. 9)

Esto se puede hacer a través de tres métodos:

- **Biofiltración.** Esta técnica emplea filtros para eliminar los sedimentos de las aguas residuales. Entre los tres filtros disponibles, los filtros percoladores son los más eficaces para el tratamiento de aguas residuales en lotes pequeños.

Figura 1*Filtros percoladores*

Nota. El filtro recibe las aguas residuales decantadas del tratamiento primario y la biomasa que se forma en el lecho fijo descompone los residuos orgánicos a medida que el agua atraviesa los intersticios del filtro. Fuente: Por Condorchem Envitech, 2020.

- **Aireación.** La aireación mezcla eficazmente las aguas residuales con soluciones microbianas, aunque es un proceso que requiere mucho tiempo. La aireación se realiza de forma continua durante un máximo de 30 horas para lograr los resultados deseados.
- **Estanques de Oxidación.** Los estanques de oxidación se emplean comúnmente en regiones más cálidas. También utiliza lagunas naturales como cuerpos de agua. Las aguas residuales pasan por un paso temporal antes de ser retenidas durante aproximadamente 2 a 3 semanas.

3.2.5.4. Tratamiento Terciario o Avanzado.

Es el tercer y último paso dentro de los sistemas básicos de gestión de aguas residuales, sin embargo, se puede acompañar nuevos métodos tecnológicos que permitan mejorar el tratamiento de agua de manera más eficiente. Su aplicación se compone de un proceso progresivo que reduce los nitratos, fosfatos y materia orgánica, por lo que es fundamental producir un efluente limpio e inocuo para ser vertido a cuerpos de agua, cuya calidad se refiere a la absoluta valor de N y P total que se puede descargar a ríos o arroyos y corresponde a 20mgL^{-1} para la

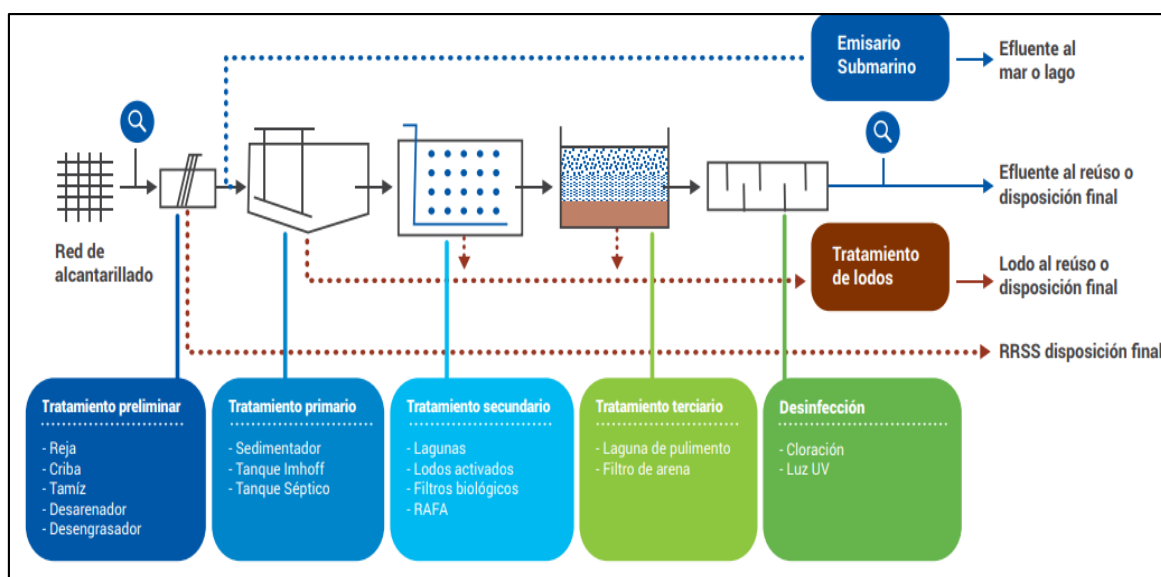
aprobación del sistema de tratamiento de aguas residuales. (Ortega y Sánchez, 2021)

3.2.5.5. Desinfección.

Los patógenos (coliformes termotolerantes) se eliminan químicamente mediante la adición de derivados del cloro o por exposición a la radiación UV. Aplicar un periodo de retención de agua en la depuradora que provoque la muerte de los patógenos por respiración endógena es otro método de eliminación mediante procesos naturales. (SUNASS, 2022, p. 111)

Figura 2

Esquema de una PTAR



Nota. La línea de agua de una PTAR está formada por una red de componentes que permiten que las aguas residuales se desplacen desde el punto de entrada a la instalación a través de varias etapas de tratamiento antes de ser vertidas a una masa receptora. Fuente: (SUNASS, 2022).

3.2.6. Límites Máximos Permisibles (LMP)

De acuerdo con lo indicado en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, se entiende por LMP la cantidad de componentes, compuestos o características físicas, químicas y biológicas que se encuentran en una emisión, y que si superan

los límites establecidos, pueden causar efectos negativos en la salud, el bienestar de las personas y el entorno natural. El límite máximo permisible (LMP) es un valor límite fundamental que se emplea como referencia clave para definir y valorar la idoneidad del efluente generado por las instalaciones de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el momento de su vertido en un entorno acuático natural. Las plantas de tratamiento de aguas residuales, sin importar su tamaño o el nivel de tratamiento que ofrezcan, deben cumplir con los LMP. (SUNASS, 2022, p. 42)

Tabla 2

LMP para los efluentes de PTAR a un cuerpo de agua

Parámetro	Valor	Unidad
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	10000
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	100
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	200
pH		6,5-8,5
Sólidos totales en suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

Nota: El LMP se refiere a muestras filtradas. Fuente: DS N° 003-2010-MINAM (SUNASS, 2022)

Según lo establecido en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, la Dirección General de Asuntos Ambientales (DGAA) designado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) la tarea de supervisar y cumplir la Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, con el fin de cumplir las leyes actuales del país, las EPS tienen la obligación de añadir en su presupuesto anual el costo del levantamiento

y análisis de los LMP, los cuales necesitan ser efectuados por un laboratorio acreditado por el INACAL.

3.3. Definición de Términos

3.3.1 *Actividades Antropogénicas*

“Son aquellas actividades que se derivan de las actividades humanas, a diferencia de lo existente naturalmente en el medio ambiente” (Mora et al., 2021, p. 93).

3.3.2 *Coliformes Fecales*

“Los coliformes totales consisten en coliformes termotolerantes, bacterias de origen fecal y algunas otras bacterias que se aíslan de fuentes ambientales. Por lo tanto, pueden o no indicar contaminación fecal” (Bai et al., 2022, p. 5).

3.3.3 *Compuestos Perfluorados*

“Son una clase de compuestos sintéticos que contienen miles de productos químicos formados a partir de cadenas de carbono encadenados con flúor” (Gómez et al., 2020, p. 180).

3.3.4 *Contaminación Química*

“Son sustancias liberadas por industrias, tenerías, talleres, regadíos, y las aguas residuales domésticas que transmiten a través de un medio que pueden causar enfermedades infecciosas como dermatosis crónicas y cáncer de piel, infección pulmonar e irritación ocular” (Kesari et al., 2021, p. 7).

3.3.5 *Contaminación Microbiana*

“Es la contaminación producida por microorganismos y se asocian en presencia de las aguas residuales no tratadas. Entre estos, campilobacteriosis, diarrea, encefalitis, fiebre tifoidea, giardiasis, hepatitis A, poliomiелitis, salmonelosis y gastroenteritis” (Kesari et al., 2021, p. 7).

3.3.6 *Contaminantes Biodegradables*

“Estos contaminantes son sustancias orgánicas naturales que pueden descomponerse o consumirse mediante procesos biológicos o microbianos naturales y convertirse en CO₂, agua o moléculas orgánicas simples” (Ramírez et al., 2019).

3.3.7 Eficiencia del Tratamiento

“Relación, expresada en porcentaje o decimales, entre la masa o concentración aplicada y la masa o concentración eliminada en un proceso o instalación de tratamiento para un parámetro determinado” (DS N° 022-2009)

3.3.8 Efluentes de Aguas Residuales

“Los efluentes son aguas residuales que provienen de fábricas o industrias y se descargan en lagos, ríos, acuíferos u océanos” (Zaruma et al., 2018, p. 44).

3.3.9 Filtración

En el proceso de filtración, las partículas suspendidas en un fluido se separan mediante un medio filtrante (lecho de partículas inertes) que permite el paso del agua y retiene los sólidos, que van depositándose sobre él. El fluido sin partículas se conoce como filtrado. (Díaz, 2018, p. 130)

3.3.10 Los Microplásticos

“También conocido como partículas poliméricas sólidas y miden tamaños < 5 mm, están emergiendo como contaminantes antropogénicos además que ubica toxicidad ecológica para los organismos acuáticos o terrestres en el medio ambiente” (Wu et al., 2022).

3.3.11 Nanotecnología

“La nanotecnología es una rama que se ocupa de la producción, caracterización, fabricación, gestión y utilización de materiales nanoestructurados para diversas aplicaciones” (Chausali et al., 2022, p. 1).

3.3.12 Polímeros

“Un polímero está formado por moléculas dispuestas en cadenas que se repiten. La estructura de los polímeros permite aplicaciones versátiles debido a sus propiedades distintivas” (Meira y Gugliotta, 2022, p. 3).

3.3.13 Reacción Química

“Una reacción química implica la formación de nuevos compuestos mediante la interacción de elementos o compuestos químicos” (Michalisková et al., 2019).

3.3.14 Sedimentación

Es una operación de separación fundamentada en el desplazamiento de las partículas sólidas o de gotas de líquido dentro de otro fluido. El desplazamiento de las partículas sólidas o gotas de líquido se debe a la fuerza de la gravedad o a la fuerza centrífuga. (Díaz, 2018, p. 112)

IV. Metodología

4.1. Tipo y Nivel de Investigación

4.1.1 Tipo

“La investigación es básica, porque se enfocó en ampliar el conocimiento científico sin considerar su aplicación práctica inmediata. Su objetivo principal fue comprender los fenómenos fundamentales, explorar teorías y principios subyacentes, y generar nuevas ideas o conocimientos” (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018)., sobre la eficiencia del proceso físico, químico y biológico de la PTAR del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros - Apurímac, 2023

4.1.2 Nivel

“La investigación fue de nivel descriptivo, es un método donde se recopila información más específica y detallada. Este tipo describe una realidad. Si bien esta metodología expone los datos de algo, no profundiza en el porqué de estas características” (Nel, 2019).

4.2. Ámbito Temporal y Espacial

4.2.1 Temporal

La información recopilada para esta investigación incluye el período de tiempo denominado proceso de desarrollo de la investigación, que inicia con la selección del tema a investigar y finaliza con la redacción de las conclusiones de la investigación, la cual se desarrolló desde mayo de 2023 hasta enero de 2024.

4.2.2 Espacial

El área de estudio se ubica en el distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros, específicamente en la PTAR de Ranracancha, a una distancia de 2km de la plaza de armas del distrito de Ranracancha, dirigiéndose por la carretera Ranracancha- Andahuaylas, cuyas coordenadas de la PTAR, de acuerdo a la Tabla 3, son:

Tabla 3

Coordenadas UTM (WGS84) de la PTAR de Ranracancha

Zona	Norte (m)	Este (m)	Altitud (msnm)
18S	8'503,288	651,690	3321

Nota. Se muestran las coordenadas de la localización de la PTAR de Ranracancha para su estudio

Figura 3

Ubicación de la zona geográfica del distrito de Ranracancha



Nota. Se delimita el distrito de Ranracancha dentro de la provincia de Chincheros, en la que se hará el estudio correspondiente. Fuente: Municipalidad provincial de Chincheros, 2019.

Figura 4

Delimitación espacial de la PTAR de Ranracancha



Nota. Se observa una imagen satelital de la PTAR en estudio, misma que se encuentra alejada al rio de Ranracancha y a la carretera hacia Andahuaylas. Fuente: google earth.

La PTAR del distrito de Ranracancha para la depuración de las aguas residuales, está distribuida de la siguiente manera: el tratamiento preliminar, conformado por la cámara de rejas y el desarenador, y el tratamiento primario, por el tanque imhoff, ambos tratamientos conforman el proceso físico dentro de la PTAR de Ranracancha, seguidamente se tiene el tratamiento secundario, conformado por el filtro biológico, el tanque de sedimentación secundario, el lecho de secado y el pozo percolador, todos estos conforman el proceso biológico, y finalmente la cámara de contacto de cloro para la desinfección contempla el proceso químico; además cuenta con un medidor de caudal para el afluente de tipo parshall ubicado entre el desarenador y el tanque imhoff.

La cámara de rejas cuenta con una rejilla de barras de acero en paralelo espaciadas a 1", la cual impide el paso de objetos grandes provenientes de las redes de alcantarillado del distrito de Ranracancha, como: residuos sanitarios (papel higiénico, toallas higiénicas), bolsas plásticas, entre otros, los cuales quedan atrapados, con la finalidad de disponer de

un agua residual más limpia y así evitar el mal funcionamiento en los siguientes procesos unitarios.

El desarenador cuenta con dos cámaras paralelas, la cual facilita la operación y mantenimiento, con el objetivo de separar del agua cruda las arenas, con el fin de evitar la sedimentación de las arenas en las tuberías que conectan con las demás estructuras y evitar sobrecargas en los procesos posteriores de tratamiento.

El medidor de caudal parshall es una estructura que si bien no contribuye en algún tratamiento a las aguas residuales, esta sirve para medir la cantidad de afluente que está ingresando a la PTAR de Ranracancha.

La unidad de tratamiento primario conocida como tanque imhoff está diseñada para eliminar todos los sólidos en suspensión mediante el proceso de sedimentación. Dado que combina la digestión de los lodos sedimentados con la sedimentación del agua en una sola unidad, ofreciendo ventajas para el tratamiento de aguas residuales.

La deshidratación de los fangos estabilizados suele ser más sencilla y asequible con los lechos de secado de lodos, ideal para poblaciones pequeñas como la del distrito de Ranracancha, estos provienen del tanque imhoff, y el proceso de secado se da mediante la filtración por el lecho de arena y por la acción del viento y el sol.

Los dos filtros biológicos reciben los efluentes del tanque imhoff y del lecho de secado, la cual cuenta con una canaleta de distribución del afluente, cuya función es repartir la misma cantidad de agua residual sobre el lecho de roca, las cuales contienen microorganismos adheridos sobre la superficie, con la finalidad de degradar la materia orgánica y deducir lo más posible la DBO.

El sedimentador secundario es la siguiente estructura de tratamiento de aguas residuales, de similar función al tanque imhoff, estos reciben el agua residual provenientes del filtro biológico, las cuales ingresan por una tubería, la función principal es sedimentar las partículas que aun hayan pasado los demás trenes de tratamiento, con la finalidad de obtener una mejor depuración, una vez que el sedimentador se haya llenado, los lodos nuevamente sedimentan hacia el fondo, los cuales se mantienen en reposo con un tiempo,

para luego ser evacuados hacia el pozo percolador (para el desecado del lodo), mientras que el agua tratada se destina hacia el último tren de tratamiento, la cual es la cámara de contacto de cloro para la desinfección, con la finalidad de minimizar y/o eliminar los patógenos microbianos, y finalmente el efluente tratado es vertido al río de Ranracancha.

4.3. Población y Muestra

4.3.1 Población

Las aguas residuales de la PTAR de Ranracancha constituyeron la población de la investigación, con un caudal de ingreso de 2.15L/s y un caudal de salida de 2.23 L/s, determinados mediante el cálculo en el ingreso por parte del medidor de caudal tipo parshall y la medición en la salida fue mediante el método volumétrico al contar con una tubería por descarga libre hacia el río de Ranracancha.

4.3.2 Muestra

En los dos puntos de monitoreo dentro de la PTAR para la medición de los parámetros fue necesario emplear el protocolo de monitoreo de la calidad, en base a ello se obtuvieron un volumen de 9.6 L en total, recogiendo 16 muestras: 8 muestras del afluente y 8 muestras del efluente para su posterior análisis en el laboratorio.

4.3.3 Muestreo

Se realizó el reconocimiento del entorno y la ubicación de los dos puntos de monitoreo dentro de la PTAR de Ranracancha, con la finalidad de seleccionar adecuadamente de acuerdo a las consideraciones del protocolo de monitoreo de calidad, gracias a su ubicación en un lugar con una mezcla homogénea, a la facilidad de acceso, a la seguridad y a la ausencia de vegetación densa que impida la transitabilidad, las muestras tomadas en los puntos de afluencia y efluencia pudieron representar con precisión la muestra.

En el acondicionamiento, se prepararon los equipo necesarios para las tomas de muestras, ficha de registro de datos de campo, etiqueta para muestras de agua residual y registro de cadena de custodia. Se llevaron a cabo las labores de toma de muestras en

ambos puntos de monitoreo, incluyendo su preservación según lo requiera el parámetro, etiquetado y rotulado, almacenamiento y transporte. Anticipadamente se implementó la utilización de los equipos de protección personal como el traje de protección corporal, mascarilla y guantes antes del inicio de la toma de muestras para evitar riesgos en la salud.

4.4. Instrumentos

4.4.1 Técnicas

“La técnica de investigación es el proceso que permite organizar el estudio a través de una estructura sistemática por medio del control de datos e inserción de los instrumentos necesarios” (Nel, 2019).

El estudio se realizó de acuerdo con el protocolo de monitoreo de calidad establecido por el MVCS. La metodología establecida en la Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA exige que los Prestadores de Servicios de Saneamiento monitoreen periódicamente tanto la entrada como la salida de sus PTAR, y posteriormente informen al MVCS sobre el grado de cumplimiento de los LMP. Este protocolo establece:

4.4.1.1. Puntos para la Toma de Muestras.

En cuanto a la evaluación de efluentes, es crucial que los puntos de monitoreo seleccionados reflejen la calidad general de las aguas residuales que se analizan. Se implementaron dos sitios de monitoreo de aguas residuales: uno posicionado en la entrada, específicamente en la cámara inicial donde el agua residual cruda ingresaba previa a someterse a cualquier fase de tratamiento; mientras que el otro punto se localizaba en la salida del agua residual tratada de la PTAR, una vez concluido todo el proceso de tratamiento, previo al vertido del agua en el río Ranracancha. Las ubicaciones de los puntos de control se distinguieron y reconocieron de forma que fuera posible localizarlos con precisión.

Tabla 4

Coordenadas UTM (WGS84) de los puntos de monitoreo en la PTAR de Ranracancha

Puntos de				
Monitoreo	Zona	Norte (m)	Este (m)	Altitud (msnm)
Afluente	18S	8'503,274	651,667	3337
Efluente	18S	8'503,329	651,690	3305

Nota. Se muestran las coordenadas de ubicación de los puntos de monitoreo para la toma de muestras en la PTAR de Ranracancha.

4.4.1.2. Parámetros a Monitorear en el Afluente y Efluente de la PTAR.

El D.S. N° 003-2010-MINAM especifica los siguientes parámetros para el monitoreo de efluentes de PTAR, para los cuales se establecen los LMP: aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO, DQO, pH, SST y temperatura. Se midieron estas características tanto en las aguas residuales tratadas (efluente) como en las aguas residuales crudas (afluente), y se recogieron muestras individuales en cada escenario.

4.4.1.3. Frecuencia del Monitoreo.

Está diseñado para cuantificar las alteraciones significativas en los parámetros fisicoquímicos y biológicos asociados a las aguas residuales crudas y procesadas de la PTAR que tienen lugar durante periodos de tiempo específicos. El programa de muestreo preveía la recogida de muestras en los puntos de control del afluente y el efluente cada cinco minutos durante un total de 1,30 horas, comenzando a las 8:30 de la mañana y terminando a las 10:00 de la mañana.

4.4.1.4. Procedimiento de la Toma de Muestras y el Análisis de las Mismas.

El monitoreo desarrollado en la investigación se realizó con apoyo de AQUA TERRA LABORATORIO Y CONSULTORES E.I.R.L., y los análisis de las muestras se realizaron en el laboratorio INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C., certificado por el organismo de acreditación INACAL – DA con registro N° LE – 031.

Se solicitó al presidente de la comunidad de San Antonio, que supervisa junto con sus miembros el mantenimiento y la administración de la PTAR de Ranracancha, las licencias necesarias para iniciar la investigación. La preparación de insumos y de aparatos de laboratorio, equipo y protección personal, así como la logística y transporte para el trabajo de campo, precedieron al inicio de la actividad de campo.

Preparación de Materiales y Equipos. Para poder llevar a cabo el seguimiento con eficacia, era fundamental tener preparados de antemano los suministros de trabajo, los preservantes químicos para la preservación de las muestras y los formatos (registro de datos de campo, etiquetas de las muestras y cadena de custodia).

Procedimiento de Muestreo. Obtener una muestra representativa del afluente y el efluente de la PTAR es el objetivo del proceso de muestreo para poder examinar los parámetros. Una vez dentro de las instalaciones de la PTAR se realizó las siguientes actividades:

- **Ubicación del punto de muestreo,** se definió la zona de trabajo y los puntos para el muestreo de parámetros en el afluente y el efluente, y se completó en colaboración con el especialista del laboratorio para el muestreo.
- **Cuidados y acondicionamiento,** para que las muestras fueran lo más representativas posibles, se recogieron en ambos lugares, evitando sedimentos, partículas grandes y restos flotantes.
- **Medición del caudal y registro de la información,** durante el procedimiento de muestreo, se midieron y registraron los caudales afluente y efluente. Para el afluente se hizo la medición en el canal parshall con la que cuenta la PTAR haciendo uso de la ecuación (2):

$$Q = \left(\frac{H_0}{k}\right)^{\frac{1}{m}} \quad (2)$$

Donde:

Q= caudal en "m³/s"

H_o = altura de agua en la zona de medición en “m”

k, m constantes en relación al ancho de garganta de la canaleta (para 3” ó 0.075m, $k= 3.704$ y $m= 0.646$)

Mediante la ecuación (2) se halló el valor del caudal en el afluente con un valor de 2.15 L/s como se muestra:

$$Q = \left(\frac{H_o}{k}\right)^{\frac{1}{m}} = \left(\frac{0.07}{3.704}\right)^{\frac{1}{0.646}} = 0.00215 \frac{m^3}{s} \left(\frac{1000L}{1m^3}\right) = 2.15 \frac{L}{s}$$

Al no existir una estructura de medición, se utilizó el enfoque volumétrico para determinar el caudal de efluentes, la tubería final permitió recolectar el caudal por descarga libre, haciendo uso de un recipiente de 20 L y un cronómetro para medir el tiempo de llenado, se procedió el cálculo mediante la ecuación (3):

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3)$$

Donde:

Q = caudal en “L/s”

V = volumen en “L”

t = tiempo en “s”

Mediante la ecuación (3) se determinó el valor del caudal haciendo tres repeticiones para obtener un promedio de caudal con un valor de 2.23 L/s, como se muestra:

$$Q_1 = \frac{V}{t} = \frac{20}{8.97} = 2.23 \frac{L}{s}$$

$$Q_2 = \frac{V}{t} = \frac{20}{8.93} = 2.24 \frac{L}{s}$$

$$Q_3 = \frac{V}{t} = \frac{20}{9.05} = 2.21 \frac{L}{s}$$

$$Q_p = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{3} = \frac{2.23 + 2.24 + 2.21}{3} = 2.23 \frac{L}{s}$$

Tabla 5

Determinación de los caudales promedios del afluente y efluente de la PTAR (L/s)

Puntos de				
Monitoreo	Q1 (L/s)	Q2 (L/s)	Q3 (L/s)	Qp (L/s)
Afluente	-	-	-	2.15
Efluente	2.23	2.24	2.21	2.23

Nota. Se muestran los caudales de ingreso y de salida de las instalaciones de la PTAR de Ranracancha, sin embargo varían ligeramente, teniendo un caudal mayor en la salida, probablemente por la filtración del lecho de secado hacia el filtro biológico, incorporando de esta manera un flujo considerable en la salida de la PTAR.

- **Preparación del equipo y materiales**, fue esencial que estuvieran en condiciones asépticas y en condiciones óptimas para evitar la contaminación cruzada entre las muestras, para lo cual se emplearon botellas de plástico y de vidrio según el parámetro evaluado, guantes desechables, traje de protección corporal para evitar la contaminación al momento de la toma de muestras, preservantes teniendo en cuenta la necesidad de precaución al manipular los reactivos debido a su naturaleza química.
- **Etiquetado y rotulado de las muestras**, para evitar que la información se borrara, las botellas se etiquetaron con un rotulador de tinta indeleble con letra clara y legible, y a continuación, la etiqueta se cubrió con cinta adhesiva transparente. Cada botella se etiquetó con información detallada, como el número de solicitud de servicio, número de cadena de custodia, estación de muestreo, tipo de muestra, la fecha, el parámetro, el preservante y el inspector de campo.
- **Toma de muestras de agua residual y preservación**, las muestras de agua residual cruda y tratada se recolectaron el día viernes 06 de octubre

del 2023 a partir de las 8:30 am en colaboración de AQUA TERRA LABORATORIO Y CONSULTORES E.I.R.L., se utilizó botellas de muestreo previamente limpias y estériles, para llenar los frascos de cada uno de los parámetros evaluados llenándolas completamente para evitar la presencia de aire y así mantener las características originales del agua residual tomada, además las condiciones para la recolección de muestras de los parámetros variaron en las características del recipiente (plástico o vidrio), la cantidad y el tipo de reactivo necesario para la preservación de las muestras, este último se adicionó in-situ al momento de la toma de muestras de cada parámetro.

Tabla 6

Toma de muestras de agua residual y preservación de las muestras

Determinación del parámetro	Recipiente	Volumen de la muestra	Preservación y concentración
Parámetros físicos			
pH	Plástico	250 mL	Sin preservante
Temperatura	Plástico	250 mL	Sin preservante
Oxígeno disuelto	Frasco de vidrio tipo winkler	300 mL	2 mL de solución de sulfato de manganeso (40 gotas) y 2 mL de solución alcalina yoduro-azida, en oscuridad de 10 a 20 °C.
Sólidos suspendidos totales (SST)	Plástico	1000 mL	Sin preservante, refrigerado a $\leq 4^{\circ}\text{C}$
Turbidez	Plástico	250 mL	Sin preservante, refrigerado a $\leq 4^{\circ}\text{C}$
Parámetros químicos			
DQO	Plástico	250 mL	0.5 mL (10 gotas) de ácido sulfúrico concentrado, hasta $\text{pH} \leq 2$ y refrigerado a $\leq 4^{\circ}\text{C}$
DBO_5	Plástico	1000 mL	Sin preservante, refrigerado a $\leq 4^{\circ}\text{C}$
Aceites y grasas	Vidrio, ámbar de boca ancha	1000 mL	2 mL (40 gotas) de ácido sulfúrico, hasta $\text{pH} \leq 2$ y refrigerado a $\leq 4^{\circ}\text{C}$
Parámetro biológico			
Coliformes termotolerantes	Plástico, boca ancha esterilizado	500 mL	Sin preservante, refrigerado a $\leq 4^{\circ}\text{C}$

Nota. En la toma de muestras de agua residual en los dos puntos de monitoreo, se recolectaron un volumen total de 9.6 L, considerando volúmenes de recolección distintos para cada parámetro, al igual que el tipo de frasco y el preservante utilizado para su conservación.

- **Llenado del formato de cadena de custodia**, fue crucial completar el formulario de la cadena de custodia con detalles como el nombre y ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales en estudio, las ubicaciones y coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo, la naturaleza de las muestras de agua, los criterios a ser analizados, la cantidad de muestras, el tipo de recipiente utilizado, el volumen de las muestras, los productos químicos utilizados en la preservación, las condiciones de almacenamiento,

el especialista a cargo del muestreo y otros datos relevantes durante todo el proceso de recolección de muestras. Este procedimiento aseguró la trazabilidad y la credibilidad de los resultados obtenidos.

- **Transporte y Conservación de las muestras**, consistió en etiquetar, recoger y conservar las muestras de aguas residuales procedentes del afluente y del efluente antes de ser almacenadas en una caja de almacenamiento térmico equipada con un refrigerante, de acuerdo con la recomendación de temperatura especificada en la cadena de custodia, el envío al laboratorio para el análisis se realizó en el tiempo mínimo posible acompañada de la respectiva cadena de custodia, evitando la exposición a altas temperaturas y posibles contaminaciones externas.

Al finalizar las actividades de la toma de muestras se realizó la limpieza de los equipos y materiales, recojo y almacenamiento en bolsas plásticas para su tratamiento de los residuos sólidos generados como guantes, trajes de protección y envases utilizados, y la desinfección corporal con agua y jabón además de alcohol para evitar problemas en la salud.

Tabla 7

Parámetros y métodos de análisis en laboratorio: INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.

Parámetros	Método de análisis en laboratorio
pH	EPA Method 150.1 1999 pH (<i>Electrometric</i>), <i>Approved for NPDES (Editorial Revision)</i> .
Temperatura	EPA Method 170.1 1999 Temperature (<i>Thermometric</i>) <i>Approved for NPDES Issued 1974</i> .
Oxígeno disuelto (OD)	EPA Method 360.2 1999 <i>Oxygen Dissolved, Modified Winkler Full Bottle Technique</i> .
Sólidos suspendidos totales (SST)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 24th Ed 2023 Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C.
Turbidez	EPA Method 180.1 1999 Turbidity, <i>Nephelometric</i> .
DQO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C. 24th Ed. 2023 <i>Chemical Oxygen Demand. Closed Reflux, Titrimetric Method</i> .
DBO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B. 24th Ed. 2023 <i>Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5 Day BOD Test</i> .
Aceites y grasas	EPA 1664, Rev. B, Febrero 2010 <i>n-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated n-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry</i> .
Coliformes termotolerantes	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E1, 24th Ed 2023 <i>Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)</i> .

Nota. Los parámetros fueron analizados en el laboratorio INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C., acreditado por INACAL.

4.4.2. Instrumentos

“Los instrumentos de investigación son las herramientas que el investigador utiliza para recopilar, medir y analizar datos de un fenómeno en torno al tema de investigación”

(Nel, 2019). Para el presente estudio, cuyas características demuestran ser de un enfoque cuantitativo, se utilizó el protocolo de monitoreo de la calidad establecido por el MVCS.

Tabla 8*Materiales y equipos para la toma de muestras*

Materiales	Equipos
Caja térmica	Celular
Botellas de contenido de 250, 500 y 1000 mL (polietileno)	GPS
Botella de vidrio ámbar de boca ancha con tapa rosca de PTFE, de 1000 mL	Cámara fotográfica
Botella winkler de 300 mL	
Cadena de custodia	
Ficha de registro de campo	
Plumón indeleble punta fina	
Lapiceros tinta seca	
Papel secante	
Cinta masking	
Alcohol	
Preservantes químicos a emplearse en el campo para la preservación de muestras para OD, DQO y	
Aceites y Grasas	
Guantes quirúrgicos	
Mascarillas tipo quirúrgicas	

Nota. Se observa los materiales y equipos empleados en todo el proceso de la toma de muestras en el afluente y efluente de la PTAR de Ranracancha.

4.5. Procedimientos

Fue necesario recolectar y recopilar detalladamente toda la información requerida de diversos parámetros de investigación en el estudio, incluyendo aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO₅, DQO, pH, sólidos totales suspendidos y temperatura;

para calcular las eficiencias de eliminación de contaminantes en la PTAR de Ranracancha, utilizando dichos datos para aplicar un método estadístico con el fin de procesar, sistematizar y calcular eficiencias una vez analizadas las muestras.

4.6. Análisis de Datos

Estos datos fueron esenciales para la creación de gráficos y tablas específicas de cada parámetro evaluado, lo que facilitó la comprensión y análisis de la eficiencia de la PTAR de Ranracancha. Se utilizó el software Excel como herramienta fundamental en este proceso. Finalmente se comparó los valores de los parámetros encontrados en el agua residual cruda y tratada con los estándares nacionales actuales de los LMP para efluentes de PTAR domésticas o municipales.

4.7. Consideraciones Éticas

Para la elaboración de la tesis se consideró las siguientes precisiones éticas:

- ✓ En vista de que la investigación conserva acciones humanas, fue importante sujetar el estudio a acciones y principios éticos. En ese entender, se tomaron las siguientes consideraciones en función a valores, normas y principios regidos por instituciones regionales, nacionales e internacionales.
- ✓ Se respetó el derecho de autor considerando las fuentes y éstas fueron debidamente citadas para evitar el plagio.
- ✓ La investigación proporciona información verídica acerca de los resultados obtenidos de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ranracancha.
- ✓ Se tuvo el consentimiento de las autoridades locales del distrito de Ranracancha, con el sustento de fines académicos e investigativos que tiene la tesis, en ese entender, se hizo una petición por medio de una solicitud formal al presidente del sector de San Antonio quienes vienen haciendo la operación y mantenimiento de la PTAR.
- ✓ Con el fin de respetar a las personas y al medio circundante, durante el trabajo de investigación tuve el compromiso de proteger el ambiente y la vida aledaña.

V. Resultados y Discusión

5.1. Resultados

5.1.1. Resultados del Objetivo General

Para la evaluación de la eficiencia de eliminación de contaminantes en la PTAR del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros-Apurímac, 2023

5.1.1.1. Datos de la Eficiencia de la PTAR de Ranracancha.

Tabla 9

Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ranracancha

Parámetro	Unidad	D.S. N° 003-2010-MINAM-LMP	Nivel de concentración en el afluente	Nivel de concentración en el efluente	Eficiencia %
Aceites y grasas (A y G)	mg/L	20	3	1.2	60
Coliformes termotolerantes	NMP/100m L	10000	22000	1700	92
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	100	76.8	41.9	45
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	200	155.5	84.8	45
pH		6.5-8.5	6.9	7	-----
Sólidos totales en suspensión (SST)	mg/L	150	86	62	28
Temperatura	°C	<35	23.1	23.2	-----

Nota. La tabla muestra los valores del reporte de los análisis del laboratorio de todos los parámetros físicos, químicos y biológicos en evaluación y los LMP para efluentes de PTAR domésticas, además del porcentaje de la eficiencia lograda en el tratamiento mediante los sistemas de la PTAR de Ranracancha.

5.1.1.2. Cálculo de la Eficiencia de la PTAR de Ranracancha.

Según los datos de eficiencias mostradas en la Tabla 9, los porcentajes fueron obtenidos haciendo uso de la ecuación (1):

$$E = \frac{C_0 - C}{C_0} * 100 \quad (1)$$

Para ello se empleó la ecuación (1) para calcular las eficiencias de los parámetros físicos, químicos y biológicos, como se muestra a continuación:

a. Cálculo de la Eficiencia del Parámetro Físico para los STS.

$$Esst = \frac{86 - 62}{86} * 100 = \frac{24}{86} * 100 = 28\%$$

El nivel de disminución del parámetro de sólidos totales en suspensión fue del 28%, lo cual sugiere que la reducción de este contaminante en las aguas residuales de Ranracancha es bastante limitada.

b. Cálculo de la Eficiencia del Parámetro Químico para Aceites y Grasas.

$$Eag = \frac{3 - 1.2}{3} * 100 = \frac{1.8}{3} * 100 = 60\%$$

Este porcentaje obtenido muestra un 60% de eficiencia en tratamiento de aceites y grasas por los sistemas de la PTAR de Ranracancha, reflejando un tratamiento medio según el porcentaje obtenido.

c. Cálculo de la Eficiencia del Parámetro Químico para la DBO₅.

$$Edbo5 = \frac{76.8 - 41.9}{76.8} * 100 = \frac{34.9}{76.8} * 100 = 45\%$$

La eficiencia de la PTAR de Ranracancha para el parámetro de DBO₅ logró una reducción del 45%, indicando un nivel medio de eficiencia.

d. Cálculo de la Eficiencia del Parámetro Químico para la DQO.

$$Edqo = \frac{155.5 - 84.8}{155.5} * 100 = \frac{70.7}{155.5} * 100 = 45\%$$

La eficiencia de la PTAR de Ranracancha para el parámetro de la DQO al igual que la DBO₅ logró una reducción del 45%, de igual manera indica un nivel medio en la depuración.

e. Cálculo de la Eficiencia del Parámetro Biológico para Coliformes Termotolerantes.

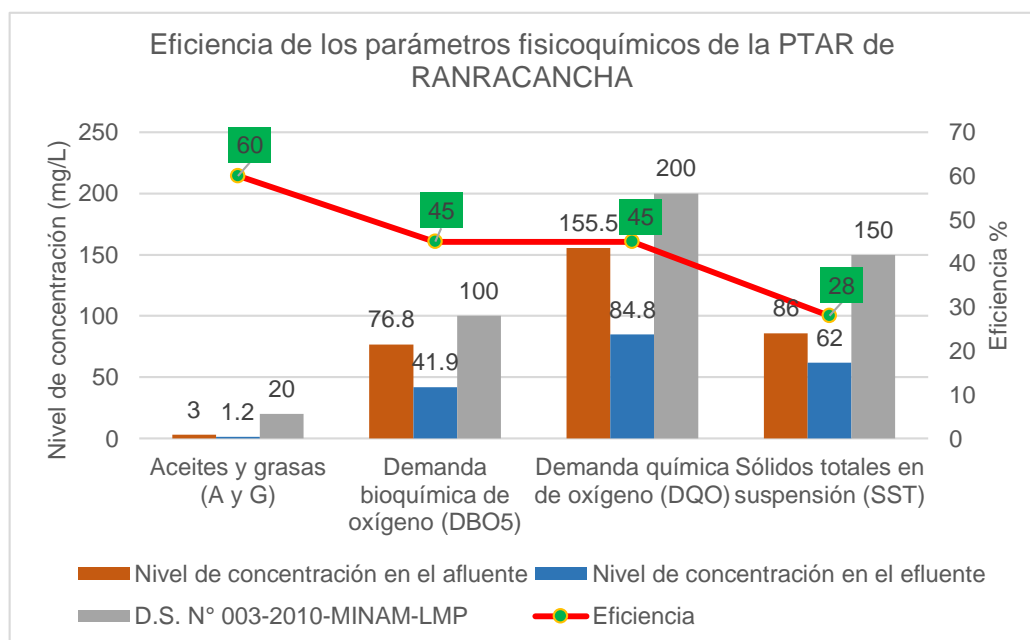
$$Ectt = \frac{22000 - 1700}{22000} * 100 = \frac{20300}{22000} * 100 = 92\%$$

El valor de la eficiencia obtenida para coliformes termotolerantes muestra un 92% de eficiencia de depuración por la PTAR de Ranracancha, valor que indica una eficiencia de tratamiento alto para este parámetro.

5.1.1.3. Resultados de la Eficiencia de la PTAR de Ranracancha

Figura 5

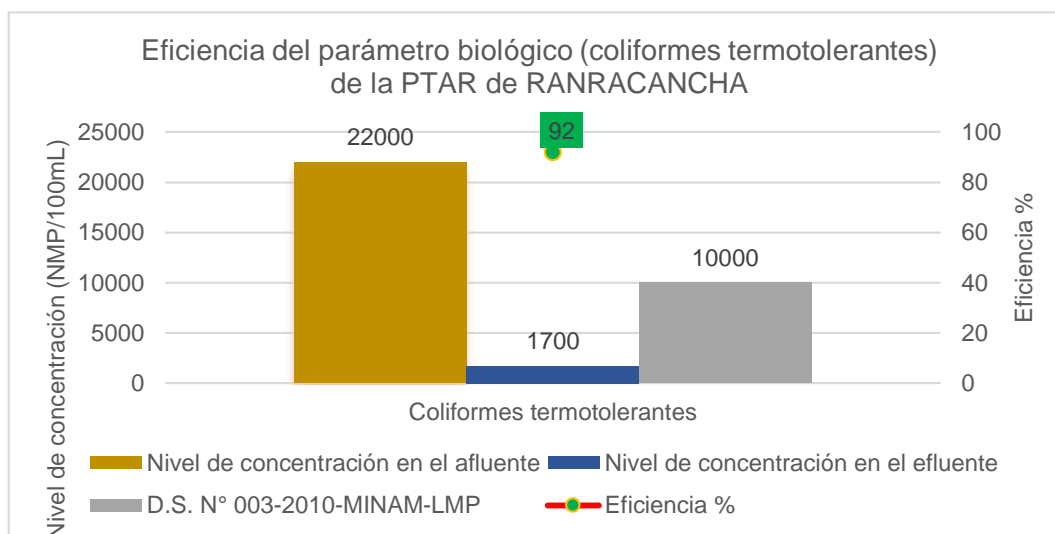
Eficiencia de los parámetros fisicoquímicos de la PTAR de Ranracancha para A y G, DBO₅, DQO y SST



Nota. La figura muestra los resultados de los parámetros fisicoquímicos obtenidos del laboratorio y comparados con el D.S. N° 003-2010-MINAM-LMP para efluentes de PTAR domésticas, además de la eficiencia lograda por los sistemas de tratamiento de los parámetros A y G, DBO₅, DQO y SST.

Figura 6

Eficiencia del parámetro biológico de la PTAR de Ranracancha para coliformes termotolerantes



Nota. Se puede observar en la figura los resultados del parámetro para coliformes termotolerantes obtenidos del laboratorio y comparados con el D.S. N° 003-2010-MINAM-LMP para efluentes de PTAR domésticas, al igual que la eficiencia lograda por la PTAR de Ranracancha.

5.1.1.4. Interpretación de la Eficiencia en la PTAR de Ranracancha.

En la Figura 5, se llevó a cabo la comparación de los resultados de los parámetros del agua residual que entra y sale, de igual manera examinamos los límites máximos permitidos y la eficiencia lograda en el tratamiento.

Los primeros parámetros mostrados corresponden a los aceites y grasas, con un valor de 3 mg/L en el agua entrante y 1.2 mg/L en el agua saliente en la PTAR de Ranracancha. Ambos valores se mantienen por debajo del LMP para el vertimiento a cuerpos de agua, fijado en 20 mg/L. Además, se logró una eficiencia del tratamiento del 60% para este componente. Otro parámetro evaluado fue la DBO5, con un valor de 76.8 mg/L en la entrada y 41.9 mg/L en la salida, ambos dentro de los límites permitidos de 100 mg/L. Sin embargo, la eficiencia de eliminación de este parámetro fue moderada, alcanzando solo un 45%. En cuanto a la DQO, los valores registrados fueron 155.5 mg/L

en el agua cruda y 84.8 mg/L en el agua tratada, observando una adecuada remoción que cumple con los estándares de vertimiento de 200 mg/L. Aunque la eficiencia de tratamiento fue similar a la de la DBO5, es decir, un 45%. Finalmente, se analizaron los sólidos totales en suspensión, con 86 mg/L en el ingreso y 62 mg/L en la salida, ambos por debajo del límite de 150 mg/L para efluentes de PTAR domésticas. A pesar de esto, la eficiencia de tratamiento para este parámetro fue baja, alcanzando solo un 28%.

En la Figura 6, se aprecia los valores para coliformes termotolerantes en el afluente con un valor de 22000 NMP/100mL y en el efluente con 1700 NMP/100mL, realizando el contraste de estos, el primero excede por mucho los LMP para efluentes de PTAR domésticas, sin embargo, el segundo valor y más importante, debido que se ha tratado ya el efluente y se descargará al río de Ranracancha, este parámetro cumple los LMP para vertimiento a cuerpos de agua con un valor establecido en la normativa peruana de 10000 NMP/100mL, así mismo la eficiencia lograda fue alta con un porcentaje de 92%.

Los resultados indican que, si bien los sistemas biológicos individuales tienen altos porcentajes de eficiencia en la eliminación de contaminantes, cuando se combinan alcanzan porcentajes superiores al 90%, lo que indica que estos sistemas complementados son los más adecuados para tratar las aguas residuales domésticas. (Vargas et al., 2020, p. 319)

Se acota que los estudios descriptivos se centran en la descripción y caracterización de fenómenos, situaciones o poblaciones, sin la necesidad de someterse a pruebas de hipótesis. Su enfoque radica en recopilar y analizar datos para obtener una comprensión detallada de un tema específico, evitando la formulación de hipótesis precisas, ya que no están dirigidos a probar relaciones causales o hacer predicciones. Por otro lado, las pruebas de hipótesis se reservan para estudios analíticos, donde se plantean hipótesis sobre las relaciones entre variables y se busca confirmar o refutar estas hipótesis mediante pruebas estadísticas.

5.1.2. Resultados de los Objetivos Específicos 1 y 4

Para determinar los parámetros físicos en el afluente y efluente de la PTAR del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros-Apurímac, 2023

5.1.2.1. Datos de los parámetros físicos de la PTAR de Ranracancha.

a. pH.

Tabla 10

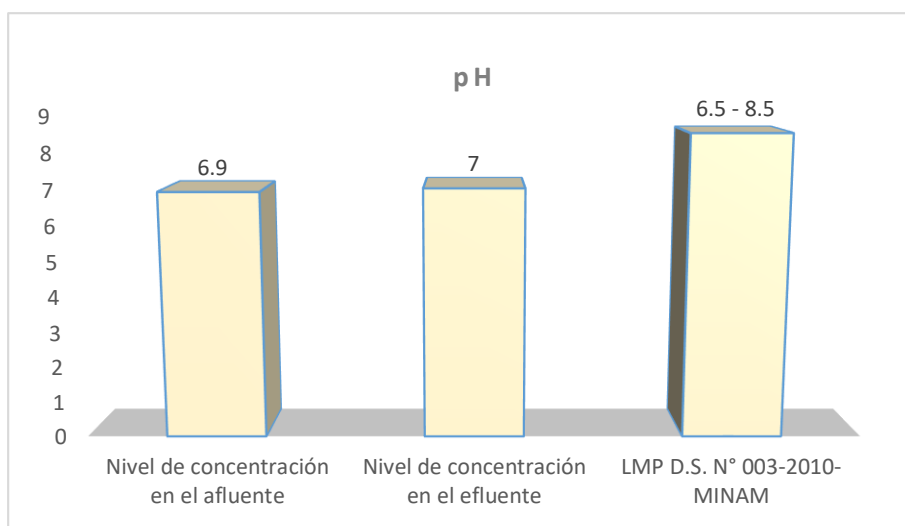
Nivel de concentración del pH vs LMP

Parámetro físico	Unidad	Nivel de concentración en el afluente	Nivel de concentración en el efluente	D.S. N° 003-2010-MINAM-LMP
pH	-----	6.9	7	6.5-8.5

Nota. La tabla muestra los resultados del pH en el afluente y efluente de las aguas residuales de la PTAR de Ranracancha y comparados con los LMP.

Figura 7

Nivel de concentración del pH vs LMP



b. Sólidos Totales en Suspensión (STS).

Tabla 11

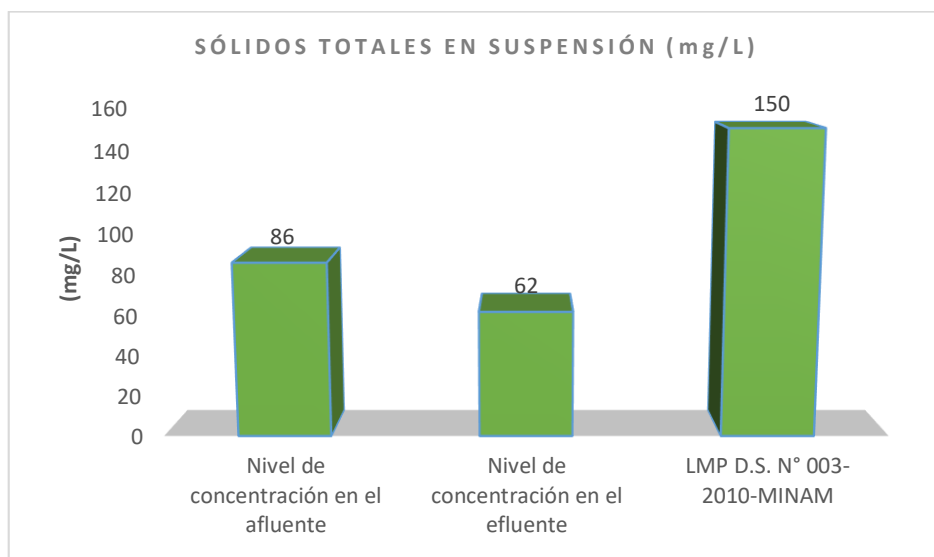
Nivel de concentración de sólidos totales en suspensión vs LMP

Parámetro físico	Unidad	Nivel de concentración en el afluente	Nivel de concentración en el efluente	D.S. N° 003-2010-MINAM-LMP
Sólidos totales en suspensión	mg/L	86	62	150

Nota. La tabla muestra los resultados de la concentración de STS antes y después del tratamiento en la PTAR de Ranracancha en comparación con los LMP.

Figura 8

Nivel de concentración de sólidos totales en suspensión vs LMP



c. Temperatura.

Tabla 12

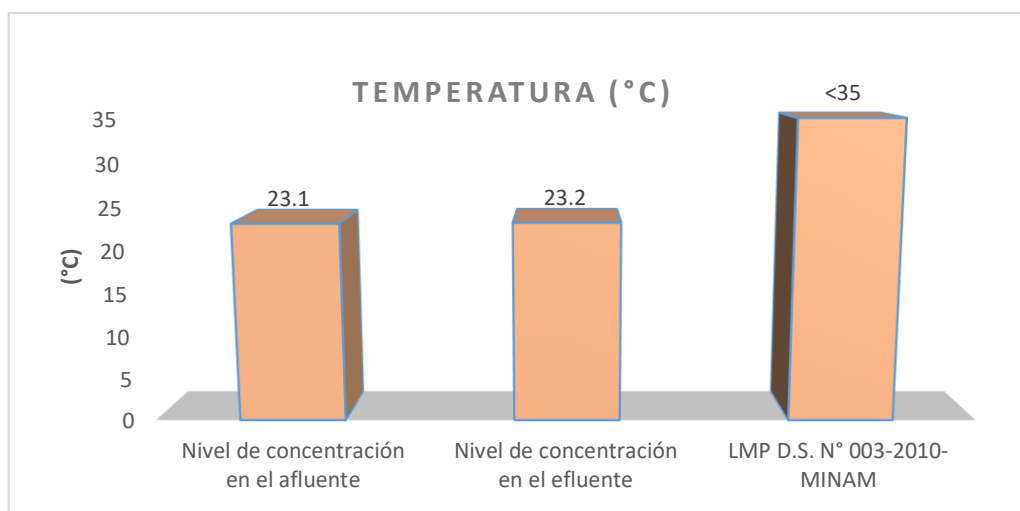
Nivel de concentración de la temperatura vs LMP

Parámetro físico	Unidad	Nivel de concentración en el afluente	Nivel de concentración en el efluente	D.S. N° 003-2010-MINAM-LMP
Temperatura	°C	23.1	23.2	<35

Nota. La tabla muestra los resultados de la temperatura en el afluente y efluente de la PTAR de Ranracancha en relación a los LMP.

Figura 9

Nivel de concentración de la temperatura vs LMP



5.1.2.2. Resultados e Interpretación de los Parámetros Físicos de la PTAR de Ranracancha.

Los resultados del pH se muestran en la Tabla 10 y Figura 7, en el afluente se observa un resultado de 6.9, indica rango aceptable, el cual se encuentra definido entre 6.5 y 8.5 según los LMP para vertimiento a cuerpos de agua, por otro lado en el efluente el valor fue 7, también dentro de los LMP y algo muy importante, este valor es neutro beneficiando los procesos biológicos en la PTAR de Ranracancha.

Se muestran los resultados de los STS en la Tabla 11 y Figura 8, estos evidencian un resultado observado de 86 mg/L en el afluente, el cual afirma que existe una carga de partículas suspendidas en el agua que se encuentra por debajo del parámetro establecido según el D.S. N° 003-2010-MINAM de 150 mg/L, luego este mismo parámetro en el efluente fue de 62 mg/L enmarcados también dentro de los LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua.

Los resultados de la temperatura se muestran en la Tabla 12 y Figura 9, la cual se encuentra en un rango aceptable, con 23.1°C en el afluente y 23.2°C en el efluente, ambos valores están en el rango de los LMP para efluentes de PTAR domésticas con un valor establecido menor a 35 °C.

5.1.3. Resultados de los Objetivos Específicos 2 y 5

Para determinar los parámetros químicos en el afluente y efluente de la PTAR del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros-Apurímac, 2023

5.1.3.1. Datos de los parámetros químicos de la PTAR de Ranracancha.

a. Aceites y Grasas.

Tabla 13

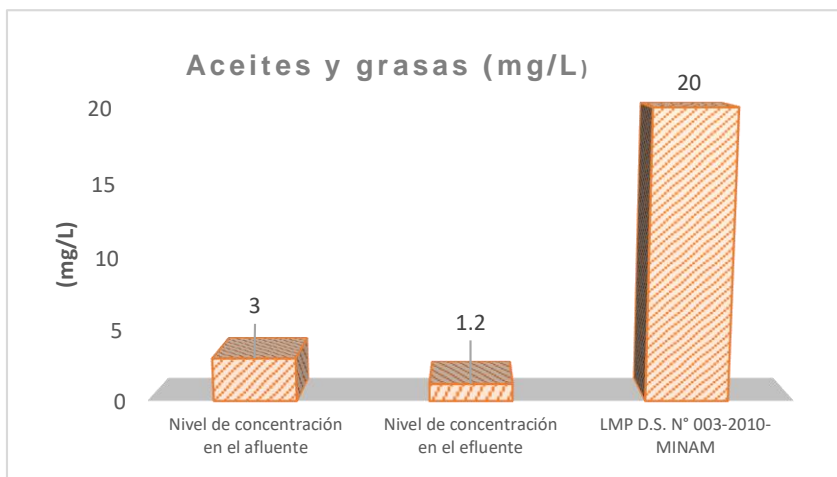
Nivel de concentración de aceites y grasas vs LMP

Parámetro químico	Unidad	Nivel de concentración en el afluente	Nivel de concentración en el efluente	D.S. N° 003-2010-MINAM-LMP
Aceites y grasas	mg/L	3	1.2	20

Nota. La tabla muestra los resultados de la concentración de aceites y grasas en el afluente y efluente de la PTAR de Ranracancha en comparación con los LMP.

Figura 10

Nivel de concentración de aceites y grasas vs LMP



b. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).

Tabla 14

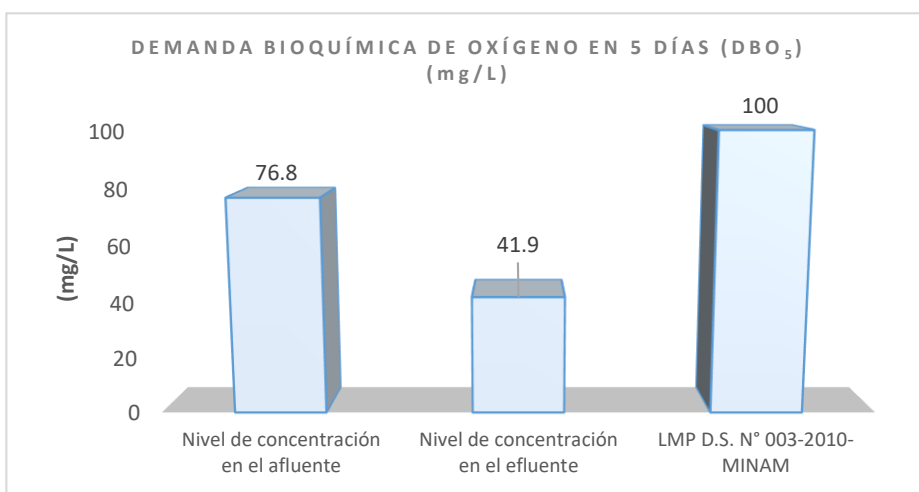
Nivel de concentración de la DBO₅ vs LMP

Parámetro químico	Unidad	Nivel de	Nivel de	D.S. N° 003-
		concentración en el afluente	concentración en el efluente	2010-MINAM-LMP
DBO ₅	mg/L	76.8	41.9	100

Nota. Esta tabla muestra los resultados de laboratorio del parámetro para DBO₅ en el ingreso y salida de la PTAR de Ranracancha comparados con los LMP.

Figura 11

Nivel de concentración de la DBO₅ vs LMP



c. Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Tabla 15

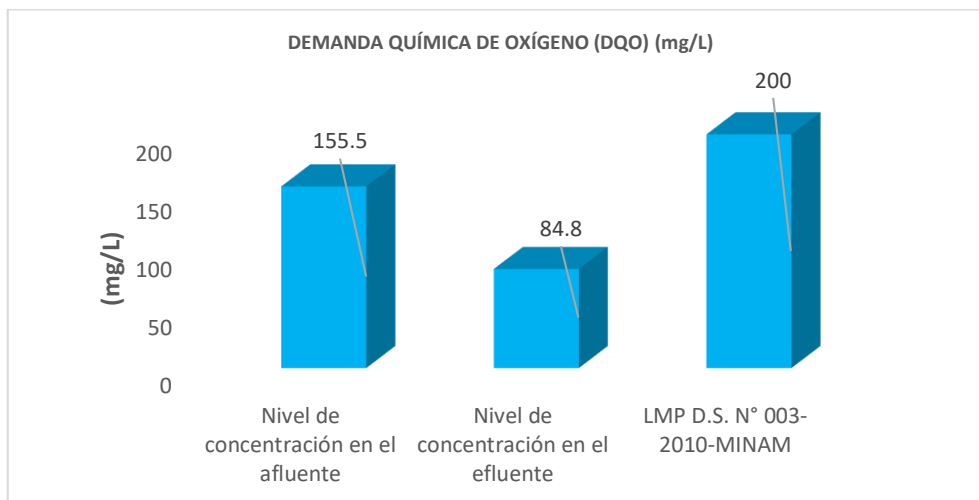
Nivel de concentración de la DQO vs LMP

Parámetro químico	Unidad	Nivel de concentración en el afluente	Nivel de concentración en el efluente	D.S. N° 003-2010-MINAM-LMP
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	155.5	84.8	200

Nota. Esta tabla muestra los resultados de análisis del parámetro de DQO en el agua residual cruda y tratada en la PTAR de Ranracancha respecto a los LMP.

Figura 12

Nivel de concentración de la DQO vs LMP



5.1.3.2. Resultados e Interpretación de los Parámetros Químicos de la PTAR de Ranracancha.

Los resultados de la evaluación de aceites y grasas están presentados en la Tabla 13 y la Figura 10. Este factor indica la existencia de aceites y grasas en el agua residual, que registra un nivel de 3 mg/L en la entrada y 1.2 mg/L en la salida. Ambas cantidades se hallan por debajo del límite máximo permitido, determinado según el Decreto Supremo. El nivel de aceites y grasas, el cual está contenido en la normativa N° 003-2010-MINAM a una concentración de 20 miligramos por litro, se sitúa dentro de los límites establecidos por la regulación.

Los resultados de la concentración de DBO_5 se observan en la Tabla 14 y Figura 11, en el afluente con un valor de 76.8 mg/L, si bien es un valor elevado está dentro de los LMP, por otro lado se puede observar un resultado de 41.9 mg/L de DBO_5 en el efluente, el cual será descargado hacia al río de Ranracancha, lo resaltante de ambos valores del parámetro es que se encuentra por debajo de los LMP según la norma peruana de 100 mg/L.

Los resultados del parámetro de DQO se muestran en la Tabla 15 y Figura 12, en el afluente el valor es 155.5 mg/L, una cantidad que a pesar de acercarse peligrosamente al LMP de 200 mg/L no lo supera, de igual manera el valor en el efluente fue 84.8 mg/L, el

resultado observado no excede el LMP, indicando que la calidad del agua cumple con los estándares ambientales establecidos en la normativa peruana.

5.1.4. Resultados de los Objetivos Específicos 3 y 6

Para determinar los parámetros biológicos en el afluente y efluente de la PTAR del distrito de Ranracancha, provincia de Chincheros-Apurímac, 2023

5.1.4.1. Datos del Parámetro Biológico de la PTAR de Ranracancha.

a. Coliformes Termotolerantes.

Tabla 16

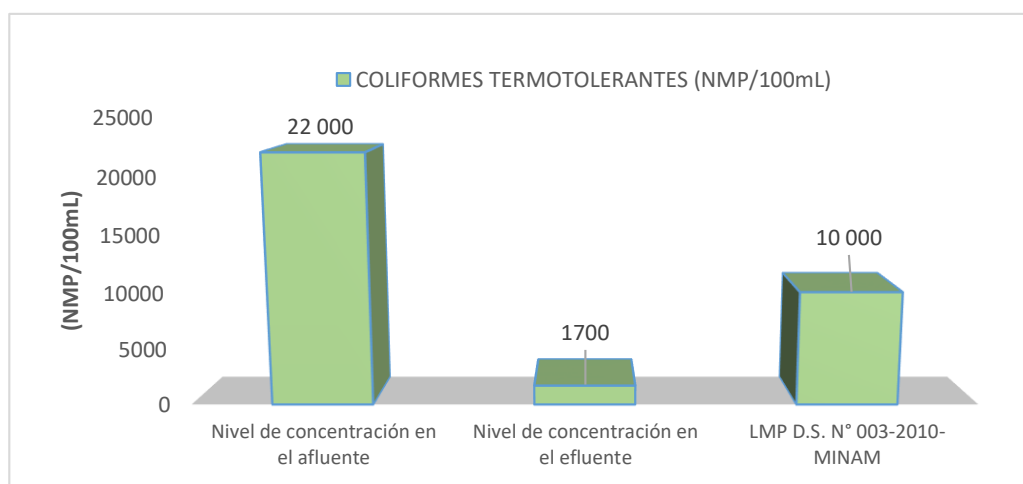
Nivel de concentración de coliformes termotolerantes vs LMP

Parámetro biológico	Unidad	Nivel de concentración en el afluente	Nivel de concentración en el efluente	D.S. N° 003-2010-MINAM-LMP
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	22000	1700	10000

Nota. Esta tabla muestra los resultados de la concentración de coliformes termotolerantes en el afluente y efluente de la PTAR de Ranracancha en relación a los LMP.

Figura 13

Nivel de concentración de coliformes termotolerantes vs LMP



5.1.4.2. Resultados e Interpretación del Parámetro Biológico de la PTAR de Ranracancha.

Los resultados de los coliformes termotolerantes se muestran en la Tabla 16 y Figura 13, indican la posible presencia de contaminación fecal en el agua, el resultado observado en el afluente fue 22000 NMP/100mL, el cual excede considerablemente el LMP, lo que indica una evidente contaminación fecal, mientras que en el efluente este valor solo fue 1700 NMP/100 mL, el cual está muy por debajo de la normativa peruana establecida de 10000 NMP/100 mL según LMP para efluentes de PTAR domésticas o municipales.

5.2. Discusión de Resultados

El principal propósito establecido es la evaluación de la eficiencia realizado en la PTAR de la localidad de Ranracancha, ubicada en la provincia de Chincheros, en la región de Apurímac, con una perspectiva para el año 2023. Con base en los datos recopilados, podemos destacar la siguiente información:

Según la evaluación integral de los resultados, se considera de nivel medio en términos de eficiencia. A pesar de que las eficiencias alcanzadas rondan el 50%, los niveles de DBO y DQO se encuentran dentro de los LMP para los efluentes de las PTAR domésticas, lo cual indica una carga moderada de materia orgánica y contaminantes químicos. Sin embargo, se nota la urgencia de mejorar la capacidad de eliminación de estos contaminantes durante el proceso de tratamiento, lo cual requiere mejoras en la operación y mantenimiento de todo el sistema.

La Figura 5, muestra los resultados de eficiencia de depuración para los parámetros evaluados con los siguientes datos: para aceites y grasas se alcanzó una eficiencia del 60% indicando así que la eficiencia lograda es media, para la DBO₅ y la DQO el porcentaje de remoción fue del 45% mostrando una eficiencia media en el tratamiento de ambos parámetros y finalmente la eficiencia para el tratamiento de los SST fue de 28%, indicando de esta manera que el valor obtenido demuestra un depuración baja; todos estos valores, se compararon a los obtenidos por Atalaya (2022), con las siguientes eficiencias: aceites y grasas (64.34%), DBO₅ (70%), DQO (67.68%) y SST (78.80%), con lo cual se afirma que la eficiencia para aceites y grasas coinciden, mientras que para la DBO₅, DQO y SST en la investigación de la PTAR de Ranracancha reflejaron una menor eficiencia en comparación a los datos de Atalaya (2022).

De igual manera para los coliformes termotolerantes mostrados en la Figura 6, se obtuvo un porcentaje de depuración de 92% de la cual podemos afirmar que se logró una eficiencia alta mediante el tratamiento, y en relación al estudio hecho por Cayllahua (2022) se acerca a los resultados obtenidos de 99,9% de eficiencia según la PTAR de Sicuani.

A partir de los ensayos realizados, se han encontrado los siguientes resultados para los parámetros físicos, químicos y biológicos en relación a la Tabla 2. LMP para los efluentes de PTAR a un cuerpo de agua:

Se muestra también la Figura 7, con resultados del pH, con valores de 6.9 en el afluente y 7 en el efluente, valores que ratifican lo mencionado por Atalaya (2022), sustentando que el pH del efluente de la PTAR de Sorochuco es de 7,31, valor que se aproxima a los análisis obtenidos en la PTAR de Ranracancha.

De igual manera se muestra la Figura 8, correspondiente al parámetro de sólidos totales suspendidos, mostrando valores en el afluente de 86 mg/L y en el efluente 62 mg/L, ambos se enmarcan dentro de los LMP con un valor de 150 mg/L, estos resultados no coinciden con lo obtenido por Díaz (2021) que obtuvo una cifra de 10,65 mg/l.

Por otro lado, en la Figura 9, la temperatura se encuentra en un rango aceptable con 23.1 y 23.2 °C en el afluente y efluente respectivamente, ya que el LMP menciona valores <35 °C, esta investigación corrobora el resultado obtenido por Carrasco (2022), con un valor medido de 20,3 °C debido a la semejanza del clima y altitud de las PTAR de Poroy y Ranracancha.

En la Figura 10, los parámetros de aceites y grasas revelaron cifras de 3 y 1.2 mg/L en el agua de entrada y salida respectivamente, lo cual se encuentra por debajo del límite máximo permitido para aguas residuales de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, establecido en 20 mg/L. Estos valores concuerdan con la investigación de Membrillo (2022), que reportó un nivel de 1.859 mg/L para aceites y grasas. Se destaca que esta similitud puede explicarse por el origen del agua residual previa proveniente de la planta Unidad Minera San Rafael. Además, se menciona que la eficiencia de la planta de tratamiento de Cumani ha sido comprobada como efectiva.

Los resultados obtenidos conforme a la información presentada en la Figura 11 indican que los niveles de DBO5 se sitúan dentro de los límites máximos permitidos para los efluentes de PTAR domésticas de 100 mg/L. Se observaron concentraciones de 76.8 mg/L en el agua que entra a la instalación y de 41.9 mg/L en el agua que sale de la misma.

Tales conclusiones no contrastan con el estudio realizado por Díaz (2021), quien reportó un valor de 5.6 mg/L en el efluente, lo cual se atribuye al eficaz funcionamiento y mantenimiento de la PTAR de la ciudad de Lajas, que cuenta con un sistema altamente eficiente para la eliminación de desechos orgánicos.

La Figura 12, señala el parámetro de la DQO, con valores de 155.5 y 84.8 mg/L en el afluente y efluente respectivamente, ambos dentro de la normativa nacional vigente de los LMP para vertimiento a cuerpos de agua con un valor de 200 mg/L, resultados que no concuerdan con lo obtenido por Díaz (2021) de 12,3 mg/L, esto referente a la correcta y oportuna operación de la PTAR de Lajas.

De acuerdo a la Figura 13, al analizar los coliformes termotolerantes se obtuvo valores en el afluente de 22000 NMP/100mL, parámetro que se encuentra fuera de los LMP, por otro lado para el efluente fue de 1700 NMP/100mL, respecto a este parámetro podemos decir que se encuentra muy por debajo de los LMP para vertimiento a cuerpos de agua con un valor de 10000 NMP/100mL y se está cumpliendo positivamente con el tratamiento de este parámetro; estos resultados no concuerdan con lo obtenido por Carrasco (2022), con $15 \cdot 10^5$ NMP/100mL debido a que el tanque de sedimentación y la laguna de estabilización de la planta de tratamiento de Poroy superó sus capacidades de depuración sin mantenimiento para extracción de lodos y concluyendo así que la eficiencia de la PTAR de Poroy es mínima.

VI. Conclusiones

- De acuerdo a los resultados obtenidos del laboratorio, los parámetros se compararon con los LMP para efluentes de PTAR domésticas y se evaluó las eficiencias de cada uno de los parámetros, en este sentido la PTAR de Ranracancha en cuanto a remoción de contaminantes alcanzó las siguientes eficiencias: para aceites y grasas se logró un porcentaje de depuración del 60%, en coliformes termotolerantes se logró la mayor eficiencia en remoción con un valor de 92%, en DBO₅ y DQO se alcanzó un 45% en la disminución de estos parámetros y finalmente para los SST solo se alcanzó una eficiencia de 28%, de esta manera se concluye que la eficiencia de eliminación de contaminantes de la PTAR de Ranracancha es media, basado en el cálculo de todos los parámetros evaluados según los LMP, esta eficiencia alcanzada se debe a la falta de mano de obra calificada para la operación y mantenimiento, sin garantizar procesos adecuados de tratamiento. Se acota que la distinción de los niveles altos se hace de acuerdo al antecedente de Vargas et al. (2020), tomando en cuenta un porcentaje mayor a 90% como óptimo para el tratamiento de las aguas residuales.
- Se determinó los parámetros físicos en el afluente de la PTAR mediante el análisis en el laboratorio y se obtuvo los siguientes valores: pH (6.9), SST (86 mg/L) y temperatura (23.1 °C), todos estos parámetros se encuentran dentro de los LMP para efluentes de PTAR domésticas.
- Se determinó también los parámetros químicos en el afluente de la PTAR obteniendo los siguientes valores: A y G (3 mg/L), DBO₅ (76.8 mg/L) y DQO (155.5 mg/L), todos estos parámetros se encuentran dentro de los LMP.
- Se determinó el parámetro biológico en el afluente de la PTAR mediante el análisis en el laboratorio con un valor para coliformes termotolerantes de 22000 NMP/100mL, el cual excedió significativamente los LMP.
- Así mismo se determinó los parámetros físicos en el efluente de la PTAR de Ranracancha mediante los datos proporcionados por el laboratorio, de esta manera se

obtuvo los siguientes valores: pH (7), SST (62 mg/L) y temperatura (23.2 °C), los cuales cumplen todos sin excepción con los LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua.

- Se determinó los parámetros químicos en el efluente de la PTAR mediante el análisis en el laboratorio y se obtuvo los siguientes valores: A y G (1.2 mg/L), DBO₅ (41.9 mg/L) y DQO (84.8 mg/L), todos estos parámetros se encuentran dentro del rango establecido por los LMP para efluentes de PTAR domésticas.
- Y finalmente se determinó el parámetro biológico en el efluente de la PTAR obteniendo un valor para coliformes termotolerantes de 1700 NMP/100mL, valor que está muy por debajo de los LMP, esto después del tratamiento por parte de la PTAR de Ranracancha.

VII. Recomendaciones

- En referencia a la eficiencia media de depuración lograda por la PTAR de Ranracancha, se recomienda a la Municipalidad Distrital de Ranracancha y autoridades de los sectores a cargo de la PTAR, primero, adquirir equipos e insumos para hacer mediciones periódicas del efluente y evaluar la calidad de los parámetros en estudio, garantizar el uso y disponibilidad del cloro para la desinfección del efluente tratado, y segundo contratar a un personal con experiencia en operación y mantenimiento de PTAR a tiempo completo para que pueda lograr una eficiencia alta de depuración en la PTAR, poniendo mayor énfasis en el control de los sólidos totales en suspensión mediante la operación controlada del tanque de sedimentación primario ya que es donde se lograría del 50 al 60 % en la reducción de los SST.
- A pesar de que los valores de los parámetros físicos, químicos y biológicos en el afluente de la PTAR están dentro de los LMP a excepción de los coliformes termotolerantes, es necesario mantener esos valores debido a que generalmente la composición de aguas residuales domésticas no tratadas tienen mayores concentraciones, para esto será necesario contribuir en la población mediante una educación ambiental a cargo de los administradores de la PTAR, lo que implica un proceso coordinado y continuo que promueva la sostenibilidad como objetivo social mediante la conservación de nuestros recursos naturales y la protección de la salud.
- Finalmente en lo referido a valores de parámetros físicos, químicos y biológicos en el efluente, a pesar que estos cumplan con los LMP para efluentes de PTAR a cuerpos de agua, se lograría una mayor depuración y por ende un agua de mayor calidad, para lo cual se deberá hacer una limpieza constante del tratamiento preliminar, primario y secundario, ya que se evidenció la presencia de sólidos grandes como botellas y restos de plásticos, arenas, natas y espumas, los cuales afectan los procesos físicos, químicos y biológicos, y por último hacer un proceso de desinfección antes del vertido del efluente al río de Ranracancha ya que no se evidenció.

VIII. Referencias

- Aniyikaiye, T., Oluseyi, T., Odiyo, J., & Edokpayi, J. (2019). Physico-chemical analysis of wastewater discharge from selected paint industries in Lagos, Nigeria. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(7), 1235. <https://doi.org/10.3390/ijerph16071235>
- Arias, J. (2021). *Análisis de eficiencia del tratamiento físico-químicos de las aguas residuales de la planta de tratamiento norte del distrito de Chucuito, provincia de Puno – 2020.*
- Atalaya, K. (2022). *Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en los parámetros DBO, DQO, SST, PH, T°, aceites y grasas, en Sorochuco, Celendín, Cajamarca.*
- Bai, V., Kit, A., Kangadharan, G., Gopinath, R., Varadarajan, P., & Hao, A. (2022). Experimental study on total coliform violations in the complied NH₂CL, O₃, and UV treated municipal water supply system. *The European Physical Journal Plus*, 137(6), 689. <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-022-02891-5>
- Bailón, M., & Rodríguez, M. (2022). *Evaluación de la eficiencia de cada unidad de tratamiento de la planta de agua residual doméstica de la parroquia Cristóbal Colón del cantón Montúfar de la provincia del Carchi.*
- Baranyika, J., Katarawa, J., Nyirimbibi, D., Bakire, S., & Hirwa, H. (2023). Assessment of the impacts of selected physicochemical and bacteriological parameters of wastewater (hospital effluents) from the University teaching hospital of Butare on the surrounding environment. *Journal of Cleaner Production*, 410, 137309. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137309>
- Bhutiani, R., & Ahamad, F. (2016). Physico-chemical analysis of Sewage water treatment plant at Jagjeetpur Haridwar, Uttarakhand. *ResearchGate*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.36953/ECJ.2016.17326>
- Bolong, N., Sabli, M., Saad, I., & Ali, A. (2022). The efficiency of sewage treatment plant: A case study at the main campus of Universiti Malaysia Sabah (UMS). *IOP Conference*

- Series: *Materials Science and Engineering*, 1229(1), 012013.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/1229/1/012013>
- Carrasco, J. (2022). *Evaluación y propuesta para el mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, distrito de Poroy, Cusco-2022.*
- Cayllahua, N. (2022). *Evaluación de la PTAR Sicuani y su impacto en la calidad del agua del río Vilcanota.*
- Chausali, N., Saxena, J., & Prasad, R. (2022). Recent trends in nanotechnology applications of bio-based packaging. *Journal of Agriculture and Food Research*, 7, 100257. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100257>
- Crini, G., & Lichtfouse, E. (2018). *Wastewater Treatment: An Overview* (pp. 1–21). https://doi.org/10.1007/978-3-319-92111-2_1
- DS N° 022-2009. (s.f.). *Norma OS.090 Planta de tratamiento de aguas residuales.*
- Díaz, L. (2021). *Eficiencia en la remoción de materia orgánica de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Lajas, 2020.*
- Díaz, M. (2018). *Ecuaciones y cálculos para el tratamiento de aguas*. España: Ediciones Paraninfo S.A.
- Ehalt, H., Lehner, B., Nicell, J., Grill, G., Li, J., Limtong, A., & Shakya, R. (2022). Distribution and characteristics of wastewater treatment plants within the global river network. *Earth System Science Data*, 14(2), 559–577. <https://doi.org/10.5194/essd-14-559-2022>
- Flores, E. (2021). *Construcción del colector general y planta de tratamiento de aguas residuales para disminuir los problemas gastros intestinales en Chincheros, Llimpe, Tejahuasi, Uripa, Provincia de Chincheros – Apurímac*". Universidad Cesar Vallejo. [Tesis de pregrado].
- Franklin, Q. (2019). *Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la reducción de la demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno en Celendín – Cajamarca.*
- Gobierno Regional de Apurímac, & Dirección Regional de Vivienda, S. y C. (2020). *Plan*

regional de saneamiento Apurímac 2021-2025.

- Gómez, S., Fuertes, I., Elizalde, M., & Urtiaga, A. (2020). *Caracterización de la presencia de compuestos perfluorados en lixiviados de vertederos de residuos sólidos urbanos (RSU) del norte de España.*
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). Metodología de la Investigación. Las rutas Cuantitativa Cualitativa y Mixta. En *universidad tecnologica laja Bajío*. <http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/handle/54000/1292>
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (Editorial Mc Graw Hill Education (ed.)).
- Joshi, P., Chauhan, A., Dua, P., Malik, S., & Liou, Y.-A. (2022). Physicochemical and biological analysis of river Yamuna at Palla station from 2009 to 2019. *Scientific Reports*, 12(1), 2870. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06900-6>
- Kesari, K. K., Soni, R., Jamal, Q. M. S., Tripathi, P., Lal, J. A., Jha, N. K., Siddiqui, M. H., Kumar, P., Tripathi, V., & Ruokolainen, J. (2021). Wastewater treatment and reuse: a review of its applications and health implications. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232(5), 208. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05154-8>
- Kurt, Z., Özdemir, I., & James R., A. M. (2022). Effectiveness of microplastics removal in wastewater treatment plants: A critical analysis of wastewater treatment processes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(3), 107831. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107831>
- Makuwa, S., Tlou, M., Fosso-Kankeu, E., & Green, E. (2020). Evaluation of fecal coliform prevalence and physicochemical indicators in the effluent from a wastewater treatment plant in the north-west province, South Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(17), 6381. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176381>
- Meira, G., & Gugliotta, L. (2022). *Polímeros Introducción a su caracterización y a la ingeniería de la polimerización.*
- Membrillo, J. (2022). *Determinación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la planta Cumani - Antauta.*

- Michalisková, R., Haláková, Z., & Prokša, M. (2019). Concept of chemical reaction in chemistry. *Chemistry Teacher International*. <https://doi.org/https://orcid.org/0000-0001-8933-846X>
- Mora, J., Sibaja, J., & Borbónr, H. (2021). Fuentes antropogénicas y naturales de contaminación atmosférica: estado del arte de su impacto en la calidad fisicoquímica en el agua de lluvia y de niebla. *Revista Tecnología en Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v34i1.4806>
- Nabi, B., Parveen, S., & Hassan, T. (2018). Seasonal assessment of physicochemical parameters and evaluation of water quality of river Yamuna, India. *Advances in Environmental Technology*. <https://doi.org//doi.org/10.22104/aet.2018.2415.1121>
- Nel, L. (2019). *Metodología de la investigación* (Primera ed).
- Nolasco, G. (2020). *Goma de tara (Caesalpinia Spinosa) y su efecto en los procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, Andahuaylas – Apurímac, 2018*. Universidad Tecnológica de los Andes.
- Núñez, M. (2020). Alternativas para mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Cajabamba –Cajamarca. *Revista Nor@ndina*, 3(1), 90–102. <https://doi.org/10.37518/2663-6360X2020v3n1p90>
- Ortega, A., & Sánchez, N. (2021). Tratamientos avanzados para la potabilización de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 31(2), 121–134. <https://doi.org/10.18359/rcin.5343>
- Ramírez, R., Gohil, N., & Singh, V. (2019). Recent advances, challenges, and opportunities in bioremediation of hazardous materials. En *Phytomanagement of polluted sites* (pp. 517–568). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813912-7.00021-1>
- SUNASS. (2022). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el ámbito de las empresas prestadoras*.
- Vargas, A., Calderón, J., Velásquez, D., Castro, M., & Núñez, D. (2020). Análisis de los principales sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 28(2), 315-322.

- Vintimilla, M. (2022). *Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales "Laureles" ubicado en la parroquia Santa Ana del Cantón Cuenca.*
- Von, M. (2007). *Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal.*
- Wu, X., Zhao, X., Chen, R., Liu, P., Liang, W., Wang, J., Teng, M., Wang, X., & Gao, S. (2022). Wastewater treatment plants act as essential sources of microplastic formation in aquatic environments: A critical review. *Water Research*, 221, 118825. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118825>
- Zaruma, P., Proal, J., Chaires, I., & Salas, H. (2018). Los colorantes textiles industriales y tratamientos óptimos de sus efluentes de agua residual: una breve revisión. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, 19.