

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales
domésticas en la PTAR del distrito de Ninacaca - Pasco - 2024**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor:

Bach. Ricardo Anthony MAMANI INOCENTE

Asesor:

Dr. Luis Alberto PACHECO PEÑA

Cerro de Pasco – Perú - 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales
domésticas en la PTAR del distrito de Ninacaca - Pasco - 2024**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Rommel Luis LÓPEZ ALVARADO
PRESIDENTE

Dr. Eleuterio Andrés ZAVALETA SÁNCHEZ
MIEMBRO

Mg. Lucio ROJAS VITOR
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 345-2025-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales
domésticas en la PTAR del distrito de Ninacaca - Pasco - 2024**

Apellidos y nombres del tesista

Bach. Ricardo Anthony MAMANI INOCENTE

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. Luis Alberto PACHECO PEÑA

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Ambiental

Índice de Similitud

7 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 19 de noviembre del 2025



DEDICATORIA

A mi padre y a mi madre, por ser mi fortaleza y soporte incondicional durante todos estos años de formación académica.

Gracias por su amor, sacrificio y por nunca dejarme rendir.

Sin su apoyo, no habría sido posible alcanzar cada una de las metas que hoy celebro.

Este trabajo es para ustedes.

Los amo en esta vida y en la otra.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por todas sus bendiciones, por guiarme y darme la fuerza necesaria para culminar esta etapa importante de mi vida.

En segundo lugar, expreso mi más sincero agradecimiento a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental: al Dr. Héctor Oscanoa Salazar, Dr. Rommel López Alvarado, Mg. Lucio Rojas Vitor y Mg. Rosario Vásquez García, por compartir sus conocimientos y formación durante mi trayectoria académica.

Un especial reconocimiento a mi asesor, el Dr. Luis Alberto Pacheco Peña, por su valioso soporte técnico, su guía constante y su dedicación, que me permitieron avanzar en cada etapa del presente proyecto hasta alcanzar los resultados esperados.

En tercer lugar, agradezco a la Municipalidad Distrital de Ninacaca por brindarme la viabilidad y el respaldo necesario para desarrollar esta investigación.

Muchas gracias a todos.

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del distrito de Ninacaca, en la provincia y región de Pasco, Perú. La planta opera bajo un sistema de lagunas de estabilización, tecnología ampliamente utilizada en zonas rurales por su bajo costo y facilidad de operación.

Para la evaluación se analizaron parámetros fisicoquímicos y biológicos antes (afluente) y después (efluente) del tratamiento, incluyendo: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), aceites y grasas, y coliformes termotolerantes. Los resultados obtenidos evidenciaron una alta eficiencia en la remoción de contaminantes, con porcentajes superiores al 85 % en todos los casos y una remoción de coliformes mayor al 99 %.

Mediante el uso de pruebas estadísticas (t de Student para muestras pareadas), se comprobó que las diferencias entre los valores del afluente y el efluente fueron estadísticamente significativas ($p < 0.05$), lo cual permite concluir que la PTAR cumple con los Límites Máximos Permisibles establecidos por la normativa ambiental peruana.

El estudio también resalta la necesidad de un monitoreo continuo, mantenimiento preventivo y evaluación estructural periódica para garantizar la sostenibilidad del sistema. En general, se concluye que la PTAR de Ninacaca funciona de manera eficaz, representando una alternativa adecuada para el tratamiento de aguas residuales en contextos rurales.

Palabras clave: eficiencia, LMP, efluente, afluente, remoción y admisible.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the efficiency of the Wastewater Treatment Plant (WWTP) of the Ninacaca district, in the province and region of Pasco, Peru. The plant operates under a stabilization lagoon system, a technology widely used in rural areas due to its low cost and ease of operation.

For the evaluation, physicochemical and biological parameters were analyzed before (influent) and after (effluent) treatment, including: Biochemical Oxygen Demand (BOD_5), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solids (TSS), oils and fats, and thermotolerant coliforms. The results obtained showed a high efficiency in the removal of pollutants, with percentages higher than 85 % in all cases and coliform removal higher than 99 %.

Using statistical tests (Student's t-test for paired samples), it was found that the differences between the influent and effluent values were statistically significant (p -value < 0.05), which leads to the conclusion that the WWTP complies with the Maximum Permissible Limits established by Peruvian environmental regulations.

The study also highlights the need for continuous monitoring, preventive maintenance and periodic structural evaluation to ensure the sustainability of the system. Overall, it is concluded that the Ninacaca WWTP operates efficiently, representing an adequate alternative for wastewater treatment in rural contexts.

Key words: efficiency, LMP, effluent, influent, removal and admissible.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de actividades humanas, tales como las domésticas, industriales y comunitarias, origina la generación de aguas residuales con diversos niveles de contaminación. Estas aguas contienen compuestos físicos, químicos y biológicos que, al ser vertidos sin tratamiento adecuado, deterioran significativamente la calidad de los cuerpos de agua, afectando su equilibrio ecológico y poniendo en riesgo la salud pública (Díaz, Alvarado & Camacho, 2012).

En la cuenca alta del río Mantaro (lago Chinchaycocha), recientes monitoreos participativos llevados a cabo por la Autoridad Nacional del Agua – Administración Local del Agua (ANA–ALA), han revelado la presencia de altas concentraciones de coliformes termotolerantes, las cuales superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos para agua, evidenciando una situación crítica en materia de gestión de aguas residuales.

Dentro de este contexto, el distrito de Ninacaca, ubicado en la provincia y región de Pasco, ha sido identificado como uno de los puntos donde se vierten aguas residuales sin tratamiento previo. Para atender esta problemática, la Municipalidad Distrital de Ninacaca implementó la construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), con el propósito de reducir la carga contaminante de las aguas domésticas y evitar su descarga directa al lago Chinchaycocha, importante ecosistema acuático de la región.

Actualmente, esta planta opera de manera formal, al contar con la respectiva autorización de vertimiento emitida por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), en cumplimiento del Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM, normativa que regula los Límites Máximos Permisibles (LMP) para vertimientos en cuerpos de agua. La existencia de esta autorización implica la necesidad de verificar continuamente que los parámetros de calidad del efluente tratado estén dentro de los rangos establecidos.

En ese marco, el presente trabajo de investigación, intitulado “Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales domésticas en la PTAR del distrito de Ninacaca-Pasco-2024”, tiene como finalidad evaluar el funcionamiento de la planta a través

del análisis de parámetros de calidad del agua antes y después del tratamiento, y determinar si el efluente cumple con la normativa ambiental vigente.

La investigación se estructura en cuatro capítulos:

Capítulo I: El problema de investigación, donde se expone el diagnóstico de la situación y los objetivos.

Capítulo II: Marco teórico, con fundamentos científicos y normativos.

Capítulo III: Metodología y técnicas de investigación, donde se detallan el enfoque, diseño, métodos y herramientas utilizadas.

Capítulo IV: Resultados y discusión, que presenta el análisis de los datos obtenidos.

Los resultados permitieron evidenciar que la planta logra reducir significativamente los contaminantes analizados, y que los valores del efluente cumplen con los límites establecidos, lo cual sugiere que el sistema de tratamiento es técnicamente eficiente y ambientalmente viable, contribuyendo a la protección del cuerpo receptor, en el lago Chinchaycocha.

INDICE

Paginas

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
INDICE	

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la investigación	2
1.3. Formulación del Problema	2
1.3.1. Problema general	2
1.3.2. Problemas específicos.....	2
1.4. Formulación de objetivos	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Justificación de la investigación	3
1.6. Limitaciones de la investigación.....	4

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio.....	6
2.2. Bases teóricas – científicas.....	20
2.2.1. Origen de las aguas residuales.....	20
2.3. Definición de términos básicos.....	27
2.4. Formulación de hipótesis	28
2.4.1. Hipótesis general	28

2.4.2. Hipótesis específicas	29
2.5. Identificación de variable.....	29
2.6. Definición operacional de variables e indicadores.....	30

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de Investigación	31
3.2. Nivel de investigación	32
3.3. Métodos de investigación.....	33
3.4. Diseño de investigación	33
3.5. Población y muestra	35
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	37
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	38
3.8. Tratamiento estadístico.....	40
3.9. Orientación ética filosófica y epistémica.....	41

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	42
4.1.1. Localización y descripción del área de estudio	42
4.1.2. Estado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Ninacaca	45
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	49
4.2.1. Resultados de los parámetros de calidad del agua evaluados en el año 2024 en la zona de Ninacaca.....	49
4.2.2. Eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	57
4.3. Prueba de Hipótesis.....	60
4.4. Discusión de Resultados.....	62

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacional de variables	30
Tabla 2. Puntos de muestreo de la planta de tratamiento de agua residual de Ninacaca....	36
Tabla 3. Resultados de los parámetros de calidad del agua – PTAR Ninacaca (2024)	50
Tabla 4. Resultados de la eficiencia de los parámetros del monitoreo ambiental de la calidad del agua residual de la PTAR de Ninacaca.	58
Tabla 5. Resultados de la prueba t pareada.....	62

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Planta de tratamiento de Agua Residual de Ninacaca	36
Gráfico 2. Ubicación de la pequeña ciudad de Ninacaca, provincia y región de Pasco	42
Gráfico 3. Punto de monitoreo del Ingreso del Afluente	43
Gráfico 4. Sistema de alcantarillado de la pequeña ciudad de Ninacaca.....	45
Gráfico 5. Canal Parshall para medir el Caudal.....	46
Gráfico 6. Laguna de estabilización No. 1: primaria y secundaria	47
Gráfico 7. Laguna de estabilización No. 2: primaria y secundaria	48

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Resultados de la medición de pH.....	51
Ilustración 2. Resultados de la medición de temperatura	52
Ilustración 3. Resultado de la medición de aceites y grasas.....	53
Ilustración 4. Resultado de la medición de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	54
Ilustración 5. Resultado de la medición de Demanda Química de Oxígeno' (DQO)	55
Ilustración 6. Resultado de la medición Sólidos Suspendidos Totales	56
Ilustración 7. Resultado de la medición de Coliformes Termotolerantes.....	57

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema

En el distrito de Ninacaca, ubicado en la provincia de Pasco, se está enfrentando una seria problemática relacionada con la contaminación directa de las fuentes de agua debido al vertimiento de aguas residuales domésticas. Esta situación está causando impactos ambientales significativos, exacerbados por la ausencia de sistemas adecuados de saneamiento básico y la falta de una planta de tratamiento de aguas residuales (Ministerio del Ambiente del Perú, 2014).

El agua es un recurso fundamental para la sostenibilidad de las nuevas generaciones y la salud humana, y su protección es crucial en el contexto actual de cambio climático y crecimiento poblacional acelerado en Ninacaca. La disposición inadecuada de aguas residuales en las fuentes hídricas locales no solo amenaza la calidad del agua, sino que también incrementa el riesgo de enfermedades para la población (World Health Organization, 2006).

Es relevante destacar que una gran parte del agua utilizada en los hogares se convierte en aguas residuales que requieren ser recolectadas, tratadas y eliminadas correctamente para prevenir la contaminación ambiental y proteger la salud pública (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003). Sin embargo, la falta de infraestructura adecuada en Ninacaca impide esta gestión eficiente de las aguas residuales,

exacerbando los problemas ambientales y de salud pública en la región (Vásquez, 2018).

Esta investigación se centrará en identificar los puntos específicos de vertimiento de aguas residuales domésticas para evaluar el grado de contaminación y los impactos ambientales asociados, proporcionando así una base empírica necesaria para abogar por la implementación urgente de un sistema integral de saneamiento básico y la construcción de una planta de tratamiento en el distrito de Ninacaca.

1.2. Delimitación de la investigación

El presente estudio se enfocará en identificar, analizar y evaluar la eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del distrito de Ninacaca, provincia de Pasco, mediante el uso de lagunas de estabilización, durante el año 2024.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema general

¿Qué tan eficiente es la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del distrito de Ninacaca-Pasco, en la eliminación de contaminantes físicos, químicos y biológicos de las aguas residuales domésticas, ¿y en qué medida cumple con los estándares ambientales establecidos?

1.3.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuál es la eficiencia de la PTAR de Ninacaca-Pasco en la eliminación de contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en las aguas residuales domésticas?
- b. ¿Cuáles son las principales deficiencias operativas y técnicas de la PTAR que podrían estar afectando la calidad del tratamiento de las aguas residuales?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del distrito de Ninacaca, Pasco, en la eliminación de contaminantes físicos, químicos y biológicos de las aguas residuales domésticas, con el fin de determinar su grado de cumplimiento de los estándares ambientales establecidos y proponer mejoras en su operación.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Analizar la eficiencia de la PTAR de Ninacaca, Pasco, en la reducción de contaminantes físicos, químicos y biológicos mediante la evaluación de parámetros de calidad del agua antes y después del tratamiento.
- b. Identificar las principales deficiencias operativas y técnicas de la PTAR que puedan estar afectando su rendimiento, con el propósito de proponer estrategias de mejora para optimizar el proceso de tratamiento de aguas residuales.

1.5. Justificación de la investigación

El planeta enfrentó cambios climáticos significativos debido al calentamiento global, agravado por la contaminación antropogénica. Este fenómeno generó el deshielo de los glaciares y la reducción del caudal de lagunas, quebradas y ríos, que fueron esenciales para la supervivencia humana. Un factor determinante en la conservación de estos recursos hídricos fue la falta de políticas de inversión pública para la implementación de sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales. En su ausencia, las aguas residuales domésticas continuaron vertiéndose en fuentes hídricas, ocasionando graves problemas de contaminación.

A. Justificación económica

La evaluación de la eficiencia de la PTAR de Ninacaca permitió identificar las fallas en su operación, lo que contribuyó a optimizar el uso de los recursos financieros destinados al tratamiento de aguas residuales. Una gestión eficiente

del tratamiento de agua redujo costos de mantenimiento, previnió sanciones por incumplimiento normativo y pudo incentivar futuras inversiones en infraestructura de saneamiento.

B. Justificación social

El tratamiento adecuado de las aguas residuales fue esencial para proteger la salud de la población local. La contaminación del agua conllevó riesgos de enfermedades hídricas, afectando especialmente a grupos vulnerables como niños y ancianos. Mejorar la eficiencia de la PTAR contribuyó a garantizar agua limpia y reducir problemas de salud pública, mejorando la calidad de vida en la comunidad de Ninacaca.

C. Justificación ambiental

El vertimiento inadecuado de aguas residuales afectó los ecosistemas acuáticos, alterando la biodiversidad y generando impactos negativos en la flora y fauna locales. Evaluar la eficiencia de la PTAR permitió reducir la carga contaminante en los cuerpos de agua receptores, mitigando los efectos adversos sobre el medio ambiente y promoviendo el uso sostenible de los recursos hídricos.

D. Justificación metodológica

El presente estudio generó una base técnica y teórica sólida para futuras investigaciones sobre el tratamiento de aguas residuales en la región. A través de un análisis de indicadores de calidad del agua y de eficiencia de procesos, se pudo fundamentar la necesidad de mejorar la infraestructura de saneamiento en Ninacaca y respaldar iniciativas de inversión pública en el sector.

1.6. Limitaciones de la investigación

La investigación se circunscribió al área de influencia directa de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del distrito de Ninacaca, donde se llevaron a cabo muestreos específicos para evaluar su eficiencia en la eliminación de contaminantes y su impacto en la calidad del agua. Esta delimitación geográfica, aunque necesaria para la operatividad del estudio, restringió el alcance del análisis a

zonas próximas a la planta, sin considerar posibles efectos acumulativos o indirectos en cuerpos de agua más alejados, aguas abajo o en comunidades colindantes que también podrían estar expuestas a contaminantes.

Asimismo, uno de los principales desafíos enfrentados fue la limitación en los recursos financieros y materiales, lo cual afectó directamente la cantidad y frecuencia de las muestras recolectadas y analizadas en laboratorio. Esta situación redujo la posibilidad de realizar una evaluación más exhaustiva y continua a lo largo del tiempo, dificultando la identificación de variaciones estacionales o eventos puntuales de contaminación.

Otro factor relevante fue la escasa disponibilidad de información histórica y técnica sobre el funcionamiento operativo de la PTAR. La falta de registros actualizados sobre mantenimiento, caudales tratados, calidad del agua influente y efluente en años anteriores impidió realizar comparaciones longitudinales y establecer tendencias de desempeño a mediano o largo plazo.

Por último, las condiciones climáticas adversas, como lluvias intensas o bajas temperaturas, así como limitaciones logísticas relacionadas con el acceso al sitio y el transporte de muestras, afectaron el cronograma de recolección de datos, introduciendo posibles sesgos en la interpretación de los resultados. A pesar de estas limitaciones, se procuró mantener la rigurosidad científica del estudio, aplicando los protocolos establecidos y garantizando la validez de los datos obtenidos dentro del alcance definido.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio

A. Antecedentes Internacionales

Zhao, Y., Yang, L., Wang, X., & Li, X. (2021) “Evaluación de la eficiencia energética de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en China”

Un enfoque de análisis envolvente de datos. La intensidad del uso de energía en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales ha ido en aumento en las últimas décadas en China. En este artículo, se utiliza el análisis de envoltura de datos (Data Envelopment Analysis, DEA) para evaluar la eficiencia energética de las plantas municipales de tratamiento de aguas residuales (WWTPs) en China. En el modelo DEA, los seis indicadores de entrada fueron la tasa de carga, la capacidad de diseño, el consumo de electricidad por unidad, la generación de lodos, el volumen real de tratamiento y el consumo acumulado de electricidad. Los seis indicadores de salida fueron la eliminación de contaminantes COD, BOD, SS, NH₃-N, TN y TP por cantidad de electricidad consumida. Un total de 4100 plantas fueron evaluadas en China en 2018. La eficiencia relativa de 14 plantas alcanzó un valor de 1.0, con un consumo eléctrico promedio de 0.091 kWh/m³ en comparación con el promedio nacional de 0.38 kWh/m³, lo que sirvió como referencia para las plantas ineficientes restantes.

Según los resultados del índice de Malmquist, durante el período 2014-2018, en promedio, el 40.54% de las WWTPs experimentaron mejoras en la productividad, el 71.24% de las plantas aumentaron su eficiencia técnica en relación con la frontera de eficiencia y el 27.21% de las plantas mostraron avances en la frontera de producción. Las regiones occidentales de China consumieron una gran proporción de energía renovable con mayores niveles de eficiencia energética, mientras que las regiones centrales y orientales presentaron tendencias de menor eficiencia energética y altos niveles de emisiones de contaminantes. El método de laguna de oxidación presentó la mayor eficiencia técnica integral, con un valor de 0.446, casi ocho veces el nivel de eficiencia promedio. Se sugiere que las industrias de tratamiento de aguas residuales no solo consideren el aumento de la eficiencia técnica, sino que también alineen sus cargas de contaminantes y la implementación de estándares de descarga con los objetivos de ahorro de energía.

Panepinto, Fiore, Zappone, Genon, & Meucci (2016) “Evaluación de la eficiencia energética de una gran planta de tratamiento de aguas residuales en Italia”

El consumo de energía representa una parte significativa de los costos operativos de una planta de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, con un diseño adecuado y un modelo de gestión cuidadosamente planificado, existen importantes posibilidades para su reducción. La investigación propuesta presenta una metodología en múltiples etapas para la evaluación de los aspectos energéticos del tratamiento de aguas residuales, la cual fue implementada en la instalación más grande de Italia (equivalente a una carga orgánica de 2.7 millones de habitantes), gestionada por la Società Metropolitana Acque Torino (SMAT).

El estudio consideró inicialmente cada fase del esquema de proceso con el objetivo de obtener valores específicos de consumo eléctrico para todos los dispositivos electromecánicos. Se recopilaron datos tanto del sistema de

telecontrol como de mediciones directas en campo. Se evaluó la demanda total de energía eléctrica de la planta, la cual alcanzó 66.78 GWh/año, con aproximadamente el 50% proveniente de la aireación en los tanques de oxidación. Debido a esta alta contribución, se verificó la eficiencia energética de los sopladores con resultados positivos.

Para llevar a cabo un análisis crítico de la planta de tratamiento de aguas residuales de SMAT en comparación con otras instalaciones que utilizan procesos de oxidación biológica y que poseen diferentes capacidades de diseño, se consideraron cuatro indicadores específicos de consumo energético. Los valores obtenidos fueron coherentes y relacionaron la demanda de energía eléctrica con la población equivalente, el volumen de agua tratada y la cantidad de DQO (demanda química de oxígeno) y nitrógeno total eliminados.

Además, se estimó la demanda de energía térmica de la planta, la cual alcanzó los 49.15 GWh/año, con más del 93% proveniente de la línea de lodos. Finalmente, se llevó a cabo un balance energético para toda la planta y se propusieron algunas soluciones de optimización energética con el fin de reducir los costos operativos asociados.

Çağatay Çetinkaya, M., Üstün, G.E. (2022) “Seguimiento y evaluación de la eficacia de una depuradora mixta de aguas residuales textiles y domésticas durante 3 años”.

En este estudio, se evalúa el rendimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, que trata aproximadamente 80 000 m³/día de aguas residuales domésticas e industriales en Bursa, Turquía, para el período 2018-2020, basándose en el análisis de los parámetros de demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos en suspensión (SS), nitrógeno total (TN), fósforo total (TP), color y algunos metales pesados (Cr+6, CN-, Cd, Fe, Cu y Zn). Las eficiencias de eliminación de la planta de tratamiento fueron del 61-91% para la DQO; del 78-97% para la DBO; del 54-94% para el SS;

y del 57-84% para el TN. Se detectó un intervalo del 23-84% para el TP y del 40-68% para el color. Los costes de explotación por volumen de agua residual tratada se calcularon en 0,0675 USD/m³ y 2,94 USD/kg DQO por carga orgánica eliminada. La calidad del agua tratada se comparó con los límites de vertido del medio receptor, y no se superaron los valores límite en ningún parámetro durante los años de seguimiento.

Colmenarejo, y otros (2006) “Evaluación de depuradoras municipales con diferentes tecnologías en Las Rozas, Madrid (España)”

Se evaluaron ocho depuradoras municipales a pequeña escala durante un periodo de 19 meses en el barrio de Las Rozas de Madrid (España). Cuatro plantas utilizaron aireación extendida compacta, dos utilizaron fangos activos convencionales, dos utilizaron aireación extendida convencional, una utilizó un reactor biodisco rotativo y la otra un reactor de lecho de turba. Los mejores resultados se obtuvieron en las plantas que utilizaron tecnologías convencionales y el biodisco. Los lodos activados convencionales y la aireación prolongada presentaron mayores eficiencias de eliminación de amoníaco, SST, DQO y DBO₅ y produjeron efluentes finales de buena calidad para su eliminación final de acuerdo con la norma de vertido. Se obtuvieron ecuaciones empíricas que correlacionaban la concentración de oxígeno disuelto en los efluentes con las eficiencias de eliminación de SST, amoníaco, DQO y DBO₅ para todas las plantas evaluadas. El rendimiento de las plantas que utilizaban aireación extendida compacta se vio más afectado que el de las que empleaban tecnologías convencionales o biodisco rotativo cuando la capacidad superaba la de su diseño inicial.

Hegazy & Gawad (2016) “Medición y evaluación del rendimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales de aguas residuales”

El concepto principal del tratamiento de aguas residuales es eliminar o reducir las cantidades excesivas de contaminantes presentes en ellas. Este estudio de

desempeño fue necesario para evaluar la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales en la reducción de los niveles de contaminantes, con el fin de cumplir con los estándares ambientales establecidos por el gobierno.

Asimismo, la reutilización de las aguas residuales para riego debe cumplir con los criterios establecidos, y los indicadores correspondientes deben ser monitoreados conforme a un cumplimiento riguroso. Es fundamental que, en la etapa de evaluación y desarrollo, se dé prioridad a los estándares que protejan los recursos hídricos y del suelo, así como la salud pública. La categoría de tratamiento requerida se determina mediante el desarrollo de los objetivos de tratamiento del enfoque adoptado, la verificación de todas las leyes y regulaciones aplicables y, finalmente, la comparación de las características del agua residual con las restricciones impuestas por la legislación. De este modo, se pueden identificar y considerar opciones viables para su disposición y reutilización.

A continuación, se debe determinar la opción más adecuada para la eliminación de los contaminantes en el agua residual, ya sea mediante procesos químicos, físicos o biológicos, de forma individual o combinada.

Este estudio evalúa y analiza el desempeño y la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de Shoubra Al Khaima (Balqus). Según los resultados obtenidos, la planta Balqus opera con eficiencias de eliminación superiores al 90% para la demanda biológica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), los sólidos suspendidos totales (SST) y los aceites y grasas (A&G). Este análisis se aplicó con el objetivo de definir un plan de medición del desempeño basado en los parámetros más importantes, garantizando su confiabilidad y aplicabilidad para cualquier planta de tratamiento de aguas residuales.

Coveñas (2017) Impacto Ambiental por Vertimiento de Aguas Servidas Domésticas en las Características Físicas, Químicas y Biológicas en el Agua de Mar - Bocana Norte. El trabajo de investigación buscaba determinar el impacto

ambiental en el agua de mar de la Bocana del distrito de Víctor Larco Herrera, evaluando los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Oxígeno Disuelto (OD) y coliformes fecales, producto del vertimiento de aguas residuales domésticas. Los datos evaluados muestran que en el punto de muestreo B, correspondiente a la desembocadura de la Bocana Norte en Buenos Aires, se observa mayor afectación con valores de oxígeno disuelto, entre 9.510 mg/l y 9.603 mg/l. Por otro lado, la menor afectación está en el punto de monitoreo A, antes de la desembocadura, con un máximo de 6.628 mg/l. Los resultados indican que el valor máximo de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) se presenta en el punto de muestreo B, con un máximo de 12,87 mg/l. Los valores de oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) son más altos en los puntos cercanos a la desembocadura (punto B), indicando una mayor contaminación en esas áreas. Los niveles de coliformes fecales también son significativamente elevados en este punto, lo que pone en riesgo la calidad del agua para usos recreativos y ecológicos. El estudio concluye que el vertimiento de aguas residuales domésticas en la Bocana Norte influye en las características físicas, químicas y biológicas del agua de mar en la zona. La falta de tratamiento adecuado de estas aguas residuales está contribuyendo a la degradación de la calidad del agua, comprometiendo su uso seguro para actividades humanas y la salud del ecosistema marino. Es crucial implementar soluciones efectivas de tratamiento de aguas residuales para mitigar estos impactos negativos y proteger el medio ambiente marino en la región de Víctor Larco Herrera.

B. Antecedentes Nacionales

Andrade Yucra (2020) “Evaluación de la eficiencia en la planta de tratamiento de aguas residuales distrito de macusani, región puno – 2020”, este estudio se llevó a cabo en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la ciudad de Macusani, en la provincia de Carabaya, así como en el río Macusani, durante los meses de octubre y noviembre de 2019.

Los objetivos específicos fueron evaluar la calidad del agua del río Macusani conforme a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para la conservación del medio acuático, y determinar la eficiencia de remoción de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el efluente de la PTAR, verificando su cumplimiento con los Límites Máximos Permisibles (LMP).

La metodología empleada incluyó la medición in situ y ex situ de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, siguiendo los criterios establecidos por los ECA para cuerpos de agua y los LMP para efluentes de PTAR. Se recolectaron dos muestras de 1 litro de aguas residuales domésticas para el análisis de sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO5), aceites y grasas, y coliformes termotolerantes, con el propósito de evaluar la eficiencia del tratamiento en la PTAR de Macusani.

Los parámetros medidos in situ arrojaron los siguientes valores: pH de 7.56, temperatura de 20.1 °C, SST de 44 mg/L, DBO5 de 100 mg/L, DQO de 209 mg/L y aceites y grasas de 0.32 mg/L, todos dentro de los LMP para efluentes de PTAR. Sin embargo, los coliformes termotolerantes alcanzaron los 11,000 NMP/100 mL, excediendo el límite establecido en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.

En el río Macusani, los parámetros físicos medidos fueron: pH de 8.7, temperatura de 17.5 °C, oxígeno disuelto de 80 mg/L y conductividad eléctrica de 145 µS/cm, cumpliendo con los ECA para agua en la categoría 4. En cuanto a la eficiencia de remoción de la PTAR, se obtuvo un 93.42 % en DBO5, 94.88 % en DQO, 67.16 % en SST y 77.55 % en coliformes termotolerantes.

Clemente Campos (2022) “Evaluación de la eficiencia de la PTAR del distrito de Santa Ana de Tusi, como aporte del compromiso ambiental municipal – 2021”, este estudio se fundamenta en una concepción sostenible, basada en la prevención de problemas ambientales en lugar de su generación. Desde esta perspectiva, muchas de las acciones de la ingeniería se orientan a la preservación

de los recursos, como en el caso del tratamiento de aguas residuales. Los avances tecnológicos actuales permiten mitigar efectos adversos, y el control de sistemas basados en tecnologías apropiadas, como las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), contribuye significativamente a la protección del medio ambiente. Dado que los cuerpos de agua pueden verse contaminados, afectando la calidad del agua utilizada aguas abajo para riego o consumo de la biota, resulta fundamental establecer mecanismos de control y evaluar el grado de eficiencia de estos sistemas para garantizar su sostenibilidad.

El objetivo principal de la presente investigación fue evaluar la eficiencia de la PTAR del distrito de Santa Ana de Tusi y su influencia en el compromiso ambiental municipal para el año 2021. En cumplimiento de sus funciones en materia de gestión ambiental y en el marco de la Ley Orgánica de Municipalidades, la Municipalidad de Santa Ana de Tusi programó el monitoreo de aguas residuales de la PTAR del distrito, con el propósito de verificar el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. A partir de los resultados obtenidos, se determinó que la PTAR del distrito alcanzó un nivel adecuado de eficiencia, cumpliendo con las normativas ambientales vigentes y contribuyendo positivamente al compromiso ambiental municipal.

Las conclusiones del estudio resaltan los siguientes resultados:

- a.** En el año 2019, se evidenció una moderada reducción del 43 % en la DBO₅, 73.4 % en la DQO, 38.7 % en los sólidos suspendidos totales (SST), 95 % en aceites y grasas, 94.8 % en coliformes termotolerantes y 85.1 % en coliformes totales, indicando un nivel adecuado de remoción.
- b.** En el año 2020, los resultados mostraron una eficiencia aún mayor, con reducciones del 92.5 % en la DBO₅, 89.5 % en la DQO, 88.2 % en los SST y 97.54 % en aceites y grasas, lo que indica un rendimiento óptimo del sistema.

Comparando los monitoreos de ambos años, se observa que en 2020 se lograron mejores resultados, lo que sugiere una mejora en la metodología y procedimientos aplicados en la PTAR del distrito. Por ello, se recomienda continuar optimizando los aspectos técnicos del sistema para mantener y mejorar su eficiencia en el tiempo.

Alicia Del Carmen (2015) “Evaluación de la eficiencia de la remoción de nutrientes del efluente de la PTAR de la empresa Esmeralda CORP S.A.C. mediante el uso de humedales artificiales, empleando la especie *Typha domingensis* Pers. (Totorá)”. La presente investigación aborda la implementación de un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial (HAFSS) en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Esmeralda Corp S.A.C., utilizando la especie *Typha domingensis* Pers. (totorá) como vegetación emergente. El objetivo principal fue reducir los niveles de nutrientes, específicamente nitrógeno y fósforo, en el efluente de la PTAR, mejorando su calidad y minimizando los impactos ambientales derivados de su reutilización.

El HAFSS diseñado presentó dimensiones de 3 m de largo, 1 m de ancho y 0.8 m de profundidad efectiva, con una pendiente del 1%. La estructura estuvo conformada por dos capas de sustrato: una de arena gruesa y otra de confitillo de 3/8", ambas con una profundidad de 0.3 m. En la capa superior se plantaron ejemplares de totora. El agua residual a tratar fue captada desde el tanque de almacenamiento del efluente de la PTAR mediante un sistema de distribución compuesto por una manguera y un tanque de almacenamiento. El sistema operó con un caudal de 170 Ud y un tiempo de retención hidráulica de seis días.

El funcionamiento del HAFSS se desarrolló en dos etapas:

- a.** Período de arranque (diciembre de 2013 - febrero de 2014): Durante tres meses se buscó la adaptación de las totoras, evaluando parámetros físicos como pH, turbidez y temperatura.

- b.** Período de funcionamiento estándar (marzo - agosto de 2014): Se inició el tratamiento del agua residual y se evaluaron tanto los parámetros principales (nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, nitratos, fósforo total, ortofosfatos y anhídrido fosfórico) como los complementarios (pH, turbidez y temperatura) en el afluente y efluente.

Los resultados mostraron una alta eficiencia en la remoción de nutrientes:

- a.** Nitrógeno: 87.8% de remoción en nitrógeno total, 90% en nitrógeno amoniacal y 99.6% en nitratos.
- b.** Fósforo: 94.5% en fósforo total, 99.4% en ortofosfatos y 94.3% en anhídrido fosfórico.

Además, se evaluó la viabilidad del reuso del efluente tratado en acuicultura, comparando los valores obtenidos con los estándares nacionales (Categoría 4 del ECA-Agua) y con los valores guía de la EPA en Florida, Carolina del Norte y Washington. Se concluyó que, aunque el HAFSS presenta una alta eficiencia en la remoción de nutrientes, se requiere un tratamiento adicional para que el efluente cumpla con los estándares de reutilización en acuicultura.

Finalmente, debido a su eficiencia, bajos costos, fácil operación y mantenimiento, y la similitud del agua residual tratada con las aguas domésticas, se sugiere la implementación del HAFSS en zonas rurales sin acceso a redes de alcantarillado público como una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales.

Lopez Ponte (2019) "Evaluación de dos especies de microalgas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes de aguas residuales de la PTAR Taboada del Callao, Perú". En este experimento se evaluó la capacidad de las microalgas *Chlorella* sp. y *Desmodesmus* sp. para consumir nitratos y fosfatos presentes en aguas residuales domésticas, con el propósito de proponer alternativas para su tratamiento. Asimismo, se analizó el crecimiento de estas microalgas en aguas residuales bajo condiciones de invernadero.

Posteriormente, se determinaron el porcentaje promedio final y la tasa promedio de remoción de nitratos y fosfatos en los reactores experimentales, tanto en los tratamientos con microalgas como en los controles. Para el cultivo de las microalgas y los controles se utilizó el método tipo batch o sistema por lotes.

El crecimiento en cada reactor se evaluó mediante la lectura de la longitud de onda y la determinación de la densidad celular, utilizando dos ecuaciones específicas para cada tipo de microalga. La tasa y el porcentaje de remoción de nutrientes fueron calculados a partir de ecuaciones derivadas de estudios previos realizados en condiciones similares.

Los resultados obtenidos fueron consistentes con lo esperado, alcanzándose valores óptimos de remoción. *Desmodesmus* sp. destacó como la microalga más eficiente en la eliminación de nitratos y fosfatos. Además, se registraron valores representativos de remoción en los controles utilizados en las pruebas de laboratorio.

Mamani (2018) Evaluación de la carga contaminante generada por el vertimiento de aguas residuales de la Municipalidad Provincial de Yunguyo. Este estudio se enfocó en evaluar la carga contaminante proveniente de las aguas residuales tratadas por la planta de tratamiento de la Municipalidad Provincial de Yunguyo, con especial atención en su efecto sobre el lago Titicaca. Se establecieron cuatro puntos de monitoreo para analizar los reportes anuales desde 2014 hasta 2018, con el objetivo de determinar la calidad del agua que recibe este cuerpo de agua y destacar la importancia del tratamiento adecuado y el manejo eficiente de las aguas residuales. La metodología incluyó mediciones de caudal en campo, frecuencia de muestreo, análisis de parámetros físico-químicos y microbiológicos, así como la evaluación de los resultados para determinar la eficiencia operativa de la planta. Se encontró que la planta de tratamiento de aguas residuales de Yunguyo opera eficientemente según los estándares evaluados. Sin embargo, se observó que los valores de DBO5

(Demanda Bioquímica de Oxígeno) en el afluente son de 78 mg/L y los de DQO (Demanda Química de Oxígeno) en el efluente alcanzan los 130 mg/L, superando los límites máximos permisibles establecidos en los estándares de calidad ambiental Categoría 3 (Anexo B). Estos resultados indican una degradación incompleta de la materia orgánica por los microorganismos, lo que puede afectar negativamente la calidad del agua y provocar la disminución de oxígeno disponible, amenazando la fauna acuática en el Río Pichipa y la Bahía de Yunguyo. Además, se observó un pH alcalino de 8.5 en la Bahía de Yunguyo, evidenciando un deterioro en la calidad del agua en esta área. El estudio concluye que, aunque la planta de tratamiento de aguas residuales de la Municipalidad Provincial de Yunguyo opera con eficiencia operativa general, los niveles de DBO5 y DQO en el efluente superan los límites permisibles establecidos. Esto subraya la necesidad de implementar mejoras adicionales para cumplir plenamente con los estándares ambientales y proteger de manera efectiva la calidad del agua en el lago Titicaca y sus cuerpos receptores. Las recomendaciones incluyen la optimización de procesos de tratamiento y el monitoreo continuo de parámetros críticos para mitigar los impactos ambientales negativos en la región.

C. Antecedentes Local

Vásquez (2018) “Evaluación de la calidad del agua y vertimiento de efluentes industriales en la subcuenca del río San Juan (2006-2016), Cerro de Pasco”. Este estudio se centró en la calidad del agua del río San Juan, ubicado en la cuenca del río Mantaro, en una región con intensa actividad minera. Durante más de cinco décadas, este cuerpo de agua ha recibido efluentes orgánicos e inorgánicos, generando constantes denuncias por parte de la población local. Con la promulgación de nuevas normativas ambientales en la década de 1990, se fortaleció la exigencia de medidas para la protección del medio ambiente y el control de la contaminación.

El objetivo de esta investigación fue analizar la evolución de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua en la subcuenca alta del río San Juan durante un periodo de once años, evaluando su comportamiento a lo largo del tramo monitoreado. Para ello, se realizó un seguimiento continuo de la calidad del agua, utilizando datos de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) entre 2006 y 2011, complementados con monitoreos adicionales efectuados por el investigador de 2012 a 2016.

Dado el avance tecnológico en el tratamiento de efluentes por parte de las empresas mineras, se consideró fundamental contrastar los resultados obtenidos durante este periodo para identificar variaciones en las concentraciones de contaminantes. El estudio se focalizó en dos estaciones clave: la N.º 2 (Quebrada Quiulacocha) y la N.º 5 (río Andacancha), que reciben descargas industriales y domésticas, además de escorrentías superficiales que afectan la calidad del agua del río San Juan.

Los análisis realizados en seis estaciones de monitoreo durante el periodo 2006-2016 evidenciaron una alteración persistente en la calidad del agua debido a la presencia de contaminantes como metales pesados, materia orgánica y coliformes termotolerantes. Aunque se observó una reducción progresiva en las concentraciones de estos elementos a lo largo del tiempo, los niveles registrados aún no cumplen con los estándares establecidos en el Decreto Supremo 004-2017-MINAM, específicamente para la categoría 3, destinada al uso de riego de vegetales.

El monitoreo reveló una disminución en la carga de contaminantes orgánicos e inorgánicos en las estaciones Quebrada Quiulacocha y río Andacancha. No obstante, las concentraciones siguen siendo elevadas, representando un riesgo tanto para el ecosistema acuático como para las actividades agrícolas de la zona.

En conclusión, a pesar de los avances en el tratamiento de efluentes industriales y domésticos, la calidad del agua del río San Juan sigue siendo

deficiente. La persistente presencia de contaminantes, aunque en niveles menores que en años anteriores, continúa afectando la biodiversidad acuática y la salud pública. Es fundamental implementar estrategias más rigurosas para el tratamiento de aguas residuales y fortalecer la gestión ambiental, con el fin de alcanzar los estándares de calidad establecidos y garantizar la sostenibilidad de los recursos hídricos en la subcuenca del río San Juan.

Inga (2019) "Modelo dinámico para evaluar la calidad del agua en la Laguna Patarcocha por vertimientos de aguas residuales, Pasco, 2016". Esta investigación analiza la dinámica de los parámetros de calidad del agua en la Laguna Patarcocha mediante el uso del software Stella, en respuesta a los vertimientos de aguas residuales provenientes de los asentamientos humanos cercanos durante un periodo de diez años. Para ello, se realizó una subdivisión de la laguna en cuatro puntos de muestreo, evaluando parámetros clave como sólidos suspendidos, pH, demanda biológica de oxígeno (DBO), oxígeno disuelto, nitratos, fósforo total y coliformes totales. Estos valores fueron ajustados al índice de calidad de agua (ICA) y comparados con los estándares establecidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM) para la categoría 4.

Los resultados del estudio revelan que el incremento poblacional proyectado por el INEI provocará un aumento en el caudal de aguas residuales vertidas en la laguna. En 2010, el caudal registrado era de 8.97 L/s, mientras que para 2026 se estima que alcanzará los 10.2 L/s, lo que generará un deterioro progresivo de la calidad del agua. El modelo dinámico utilizado evidenció cómo este crecimiento poblacional impactará en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la laguna, reflejando un incremento en la concentración de nitratos y una reducción en los niveles de fósforo total, de 78 mg/L en 2010 a 68 mg/L en 2026. Asimismo, la cantidad de microorganismos aumentará de 1200 en 2010 a valores aún más elevados en 2026, indicando un deterioro continuo del ecosistema acuático.

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Origen de las aguas residuales

Las aguas residuales se refieren a los líquidos generados por la actividad humana, que contienen una alta proporción de agua y que generalmente se vierten en cuerpos de agua continentales o marinos (Seoanez, 1995).

Excretas: Son aquellas aguas residuales que contienen los residuos sólidos y líquidos de las heces humanas, con la siguiente composición:

Las deyecciones sólidas suelen con agua, celulosa, lípidos, prótidos y materia orgánica. En términos de elementos de interés agrario, estos residuos pueden contener hasta un 30% de nitrógeno (N), 3% de fosfato (H_3PO_4) y 6% de potasio (K_2O), entre otros componentes.

Una vez expulsadas, las heces comienzan a descomponerse, iniciando un proceso de putrefacción que afecta principalmente a las proteínas, tanto las alimenticias como las provenientes de secreciones y restos de la mucosa intestinal. Durante este proceso, se producen descarboxilaciones de aminoácidos que generan compuestos como lisina, tirosina y aminas, así como desaminaciones que liberan amoníaco (NH_3) (Garduño, 1994).

A. Agua con residuos domésticos

Las aguas residuales domésticas provienen de diversas actividades cotidianas en el hogar. Estas incluyen la evacuación de residuos y manipulaciones en las cocinas, como desperdicios de alimentos, arenas de lavado, residuos animales y vegetales, detergentes y partículas. También abarcan los lavados domésticos, que involucran el uso de jabones, detergentes sintéticos con espumantes MES, sales, entre otros. Además, se generan a partir de la actividad general en las viviendas, que produce residuos como celulosa, almidón, glucógeno, insecticidas y partículas orgánicas, los cuales se recogen durante la limpieza del hogar (Garduño, 1994).

B. Parámetros fisicoquímicos

Según ZHEN B. (2009), señala que los parámetros fisicoquímicos del agua ayudan a determinar y a evidenciar la alteración del estado de la calidad de agua en la presencia de contaminantes orgánicos, industriales, entre otros, siendo los siguientes:

a. Demanda bioquímica de oxígeno

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es una medida que indica la cantidad de oxígeno requerida por microorganismos aeróbicos para degradar materia orgánica en muestras de agua. Se expresa en miligramos de oxígeno por litro (mg O₂/L) de agua. Según Aguirre (2013), la DBO es esencial para evaluar la condición y calidad del agua en ríos, lagos, lagunas y efluentes. Cuanto mayor sea la cantidad de materia orgánica en una muestra, mayor será la DBO, ya que los microorganismos utilizan oxígeno para descomponerla. La normativa establece valores máximos permitidos de DBO para efluentes de aguas residuales antes de ser vertidos en cuerpos de agua. Estos valores determinan si es seguro el vertido directo o si se requiere tratamiento previo (Marisa, 2010).

b. Importancia de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

La DBO afecta directamente la cantidad de oxígeno disuelto en el agua (ríos, mares), crucial para la vida acuática. Un aumento en la DBO resulta en un agotamiento más rápido del oxígeno, lo que puede ser perjudicial para organismos acuáticos complejos (Fernando, 2015).

La prueba de DBO permite evaluar la descomposición bioquímica de la materia orgánica en aguas municipales, industriales y residuales. Estos datos son fundamentales en ingeniería para el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales (Aguirre, 2013).

Durante la prueba de DBO, varios factores pueden influir en los resultados, como la presencia de materia orgánica soluble, sólidos sedimentables, y la

temperatura y pH del agua. La actividad de microorganismos también juega un papel crucial en la medición de la DBO en aguas residuales domésticas (Carla, 2015).

c. Temperatura en el agua:

La temperatura juega un papel crucial en varios procesos, ya que puede alterar significativamente la concentración de elementos en el agua, especialmente en los sólidos disueltos, donde su presencia tiende a disminuir con el aumento de la temperatura. Además, se reconoce su impacto fundamental en la vida acuática, dado que un aumento repentino en la temperatura puede ocasionar una elevada mortalidad entre los organismos acuáticos (Antonio, 2000).

d. Potencial de hidrógeno (pH)

El pH es la medida de la concentración de iones de hidrógeno en un medio acuoso. Según Zhen B. (2009, p. 10), las aguas con un pH superior a siete son alcalinas, mientras que las que tienen un pH inferior son ácidas.

El término pH se utiliza para indicar el grado de acidez o basicidad del agua y se define convencionalmente como:

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+] \quad \text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

El pH se analiza químicamente en una escala que va de 0 a 14. Un pH de 7 se considera neutro; valores superiores indican que el agua es más básica o alcalina, mientras que valores inferiores indican mayor acidez (Sierra Ramírez, 2011).

e. Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales se refieren a la cantidad de partículas sólidas que permanecen después de filtrar el agua. Según Zhen B. (2009, p. 10), estos sólidos tienen su origen principal en la materia orgánica presente en el agua.

Los sólidos suspendidos totales presentes en el agua residual se dividen en dos categorías: sólidos suspendidos y sólidos filtrables. Los sólidos suspendidos son partículas visibles como trozos de vegetación, restos de animales, basura, entre otros, que pueden ser separados del líquido mediante métodos físicos simples (Hillbeboe, 2005).

Dentro de los sólidos suspendidos, se encuentran los sólidos sedimentables, que se depositan por gravedad en el fondo de los receptores. Estos sólidos sedimentables son una medida aproximada de la cantidad de lodo que se puede eliminar mediante sedimentación (Romero R, 2000).

C. Parámetros microbiológicos

Los parámetros microbiológicos son indicadores del nivel de contaminación orgánica y biológica en los fluidos. Tanto la actividad natural como la actividad humana contribuyen a esta contaminación, que incluye la descomposición de materia animal y vegetal, residuos domésticos, detergentes, entre otros factores

a. Coliformes totales

Son un subgrupo de bacterias entéricas, que fermentan la lactosa en el aumento de temperatura. Se localizan en heces de origen animal y del hombre. ZHEN B. (2009, p.11)

La Norma Técnica Nacional los considera microorganismos y las Bacterias Heterotróficas y Coliformes fecales. (ITINTEC 214.003).

Pueden hallarse tanto en heces como en el medio ambiente, por ejemplo, aguas ricas en nutrientes, suelos, materias vegetales en descomposición. También hay especies que nunca o casi nunca se encuentran en las heces pero que se multiplican en el agua. (Dirección General de Salud Ambiental)

b. Coliformes Fecales o termo tolerantes

Las bacterias descritas son bacterias coliformes termotolerantes, un subgrupo de bacterias coliformes totales. Son bacterias aerobias gram-negativas, no formadoras de esporas, de forma bacilar, que se incuban a

44.5°C y fermentan la lactosa en 48 horas, con producción de gas. Estas bacterias pueden ser residentes del tracto digestivo humano y de animales de sangre caliente. Muchas de ellas no pueden reproducirse fuera del intestino, por lo que su presencia en el agua indica contaminación por aguas fecales, siendo un indicador clave de la calidad sanitaria del agua (Rolim, 2000).

Su presencia en grandes cantidades en el agua de pozo sugiere contaminación con excrementos o desechos de alcantarillas, lo cual representa un riesgo potencial para la salud humana, ya que estas bacterias pueden ser indicativas de la presencia de patógenos y la posible transmisión de enfermedades (North California Public Health, 2009).

c. Vertimientos de aguas domesticas

1 Vertimiento de aguas servidas

El uso del agua en zonas urbanas, tanto en viviendas, actividades comerciales y de servicios, es de origen de contaminación ya que generan aguas residuales con desechos de alimentos, fecales, químicos, cosméticos, etc. Y son mal dispuestas, vertiéndolo en un cuerpo receptor. (LENNTECH, 2009, p. 45)

2 Permiso de Vertimiento de Agua-Función del ANA

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) tiene la función de autorizar el vertimiento de agua residual tratada en cuerpos naturales de agua continentales o marinos. Esta autorización se otorga previa opinión técnica favorable de las autoridades ambientales y de salud competentes, asegurando el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental de Agua (ECA-agua) y los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos para cada sector. Es importante destacar que está estrictamente prohibido verter agua residual, ya sea directa o indirectamente, sin la autorización correspondiente de la ANA

3 Marco legal de vertimiento de aguas residuales

El Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM establece los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales a nivel nacional. Según este decreto, los parámetros contaminantes y sus valores máximos permisibles son los siguientes:

- Aceites y grasas (A y G): 20 mg/L
- Sólidos suspendidos totales (SST): 150 mg/L
- pH: Entre 6.5 y 8.5 unidades
- Demanda Química de Oxígeno (DQO): 200 mg/L
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5): 200 mg/L
- Coliformes termotolerantes: 10,000 NMP/100 mL
- Temperatura: Menor a 35 °C

El artículo 4° de este decreto establece la obligación de los titulares de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de realizar el monitoreo de sus efluentes para asegurar el cumplimiento de estos límites. La normativa pretende regular y controlar los vertimientos de aguas residuales tratadas para proteger la calidad ambiental de los cuerpos receptores y garantizar la salud pública.

d. Ley N° 28611.- Ley General Del Ambiente:

La Ley N° 28611, conocida como la Ley General del Ambiente, establece diversas disposiciones relacionadas con el manejo y tratamiento de aguas residuales en el Perú. Entre los puntos clave de esta ley se encuentran:

Fomento al Tratamiento de Aguas Residuales: El Estado promueve el tratamiento de aguas residuales con el fin de obtener la calidad necesaria para su reutilización. Este tratamiento debe realizarse de manera que no

perjudique la salud humana, el ambiente ni las actividades para las cuales se reutilizarán las aguas.

Autorización para Vertimientos: Personas jurídicas o naturales pueden obtener autorización previa del Estado para el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales u otras actividades, siempre y cuando dicho vertimiento no afecte la calidad del cuerpo receptor ni su potencial reutilización.

Responsabilidad en el Tratamiento: Las entidades responsables de los servicios de saneamiento tienen la responsabilidad principal por el tratamiento de los residuos líquidos domésticos y las aguas pluviales. Asimismo, las empresas u entidades involucradas en actividades extractivas, productivas, comerciales u otras que generen aguas residuales o servidas son responsables de su tratamiento.

Manejo de Aguas Residuales Industriales: El manejo de aguas residuales o servidas de origen industrial puede ser realizado por el generador directamente, por terceros debidamente autorizados o por las entidades responsables de los servicios de saneamiento, según lo establecido por la normativa vigente.

Estas disposiciones buscan asegurar que el manejo y tratamiento de las aguas residuales en el país se haga adecuadamente, protegiendo el medio ambiente y la salud pública, y fomentando el uso sostenible de los recursos hídricos.

e. Ley N° 29338.- Ley De Recursos Hídricos:

En la Presente ley se excluye las aguas residuales que por sus características de calidad no requieran un tratamiento previo para su vertimiento en función a los límites máximos permisibles aplicables a la actividad, y a lo aprobado en el instrumento de gestión ambiental

correspondiente, solo la (ANA) autorizará el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marítima sobre la base del cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua) y los Límites Máximos Permisibles (LMP).

2.3. Definición de términos básicos

A. Aguas Residuales

Las actividades humanas generan aguas residuales que, debido a sus características originales, requieren tratamiento antes de ser reutilizadas, vertidas en cuerpos de agua naturales o descargadas en sistemas de alcantarillado. Estas aguas provienen de usos domésticos, comerciales e industriales y pueden variar considerablemente en su grado de impureza. Contienen una mezcla de compuestos orgánicos e inorgánicos, que pueden disolverse en el agua o presentarse en suspensión, dependiendo de su origen específico y del proceso al que se sometieran. El tratamiento adecuado es crucial para asegurar que estas aguas no afecten negativamente el medio ambiente ni la salud pública al ser liberadas en el entorno natural o en sistemas de tratamiento más avanzados.

B. Aguas residuales domésticas

Son las de origen residencial y comercial con desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben disponerse adecuadamente.

C. Aguas residuales municipales

Son aquellas aguas residuales domésticas que pueden mezclarse con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial antes tratadas, para admitirlas en sistemas de alcantarillado combinado.

D. Vertimiento

Es la disposición un residuo líquido doméstico, industrial, urbano agropecuario, minero, etc. Los colectores son tubos colocados a lado y lado de las quebradas, ríos, lagunas, lagos y mar.

La palabra vertimiento procede del verbo verter, el cual, en su acepción pura, significa derramar o vaciar líquidos (RAE, 2001).

E. Detergentes

Se define a un detergente como una sustancia de separación de materia extraña de superficies sólidas cuando se emplea en un disolvente. Su función disminuir la tensión superficial de los líquidos disueltos en este caso al agua (Domínguez, 2013).

F. Contaminación del Agua

La acumulación no deseada de sustancias, organismos y energía en un sistema hídrico es un problema significativo para las aguas del país. Este fenómeno se produce cuando las aguas residuales crudas o insuficientemente tratadas se vierten en cuerpos de agua naturales, superando la capacidad de asimilación y autodepuración del cuerpo receptor. Como resultado, se generan concentraciones de elementos y sustancias que exceden los estándares de calidad establecidos en las áreas reguladas por la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

El término "cuerpo receptor" se refiere específicamente al cuerpo natural de agua continental o marino-costero que recibe estos vertimientos, ya sean de aguas residuales tratadas o no tratadas, según lo definido por la ANA en 2016. La regulación y gestión adecuada de estos vertimientos son fundamentales para evitar la contaminación y proteger la calidad del agua en estos cuerpos.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del distrito de Ninacaca, Pasco, presenta una eficiencia limitada en la eliminación de contaminantes físicos, químicos y biológicos de las aguas residuales domésticas, lo que impide el cumplimiento óptimo de los estándares ambientales establecidos.

2.4.2. Hipótesis específicas

- La PTAR de Ninacaca no logra reducir de manera significativa los niveles de contaminantes físicos, químicos y biológicos, según los parámetros de calidad del agua evaluados antes y después del tratamiento.
- Las deficiencias operativas y técnicas existentes en la PTAR inciden negativamente en su rendimiento, por lo que su identificación permitirá proponer estrategias eficaces de mejora del proceso de tratamiento.

2.5. Identificación de variable

a. Variable dependiente: Nivel de contaminación del agua residual tratada

Esta variable abarca los contaminantes físicos (sólidos suspendidos, turbidez, color), químicos (pH, DBO, DQO, nitratos, fosfatos, metales pesados) y biológicos (coliformes fecales, patógenos), medidos antes y después del tratamiento para evaluar la efectividad de la PTAR en su remoción.

b. Variable independiente: Eficiencia operativa de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)

Esta variable se refiere al desempeño técnico y funcional del sistema de tratamiento, incluyendo aspectos como el diseño de la planta, procesos empleados (sedimentación, filtración, desinfección, etc.), mantenimiento, capacidad instalada, carga hidráulica, y gestión operativa.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 1. Matriz de operacional de variables

Variable	Dimensión	Indicadores	Instrumento de medición	Escala de medición
Variable Independiente: Eficiencia operativa de la PTAR	Diseño y estructura	Adecuación de procesos de tratamiento (primario, secundario, terciario)	Guía de observación / Lista de verificación	Cualitativa ordinal
	Funcionamiento técnico	Cumplimiento de caudal y capacidad instalada	Ficha técnica / Registro operativo	Cuantitativa continua
	Gestión operativa	Frecuencia de mantenimiento, control y monitoreo	Registro documental	Cuantitativa discreta
Variable Dependiente: Nivel de contaminación del agua tratada	Contaminación física	Concentración de sólidos suspendidos totales (SST) y temperatura.	Análisis de laboratorio de muestras de agua	Cuantitativa continua
	Contaminación química	DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno), pH y aceites y grasas.	Análisis de laboratorio	Cuantitativa continua
	Contaminación biológica	Número de coliformes termotolerantes.		

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de Investigación

De acuerdo con Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (2014), la investigación no experimental se caracteriza por observar fenómenos en su contexto natural, sin que el investigador intervenga o manipule intencionalmente las variables. Este tipo de enfoque es particularmente adecuado para estudios ambientales, como el análisis de aguas residuales domésticas, en los cuales es fundamental examinar los efectos reales de los vertimientos sobre la calidad del agua en condiciones no controladas.

En este contexto, los vertimientos domésticos suelen contener una mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas, así como microorganismos que pueden tener efectos negativos sobre la salud pública y los ecosistemas acuáticos. Rodríguez, Pérez y García (2009) señalan que estos efluentes pueden alterar significativamente la composición del agua receptora, afectando su uso y sostenibilidad a largo plazo.

La metodología no experimental, de carácter prospectivo, permite realizar un análisis detallado de los parámetros físico-químicos y microbiológicos presentes en las aguas residuales, tales como el pH, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), los sólidos suspendidos totales (SST), así como

indicadores bacterianos como coliformes fecales y *Escherichia coli*, los cuales son fundamentales para evaluar la calidad del agua (Zhen, 2009).

Este tipo de análisis es esencial para determinar el cumplimiento de los límites establecidos en las normativas ambientales y sanitarias peruanas, como lo estipula el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM (2010) y la Ley N.º 28611, Ley General del Ambiente.

3.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación de la presente tesis es aplicado, ya que se orienta a resolver un problema concreto relacionado con la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del distrito de Ninacaca, Pasco. Su propósito es generar conocimientos útiles que permitan mejorar la gestión operativa de la planta y contribuir a la protección ambiental y sanitaria de la población.

Asimismo, el estudio se enmarca dentro del nivel descriptivo-explicativo:

Descriptivo, porque caracteriza las condiciones de operación de la PTAR, describe sus unidades de tratamiento y presenta los valores observados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (pH, DBO₅, DQO, SST, coliformes, entre otros) tanto en el afluente como en el efluente.

Explicativo, en la medida en que analiza la relación entre los procesos unitarios de la planta (rejas, desarenador, sedimentación, lodos activados, cloración, etc.) y la eficiencia obtenida en la remoción de contaminantes. Este nivel permite comprender las causas de la variación en los porcentajes de remoción y determinar los factores que limitan o potencian el desempeño de la PTAR.

En conjunto, estos niveles permiten evaluar de manera integral la eficiencia del sistema de tratamiento, identificar deficiencias operativas y proponer mejoras basadas en evidencia técnica

3.3. Métodos de investigación

El enfoque metodológico adoptado en esta investigación fue descriptivo-comparativo, orientado a caracterizar los parámetros físico-químicos y microbiológicos presentes en los vertimientos de aguas residuales domésticas, así como a establecer relaciones significativas entre ellos.

Según Babbie (2016), los estudios descriptivos permiten representar detalladamente los fenómenos observados en su entorno natural, lo que resulta esencial para comprender la composición y comportamiento de los contaminantes en el agua. Este enfoque permitió registrar variables como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), pH y coliformes fecales, proporcionando una visión integral del estado del efluente.

Por otro lado, la dimensión comparativa del estudio permitió analizar diferencias sustanciales entre distintos puntos de muestreo y momentos específicos, lo cual enriqueció la interpretación de los resultados. Johnson y Christensen (2014) afirman que este tipo de análisis contribuye a identificar patrones de variación y posibles correlaciones entre las condiciones operativas de las plantas de tratamiento, los factores ambientales y la calidad del agua descargada.

Asimismo, Zhen (2009) sostiene que la combinación de análisis descriptivos con comparaciones estadísticas fortalece la evaluación de eficiencia de sistemas de tratamiento de aguas, permitiendo contrastar los resultados obtenidos con estándares ambientales establecidos por la normativa vigente.

3.4. Diseño de investigación

El diseño metodológico adoptado en esta investigación fue de tipo no experimental y de corte transversal, el cual se caracteriza por la recolección de datos en un solo punto en el tiempo. Según Hernández Sampieri y Mendoza Torres (2018), los diseños transversales permiten observar y analizar fenómenos tal como ocurren

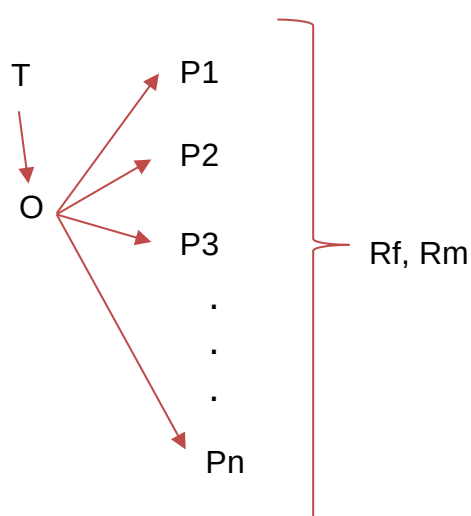
de forma natural, sin manipular deliberadamente las variables, con el objetivo de describir sus características y explorar posibles relaciones entre ellas (p. 270).

Este diseño fue seleccionado debido a que el estudio se enfocó en evaluar, en un momento específico, la eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del distrito de Ninacaca, a través del análisis de los parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua residual antes y después del tratamiento. Así, se permitió identificar el comportamiento de la variable dependiente (nivel de contaminantes) sin alterar las condiciones operativas del sistema de tratamiento.

El enfoque fue descriptivo-analítico, ya que no solo se buscó registrar y caracterizar los niveles de contaminantes como la DBO, DQO, SST, pH y coliformes termotolerantes, sino también interpretar los resultados en función de su cumplimiento con los estándares ambientales vigentes. Además, se analizaron las interrelaciones entre los parámetros evaluados, con el propósito de obtener una comprensión integral del funcionamiento de la PTAR y su grado de eficiencia.

Este diseño facilitó también la comparación entre los puntos de entrada y salida del sistema, lo que aportó evidencias empíricas para sustentar propuestas de mejora en la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento.

Representado de la siguiente manera:



Donde:

T: Tiempo de la investigación

O: Observación del fenómeno a estudiar

P1, P2, P3, ... ,Pn: Puntos de vertimiento de aguas residuales domésticos

Rf: Resultados de los parámetros físico químicos

Rm: Resultados de los parámetros microbiológicos

3.5. Población y muestra

A. Población

La población de esta investigación estuvo conformada por los puntos de ingreso y descarga del agua residual a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) como aquellas zonas más alejadas que aún se encuentran dentro del área de influencia directa del cuerpo de agua. Se consideraron distintos puntos estratégicos a lo largo del eje longitudinal del lago, abarcando áreas con diferentes grados de exposición a las aguas residuales domésticas. Esta delimitación permitió obtener una representación más precisa de las condiciones de calidad del agua y su variabilidad espacial, tomando en cuenta los posibles efectos acumulativos y dispersivos de los vertimientos en el ecosistema acuático.

B. Muestra

La muestra de esta investigación estuvo constituida por los puntos específicos de ingreso y descarga de aguas residuales en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del distrito de Ninacaca, así como por sectores seleccionados a lo largo del eje longitudinal del lago Chinchaycocha. Estos puntos fueron elegidos estratégicamente para representar tanto las condiciones iniciales del afluente (agua antes del tratamiento), como del efluente (agua después del tratamiento) y su impacto en diferentes áreas del lago, incluyendo zonas cercanas y más alejadas de la descarga.

Se utilizaron criterios de selección intencionada, considerando la accesibilidad de los puntos de muestreo, la proximidad a zonas pobladas, el historial de vertimientos y las características hidrográficas del lago. La muestra incluyó cuerpos receptores expuestos a distintos niveles de carga contaminante,

permitiendo comparar la eficiencia del tratamiento y la dispersión de contaminantes a lo largo del sistema hídrico.

Asimismo, el diseño muestral incorporó la toma de muestras en distintos momentos del día y en distintas condiciones climáticas, con el fin de capturar posibles variaciones temporales en la calidad del agua. Esta estrategia permitió garantizar la validez ambiental de los resultados, así como una interpretación más robusta del grado de cumplimiento de los estándares de calidad establecidos por la normativa nacional vigente. A continuación, se muestra las coordenadas UTM de los puntos donde se han realizado los monitoreos de la toma de muestra:

Tabla 2. *Puntos de muestreo de la planta de tratamiento de agua residual de Ninacaca.*

Coordenada UTM		
Punto de monitoreo	Este	Norte
E1	-10.874551	-76.110903
E2	-10.875183	-76.109412

Gráfico 4 Puntos de monitoreo de la planta de tratamiento del agua residual de Ninacaca.

Gráfico 1. *Planta de tratamiento de Agua Residual de Ninacaca*



3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

A. Técnicas

- **Toma de muestras de agua:** Se empleó la técnica de muestreo puntual en diferentes puntos estratégicos del sistema de ingreso y descarga de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), así como en tramos representativos del cuerpo de agua receptor. Esta técnica permite obtener muestras representativas en momentos específicos y en condiciones determinadas, asegurando la confiabilidad de los resultados.
- **Observación directa:** Se utilizó la observación sistemática y estructurada para registrar visualmente aspectos relevantes del entorno, como cambios en el color del agua, presencia de sólidos visibles, olores, condiciones meteorológicas, vegetación afectada, y posibles fuentes externas de contaminación. Esta técnica apoyó la contextualización de los resultados obtenidos en el laboratorio.
- **Análisis de laboratorio:** Las muestras fueron transportadas bajo condiciones controladas y analizadas en un laboratorio de investigación de Aguas y Suelos, del Instituto de Investigación de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion. Se evaluaron parámetros físico-químicos (pH, DBO, DQO, SST, temperatura, conductividad eléctrica, entre otros) y microbiológicos (coliformes totales y termotolerantes, etc.), siguiendo protocolos establecidos por las normas técnicas peruanas (NTP) y las guías del Ministerio del Ambiente (MINAM).

B. Instrumentos

- **Fichas de registro de campo:** Utilizadas para documentar datos in situ como ubicación georreferenciada, hora de muestreo, condiciones climáticas, observaciones ambientales y cualquier eventualidad en el proceso.

- **Cuadros de recolección y tabulación de datos:** Elaborados para organizar la información obtenida, facilitando su posterior análisis comparativo y estadístico.
- **Equipos portátiles de análisis in situ:** Incluyen medidores de pH, oxígeno disuelto, conductividad, turbidez y temperatura, utilizados para obtener datos inmediatos durante la recolección de muestras.
- **Materiales y equipos de muestreo:** Tales como botellas estériles, sondas de profundidad, barrenas, baldes, conservadores térmicos y etiquetas codificadas para garantizar la trazabilidad de las muestras.
- **Laboratorio de análisis:** Donde se realizaron los análisis especializados bajo condiciones controladas y con equipos calibrados, garantizando la confiabilidad de los resultados.
- **Computadora y software estadístico:** Utilizados para el procesamiento, sistematización y análisis de los datos mediante hojas de cálculo y programas como Excel o SPSS, facilitando la generación de gráficos, tablas y modelos comparativos.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y análisis de datos en la presente investigación se desarrolla en tres fases metodológicas interrelacionadas, que permiten asegurar la coherencia entre los objetivos planteados, la recolección de información y la interpretación de los resultados:

A. Fase de planificación y diseño metodológico

Esta etapa inicial consiste en la estructuración del diseño operativo de campo, estableciendo los procedimientos, recursos, puntos de muestreo y criterios técnicos necesarios para garantizar la rigurosidad del estudio. En esta fase se definen:

- Los puntos estratégicos de muestreo de aguas residuales, tanto de ingreso como de egreso de la PTAR, y en zonas receptoras dentro del área de influencia directa.
- Los parámetros físico-químicos (pH, DBO, DQO, SST, temperatura, etc.) y microbiológicos (coliformes, E. coli, entre otros) a evaluar, así como los estándares normativos de referencia para su comparación.
- Los criterios de observación directa, considerando condiciones ambientales, fenómenos visibles, y posibles fuentes de contaminación externas o complementarias.

B. Fase de observación, muestreo y recolección de datos

Esta etapa corresponde a la ejecución del trabajo de campo, en la que se aplican de manera sistemática las técnicas de muestreo y observación previamente planificadas. Las actividades incluyen:

- La recolección de muestras de agua residual bajo protocolos de bioseguridad y conservación, siguiendo normativas nacionales e internacionales (NTP, EPA, OMS).
- La medición in situ de ciertos parámetros, utilizando instrumentos portátiles calibrados.
- El registro de datos observacionales y ambientales en fichas técnicas de campo.
- La conservación y traslado adecuado de las muestras hacia el laboratorio químico para su análisis detallado.

C. Fase de procesamiento, análisis y comparación de datos

Una vez obtenidos los resultados del laboratorio y los registros de campo, se procede al procesamiento e interpretación de la información recolectada. Esta fase incluye:

- La sistematización y digitalización de los datos en matrices comparativas utilizando software como Excel o SPSS.

- El análisis descriptivo de los valores obtenidos mediante medidas de tendencia central (media, mediana) y dispersión (desviación estándar), con el objetivo de caracterizar el estado actual del agua en los puntos evaluados.
- El análisis comparativo en los puntos de muestreo, utilizando técnicas estadísticas como análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de correlación, para identificar diferencias significativas y relaciones entre parámetros.
- La interpretación integrada de los datos, relacionando los resultados fisicoquímicos y microbiológicos con las observaciones de campo, a fin de establecer el grado de eficiencia del tratamiento, así como la influencia de factores ambientales o técnicos en los resultados.

3.8. Tratamiento estadístico

El tratamiento estadístico de los datos se realizó mediante el uso del software estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), con el objetivo de analizar e interpretar las relaciones entre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos presentes en las aguas residuales, antes y después del proceso de tratamiento en la PTAR del distrito de Ninacaca.

En primer lugar, se aplicaron estadísticas descriptivas para caracterizar los datos obtenidos de cada parámetro evaluado, como la media, mediana, moda, desviación estándar, mínimo, máximo y rangos de confianza. Esta etapa permitió obtener una visión general de la distribución y comportamiento de los contaminantes en las distintas muestras.

Posteriormente, se realizaron análisis comparativos utilizando pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk) para determinar si los datos seguían una distribución normal, lo que permitió definir el tipo de pruebas estadísticas más adecuadas para la comparación.

Asimismo, se aplicaron pruebas de correlación (como el coeficiente de Pearson o Spearman, según corresponda) para identificar la posible relación entre los

distintos parámetros, evaluando si existe una asociación significativa entre las concentraciones de contaminantes físicos, químicos y biológicos.

En los casos donde fue necesario contrastar valores entre diferentes puntos de muestreo o entre los niveles antes y después del tratamiento, se emplearon pruebas de hipótesis como el ANOVA o la prueba t para muestras relacionadas o independientes, según el diseño y la normalidad de los datos.

Este enfoque estadístico integral permitió interpretar de manera objetiva los resultados, facilitando la evaluación de la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales y proporcionando evidencia cuantificable para la formulación de propuestas de mejora.

3.9. Orientación ética filosófica y epistémica

En el contexto de los problemas asociados a la contaminación de los recursos hídricos, nuestra investigación se enmarca dentro del cumplimiento de las normas ambientales peruanas, sustentándose en valores éticos y principios morales orientados a la protección del medio ambiente. Reconocemos la responsabilidad colectiva de preservar la calidad del agua como recurso vital para el desarrollo sostenible y el bienestar de las generaciones presentes y futuras.

Nos comprometemos con el proceso de adecuación progresiva de los prestadores de servicios de saneamiento, en concordancia con lo dispuesto en los artículos 79, 80, 81 y 82 de la Ley de Recursos Hídricos (Ley N.º 29338). Esta adecuación tiene como objetivo asegurar que las aguas residuales generadas por los servicios de saneamiento urbano y rural a nivel nacional cumplan con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la normativa vigente.

Asimismo, se busca que los cuerpos receptores de dichas aguas residuales — como ríos, lagos o humedales— cumplan de manera gradual con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua), promoviendo así la recuperación y conservación de los ecosistemas acuáticos, la salud pública y el desarrollo equilibrado de las comunidades.

CAPITULO IV

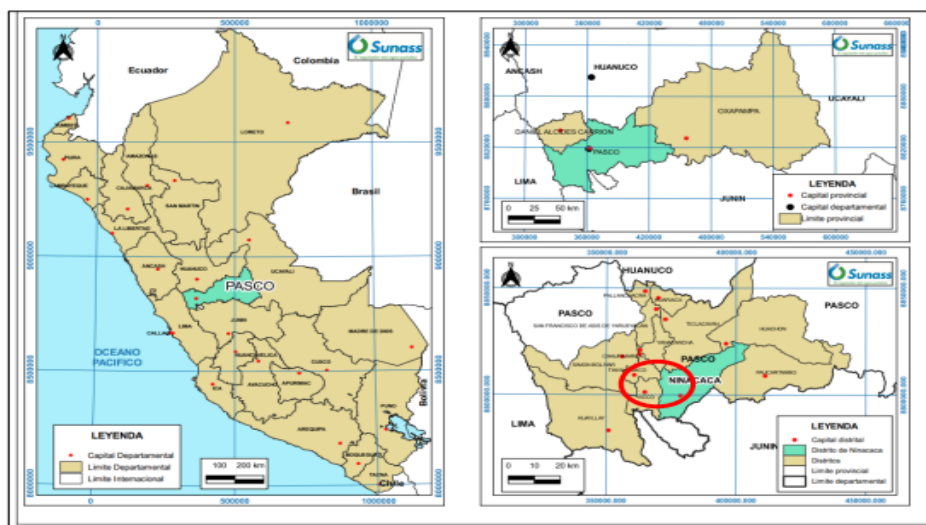
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Localización y descripción del área de estudio

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Ninacaca, perteneciente a la Municipalidad Distrital de Ninacaca, en la provincia y región de Pasco. Este distrito se caracteriza por su altitud elevada, su clima predominantemente frío y seco, así como por su proximidad a importantes cuerpos de agua, entre ellos el lago Chinchaycocha (Junín.).).

Gráfico 2. Ubicación de la pequeña ciudad de Ninacaca, provincia y región de Pasco



La PTAR está situada específicamente en una zona de descarga directa de aguas residuales domésticas, provenientes del núcleo urbano del distrito. El área de estudio abarca tanto los puntos de ingreso de aguas residuales a la planta como los puntos de vertimiento final al cuerpo receptor, así como sectores cercanos y alejados dentro del área de influencia directa de la PTAR. Esta delimitación geográfica ha permitido establecer una cobertura espacial que incluye zonas con diferentes niveles de exposición a la contaminación.

Gráfico 3. *Punto de monitoreo del Ingreso del Afluente*



El entorno inmediato de la planta presenta características propias de ecosistemas altoandinos, con suelos frágiles, escasa vegetación y cuerpos de agua susceptibles al impacto antrópico. Estas condiciones hacen que el monitoreo y la evaluación del desempeño de la PTAR adquieran especial relevancia, dado el riesgo de afectación tanto a la calidad del agua como a la biodiversidad local

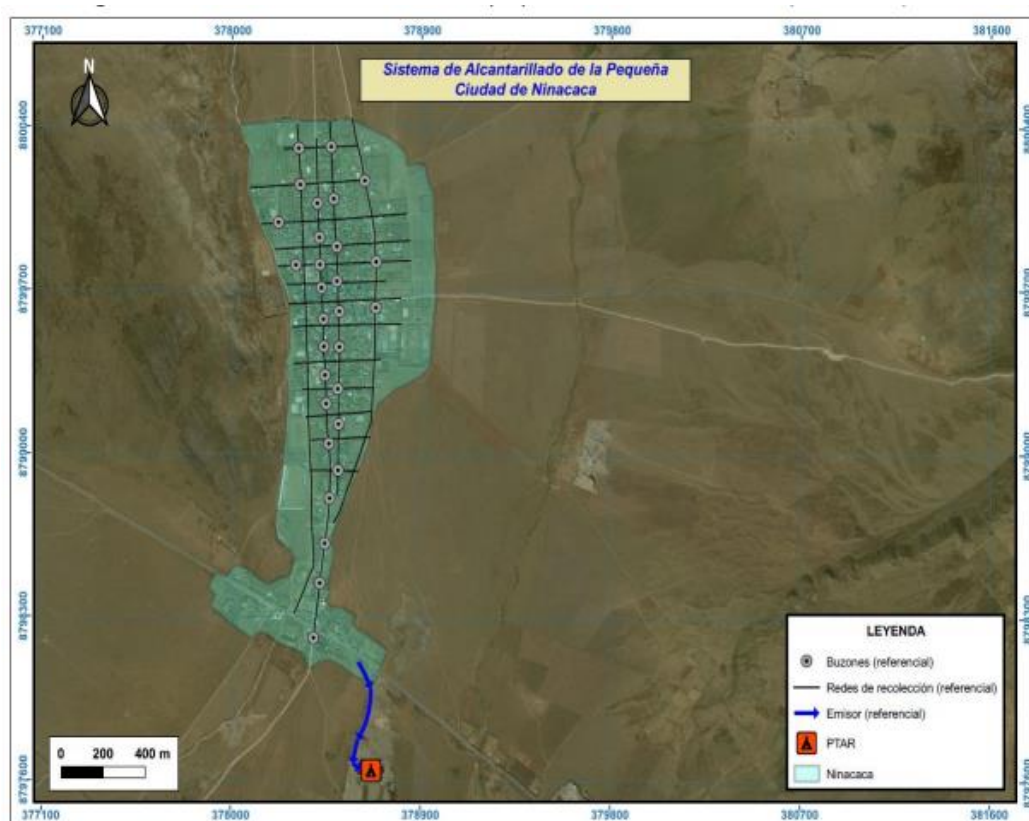
En función de esta localización, se definieron puntos estratégicos de muestreo para la recolección de datos sobre los parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua, permitiendo evaluar con precisión el grado de eficiencia del tratamiento de aguas residuales y su impacto ambiental.

El sistema de alcantarillado sanitario de la ciudad de Ninacaca opera bajo un sistema por gravedad con tratamiento. Esta infraestructura está compuesta por una red colectora principal, línea emisora, buzones de inspección y conexiones domiciliarias, los cuales permiten la recolección y transporte de aguas residuales domésticas hacia la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

Uno de los problemas identificados en el sistema es la frecuencia de atoros o colapsos en los buzones de inspección, los cuales, según lo reportado por la representante de la Municipalidad, se presentan con mayor recurrencia durante las épocas de lluvias intensas, conocidas localmente como épocas de avenidas. Esta situación se debe, principalmente, a la infiltración de aguas pluviales en la red sanitaria, generando una sobrecarga en el sistema, además del ingreso indebido de residuos sólidos arrojados por la población a través de las conexiones domiciliarias.

Cabe señalar que la Municipalidad no cuenta con un programa establecido de mantenimiento preventivo del sistema de alcantarillado, lo que agrava las condiciones operativas y eleva el riesgo de colapsos, reboses y contaminación del entorno. Esta falta de mantenimiento sistemático afecta directamente la eficiencia del servicio de saneamiento y representa una amenaza para la salud pública y el medio ambiente local.

Gráfico 4. Sistema de alcantarillado de la pequeña ciudad de Ninacaca



4.1.2. Estado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Ninacaca

La ciudad de Ninacaca, ubicada en la provincia y región de Pasco, cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) vinculada al anexo de Ranyac.

Dicha infraestructura sanitaria se encuentra georreferenciada en el sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM), bajo el datum WGS-84, Zona 18 Sur. Como referencia topográfica, se ha establecido un punto próximo a la vía de acceso en el sector Este, cuyas coordenadas son: Este (E): 402 563.086 m y Norte (N): 8 817 235.823 m.

Esta información geoespacial permite una adecuada localización cartográfica de la PTAR, facilitando su incorporación en sistemas de información geográfica (SIG) y en procesos de planificación, monitoreo ambiental y gestión territorial.

La infraestructura de la PTAR está conformada por los siguientes componentes:

- **Cámara de rejas:** Para la retención de sólidos gruesos.
- **Desarenador:** Para la separación de arenas y materiales sedimentables.
- **Canal Parshall:** Para la medición del caudal de ingreso.
- **Cámara de repartición de caudales:** Para distribuir el flujo entre las unidades de tratamiento.

Gráfico 5. Canal Parshall para medir el Caudal



- **Lagunas facultativas:** El sistema cuenta con dos lagunas primarias y dos lagunas secundarias dispuestas en serie, diseñadas para completar el proceso de depuración mediante mecanismos físicos, químicos y biológicos. Estas lagunas funcionan principalmente a través de la acción combinada de microorganismos aerobios y anaerobios, los cuales degradan la materia orgánica presente en las aguas residuales.
- **Las lagunas primarias** reciben el agua tratada preliminarmente (tras el desarenado y tamizado), y permiten la sedimentación de sólidos finos y la degradación inicial de la materia orgánica. Posteriormente, el efluente pasa a las

lagunas secundarias, donde continúa el proceso de estabilización y mejora de la calidad del agua mediante mecanismos de autodepuración más prolongados, incluyendo la acción de algas, bacterias, radiación solar y oxigenación natural. Este tipo de tratamiento es adecuado para poblaciones pequeñas o rurales debido a su bajo costo de operación y mantenimiento. Sin embargo, su eficiencia depende de variables como la carga orgánica, el tiempo de retención hidráulico, la temperatura ambiente y el mantenimiento regular de lodos. En el caso de Ninacaca, la presencia de lodos acumulados superiores al 50% del volumen útil y de sólidos flotantes indica un deterioro funcional que puede afectar seriamente la eficiencia del tratamiento y comprometer la calidad del efluente final.

Gráfico 6. *Laguna de estabilización No. 1: primaria y secundaria*



Gráfico 7. Laguna de estabilización No. 2: primaria y secundaria



Recolección de datos

Trabajo de gabinete

Se gestionó la coordinación institucional con la Municipalidad Distrital de Yanacancha con el fin de participar en las actividades desarrolladas por la empresa consultora responsable del monitoreo de la calidad del agua, específicamente en los puntos de ingreso (afluente) y salida (efluente) de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Posteriormente, se obtuvo copia del informe técnico de monitoreo, el cual incluye los resultados analíticos de los parámetros de calidad del agua evaluados en dichos puntos. Según los informes de ensayo adjuntos, se verificó que el muestreo fue ejecutado por laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Calidad (INACAL), garantizando la validez y confiabilidad de los datos obtenidos.

Trabajo de campo

El trabajo de campo se realizó con previa autorización de la Municipalidad Distrital de Ninacaca, lo que permitió el acceso a las instalaciones internas de la planta de tratamiento de aguas residuales. Durante esta fase, se ejecutaron las siguientes acciones:

- Se identificaron y constataron los distintos componentes estructurales y operativos de la planta de tratamiento.
- Se colaboró con la empresa consultora en la localización precisa de los puntos de muestreo, determinando sus coordenadas geográficas tanto para el afluente como para el efluente.
- Se verificó que el proceso de toma de muestras se desarrollara conforme a lo dispuesto en la Resolución Ministerial N.º 273-2013-VIVIENDA, que aprueba el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.
- Se brindó apoyo técnico en el llenado de la cadena de custodia, asegurando la correcta documentación de los datos asociados al procedimiento de muestreo.
- Se constató que las muestras recolectadas en los puntos establecidos fueran adecuadamente envasadas, conservadas y transportadas para su posterior análisis en laboratorio acreditado.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Resultados de los parámetros de calidad del agua evaluados en el año 2024 en la zona de Ninacaca

A continuación, se exponen los resultados obtenidos del monitoreo realizado en el año 2024 en el distrito de Ninacaca, provincia de Pasco. El análisis de los parámetros de calidad del agua fue efectuado por el laboratorio de Investigación de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, conforme al marco normativo vigente.

Los puntos de muestreo correspondieron al afluente (E1) y efluente (E2) de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) ubicada en el distrito de Ninacaca. En la siguiente tabla se presentan los valores medidos para cada parámetro, comparados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM, que rige para efluentes de PTAR domésticas o municipales.

Tabla 3. Resultados de los parámetros de calidad del agua – PTAR Ninacaca (2024)

Parámetro	Unidad	Afluente E1	Efluente E2	LMP según D.S. N.º 003-2010-MINAM	Evaluación
pH	Unidades de pH	8,00	8,30	6,5 – 8,5	Cumple
Temperatura	°C	13	14	< 35	Cumple
Aceites y grasas	mg/L	12,10	1,70	20	Cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	128,1	16,8	100	Cumple
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	232,7	30,9	200	Cumple
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	mg/L	87,8	8,9	150	Cumple
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	17 000	20,0	10 000	Cumple

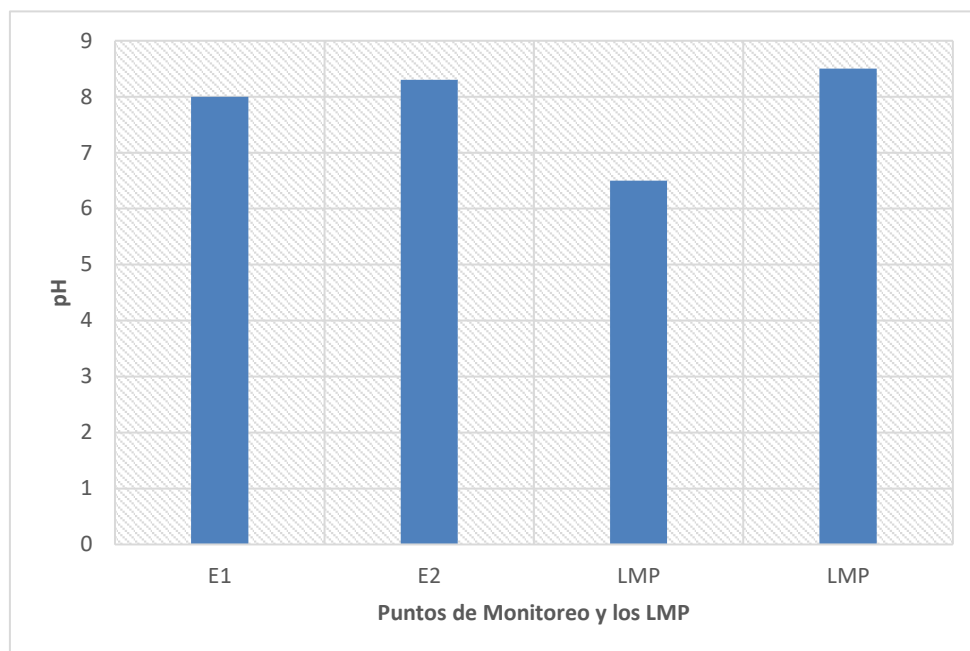
Fuente: Elaboración propia a partir de los informes emitidos por el laboratorio ICI-UNDAC.

A. pH

De acuerdo a la información presentada en la ilustración N° 1, se verifica que el valor del parámetro de calidad pH en el primer punto de medición (E1) es de 8,0 unidades de pH, mientras que en el segundo punto (E2) asciende a 8,3 unidades de pH. Por otro lado, en el punto LMP se registran valores de 6,5 y 8,5 unidades de pH. En función del Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, que establece los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, el rango permitido se encuentra entre 6,5 y 8,5 unidades de pH. En base a ello, se demuestra que el valor de pH en los puntos: E1 y E2 se encuentra dentro de los límites máximos permisibles, y cumple con la normativa vigente. No obstante, es importante resaltar que cuando el pH alcanza valores cercanos al límite máximo, puede producirse la precipitación de nutrientes como el fósforo, lo que conlleva a

que este compuesto se vuelva inactivo en el proceso biológico, reduciendo la eficiencia en la remoción de DBO_5 (Rancaño & Garrido, 2004).

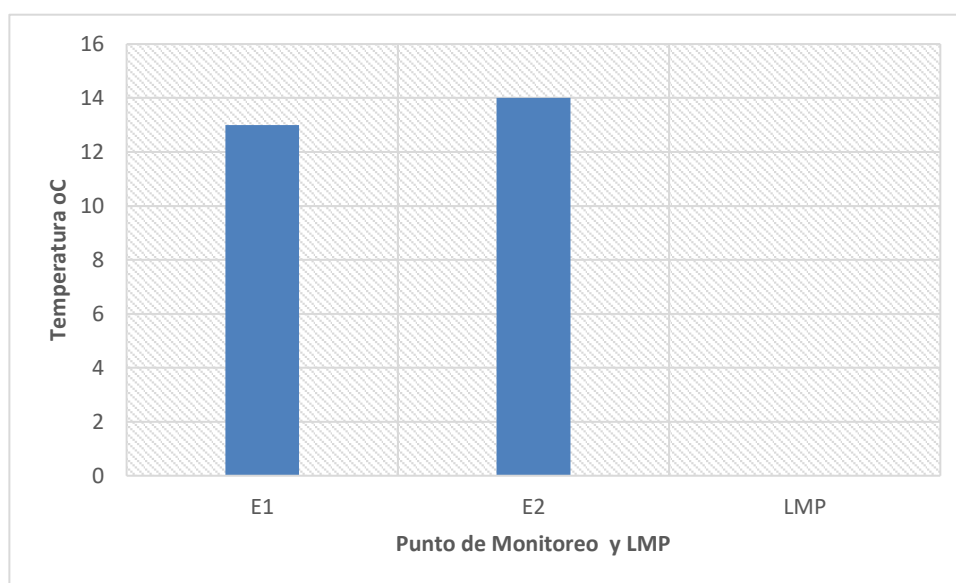
Ilustración 1. Resultados de la medición de pH.



B. Temperatura

Según la Ilustración N° 2, el valor registrado para el parámetro de calidad 'Temperatura' en el punto de monitoreo E2 (afluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales - PTAR) es de 14 °C, mientras que en el punto E1 (efluente de la PTAR) se registra un valor de 13 °C. Conforme al Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, que establece los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, el valor permitido para este parámetro es menor a 35 °C. En consecuencia, se concluye que la temperatura del efluente se encuentra dentro del rango establecido por la normativa vigente.

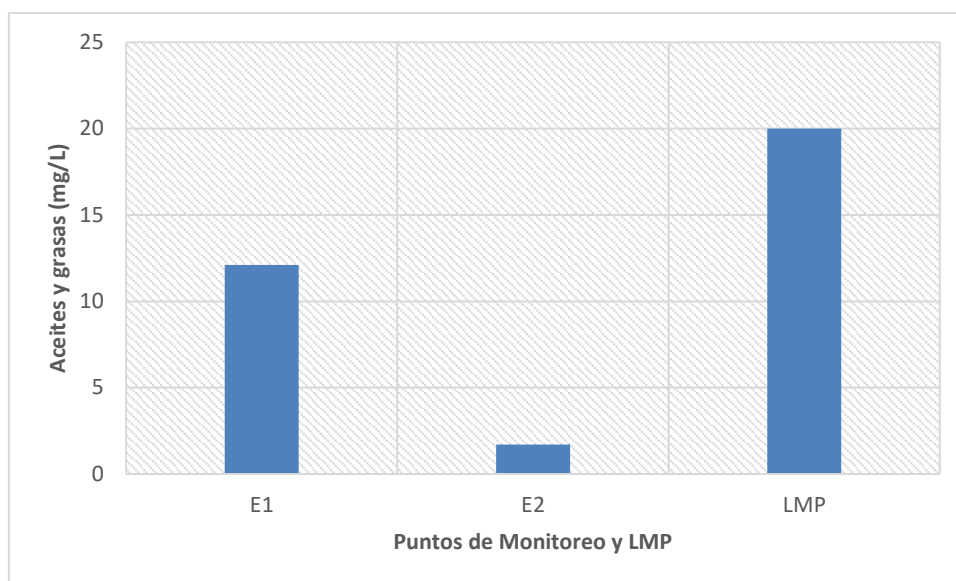
Ilustración 2. Resultados de la medición de temperatura



C. Aceites y Grasas

Tal como se muestra en la Ilustración N° 3, el valor del parámetro de calidad 'Aceites y Grasas' en el punto de monitoreo E2, correspondiente al afluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), es de 12,1 mg/L, mientras que en el punto E1, correspondiente al efluente, se registra un valor de 1,7 mg/L. De acuerdo con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, que establece los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes provenientes de PTAR domésticas o municipales, el límite permitido para este parámetro es de 20 mg/L. En ese sentido, se confirma que la concentración de aceites y grasas en el efluente cumple con lo exigido por la normativa vigente.

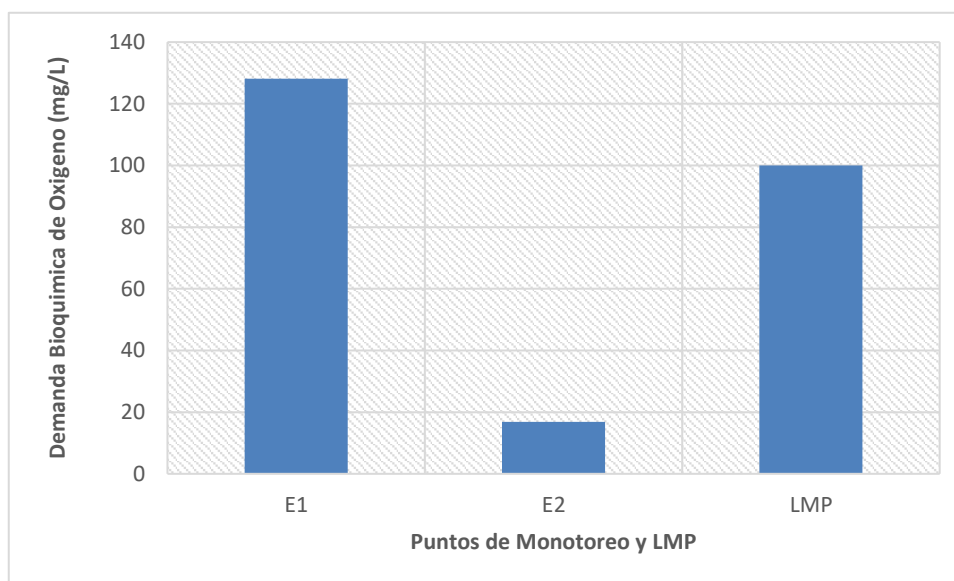
Ilustración 3. Resultado de la medición de aceites y grasas.



D. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Según se observa en la Ilustración N° 4, el valor registrado para la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO₅) en el punto de monitoreo E2, correspondiente al afluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), es de 128,1 mg/L. En contraste, en el punto E1, correspondiente al efluente de la planta, se obtiene un valor de 16,8 mg/L. Considerando lo estipulado en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, el cual establece un Límite Máximo Permisible (LMP) de 100 mg/L para este parámetro en efluentes de PTAR domésticas o municipales, se concluye que el valor de DBO₅ en el efluente se encuentra dentro de los límites establecidos por la normativa vigente.

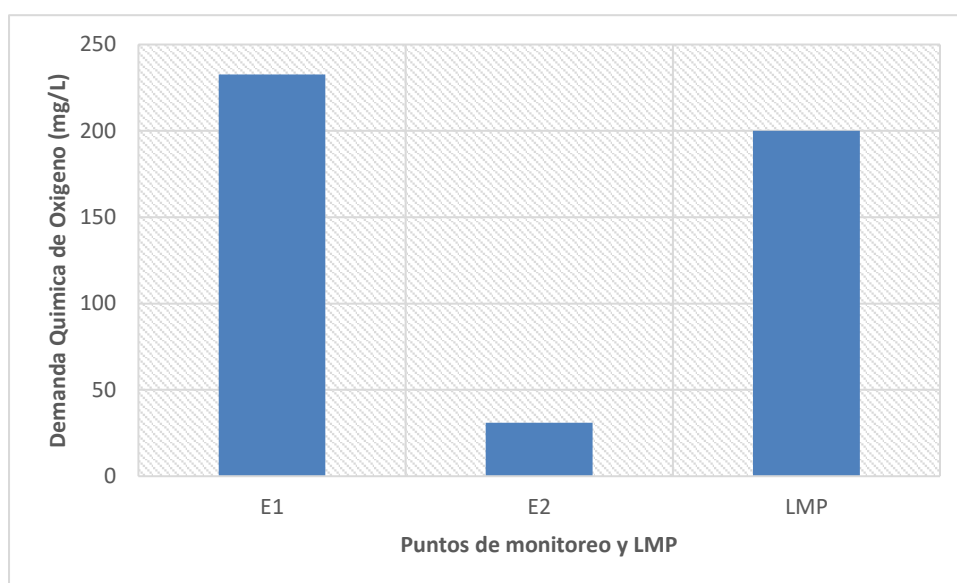
Ilustración 4. Resultado de la medición de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)



E. 'Demanda Química de Oxígeno' (DQO)

Conforme a lo presentado en la Ilustración N° 5, el valor del parámetro de calidad 'Demanda Química de Oxígeno' (DQO) en el punto de monitoreo E2, correspondiente al afluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), es de 232,7 mg/L. En tanto, en el punto E1, que representa el efluente de la PTAR, se registra un valor de 30,9 mg/L. De acuerdo con lo establecido en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, el cual fija los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes generados por plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, el valor permitido para este parámetro es de 200 mg/L. En este contexto, se evidencia que la concentración de DQO en el efluente cumple con los requisitos establecidos por la normativa.

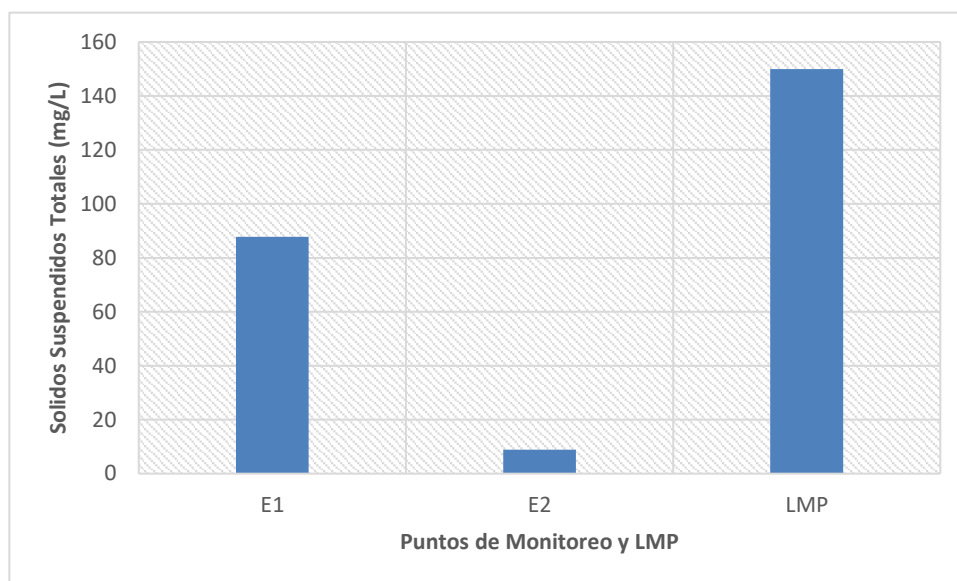
Ilustración 5. Resultado de la medición de Demanda Química de Oxígeno' (DQO)



F. Sólidos Suspendidos Totales

Según se indica en la Ilustración N° 6, el valor del parámetro de calidad Sólidos Suspendidos Totales en el punto de monitoreo E1 (afluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR) es de 87,8 mg/L, mientras que en el punto E2 (efluente de la PTAR) se registra un valor de 8,9 mg/L. De acuerdo con lo establecido en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, que aprueba los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes generados por plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, el valor permitido para este parámetro es de 150 mg/L. En este contexto, se concluye que la concentración de sólidos suspendidos totales en el efluente cumple con los límites establecidos por la normativa vigente.

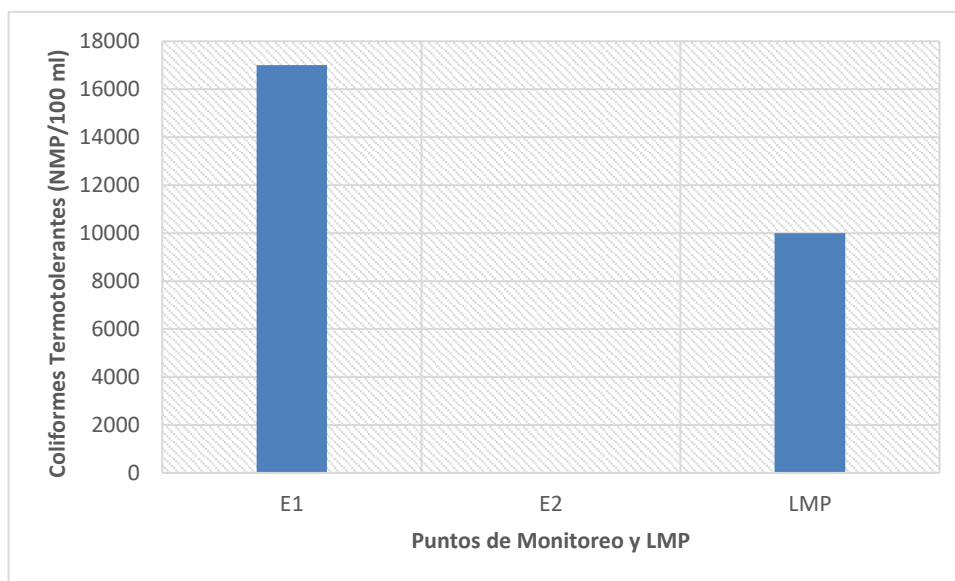
Ilustración 6. Resultado de la medición Sólidos Suspendidos Totales



G. Coliformes Termotolerantes

Tal como se muestra en la Ilustración N° 7, el valor del parámetro de calidad Coliformes Termotolerantes en el punto de monitoreo E1 (afluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR) es de 17,000 NMP/100 mL, mientras que en el punto E2 (efluente de la PTAR) se registra un valor de 20 NMP/100 mL. Según lo establecido en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, que fija los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, el valor permitido para este parámetro es de 10,000 NMP/100 mL. En consecuencia, se concluye que la concentración de coliformes termotolerantes en el efluente cumple con lo dispuesto en la normativa vigente.

Ilustración 7. Resultado de la medición de Coliformes Termotolerantes



4.2.2. Eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

La eficiencia operativa de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) fue estimada mediante el cálculo del porcentaje de remoción de cada uno de los parámetros evaluados. Para ello, se aplicó la siguiente fórmula:

La eficiencia de remoción se calculó utilizando la fórmula:

$$\text{Eficiencia (\%)} = ((E1 - E2) / E1) \times 100$$

donde:

- **E1** es la concentración del parámetro en el afluente,
- **E2** es la concentración en el efluente.

Los valores obtenidos se contrastaron con la normativa vigente y literatura técnica especializada. A continuación, se muestra un resumen de los resultados obtenidos:

Tabla 4. Resultados de la eficiencia de los parámetros del monitoreo ambiental de la calidad del agua residual de la PTAR de Ninacaca.

Parámetro	Afluente (mg/L NMP)	Efluente o (mg/L NMP)	LMP o Máximo Permitido)	(Límite Cumple	Eficiencia (%)
Aceites y grasas	12,10	1,70	20	Sí	85,95 %
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	128,1	16,8	100	Sí	86,89 %
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	232,7	30,9	200	Sí	86,72 %
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	87,8	8,9	150	Sí	89,86 %
Coliformes termotolerantes	17 000	20	10 000	Sí	99,88 %

A. Aceites y Grasas

$$E(\%) = \frac{(12.10 - 1.70)}{12.10} * 100$$

$$E(\%) = \frac{10.40}{12.10} * 100$$

$$\text{Eficiencia} = 85,95\%$$

Análisis:

La eficiencia obtenida se encuentra dentro del rango esperado para este tipo de sistemas. Se logró una notable reducción de este parámetro, lo cual es indicativo de un buen control de contaminantes lipídicos.

B. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

$$E(\%) = \frac{(128,1 - 16,80)}{128,1} * 100$$

$$E(\%) = \frac{111,3}{128,1} * 100$$

$$\text{Eficiencia} = 86,89\%$$

Análisis:

Esta elevada eficiencia refleja una adecuada biodegradación de la materia orgánica, cumpliendo con los estándares establecidos.

C. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

$$E(\%) = \frac{(232.70 - 30.90)}{232.70} * 100$$

$$E(\%) = \frac{201.8}{232.70} * 100$$

Eficiencia = 86,72 %

Análisis:

La remoción de compuestos orgánicos oxidables fue efectiva, lo que respalda la estabilidad del proceso biológico.

D. Sólidos Suspendidos Totales (SST)

$$E(\%) = \frac{(87.80 - 8.90)}{87.80} * 100$$

$$E(\%) = \frac{78 - 90}{87.80} * 100$$

Eficiencia = 89,86 %

Análisis:

La sedimentación en las lagunas logró una remoción altamente eficiente de los sólidos, lo cual contribuye significativamente a la claridad del efluente.

E. Coliformes Termotolerantes

$$E(\%) = \frac{(17000 - 20)}{17000} * 100$$

$$E(\%) = \frac{16080}{17000} * 100$$

Eficiencia = 99,88%

Análisis:

El sistema mostró una eficiencia excelente en la eliminación de bacterias indicadoras de contaminación fecal, demostrando un correcto desempeño en esta etapa. Este resultado refleja un buen control microbiológico y protección para la salud pública.

4.3. Prueba de Hipótesis

A. Hipótesis General

La PTAR del distrito de Ninacaca presenta una eficiencia limitada en la eliminación de contaminantes físicos, químicos y biológicos, lo que impide el cumplimiento óptimo de los estándares ambientales establecidos.

Hipótesis nula (H_0):

La PTAR del distrito de Ninacaca presenta una eficiencia adecuada en la eliminación de contaminantes, cumpliendo con los estándares ambientales.

Traducción a términos estadísticos:

Se puede operacionalizar usando los valores de parámetros de calidad del agua (como DBO_5 , DQO, SST, coliformes) antes y después del tratamiento.

H_0 : No existe diferencia significativa entre los valores del afluente y el efluente (la PTAR no mejora significativamente la calidad del agua).

$$\mu_{\text{afluente}} = \mu_{\text{efluente}}$$

H_1 : Existe una diferencia significativa (la PTAR mejora o no mejora significativamente la calidad del agua).

$$\mu_{\text{afluente}} > \mu_{\text{efluente}}$$

Tipo de prueba: t de Student para muestras relacionadas (pareadas)

Nivel de significancia sugerido: $\alpha = 0,05$

Hipótesis Específicas

Hipótesis específica 1

Investigación (H_1):

La PTAR de Ninacaca no logra reducir significativamente los niveles de contaminantes físicos, químicos y biológicos.

Hipótesis nula (H_0):

La PTAR de Ninacaca sí reduce significativamente los niveles de dichos contaminantes.

En este caso, se evalúan parámetros como:

- Físicos: Sólidos Suspendidos Totales (SST)
- Químicos: DBO₅, DQO, aceites y grasas
- Biológicos: Coliformes termotolerantes

Para cada parámetro, se puede aplicar una prueba t pareada para comparar afluente vs efluente y verificar si hay diferencias estadísticamente significativas.

Hipótesis específica 2

Investigación (H_1): Las deficiencias operativas y técnicas de la PTAR inciden negativamente en su rendimiento, y su identificación permite proponer mejoras.

Hipótesis nula (H_0):

No existen deficiencias operativas o técnicas significativas que afecten el rendimiento de la PTAR.

En este caso, el análisis no es solo estadístico, sino también técnico-descriptivo. Puedes aplicar:

- Listas de verificación (checklist de mantenimiento y operación)
- Encuestas o entrevistas al personal operativo
- Observación directa del sistema (estructuras, flujos, presencia de olores, maleza, etc.)

Si se identifican fallas técnicas (fugas, sobrecarga, falta de mantenimiento, etc.), se puede validar la hipótesis alternativa.

Recomendación para el análisis

Aplicar pruebas t para cada parámetro de calidad del agua, contrastando el valor del afluente y el efluente.

Complementar con análisis cualitativo sobre deficiencias operativas usando evidencia empírica (registros, observación, testimonios).

Rechazar H_0 si los valores p de las pruebas estadísticas son menores al nivel de significancia ($\alpha = 0,05$), y si se identifican fallas operativas reales.

Tabla 5. Resultados de la prueba t pareada

Parámetro Estadístico t		Valor p	¿Diferencia significativa?
DBO₅	178.17	0.000	Sí
DQO	296.67	0.000	Sí
SST	287.24	0.000	Sí
Coliformes	167.42	0.000	Sí

Interpretación

- Para todos los parámetros analizados (DBO₅, DQO, SST y coliformes termotolerantes), el valor p es menor a 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) en cada caso.
- Esto indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los valores del afluente y el efluente, lo que confirma que la PTAR de Ninacaca es eficiente en la reducción de contaminantes físicos, químicos y biológicos.

Estadística del estudio se concluye con el siguiente resultado

Con un nivel de significancia del 95 %, se concluye que la PTAR de Ninacaca cumple eficazmente su función de tratamiento, logrando una reducción significativa de los contaminantes analizados, lo que contradice la hipótesis general planteada inicialmente. Se evidencia que el sistema sí alcanza los estándares ambientales establecidos.

4.4. Discusión de Resultados

El análisis estadístico aplicado a los datos obtenidos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del distrito de Ninacaca demuestra que el

sistema de tratamiento tipo lagunas de estabilización presenta un alto grado de eficiencia en la remoción de contaminantes.

A. Remoción de materia orgánica (DBO₅ y DQO)

Los resultados de la prueba t de Student para muestras relacionadas muestran que tanto la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) como la Demanda Química de Oxígeno (DQO) presentan diferencias estadísticamente significativas entre el afluente y el efluente (valor $p = 0.000$ en ambos casos). Esto indica que la PTAR logra reducir eficazmente la carga orgánica biodegradable y los compuestos orgánicos oxidables presentes en las aguas residuales domésticas.

Este comportamiento confirma el adecuado funcionamiento de los procesos biológicos en las lagunas, lo que podría atribuirse a condiciones favorables como la radiación solar, el tiempo de retención hidráulica y el equilibrio de comunidades microbianas.

B. Reducción de sólidos suspendidos totales (SST)

La diferencia entre los valores de SST en el afluente y efluente también fue estadísticamente significativa (valor $p = 0.000$), con una eficiencia de remoción cercana al 90 %. Este resultado pone en evidencia el correcto asentamiento de partículas sólidas en las lagunas, lo cual es característico de sistemas bien diseñados y con una hidrodinámica adecuada.

C. Eliminación de coliformes termotolerantes

La remoción de coliformes alcanzó valores superiores al 99 %, confirmando su eficacia en la reducción de carga biológica. La prueba estadística respalda este hallazgo (valor $p = 0.000$), lo que sugiere que el sistema de maduración está operando correctamente. Este resultado es especialmente relevante desde el punto de vista sanitario, ya que minimiza los riesgos para la salud pública y permite la posible reutilización del efluente para riego restringido, según normativa vigente.

D. Contraste con las hipótesis planteadas

Si bien la hipótesis general afirmaba que la PTAR presentaría una eficiencia limitada, los resultados demuestran lo contrario: la planta muestra una eficiencia elevada y consistente en todos los parámetros evaluados, lo que permite rechazar la hipótesis nula y confirmar la eficiencia técnica del sistema.

Respecto a la hipótesis específica sobre deficiencias operativas, si bien no se evidencian fallas en la calidad del efluente, se recomienda complementar el estudio con una evaluación estructural y operativa del sistema para garantizar su sostenibilidad a largo plazo.

CONCLUSIONES

1. El estudio realizado sobre la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del distrito de Ninacaca permitió evaluar el desempeño del sistema de tratamiento, el cual opera mediante lagunas de estabilización. Los resultados obtenidos evidencian que la planta presenta altos niveles de eficiencia en la remoción de contaminantes, especialmente en cuanto a la reducción de materia orgánica (DBO_5 y DQO), sólidos suspendidos, aceites y grasas, y microorganismos patógenos como coliformes termotolerantes.
2. El análisis comparativo entre los valores del afluente y del efluente demostró que la planta cumple con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la normativa ambiental vigente, garantizando así un efluente apto para su disposición final sin generar impactos negativos significativos en el entorno.
3. Asimismo, se concluye que el sistema de lagunas constituye una alternativa eficiente, sostenible y de bajo costo operativo para zonas rurales como Ninacaca, donde las condiciones climáticas y la disponibilidad de terreno permiten su implementación y funcionamiento adecuado. Sin embargo, se recomienda mantener un monitoreo continuo, control de lodos y buenas prácticas de mantenimiento para asegurar la sostenibilidad a largo plazo del sistema.

RECOMENDACIONES

1. Ampliar el monitoreo a lo largo del año: Realizar muestreos en distintas épocas (seca y lluviosa) para evaluar la eficiencia del sistema ante variaciones climáticas y de caudal.
2. Incluir análisis de nutrientes y lodos: Incorporar parámetros como nitrógeno, fósforo y caracterización de lodos, para tener una visión más completa del tratamiento y su impacto ambiental.
3. Evaluar la sostenibilidad futura del sistema: Verificar si la planta podrá mantener su eficiencia ante el crecimiento poblacional y proponer mejoras operativas o de infraestructura si es necesario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Babbie, E. (2016). The practice of social research (14th ed.). Cengage Learning.
- Johnson, R. B., & Christensen, L. (2014). Educational research: Quantitative, qualitative, and mixed approaches (5th ed.). SAGE Publications.
- Zhen, B. (2009). Evaluación microbiológica y química de aguas residuales. Springer.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6.^a ed.). McGraw-Hill.
- Rodríguez, A., Pérez, M., & García, L. (2009). Impacto de las aguas residuales en el medio ambiente. Editorial Académica Española.
- Zhen, B. (2009). Evaluación microbiológica y química de aguas residuales. Springer.
- Perú. Ministerio del Ambiente. (2010). Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM. Estándares de Calidad Ambiental (ECA).
- Perú. Congreso de la República. (2005). Ley N.º 28611 - Ley General del Ambiente. El Peruano
- Ministerio del Ambiente del Perú. (2014). Evaluación de la calidad del agua en cuerpos naturales de agua en Perú. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/agua/>
- World Health Organization. (2006). WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater: Volume I. Policy and regulatory aspects. World Health Organization.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). Wastewater engineering: Treatment and resource recovery. McGraw-Hill.
- Vasquez, M. E. (2018). Impacto de las aguas residuales domésticas en la calidad del agua y la salud pública en comunidades rurales de Perú. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública, 35(2), 282-289.
- Huaynate (2019) Identificación de los vertimientos y sus impactos ambientales de las aguas residuales domesticas generados por la población de Rancas – distrito de Simón Bolívar -provincia de Pasco
- Risco (2019) Estudio de impacto ambiental proyecto planta de tratamiento de aguas residuales en San Francisco - Cañete con enfoque ISO 1400-2019.

Coveñas (2017) Impacto ambiental por vertimiento de aguas servidas domésticas en las características físicas, químicas y biológicas en el agua de mar - Bocana Norte.

Mamani (2018) Evaluación de carga contaminante generado por el vertimiento de aguas residuales de la Municipalidad Provincial de Yunguyo.

Gordillo (2018) Impacto ambiental por el vertimiento de aguas residuales al dren 2000 sobre la calidad de agua Intermareal del distrito de San José.

Torres (2017) Contaminación por vertimiento de aguas residuales en el agua de consumo de la población del centro poblado Churuyacu - San Ignacio, 2016

Rivera (2017) Evaluación del Impacto de Vertimiento de Aguas Residuales de Una Industria Papelera a Un Tramo Del Río Rímac

VASQUEZ (2018) Evaluación de la calidad del agua y vertimiento de efluentes industriales en la subcuenca del Rio San Juan, 2006-2016, Cerro De Pasco.

Neyra (2017) Impacto del vertimiento de aguas residuales en las comunidades fitoplanctónicas de la zona marino-costera de Ilo – Moquegua

Inga (2019) Modelo dinámico de sistemas para determinar la calidad de agua en la Laguna Patarcocha por vertimiento de aguas residuales de los Asentamiento Humanos aledaños, Pasco, 2016

ANA -Protección del Agua -Vigilancia y Control de Vertimientos –PAVER-Área de Gestión de la Calidad del Agua-ANA.

BOLAÑOS, CASAS, and AGUIRRE 2010. Comparative analysis of organic substrate removal. National university of Colombia, 2010, Colombia, 39- 40 p.

Compendio De La Legislación Ambiental Peruana-Volumen V, “Calidad Ambiental”, Estándares De Calidad Ambiental (Ecas), Perú, 2010.

Dirección General de Salud Ambiental. (s.f.). Grupo de Estudio Técnico Ambiental - Parámetros a Evaluar.

Sierra Ramírez, C. A. (2011). Calidad del agua: evaluación y diagnóstico. Colombia: Ediciones de la U.

Garduño, H. (1994). Ingeniería y Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas.

Aguirre, J. (2018). Tratamiento estadístico de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en vertimientos de aguas residuales domésticas. *Journal of Environmental Statistics*, 7(2), 150-165.

Babbie, E. (2016). *The Practice of Social Research* (14th ed.). Cengage Learning.

Zhen, B. (2009). Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en vertimientos de aguas residuales domésticas. *Journal of Environmental Science*, 5(3), 210-225.

Johnson, R. B., & Christensen, L. (2014). *Educational Research: Quantitative, Qualitative, and Mixed Approaches* (5th ed.). Sage Publications.

García-Peñalvo, F. J., & Griffiths, D. (Eds.). (2014). *Methodologies and Intelligent Systems for Technology Enhanced Learning*. Springer.

Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. (2010). Límites Máximos Permisibles para Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. Retrieved from [URL]

Vertimiento de aguas residuales con página webs.

<http://www.monografias.com/trabajos93/vertimientos/vertimientos.shtml#ixzz48LcvwTFF>

ANEXOS

Anexo 01: Instrumento de recolección de datos

Ubicación	Referencia	Parámetro	Medida	Notas adicionales	Fotografía de lugar
1		• Demanda Bioquímica de Oxígeno • Demanda química de oxígeno • PH • Solidos Totales en suspensión • Temperaturas • Coliformes termo tolerantes			
2		• Demanda Bioquímica de Oxígeno • Demanda química de oxígeno • PH			

		• Sólidos Totales en suspensión • Temperaturas • Coliformes termotolerantes			
		• Demanda Bioquímica de Oxígeno • Demanda química de oxígeno • PH • Sólidos Totales en suspensión • Temperaturas • Coliformes termotolerantes			

Anexo 02: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO: Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del distrito de Ninacaca-Pasco empleando lagunas de estabilización - 2024

Planteamiento Del Problema	Objetivos De La Investigación	Hipótesis De Investigación	Variables De Estudio	Indicadores	Metodología De Investigación
1.- Problema General ¿Cuáles son las condiciones de la evaluación de la eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del distrito de Ninacaca-Pasco empleando lagunas de estabilización -2024? 2.- Problema Específico. ¿Cuál es la condición de la evaluación de la calidad ambiental en el parámetro Físicoquímica	1.- Objetivo General Evaluar las condiciones de de la evaluación de la eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del distrito de Ninacaca-Pasco empleando lagunas de estabilización -2024 2.- Objetivo Específico Determinar la condición en la evaluación de la calidad ambiental en el parámetro Físicoquímica de los vertimientos generados por las	1- Hipótesis General Las condiciones de la calidad ambiental en los parámetros Físicoquímicos y microbiológico, de los vertimientos generados por las Aguas Residuales domésticas al lago Chinchaycocha se encuentran dentro de los límites máximos permisibles. 2.- Hipótesis Específicas.	Variable Independiente Límites máximos permisibles de vertimientos de aguas residuales domésticas. Variable dependiente Parámetros Físicoquímicos y microbiológicos de	1 Porcentaje de los parámetros cumplidos de las aguas residuales domésticos (%) 2 Parámetros Físicos Unidad de: Demanda Bioquímica de Oxígeno	Tipo de Investigación. No experimental Método de investigación. Descriptivo – comparativo Diseño de investigación Corte Transversal Técnica de Investigación

de los vertimientos generados por las Aguas Residuales Domésticas al río Huallaga? ¿Cuál es la condición en la evaluación de la calidad ambiental en el parámetro microbiológico de los vertimientos generados por las Aguas Residuales Domésticas al río Huallaga? ¿Existe alguna relación entre los parámetros Fisicoquímicos y Microbiológicos en los vertimientos de Agua Residual Doméstica?	Aguas Residuales Domésticas al río Huallaga. - Determinar la condición en la evaluación de la calidad ambiental en el parámetro microbiológico de los vertimientos generados por las Aguas Residuales Domésticas al río Huallaga. - Determinar si existe alguna relación entre los parámetros Fisicoquímicos y Microbiológicos en los Vertimientos de Agua Residual Doméstica	- La condición en la evaluación de la calidad ambiental en el parámetro Fisicoquímica de los vertimientos enterados por las Aguas Residuales Domésticas al río Huallaga se encuentran dentro de los límites máximos permisibles. - La condición en la evaluación de la calidad ambiental en el parámetro microbiológico de los vertimientos generados por las	los vertimientos de aguas Residuales Domésticos.	- Demanda química de oxígeno - PH - Sólidos Totales en suspensión - Temperaturas 3 Parámetros microbiológicos Unidad de: - Coliformes fecales o termo tolerantes	Observación y análisis Población Tramo longitudinal del río Huallaga. Muestra Todos los puntos de vertimientos de aguas residuales domésticos.
---	---	--	---	--	---

		Aguas Residuales Domésticas al río Huallaga dentro de los límites máximos permisibles. • No existe ninguna relación entre los parámetros Fisicoquímicos y Microbiológicos en los Vertimientos de Agua Residual Domestica			
--	--	---	--	--	--

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Título: “Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del distrito de Ninacaca-Pasco empleando lagunas de estabilización -2024

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	ESCALA
Variable Independiente Límites máximos permisibles de vertimientos de aguas residuales domésticas.	La preservación y cuidado del recurso hídrico interpretan los límites máximos permisibles de los vertimientos de aguas residuales.	El cumplimiento de los límites máximos permisible garantiza el cuidado de los cuerpos de aguas. La comparación de los parámetros físico químicos y los parámetros microbiológicos son	Límites Máximos Permisibles	Cumplimiento de los LMP	Porcentaje (%)	De 0 a 100.
Variable dependiente Parámetros Físicoquímicos y microbiológicos de los	Los parámetros físico químicos y los parámetros microbiológicos, nos permitirá encontrar los efectos de la contaminación e impactos asociados al	agua a la contaminación y los impactos del recurso hídrico, con	Parámetros físico químicos	Unidad de los parámetros físicos químicos: • Demanda Bioquímica de Oxígeno • Demanda química de oxígeno • PH	• mg/l • mg/l	Parámetros • <100 • <200

vertimientos de aguas Residuales Domésticos.	cuidado del recurso hídrico.	determinado parámetro.	Parámetros microbiológicos	• Sólidos Totales en suspensión • Temperaturas Unidad de los parámetros micro- biológicos - Coliformes termo tolerantes	• Unidad • ml/l • °C • NMP/ 100 ml	• 6.5 – 8.5 • 150 • <35 • <10,000
--	---------------------------------	---------------------------	--	--	--	--

Anexo 03: Informe de laboratorio de análisis Físico-químico y biológico



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION
INSTITUTO CENTRAL DE INVESTIGACION
LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS

INFORME DE LABORATORIO DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y BIOLÓGICO

1. DATOS GENERALES

Ítem	Descripción
Tipo de muestra	Agua superficial
Lugar de muestreo	Agua de la PTAR del distrito de Ninacaca – Pasco
Fecha de muestreo	20 de noviembre de 2024
Responsable del muestreo	Dr. Luis Rolando Murga Paulino
Laboratorio de análisis	Laboratorio de Aguas y Suelos-ICI– Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Código de muestra	LP-AG-031-2024
Solicitantes	Bach. Ricardo Anthony MAMANI INOCENTE

2. OBJETIVO

Evaluar la calidad físico-química y biológica del agua residuales domésticas en la PTAR del distrito de Ninacaca – Pasco, mediante la comparación de los parámetros físico-químicos y biológicos del afluente y efluente, con los límites establecidos en el D.S. N.º 003-2010-MINAM.

3. METODOLOGÍA

- Muestreo:**
Se recolectaron muestras compuestas de agua en frascos de polietileno previamente lavados con ácido nítrico al 10% y enjuagados con agua destilada.
Las muestras fueron conservadas a 4 °C hasta su análisis en laboratorio.
- Análisis físico-químico:**
Los parámetros se determinaron según los métodos de la **APHA (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition, 2017)**.
- Análisis biológico:**
La determinación de termotolerantes se realizó por el método del **Número Más Probable (NMP)**.



Resultados del análisis de los parámetros de calidad del agua – PTAR

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES
INSTITUTO CENTRAL DE INVESTIGACIONES
PERU, IN- IANIG (INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES)
Dr. JOSÉ FERNANDO MORALES PAULAN
- 1987 -