UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

Evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes en la planta de tratamiento de aguas residuales de Ichpico, Huanta, Ayacucho

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Ambiental

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
Ciencias del Medio Ambiente

PRESENTADO POR:
Fernandez Enciso, Hanss Jenso

ASESOR:
Dr. Santos Clemente Herrera Díaz

CO-ASESOR:
Ing. Michael Huisa Taipe

HUANTA, AYACUCHO

2025

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

Informe final tesis_Hanss Jenso Fernandez Enciso..pdf

RECUENTO DE PALABRAS

21203 Words

RECUENTO DE CARACTERES

119442 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

86 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.5MB

FECHA DE ENTREGA

Nov 5, 2026 6:59 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Nov 5, 2026 7:01 AM GMT-5

18% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 14% Base de datos de Internet
- 6% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 14% Base de datos de trabajos entregados

Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA
FIRMA DIGITAL

Firmado digitalmente por HERRERA DIAZ Santos Clemente FAU 20574653798 soft
Fecha: 2026.11.05 07:04:13 -05'00'

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA
Creada por Ley N° 29658
FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

En la ciudad de Huanta, en el Aula 01-EP- Ingeniería Ambiental JOSACO, a los 28 días del mes de octubre de 2026, siendo las 17:00 horas, se dio inicio al acto académico de sustentación de tesis con la presencia de los miembros del jurado calificador:

Mtro. Miguel Ángel Parejas Garavito	**Miembro Titular 1 (Presidente)**
Mtra. Jaqueline Chuquillanqui Gomez	**Miembro titular 2**
Dr. Santos Clemente Herrera Díaz	**Miembro titular 3**

Acto seguido se procedió a dar lectura a la Resolución de Vicepresidencia Académica N°204-2026-CO-UNAH, en la que señala fecha, hora y designación de jurado evaluador para la sustentación de tesis del **Br. Hanss Jenso Fernandez Enciso,** con la tesis titulada: **"Evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes en la planta de tratamiento de aguas residuales de Ichpico, Huanta, Ayacucho"** asesorado por el Dr. Santos Clemente Herrera Díaz y coasesorado por el Ing. Michael Huisa Taipe, para optar el Título profesional de: Ingeniero Ambiental.

Observaciones:

.....
.....
.....

Terminada la sustentación se procedió a la formulación de preguntas por los miembros del jurado evaluadores, los mismos que fueron defendidos y absueltos por el tesista. Acto seguido se procedió a calificar con el resultado siguiente:

Aprobado Regular	( )
Aprobado Bueno	(X)
Aprobado Muy Bueno	( )
Aprobado Excelente	( )

Con la calificación de .....catorce..... (14)
Siendo las .....18:10 p.m. se da por finalizada el acto académico de sustentación de tesis pasando a firmar los miembros del jurado evaluador.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA
Mtro. Miguel Ángel Parejas Garavito
DOCENTE AUXILIAR
Mtro. Miguel Ángel Parejas Garavito
Miembro Titular 1 (Presidente)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA
Mtra Jaqueline Chuquillanqui Gómez
DOCENTE
Mtra. Jaqueline Chuquillanqui Gómez
Miembro Titular 2

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA
Dr. Santos Clemente Herrera Díaz
DOCENTE ORDINARIO PRINCIPAL
Dr. Santos Clemente Herrera Diaz
Miembro Titular 3

RESUMEN

El tratamiento adecuado de las aguas residuales es fundamental para proteger la salud pública y los ecosistemas acuáticos, especialmente en contextos urbanos de crecimiento acelerado. El objetivo principal de esta investigación fue evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Ichpico, Huanta, mediante la comparación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos entre el afluente y el efluente, y verificar el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la normativa ambiental peruana. La metodología correspondió a un estudio de tipo aplicado, con nivel descriptivo; se realizaron 8 muestreos consecutivos entre octubre y noviembre de 2025, analizándose aceites y grasas, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), pH, Sólidos Suspendidos Totales (SST), temperatura y coliformes termotolerantes, empleando métodos estandarizados APHA y análisis estadístico mediante prueba t de Student para muestras pareadas. El afluente presentó concentraciones de DBO_5 que oscilaron entre 204 y 257 mg/L, acompañadas de valores de DQO comprendidos en el rango de 413 a 430 mg/L, SST de 81 a 93 mg/L, niveles de aceites y grasas situados entre 25 y 31 mg/L, y una carga de coliformes termotolerantes que varió desde 9.3×10^4 hasta 24×10^4 NMP/100 mL; por el contrario, en el efluente se observó una disminución significativa de estos parámetros, registrándose 119–172 mg/L para la DBO_5, 230–239 mg/L de DQO, 41–48 mg/L de SST, 12–18 mg/L de aceites y grasas, y una reducción de los coliformes termotolerantes a un intervalo de 4.3×10^4–15×10^4 NMP/100 mL. A pesar de que se corroboró una remoción estadísticamente significativa ($p < 0.05$), los parámetros DBO_5, DQO y coliformes termotolerantes excedieron los límites máximos permitidos en la totalidad de las muestras analizadas. En consecuencia, si bien la planta de tratamiento de aguas residuales de Ichpico demuestra una capacidad de eliminación notable, es imperativo implementar optimizaciones operativas y tecnológicas para asegurar el cumplimiento exhaustivo de los estándares ambientales vigentes.

PALABRAS CLAVES: Remoción, Planta De Tratamiento De Aguas Residuales, contaminantes, afluente, efluente

ABSTRACT

Proper wastewater treatment is essential to protect public health and aquatic ecosystems, particularly in rapidly growing urban areas. The main objective of this study was to evaluate the contaminant removal efficiency of the Ichpico Wastewater Treatment Plant (WWTP), Huanta, by comparing physicochemical and microbiological parameters between influent and effluent, and to verify compliance with the Maximum Permissible Limits (MPL) established by Peruvian environmental regulations. The methodology corresponded to an applied study with a descriptive level; 8 consecutive sampling campaigns were conducted between October and November 2025, analyzing oils and greases, biochemical oxygen demand (BOD_5), chemical oxygen demand (COD), pH, total suspended solids (TSS), temperature, and thermotolerant coliforms, using standardized APHA methods and statistical analysis through the paired Student's t-test. Quantitative results showed influent concentrations of BOD_5 ranging from 204 to 257 mg/L, COD from 413 to 430 mg/L, TSS from 81 to 93 mg/L, oils and greases from 25 to 31 mg/L, and thermotolerant coliforms from 9.3×10^4 to 24×10^4 MPN/100 mL; while effluent concentrations were reduced to 119–172 mg/L for BOD_5, 230–239 mg/L for COD, 41–48 mg/L for TSS, 12–18 mg/L for oils and greases, and 4.3×10^4–15×10^4 MPN/100 mL for thermotolerant coliforms. Although statistically significant reductions were observed ($p < 0.05$), BOD_5, COD, and thermotolerant coliforms exceeded MPLs in 100% of the samples. It is concluded that the Ichpico WWTP shows significant removal efficiency; however, operational and technological improvements are required to ensure full regulatory compliance.

KEYWORDS: Removal, Wastewater Treatment Plant, Contaminants, Influent, Effluent

Índice general

RESUMEN iv
ABSTRACT v
Índice general vi
Índice de tablas viii
Índice de figuras ix
INTRODUCCIÓN 11
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 13
1.1. Descripción y formulación del problema 13
1.2. Objetivos 15
1.2.1. Objetivo General 15
1.2.2. Objetivos Específicos 15
1.3. Justificación e importancia 15
1.4. Hipótesis 16
1.4.1. Hipótesis General 16
1.4.2. Hipótesis Especificas 16
1.5. Variables 17
II. MARCO TEÓRICO 21
2.1. Antecedentes 21
2.2. Bases teóricas 23
2.3. Definición de términos 27
III. METODOLOGÍA 29
3.1. Tipo y nivel de investigación 29
3.2. Ámbito temporal y espacial 29
3.3. Población y muestra 31
3.3.1. Población 31
3.3.2. Muestra 31
3.4. Instrumentos 31

3.5. Procedimientos 34
3.5.1. Aceites y Grasas 34
3.5.2. Coliformes Termotolerantes 36
3.5.3. Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO_5) 37
3.5.4. Demanda Química de Oxígeno (DQO) 38
3.5.5. Potencial de hidrógeno (pH) 40
3.5.6. Sólidos Suspendidos Totales 41
3.5.7. Temperatura 42
3.6. Análisis de datos 44
IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN 46
4.1. Resultados 46
4.1.1. Determinación de los valores de aceites y grasa, Coliformes Termotolerantes DBO_5, DQO, pH, SST, y Tº en el afluente y efluente de la PTAR de Ichpico, Huanta .. 46
4.1.2. Evaluar la eficiencia de remoción de los parámetros (DBO_5, DQO, pH, Coliformes Termotolerantes, SST, Tº y aceites y grasa) de la PTAR de Ichpico, Huanta 51
4.1.3. Evaluación de los valores del efluente y verificación de su cumplimiento con los LMP establecidos por la normativa ambiental peruana 59
4.2. Discusión de Resultados 66
4.3. Contrastación de hipótesis 74
4.3.1. Contrastación de la primera hipótesis específica 74
4.3.2. Contrastación de la segunda hipótesis específica 74
4.3.3. Contrastación de la tercera hipótesis específica 74
4.3.4. Contrastación de la hipótesis general 75
V. CONCLUSIONES 75
VI. RECOMENDACIONES 78
VII. REFERENCIAS 79
VIII. ANEXOS 83

Índice de tablas

Tabla 1 Matriz de Operacionalización de Variables 19
Tabla 2 Equipos de la investigación 32
Tabla 3 Materiales de la investigación 32
Tabla 4 Reactivos utilizados en la investigación 34
Tabla 5 Métodos adoptados en los diferentes parámetros analizados 43
Tabla 6 Resultados de evaluación de parámetros 46
Tabla 7 Prueba de t-student para muestras pareadas - Aceites y grasas 51
Tabla 8 Prueba de t-student para muestras pareadas - Coliformes termotolerantes 52
Tabla 9 Prueba de t-student para muestras pareadas – DBO_5 54
Tabla 10 Prueba de t-student para muestras pareadas - DQO 55
Tabla 11 Prueba de t-student para muestras pareadas - pH 56
Tabla 12 Prueba de t-student para muestras pareadas - SST 57
Tabla 13 Prueba de t-student para muestras pareadas - Temperatura 58
Tabla 14 Comparación con límites máximos permisibles (LMP) - Aceites y grasas 59
Tabla 15 Comparación con límites máximos permisibles (LMP) - Coliformes termotolerantes 60
Tabla 16 Comparación con límites máximos permisibles (LMP) – DBO_5 61
Tabla 17 Comparación con límites máximos permisibles (LMP) - DQO 62
Tabla 18 Comparación con límites máximos permisibles (LMP) - pH 63
Tabla 19 Comparación con límites máximos permisibles (LMP) - SST 64
Tabla 20 Comparación con límites máximos permisibles (LMP) - Temperatura 65

Índice de figuras

Figura 1 Ubicación de la PTAR Ichpico 30
Figura 2 Determinación de aceites y grasas 36
Figura 3 Determinación de coliformes termotolerantes 37
Figura 4 Determinación de DBO_5 38
Figura 5 Determinación de DQO 40
Figura 6 Determinación de pH 41
Figura 7 Determinación de SST 42
Figura 8 Resultados de evaluación de aceites y grasas 47
Figura 9 Resultados de evaluación de coliformes termotolerantes 47
Figura 10 Resultados de evaluación de DBO_5 48
Figura 11 Resultados de evaluación de DQO 49
Figura 12 Resultados de evaluación de pH 49
Figura 13 Resultados de evaluación de SST 50
Figura 14 Resultados de evaluación de temperatura 51
Figura 15 Gráfico de cajas y bigotes para aceites y grasas 52
Figura 16 Gráfico de cajas y bigotes para coliformes termotolerantes 53
Figura 17 Gráfico de cajas y bigotes para DBO_5 54
Figura 18 Gráfico de cajas y bigotes para DQO 55
Figura 19 Gráfico de cajas y bigotes para pH 56
Figura 20 Gráfico de cajas y bigotes para SST 57
Figura 21 Gráfico de cajas y bigotes para temperatura 58
Figura 22 Gráfico de barras y línea de comparación con LMP - Aceites y grasas 60
Figura 23 Gráfico de barras y línea de comparación con LMP - Coliformes termotolerantes 61
Figura 24 Gráfico de barras y línea de comparación con LMP – DBO_5 62
Figura 25 Gráfico de barras y línea de comparación con LMP - DQO 63
Figura 26 Gráfico de barras y línea de comparación con LMP - pH 64
Figura 27 Gráfico de barras y línea de comparación con LMP - SST 65
Figura 28 Gráfico de barras y línea de comparación con LMP - Temperatura 66
Figura 29 Recolección de muestras en el afluente de la PTAR 83
Figura 30 Recolección de muestras en el efluente de la PTAR 84
Figura 31 Determinación del parámetro Aceites y Grasas 84

Figura 32 Determinación del parámetro Coliformes Termotolerantes 85
Figura 33 Determinación del parámetro DBO_5 85
Figura 34 Determinación del parámetro DQO 86
Figura 35 Determinación del parámetro pH 86
Figura 36 Determinación del parámetro Solidos Suspendidos Totales 87

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales representa uno de los principales desafíos ambientales a nivel global, debido a su estrecha relación con la salud pública, la contaminación hídrica y la sostenibilidad de los ecosistemas. Diversos estudios indican que más del 80% de las aguas residuales generadas en el mundo se vierten al ambiente sin recibir tratamiento adecuado, especialmente en países en desarrollo, lo que provoca graves impactos sobre la calidad del agua y la biodiversidad. Esta situación refleja una deficiencia estructural en los sistemas de saneamiento y evidencia la necesidad urgente de implementar tecnologías eficientes de tratamiento y control de vertimientos (CEPAL, 2017).

En el ámbito científico, ha quedado demostrado que la vertida de aguas residuales sin someterlas a ningún proceso de depuración no solo provoca la contaminación de los cuerpos hídricos, sino que constituye además una amenaza sanitaria considerable, especialmente cuando dicho agua es reutilizada en sectores como la agricultura. Estudios recientes indican que aproximadamente el 80 por ciento de las aguas residuales no tratadas son destinadas al riego agrícola, situación que eleva exponencialmente la exposición a agentes patógenos y compuestos tóxicos, impactando negativamente tanto la salud pública como la calidad de los alimentos producidos. Dicha problemática subraya la imperiosa necesidad de optimizar la eficiencia de los sistemas de tratamiento, con el objetivo de disminuir la carga contaminante antes de proceder a su disposición final (Mendoza et al., 2021).

En el contexto latinoamericano, la problemática relativa al tratamiento de aguas residuales se agudiza a causa del crecimiento urbano acelerado y la insuficiente infraestructura sanitaria. Los estudios regionales señalan que aproximadamente el 70% de las aguas servidas de la región carecen de un tratamiento adecuado, situación que precipita la contaminación de los ríos y de las fuentes de agua dulce. Este escenario está intrínsecamente vinculado a deficiencias en la planificación, operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento, además de las limitaciones económicas y técnicas que enfrentan; todo ello subraya la imperiosa necesidad de evaluar de manera continua la eficiencia de dichos sistemas (Humanante et al., 2022).

En el marco analizado, la determinación de la eficacia de las plantas de tratamiento de aguas residuales, sustentada en el estudio de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, se erige como un instrumento indispensable para cuantificar su desempeño operativo y verificar el cumplimiento de la normativa vigente. La comparación de los valores obtenidos en las

corrientes de afluente y efluente, junto con su comparación respecto a los límites máximos permisibles, facilita la detección de fallos en las etapas del proceso de tratamiento y posibilita la formulación de estrategias de optimización. En consecuencia, la realización de investigaciones aplicadas en el ámbito resulta imperativa para fomentar una gestión sostenible del recurso hídrico y asegurar la protección de los cuerpos receptores contra la contaminación (ONU, 2023).

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción y formulación del problema

A escala internacional, la deficiente administración de aguas residuales se rige como una crisis sanitaria y ecológica de proporciones alarmantes; conforme a las proyecciones de 2020, cerca del 44 % de las aguas domésticas generadas mundialmente vertían directamente al medio ambiente sin someterse a un tratamiento seguro, lo que exponía tanto a las comunidades humanas como a los ecosistemas a una proliferación de contaminantes microbiológicos y químicos, exacerbando así la incidencia de enfermedades y agravando las consecuencias sobre el entorno. Asimismo, si bien ciertas evidencias indican que la mayor parte del volumen total de aguas residuales es sometida a algún grado de depuración, únicamente una proporción minoritaria accede a tratamientos secundarios o avanzados que aseguren su inocuidad para su reutilización o vertido final, obstaculizando así el logro de la meta 6.3 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible relativa a la mejora de la calidad hídrica y la gestión eficaz de las aguas residuales. Esta disyuntiva global se materializa en amenazas tangibles: la contaminación de cauces fluviales y zonas costeras, la expansión de agentes patógenos, así como la acumulación de cargas orgánicas que precipitan fenómenos de eutrofización y la degradación de los servicios ecosistémicos. (OMS, 2024).

En el Perú, si bien se observan avances notables, subsisten brechas significativas entre las zonas urbanas y rurales, así como entre distintas regiones; las estadísticas oficiales han documentado un incremento en la cobertura de tratamiento en los últimos años, tal como reflejan los informes de la SUNASS, que muestran un aumento en el tratamiento de aguas residuales y cifras de cobertura que han alcanzado valores superiores al 80 % en ciertos reportes agregados, no obstante, la calidad, la eficiencia y el cumplimiento de los límites establecidos en PTARs regionales continúan siendo múltiples. Durante el periodo comprendido entre 2016 y 2020, el país evidenció un incremento relativo en la cobertura del tratamiento; no obstante, subsisten deficiencias estructurales en materia de infraestructura, monitoreo y operación que comprometen la capacidad operativa de numerosas plantas para asegurar que los efluentes se mantengan dentro de los LMP, afectando de manera particular a las instalaciones de menor escala, así como a aquellas que emplean lagunas de estabilización en zonas altoandinas y rurales. Estas carencias plantean al sector el desafío de trascender la mera expansión de la cobertura para garantizar la eficiencia en la remoción de parámetros críticos entre los que se incluyen la DBO_5, DQO, SST, aceites y grasas, pH y temperatura, con el fin de salvaguardar

tanto la salud pública como el medio ambiente. (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, 2022).

En la esfera local, la PTAR de Ichpico, situada en Huanta (Ayacucho), figura en la documentación técnica regional y en los registros de servicio (SEDA/SUNASS) como una instalación operativa que integra lagunas de estabilización y otras unidades de tratamiento característicasde la zona. Los informes regionales y las investigaciones académicas vinculadas al sector en Ayacucho han evidenciado que diversas PTAR de la jurisdicción adolecen de deficiencias operativas o presentan necesidades de mejora en los procesos de tratamiento y en el monitoreo de parámetros microbiológicos y fisicoquímicos; esta situación hace plausible la ocurrencia de emisiones con concentraciones que superen los LMP durante períodos específicos o en determinados puntos de muestreo. En consecuencia, la coyuntura local se define por la coexistencia de una infraestructura formal, representada por la PTAR Ichpico, y la imperiosa necesidad de someter a evaluación empírica su eficacia operativa bajo las condiciones reales de gestión municipal. (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, 2025).

Para el desarrollo de esta investigación, es imperativo cuantificar y contrastar los parámetros de aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO_5, DQO, pH, SST y temperatura, tanto en el afluente como en el efluente de la PTAR Ichpico, con el fin de valorar su capacidad de remoción en relación con los LMP nacionales. Estos estándares, definidos por el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, establecen valores específicos para aceites y grasas (20 mg/L), DBO5 (100 mg/L), DQO (200 mg/L), SST (150 mg/L), un rango de pH entre 6.5 y 8.5, así como una temperatura inferior a 35 °C. Esta evaluación persigue un doble propósito, de índole tanto práctica como normativa: en primer lugar, verificar la conformidad del efluente con los Límites Máximos Permitidos (LMP) en vigor, estableciendo así si constituye un riesgo sanitario o ambiental inmediato para el receptor hídrico; y en segundo término, proveer la evidencia técnica indispensable para formular propuestas de optimización operativa, definir las prioridades de inversión y garantizar el cumplimiento de las obligaciones de reporte ante el MINAM y el sector del saneamiento. Asimismo, la medición comparativa entre afluente y efluente facilitará la cuantificación de la eficiencia real de remoción y la identificación precisa de los parámetros críticos que demanden la implementación de acciones correctivas en la planta..

Formulación del problema

Interrogante general

¿Cuál es la eficiencia de remoción de contaminantes en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ichpico, Huanta?

Interrogantes específicas

¿Cuáles son los valores de aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO_5, DQO, pH, sólidos suspendidos totales y temperatura en el afluente y efluente de la PTAR de Ichpico, Huanta?

¿Cuál es la eficiencia de remoción de aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO_5, DQO y sólidos suspendidos totales, y cuál es el comportamiento del pH y la temperatura entre el afluente y efluente de la PTAR de Ichpico, Huanta?

¿Los valores de los parámetros evaluados en el efluente de la PTAR de Ichpico cumplen con los Límites Máximos Permisibles establecidos por la normativa ambiental peruana?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ichpico, Huanta.

1.2.2. Objetivos Específicos

Determinar los valores de aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO_5, DQO, pH, sólidos suspendidos totales y temperatura en el afluente y efluente de la PTAR de Ichpico, Huanta.

Evaluar la eficiencia de remoción de aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO_5, DQO y sólidos suspendidos totales, así como el comportamiento del pH y la temperatura entre el afluente y efluente de la PTAR de Ichpico, Huanta.

Verificar el cumplimiento de los valores de los parámetros evaluados en el efluente de la PTAR de Ichpico con los Límites Máximos Permisibles establecidos por la normativa ambiental peruana.

1.3. Justificación e importancia

Desde la perspectiva académica, esta investigación aporta conocimiento científico específico sobre el desempeño de sistemas de tratamiento biológico en condiciones operativas

reales de zonas alto-andinas (Clemente, 2019). Los resultados enriquecerán la literatura especializada en ingeniería sanitaria y ambiental, proporcionando datos empíricos sobre eficiencias de remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en plantas de tratamiento rurales, información valiosa para futuras investigaciones y el desarrollo de modelos predictivos aplicables a contextos similares.

La presente investigación responde a una necesidad social vinculada con la protección de la salud pública y el bienestar de la población de Huanta, considerando la importancia de un adecuado tratamiento de las aguas residuales generadas en la ciudad. La PTAR de Ichpico fue diseñada para atender una población futura de 8 600 habitantes (Municipalidad Provincial de Huanta, 2024) y recibe aproximadamente el 25 % del caudal de desagües domésticos de Huanta (SEDA Ayacucho, 2023). En este contexto, evaluar su eficiencia de remoción permite identificar el desempeño del sistema de tratamiento y posibles deficiencias que podrían afectar la calidad del efluente y las condiciones ambientales y sanitarias del ámbito de influencia. Los resultados obtenidos proporcionarán evidencia técnica para la toma de decisiones orientadas a optimizar el funcionamiento de la PTAR y contribuir a una adecuada gestión de las aguas residuales en la ciudad de Huanta.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis General

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ichpico, Huanta, presenta eficiencia en la remoción de los contaminantes evaluados.

1.4.2. Hipótesis Especificas

Las concentraciones de aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO_5, DQO y sólidos suspendidos totales presentan diferencias entre el afluente y el efluente de la PTAR de Ichpico, mientras que el pH y la temperatura presentan variaciones posteriores al tratamiento.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ichpico presenta remoción de aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO_5, DQO y sólidos suspendidos totales, mientras que el pH y la temperatura presentan diferencias entre el afluente y el efluente.

Los valores de los parámetros evaluados en el efluente de la PTAR de Ichpico cumplen con los Límites Máximos Permisibles establecidos en el Decreto Supremo N.° 003-2010-MINAM para descargas de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

1.5. Variables

Variable independiente: Proceso de tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Ichpico

Definición conceptual: El proceso de tratamiento de aguas residuales comprende el conjunto de operaciones y procesos físicos, químicos y biológicos desarrollados en una planta de tratamiento con la finalidad de reducir la carga contaminante presente en las aguas residuales antes de su disposición final. Este proceso permite disminuir la concentración de materia orgánica, sólidos, grasas, microorganismos y otros contaminantes, mediante el funcionamiento integrado de las diferentes unidades que conforman la planta de tratamiento.

Definición operacional: El proceso de tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Ichpico se evaluará mediante la comparación de las características del agua residual en el afluente y efluente de la planta, considerando los parámetros de aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO_5, DQO y sólidos suspendidos totales, así como el comportamiento del pH y la temperatura. La evaluación se realizará mediante ocho muestreos efectuados entre octubre y noviembre de 2025, utilizando procedimientos de muestreo y análisis de laboratorio para determinar las concentraciones de los parámetros en el agua residual antes y después del tratamiento. La información obtenida permitirá establecer las variaciones producidas durante el proceso de tratamiento y servirá como base para determinar su efecto sobre la calidad del efluente.

Variable dependiente: Eficiencia de remoción de contaminantes

Definición conceptual: La eficiencia de remoción de contaminantes es el grado en que un sistema de tratamiento de aguas residuales reduce la concentración de los contaminantes presentes en el agua residual entre el afluente y el efluente. Se expresa mediante el porcentaje de remoción obtenido para cada parámetro evaluado y permite determinar el nivel de reducción de la carga contaminante alcanzado durante el tratamiento. Asimismo, constituye un indicador del desempeño general de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, al permitir valorar la reducción de parámetros físicos, químicos y microbiológicos y su relación con los valores establecidos por la normativa ambiental vigente.

Definición operacional: Operacionalmente, la eficiencia de remoción se determinó mediante el cálculo del porcentaje de reducción entre el afluente y el efluente para los parámetros aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO_5, DQO y sólidos suspendidos totales (SST). Para ello, se realizaron muestreos puntuales con frecuencia semanal en el afluente y efluente de la

PTAR de Ichpico, obteniéndose ocho registros para cada punto de monitoreo. Las muestras fueron analizadas mediante métodos estandarizados de laboratorio, obteniéndose las concentraciones iniciales y finales expresadas en mg/L. La eficiencia de remoción se calculó mediante la relación entre la diferencia de las concentraciones del afluente y efluente y la concentración del afluente, expresada en porcentaje. Para los parámetros pH y temperatura se evaluó la variación entre el afluente y el efluente. Asimismo, el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) se utilizó como criterio complementario para valorar la calidad del efluente. La variable eficiencia de remoción se expresó en escala de razón, debido a que sus resultados se obtuvieron como porcentajes cuantificables.

Tabla 1

Matriz de Operacionalización de Variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Técnicas de recolección	Instrumentos	Escala de medición
Variable independiente: Proceso de tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Ichpico	**Características del proceso de tratamiento**	Afluente de la PTAR	Observación y muestreo	Ficha de observación y ficha de registro de muestreo	Nominal
		Efluente de la PTAR			
Variable dependiente: Eficiencia de remoción de contaminantes	**Concentración de contaminantes**	Aceites y grasas (mg/L)	Muestreo y análisis de laboratorio	Ficha de registro de resultados	Razón
		Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	Muestreo y análisis microbiológico		
		DBO_5 (mg/L)	Muestreo y análisis de laboratorio		
		DQO (mg/L)			
		pH (unidad)	Medición fisicoquímica	Ficha de registro y pH-metro	Intervalo
		SST (mg/L)	Muestreo y análisis de laboratorio	Ficha de registro de resultados	Razón
		Temperatura (°C)	Medición fisicoquímica	Ficha de registro y termómetro	Intervalo
	Eficiencia de remoción	Porcentaje de remoción de aceites y grasas (%)	Análisis comparativo afluente–efluente	Ficha de registro y base de datos	Razón
		Porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes (%)			
		Porcentaje de remoción de DBO_5 (%)			
		Porcentaje de remoción de DQO (%)			
		Porcentaje de remoción de SST (%)			
		Diferencia de pH entre afluente y efluente	Análisis comparativo		Intervalo
		Diferencia de temperatura entre afluente y efluente			
		Aceites y grasas respecto al LMP	Comparación normativa		Razón

	Cumplimiento normativo	Coliformes termotolerantes respecto al LMP DBO_5 respecto al LMP DQO respecto al LMP pH respecto al LMP SST respecto al LMP Temperatura respecto al LMP Cumplimiento/incumplimiento de LMP	Ficha de comparación con LMP	Intervalo Razón Intervalo Nominal

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

En Irán, Ganji et al. (2024) evaluaron la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de Zahedan para determinar la viabilidad de reúso de efluentes y lodos. La investigación empleó un diseño observacional con muestreo sistemático durante 2022-2023, analizando 2L de efluente tratado y 2kg de lodo mensualmente. Se midieron parámetros físico-químicos mediante métodos estandarizados (APHA): demanda química de oxígeno (COD) por titulación (5220C), demanda bioquímica de oxígeno (BOD_5) con método azida (5210B), Sólidos Suspendidos Totales (TSS) por gravimetría (2540D), metales pesados (Zn, Co, Pb, Cu) mediante ICP-MS, y coliformes por filtración de membrana. Los resultados mostraron eficiencias de remoción destacadas de COD 68% (concentración efluente: 171 ± 30 mg/L), BOD_5 73% (44.4 ± 8.6 mg/L), TSS 86% (58 ± 25 mg/L), turbidez 99% (19.3 ± 2.7 NTU), y metales como Zn (0.13 ± 0.03 mg/L) y Cu (0.31 ± 0.09 mg/L) dentro de rangos agrícolas (normas iraníes). El efluente cumplió para reúso agrícola y descarga a pozos absorbentes, pero no para aguas superficiales (COD >100 mg/L). Los lodos exhibieron metales inferiores a estándares de compostaje (ej. Cd: 0.25±0.05 mg/kg, Pb:7.65±0.25 mg/kg). Se concluye que la planta tiene alta eficiencia (remociones 64-99%) y sus productos son aptos para agricultura, con metales en límites seguros (ej. Zn<60.3 mg/kg en lodos).

En un contexto similar, Murad et al. (2025), evaluó la eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Pagla (Dhaka, Bangladesh) mediante análisis comparativo mensual de parámetros físicoquímicos en afluente y efluente. Utilizando un diseño observacional, se recolectaron muestras analizadas con instrumentos estandarizados como medidor de pH/TDS (HACH Pocket Pro+), espectrofotómetro DR 6000 para nutrientes (Amoniacal-N, NO_3^-, NO_2^-, PO_4^{3-}), incubadora Oxitop-iS 6 para DBO_5, y reactor DBR-200 para DQO. Los resultados revelaron remociones significativas de Amoniacal-N 90.08% (19.50 mg/L a 1.91 mg/L), sólidos suspendidos (SS) 70.96% (120 mg/L a 34 mg/L), DBO_5 68.37% (91 mg/L a 29 mg/L), DQO 62.45% (187 mg/L a 70 mg/L), y fosfatos 52.43% (6.27 mg/L a 2.96 mg/L). El oxígeno disuelto aumentó de 0.91 mg/L a 6.90 mg/L, y el efluente cumplió con los estándares ECR-2023, excepto DBO_5 en meses secos (33 mg/L > 30 mg/L). Se concluye que la planta opera eficientemente (carga tratada: 46.48 MLD vs. capacidad 120 MLD) con remociones clave >62%, validando su cumplimiento ambiental, pero requiriendo optimización en DBO_5 y fosfatos.

En el ámbito nacional tenemos a Rojas (2023) en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del distrito José María Arguedas (Andahuaylas, Apurímac) evaluó la eficiencia de remoción de contaminantes mediante un diseño no experimental longitudinal con cuatro muestreos (temporada de precipitación y estiaje), analizando muestras de afluente y efluente según protocolos APHA. Se emplearon métodos estandarizados en laboratorios acreditados (ALAB y DESA-Andahuaylas) para parámetros físicos (Sólidos Suspendidos Totales - SST, temperatura), químicos (DBO_5, DQO, aceites y grasas, pH) y microbiológicos (coliformes termotolerantes), utilizando estadística descriptiva y pruebas t de Student (95% confianza). Los resultados revelaron concentraciones promedio en efluente de SST (17.5 mg/L), DBO_5 (18.7 mg/L), DQO (46.3 mg/L), aceites y grasas (3 mg/L), pH (6.8) y coliformes (6125 NMP/100mL), cumpliendo los Límites Máximos Permisibles peruanos (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2010). Las eficiencias de remoción fueron, para SST (79.5%), DBO_5 (67.8%), DQO (66.9%), aceites y grasas (74.9%) y coliformes termotolerantes (39.5%). La conclusión indica que la PTAR es eficiente en remover contaminantes físicos y químicos (valores >66%), pero limitada en microbiológicos (39.5%), aunque todos los efluentes cumplen normativas peruanas.

De manera similar, Gallegos (2024) en Capachica, Puno, evaluó parámetros físico-químicos del afluente y efluente de la PTAR según el DS N° 003-2010-MINAM. Utilizó un diseño descriptivo-analítico no experimental, con muestreo en tres puntos (M1: afluente, M2: efluente, M3: desembocadura) mediante protocolos ANA, analizados en laboratorio con métodos electrométricos, gravimétricos y Soxhlet. Los resultados mostraron eficiencias específicas: turbiedad 95.37%, DQO 65.98%, DBO_5 45%, aceites y grasas 58.57%, y sólidos totales 81.71%; con valores clave en efluente (M2): pH 7.95, DQO 81.87 mg/L, aceites/grasas 32.40 mg/L (supera LMP de 20 mg/L), sólidos totales 775 mg/L (supera LMP de 150 mg/L). La eficiencia global fue 66.23%, calificada como regular. Concluye que, aunque la mayoría cumple LMP, aceites/grasas (32.40 mg/L) y sólidos totales (775 mg/L en efluente; 310 mg/L en desembocadura) exceden los límites, evidenciando una eficiencia moderada (66.23%).

Finalmente, Andrade (2020) en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Macusani, Puno, evaluó la eficiencia de remoción mediante un diseño no experimental descriptivo, recolectando muestras del afluente y efluente en octubre y noviembre de 2020. Utilizó un medidor multiparamétrico ADWA para análisis in-situ (pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica) y envió muestras a laboratorios acreditados (SGS Perú S.A.C. y Analíticos del Sur) para análisis ex-situ de SST, DBO_5, DQO, aceites/grasas y

coliformes termotolerantes, comparando resultados con los Límites Máximos Permisibles (LMP: D.S. 003-2010-MINAM) y Estándares de Calidad Ambiental (ECA). Los resultados mostraron eficiencias de remoción destacadas en DBO_5 (93.42%, de 1520 mg/L a 100 mg/L) y DQO (94.88%, de 4090 mg/L a 209 mg/L), aunque inferiores en SST (67.16%, de 134 mg/L a 44 mg/L) y coliformes termotolerantes (77.55%, de 49 000 NMP/100mL a 1 000 NMP/100mL). El efluente cumplió los LMP en pH (7.56), temperatura (20.1°C) y aceites/grasas (0.32 mg/L), pero excedió DQO (209 mg/L > 200 mg/L) en noviembre. Se concluye que la PTAR logra alta remoción orgánica (DBO_5 93.42%, DQO 94.88%), pero requiere optimizar la reducción de sólidos (SST 67.16%) y patógenos (coliformes 77.55%) para cumplir integralmente los estándares.

2.2. Bases teóricas

Tratamiento de aguas residuales: Es el conjunto de operaciones físicas, químicas y biológicas aplicadas para reducir o eliminar contaminantes presentes en las aguas residuales antes de su disposición final o reutilización; este proceso busca transformar el agua residual en un efluente que cumpla con criterios de calidad, mediante etapas como pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y, cuando se requiere, tratamiento terciario o avanzado, que incluyen mecanismos como sedimentación, filtración, oxidación biológica, desinfección y eliminación de nutrientes, todo ello fundamentado en principios de ingeniería sanitaria y microbiología ambiental que aseguran la reducción de materia orgánica, sólidos suspensos, patógenos y compuestos químicos (Silva, 2023).

Procesos físicos en el tratamiento de aguas residuales: Comprenden una serie de operaciones basadas en diferencias de tamaño, peso específico o características físicas de los contaminantes, tales como cribado, desarenado, sedimentación y flotación; estos procesos permiten la remoción inicial de sólidos gruesos y partículas sedimentables, actuando como una etapa crucial para evitar sobrecargas en las etapas biológicas posteriores; entre los fundamentos principales se encuentran la ley de Stokes para la sedimentación, la dinámica de fluidos que rige la velocidad de sedimentación y los principios de separación sólido-líquido (Calabrò et al., 2024).

Procesos biológicos en el tratamiento de aguas residuales: Estos procesos terapéuticos se fundamentan en la acción de microorganismos aptos para degradar la materia orgánica y convertir específicamente diversos compuestos contenidos en las aguas residuales. Entre los principales sistemas de tratamiento biológico se encuentran los lodos activados, filtros

percoladores, lagunas de estabilización, reactores anaerobios y sistemas de aireación extendida. Su funcionamiento se fundamenta en principios de microbiología, cinética de crecimiento microbiano y metabolismo aeróbico y anaeróbico. Estos procesos contribuyen principalmente a la reducción de la materia orgánica, expresada mediante parámetros como la DBO_5 y la DQO, así como a la transformación de determinados nutrientes mediante procesos como la nitrificación, desnitrificación y mineralización (Kato y Kansha, 2024).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5): Es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno disuelto requerida por los microorganismos aeróbicos para descomponer la materia orgánica biodegradable presente en el agua durante un período estándar de cinco días a temperatura controlada. Su fundamento teórico se basa en la cinética de degradación microbiana, donde la actividad metabólica consume oxígeno para oxidar compuestos carbonados y nitrogenados. La DBO_5 constituye uno de los indicadores más utilizados para evaluar la carga contaminante de origen orgánico, debido a su relación directa con el potencial de agotamiento del oxígeno en cuerpos receptores, lo cual puede ocasionar condiciones anóxicas y afectar la vida acuática (Brose et al., 2023).

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Representa la cantidad de oxígeno equivalente necesario para oxidar químicamente la materia orgánica, tanto biodegradable como no biodegradable, presente en una muestra de agua mediante un agente oxidante fuerte. Se fundamenta en principios de reacciones de óxido-reducción, en las cuales agentes como el dicromato de potasio oxidan la materia orgánica hasta dióxido de carbono y agua. La DQO se considera un parámetro integral de contaminación orgánica porque ofrece una medida rápida y total de compuestos oxidables, siendo ampliamente empleada para procesos de control y diseño de sistemas de tratamiento (Lacalamita et al., 2024).

Coliformes Termotolerantes: Los coliformes termotolerantes son un subgrupo taxonómico de la familia Enterobacteriaceae, y se distinguen por su habilidad metabólica para fermentar la lactosa, generando gas y ácido a altas temperaturas 44.5. En el contexto del análisis de la calidad del agua y de los alimentos, se usan los coliformes termotolerantes como bioindicadores microbiológicos; su presencia indica un peligro inminente de contaminación fecal reciente, lo que sugiere que pueden coexistir enteropatógenos responsables de enfermedades gastrointestinales en la salud pública (Rodríguez et al., 2018).

Sólidos Suspendidos Totales (SST): Consisten en la fracción de material orgánico e inorgánico que permanece en suspensión y no se disuelve en el agua, pudiendo ser

sedimentable o no sedimentable. Su medición se basa en principios de filtración y secado, donde la masa retenida permite cuantificar la carga sólida presente. Los SST afectan la turbidez, el color, la transmisión de luz y la estabilidad de procesos de tratamiento, además de influir en la formación de lodos y en la eficiencia de procesos físicos como la sedimentación y la filtración (Adjovu et al., 2023).

Aceites y grasas en aguas residuales: Se trata de compuestos de naturaleza hidrofóbica de procedencia vegetal, animal o mineral, caracterizados por su propensión a la flotación, la formación de emulsiones estables o la adhesión a diversas superficies. Su comportamiento se explica por fenómenos de tensión superficial, cohesión, hidrofobicidad y emulsificación. Debido a su naturaleza no miscible y su capacidad para formar capas aislantes, los aceites y grasas pueden obstruir conducciones, reducir el desempeño de procesos biológicos y afectar la transferencia de oxígeno, por lo que su separación mediante flotación, trampas de grasa o desengrasado químico es fundamental en el pretratamiento (Mustafa et al., 2025).

Parámetros fisicoquímicos del agua (pH, temperatura): Constituyen características esenciales que determinan las condiciones de equilibrio químico, solubilidad de compuestos, velocidad de reacción y actividad microbiana en los sistemas acuáticos. El pH se fundamenta en la teoría ácido-base y regula la estabilidad de compuestos y la toxicidad de ciertas sustancias; la temperatura influye en la cinética de reacciones y en la solubilidad del oxígeno según la ecuación de Arrhenius. Estos parámetros condicionan la eficiencia de procesos naturales y artificiales de depuración (Moretti et al., 2024).

Calidad del agua: Es el conjunto de propiedades físicas, químicas, biológicas y microbiológicas que determinan la aptitud del agua para un uso determinado. La calidad se evalúa mediante parámetros como turbidez, conductividad, pH, DBO_5, DQO, SST, nutrientes y microorganismos indicadores, basándose en principios de química del agua, hidrobiología y limnología. La interpretación de la calidad del agua exige la integración de múltiples indicadores que reflejan condiciones ambientales, impactos antrópicos y el comportamiento del ecosistema acuático (Wang et al., 2024).

Lagunas anaerobias: La mayor parte de los procesos que ocurren en estas lagunas es anaeróbica, lo que quiere decir que dependen de bacterias que funcionan sin oxígeno; no obstante, puede haber procesos aeróbicos o algas en la superficie, pero en cantidades mínimas. Este procedimiento se emplea principalmente para el tratamiento de barros provenientes de líquidos cloacales. La temperatura es un elemento crucial: las temperaturas elevadas aceleran

el proceso, mientras que los cambios bruscos lo alteran. Las lagunas se diseñan con una profundidad normal de 1,8 a 3,0 metros y más si el terreno lo permite, para preservar las condiciones de anaerobiosis producidas por la elevada carga orgánica y garantizar una temperatura constante (Francisco, 2020).

Lagunas Facultativas: Las lagunas facultativas tienen tres áreas de descomposición: una zona superior aeróbica con oxígeno disuelto, una inferior anaeróbica en la parte inferior donde se depositan los sólidos sin oxígeno, y una zona intermedia variable. Bacterias, hongos y protozoos aerobios oxidan la materia orgánica en la parte superior, generando agua y dióxido de carbono. El nitrógeno, el fósforo y lo demás del material orgánico se emplean para la síntesis de nueva masa celular. A lo largo de este proceso, el nitrógeno orgánico se va convirtiendo en amoníaco, nitritos y nitratos, y los sulfuros pasan a ser sulfatos (Francisco, 2020).

Lagunas de maduración: Reciben el efluente de las lagunas facultativas y se emplean para depurar el efluente de patógenos según la calidad que se necesite. Si se vuelve a utilizar el agua purificada, las lagunas de maduración generalmente representan la fase final del tratamiento, ya sea a través de una laguna facultativa primaria o secundaria o de una planta convencional de tratamiento, debido a que eliminan los agentes patógenos (Cedeño Muñoz, 2019).

Eficiencia de remoción: La eficiencia de remoción es un parámetro clave en la evaluación del desempeño de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, ya que permite cuantificar la capacidad de un proceso para reducir la concentración de contaminantes presentes en el afluente. Se expresa generalmente en porcentaje y se calcula comparando la concentración de un parámetro específico antes y después del tratamiento, utilizando la fórmula:

$$Eficiencia\ de\ remoción\ (\%) = \frac{C_i - C_f}{C_i} x\ 100$$

Donde C_i es la concentración inicial del contaminante y C_f la concentración final en el efluente.

Este indicador es fundamental para determinar la efectividad en la reducción de materia orgánica (DBO_5 y DQO), Sólidos Suspendidos Totales, aceites y grasas, coliformes termotolerantes y otros componentes presentes en las aguas residuales. Además, permite verificar el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental y evaluar la estabilidad operativa del sistema.

D.S. N.º 003-2010-MINAM: La evaluación del desempeño operativo de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales es un examen diagnóstico esencial para comprobar lo

eficaces que son sus procesos biológicos, físicos y químicos de depuración. Aunque el cálculo de la eficiencia interna de remoción es un indicador del funcionamiento, en el marco legal peruano para verificar la conformidad de la planta se comparan las concentraciones finales de su efluente con los límites máximos permitidos. La norma nacional que regula y establece los LMP de cumplimiento riguroso para los vertidos de las PTAR municipales o domésticas hacia los cuerpos receptores (ríos, lagos, mares). La norma fija los límites superiores admisibles para los parámetros principales de la calidad del medio ambiente (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2010).

2.3. Definición de términos

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5): Cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable en un periodo de cinco días (Brose et al., 2023).

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Medida de la cantidad total de materia orgánica, biodegradable y no biodegradable, que puede oxidarse químicamente en una muestra de agua (Lacalamita et al., 2024).

Sólidos Suspendidos Totales (SST): Partículas sólidas presentes en el agua que no se disuelven y pueden sedimentar o permanecer en suspensión (Adjovu et al., 2023).

Aceites y grasas: Sustancias de origen animal o vegetal presentes en las aguas residuales que se caracterizan por su baja solubilidad y tendencia a formar capas superficiales (Mustafa et al., 2025).

Coliformes Termotolerantes: Los coliformes termotolerantes son un subgrupo taxonómico de la familia Enterobacteriaceae, y se distinguen por su habilidad metabólica para fermentar la lactosa, generando gas y ácido a altas temperaturas 44.5 °C (Rodríguez et al., 2018).

Tiempo de Retención Hidráulica (TRH): Intervalo promedio durante el cual el agua residual permanece dentro de una unidad de tratamiento (McGahan, 2024).

Carga orgánica: Cantidad de materia orgánica aportada al sistema por unidad de tiempo o de volumen, generalmente expresada en kg DBO_5/día o kg DQO/día (Alotaibi et al., 2024).

Eficiencia de remoción: Porcentaje de reducción de un contaminante determinado tras el proceso de tratamiento, medido entre el afluente y el efluente (Aib et al., 2024).

Normativa ambiental: Conjunto de leyes, reglamentos y límites máximos permisibles que regulan la calidad y descarga de aguas residuales para proteger el ambiente y la salud pública.

Afluente: En la hidrología, se refiere a un curso de agua, también conocido como tributario, que no desemboca en el mar sino en otro río de mayor caudal, y que se une con él en una zona conocida como confluencia. El afluente es el río más pequeño de dos que se unen, el que tiene menos caudal y un volumen menor de agua; no obstante, existen varias excepciones a esta definición (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2010).

Efluente: Se refiere a la liberación de una planta de tratamiento de aguas residuales, potabilizadora o sistema de alcantarillado hacia el sistema público o un cuerpo receptor (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2010).

Lagunas de Estabilización: Una laguna de estabilización es un reservorio de agua poco profundo. Este tipo de tratamiento tiene la ventaja de ser fácil de operar, mantener y construir en comparación con otros sistemas (Martínez et al., 2017).

Límites Máximos Permisibles (LMP): Los Límites Máximos Permisibles (LMP) del MINAM son una medida de la concentración o el nivel de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que definen las aguas residuales o los gases residuales. Si se superan estos límites, pueden causar perjuicios a la salud y al bienestar humano y ambiental (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2010).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y nivel de investigación

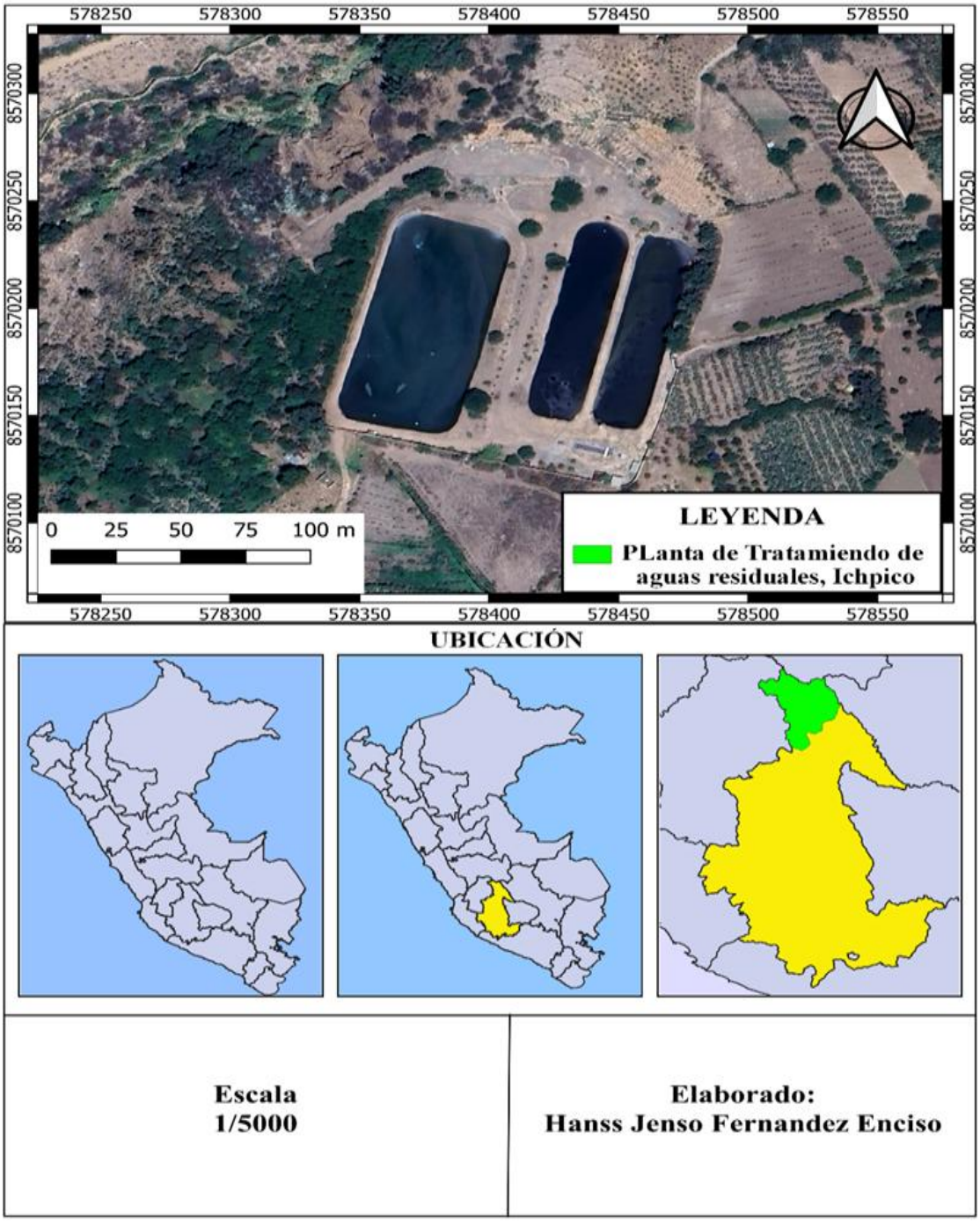
La presente investigación corresponde a un estudio de tipo aplicado y de nivel descriptivo, con un diseño no experimental y de corte longitudinal. Según Romero et al. (2024), los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, características y perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a análisis. En este estudio se caracterizaron las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual en el afluente y efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ichpico, Huanta, mediante la determinación de aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO_5, DQO, pH, sólidos suspendidos totales y temperatura. Asimismo, se evaluó la eficiencia de remoción mediante la comparación de las concentraciones del afluente y efluente, complementada con la aplicación de la prueba t de Student para muestras pareadas, y se verificó el cumplimiento de los valores del efluente respecto a los Límites Máximos Permisibles establecidos por la normativa ambiental peruana.

3.2. Ámbito temporal y espacial

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Ichpico se encuentra ubicada en la parte baja de la provincia de Huanta, en la comunidad de Pampachacra, departamento de Ayacucho, a una altitud aproximada de 2 429 m s. n. m. geográficamente, el área de estudio se localiza en las coordenadas UTM E 578 419 m y N 8 570 198 m, correspondientes a la zona 18S, datum WGS 84. El efluente tratado es descargado al río Chiwa, considerado como cuerpo receptor, cuya vertiente es utilizada para actividades de riego agrícola.

Figura 1

Ubicación de la PTAR Ichpico



Nota. Ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ichpico, Huanta a nivel nacional, departamental y Local, en el cual se realizará la toma de muestras. Adaptado de cartografía obtenida del Geoservidor del MINAM.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población de estudio estuvo constituida por las aguas residuales domésticas del afluente y efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ichpico, Huanta, evaluadas durante ocho fechas de monitoreo comprendidas entre octubre y noviembre de 2025.

3.3.2. Muestra

Para la toma de puntos de muestra se tuvo en cuenta el protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2013). Los puntos de muestreo fueron establecidos en el afluente y efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ichpico. El punto correspondiente al afluente se ubicó en las coordenadas UTM E 578 430 m y N 8 570 143 m, mientras que el punto correspondiente al efluente se ubicó en las coordenadas UTM E 578 368 m y N 8 570 251 m, ambos correspondientes al sistema de referencia WGS 84, zona UTM 18S.

El muestreo fue de tipo no probabilístico por conveniencia, debido a que los puntos y fechas de evaluación fueron seleccionados considerando la accesibilidad a la planta, la disponibilidad para realizar el monitoreo y la posibilidad de efectuar el seguimiento periódico durante el periodo de estudio. Se realizaron ocho jornadas de muestreo, con una frecuencia semanal, entre octubre y noviembre de 2025. En cada jornada se recolectó una muestra del afluente y una del efluente, obteniéndose ocho pares de observaciones para cada parámetro evaluado. La selección de este número de muestreos permitió efectuar un seguimiento periódico de las condiciones del agua residual y establecer la comparación entre las concentraciones del afluente y efluente mediante la prueba t de Student para muestras pareadas.

3.4. Instrumentos

Fichas de observación estandarizadas para el registro de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos,

Fichas de campo para el registro de información durante el muestreo,

Protocolos estandarizados de toma de muestras

Equipos calibrados de medición in situ (multiparámetros, medidores de caudal), recipientes de muestreo certificados y sistemas de preservación de muestras según el tipo de análisis requerido.

Fichas de registro operativo para documentar las condiciones del proceso y equipos de análisis certificados en el laboratorio.

Tabla 2

Equipos de la investigación

EQUIPOS	MARCA
Multiparametro	HACH HQ4od
Incubadora	VELP Scientifica 2001
Balanza analítica	Sartorius
GPS	Garmin
Celular	Redmi
Digestor	HACH DRB 200
Bomba de vacío	GAST
Estufa	Memmert
Autoclave	BIOTERM
Microscopio	COLE PARMER
Horno de esterilización	Memmert
Incubadora	Memmert
Desecador	Superior Mariendfeld

Tabla 3

Materiales de la investigación

MATERIALES	MARCA
Vasos de precipitado 100 mL	ISOLAB
Fiolas de 25 mL, 50 mL,100 mL, 500 mL, 1000 mL	ISOLAB
Probeta de 50 mL	ISOLAB
Pipeta graduada de 5 mL, 10 mL, 20 mL	ISOLAB
Pipetas volumétricas de 5 mL,10 mL, 20 mL, 25 mL	ISOLAB
Erlenmeyer de 125 mL	ISOLAB

Pinzas, para manipular el balón de evaporación	ISOLAB
Balón de destilación de 250 cm3	ISOLAB
Embudos de vidrio	ISOLAB
Tubos de centrífuga de vidrio de 15mL	ISOLAB
Cabeza de destilación Claisen	ISOLAB
Adaptador de destilación	ISOLAB
Peras de decantación de vidrio	ISOLAB
Varilla de agitación de vidrio	ISOLAB
Papel filtro de microfibra de vidrio de borosilicato con diámetro de 4.7 cm.	Whatman
Placas Petri de vidrio de diámetro 4.7 cm	ISOLAB
Probeta de vidrio graduada de 500 mL	ISOLAB
Barra magnética agitadora	ISOLAB
Piseta con agua destilada	ISOLAB
Botellas de 300 mL con un tapón de vidrio esmerilado.	ISOLAB
Frascos de vidrio: 250 mL y 500 mL	ISOLAB
Tubos de ensayo: 20 x 150 mm y 16 x 150 mm	ISOLAB
Pipetas: 10 mL, 1 mL y 5 mL estériles	ISOLAB
Tubos Durham 75 x 10 mm	ISOLAB
Tubos de ensayo con tapa con tapa rosca: 16 x 150 mm	
Plumón indeleble punta fina	Faber Castell
Botellas de plástico de 1L, 500	
Guantes de nitrilo	TouchNtull
Mascarillas tipo quirúrgicas	Kogy
Pinzas	ISOLAB
Matraz de Kitasato de 1000 mL	ISOLAB

Tabla 4

Reactivos utilizados en la investigación

	MARCA
Fenol sólido	J.T Baker
Alcohol etílico	Alkofarma
Citrato de sodio	J.T Baker
Hidróxido de sodio	Macron
Ácido sulfúrico	J.T Baker
Ácido fosfórico	J.T Baker
Potasio dihidrógeno fosfato	CDH
Fosfato dipotásico	Merck
Fosfato disódico pentahidratado	Merck
Cloruro de calcio	Merck
Dicromato de potasio	Supelco
Sulfato de mercurio	J.T Baker
Sulfato de plata	J.T Baker
Etér de Petroleo	Schalarlau
Caldo EC	BD-DIFCO
Triptosa	BD-DIFCO
Cloruro de sodio	Merck
Peptona	HIMEDIA
Lauril sulfato de sodio	Merck
Soluciones buffer de pH 4 y 7	HANNA
Sulfato de cobre	Merck
Sulfato de potasio	J.T Baker

3.5. Procedimientos

3.5.1. Aceites y Grasas

1. Se homogenizó la muestra de agua residual mediante agitación manual para asegurar una distribución uniforme de los componentes grasos. Se midio 100 mL de muestra, seguido de ello fue vertida cuidadosamente en la pera de decantación.

2. A continuación, se añadió 30 mL de éter de petróleo como solvente de extracción. Luego, se agitó enérgicamente la pera durante aproximadamente 2 minutos, liberando la presión periódicamente.
3. Se dejó reposar la mezcla durante unos 10 a 15 minutos para permitir la separación de las fases acuosa y orgánica. Transcurrido este tiempo, se drenó la fase acuosa inferior y se colectó la fase orgánica superior, conteniendo los aceites y grasas extraídos.
4. El extracto seco se recogió en un matraz tarado y posteriormente se concentró por evaporación del solvente en baño María a 60 °C durante 15 a 20 minutos, una vez eliminado el solvente, el matraz con el residuo se colocó en estufa a 103–105 °C por 30 minutos para asegurar la completa eliminación de trazas de éter.
5. Después de enfriar en desecador durante 15 minutos, se pesó el matraz nuevamente para determinar el peso del residuo.
6. El contenido de aceites y grasas se calculó mediante la siguiente relación:

$$\text{Aceites y Grasas (mg/L)} = \frac{(P_2 - P_1) \times 1000}{V}$$

donde:

P_2= masa del matraz con residuo seco (mg)

P_1= masa del matraz vacío (mg)

V= volumen de muestra analizada (mL)

Figura 2

Determinación de aceites y grasas



3.5.2. Coliformes Termotolerantes

1. Se realizó la determinación de coliformes termotolerantes mediante el método de NMP 3 tubos. Se preparó previamente 18 tubos con sus campanas de Durham y se dispenso 10 mL de medio Lauryl Sulfate en cada uno; los medios fueron esterilizados en autoclave a 121 °C. Se dividió los tubos en dos grupos de nueve para la muestra de afluente y la de efluente, organizando en cada grupo tres series triplicadas correspondientes a los volúmenes de inoculación 1, 0.1 y 0.01.

2. Se homogenizó la muestra y preparó las diluciones necesarias en diluyente estéril. Se procedió a inocular cada tubo con la alícuota correspondiente: 1 mL en la primera serie, 1.0 mL en la segunda y 0.1 mL en la tercera.

3. Se incubó los tubos presuntivos a 35 °C en estufa durante el tiempo establecido. Tras la incubación se registró los tubos que presentaron turbidez y producción de gas en las campanas de Durham como presuntivos positivos.

4. Para la confirmación, se transfirió 1 mL de cada presuntivo positivo a tubos que contenían 1 mL de caldo EC, los cuales fueron esterilizados y preparados previamente; luego se incubó los tubos EC a 45 °C.

5. Después del periodo de confirmación se inspeccionó los tubos EC y se anotó como confirmados aquellos que mostraron turbidez y gas a 45 °C, clasificándolos, así como coliformes termotolerantes.
6. Con los resultados se consultó la tabla de NMP 3 tubos y se calculó el valor expresado en MPN/100 mL.

Figura 3

Determinación de coliformes termotolerantes



3.5.3. Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO_5)

1. Se realizó la determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) en muestras de agua residual mediante el método respirométrico, utilizando un medidor digital de DBO_5. Para el análisis se empleó cuatro frascos de medición, distribuidos en dos para la muestra de afluente y dos para la de efluente.
2. Cada frasco fue enjuagado previamente con la misma muestra a analizar para evitar contaminación cruzada. Posteriormente, se agregó 157 mL de muestra homogeneizada en cada uno de los frascos.
3. A continuación, se añadió cinco gotas de solución inhibidora de nitrificación a cada frasco, con el fin de suprimir la oxidación biológica del amonio, evitando la sobreestimación del valor de DBO_5.

4. En el capuchón de cada frasco se colocaron cuatro gotas de una solución de hidróxido de potasio (KOH) al 45 %, destinada a absorber el dióxido de carbono (CO_2) generado durante el proceso de respiración bacteriana.
5. Inmediatamente después, se colocaron los sensores de presión en cada frasco, asegurando su correcto sellado y evitando la presencia de burbujas de aire.
6. Una vez preparados los frascos, estos fueron colocados en el compartimiento del equipo de medición, seleccionando el rango de concentración adecuado en función de la carga orgánica estimada de las muestras.
7. Posteriormente, el equipo fue programado para operar a 20 °C durante un periodo de 5 días, tiempo durante el cual se midió la variación de presión interna originada por el consumo de oxígeno.

Figura 4

Determinación de DBO_5



3.5.4. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Procedimiento

1. Para el desarrollo del análisis de DQO, se preparó previamente todos los reactivos ajustando sus concentraciones al hecho de 100 mL de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4).

2. Con este volumen se preparó la solución catalizadora de Ag_2SO_4 al 1 % p/v en H_2SO_4, lo cual permitió obtener aproximadamente 100 mL de catalizador.
3. Se identificando tres matraces Erlenmeyer de 125 mL para el blanco, el control y las muestras. En cada uno se añadió 16.7 mL de agua destilada (blanco), solución control o muestra líquida respectivamente.
4. Posteriormente se pesó y añadió 0.67g de $HgSO_4$ en cada matraz, agitando suavemente hasta favorecer su disolución e interacción con posibles cloruros presentes.
5. Con ayuda de una pipeta, se incorporó 8.3 mL de la solución digestora de $K_2Cr_2O_7$ 0.25 N en cada matraz.
6. A continuación, se añadió, 25 mL de la solución catalizadora.
7. Se conectó cada matraz a un condensador de reflujo y se aseguró el flujo continuo de agua de refrigeración.
8. Una vez ensamblado el sistema, se inició el calentamiento y se mantuvo el reflujo durante 2 horas, verificando que la mezcla hirviera suavemente sin pérdidas por evaporación.
9. Finalizado el tiempo de digestión, se suspendió el calentamiento y se dejó enfriar los matraces a temperatura ambiente.
10. Se transfirió el contenido de cada matraz a un matraz Erlenmeyer de 250 mL.
11. Finalmente, se calculó la DQO de cada muestra aplicando la ecuación:

$$DQO(mg\ O_2/L) = \frac{(A - B) \times N \times 8000}{V_m}$$

Donde

A correspondió al volumen de FAS gastado por el blanco
B al volumen gastado por la muestra o control,
N a la normalidad del FAS
V_m al volumen de muestra.

Figura 5

Determinación de DQO



3.5.5. Potencial de hidrógeno (pH)

1. Se realizó la determinación del pH de las muestras de agua residual mediante medició, utilizando un pH-metro portátil debidamente calibrado.
2. Antes de iniciar la medición, se verificó la calibración del equipo empleando soluciones buffer patrón de pH 4.00, 7.00, asegurando una lectura precisa dentro del rango esperado.6
3. Se tomó las muestras directamente del afluente y efluente, evitando la agitación excesiva y la exposición prolongada al aire para prevenir variaciones en el equilibrio ácido-base.
4. Se introdujo el electrodo del pH-metro en la muestra hasta cubrir completamente la celda de medición, permitiendo estabilizar la lectura antes de registrar el valor.
5. Se realizó dos mediciones por punto de muestreo para garantizar la reproducibilidad, y se anotó los valores promedio obtenidos en el formato de campo correspondiente.
6. Finalmente, se enjuagó el electrodo con agua destilada entre cada medición y fue almacenado en solución de mantenimiento, asegurando su correcta conservación para posteriores análisis.

Figura 6

Determinación de pH



3.5.6. Sólidos Suspendidos Totales

1. Se realizó la determinación de Sólidos Suspendidos Totales (SST) en muestras de agua residual mediante el método gravimétrico con filtración al vacío.
2. Para el análisis, se utilizó un sistema de filtración con bomba de vacío y matraz Kitazato, además de papel filtro previamente tarado y secado.
3. Se midió un volumen de 500 mL de muestra homogenizada el cual fue vertido cuidadosamente en el embudo del sistema de filtración, asegurando el correcto ajuste del papel filtro en la entrada del matraz.
4. Se inició la filtración aplicando vacío constante hasta completar el paso total de la muestra a través del filtro, asegurando que no quedaran residuos visibles de líquido en la superficie.
5. Una vez finalizada la filtración, se retiró el papel filtro con el residuo retenido, y fue colocado en una estufa de secado a 103–105 °C.
6. Posteriormente, se enfrió el filtro en un desecador durante 15 minutos y fue pesado en una balanza analítica para obtener el valor final.
7. El contenido de Sólidos Suspendidos Totales se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\text{SST (mg/L)} = \frac{(P_2 - P_1) \times 1000}{V}$$

donde:

P_2= peso del filtro con residuo seco (mg)

P_1= peso del filtro vacío (mg)

V= volumen de muestra filtrada (mL)

Figura 7

Determinación de SST



3.5.7. Temperatura

Procedimiento

1. La medición de la temperatura se llevó a cabo directamente en el lugar, empleando un pH-metro portátil equipado con un sensor térmico integrado.
2. Dichas mediciones fueron realizadas in situ, tanto en la corriente de entrada como en la de salida, con el fin de prevenir una exposición excesiva de la muestra a las condiciones ambientales.
3. Tras la estabilización de la medición, se procedió al registro del valor térmico asociado.

4. Por último, el electrodo fue sometido a un enjuague riguroso con agua destilada y posteriormente se procedió a su secado meticuloso previo a su conservación.

Tabla 5

Métodos asumidos en los diferentes parámetros evaluados

Parámetro	Método	Metodología
Aceites y Grasas	Gravimétrico	APHA 5520 B.
Coliformes Termotolerantes	NMP	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part-9221 E-1, 24th Ed. 2023.
Demanda Bioquímica de Oxigeno	Respirométrico	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5510 B/D, 24th Ed. 2023.
Demanda Química de Oxigeno	Reflujo cerrado	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 C/D, 24th Ed. 2023.
pH	Potenciométrico	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+B, 24th Ed. 2023.
Sólidos Suspendidos Totales	Gravimétrico	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 24th Ed. 2023.
Temperatura	Termométrico	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 24th Ed. 2023.

En el marco del protocolo de muestreo, las muestras de afluente y efluente fueron debidamente identificadas a través de un registro documental que plasmó la fecha, la hora, el punto de muestreo y la tipología de la muestra. Una vez recolectadas, se procedió al traslado de dichas muestras hacia el laboratorio con el objetivo de su análisis, preservándose de manera estricta la identificación correspondiente desde el momento de la toma hasta la culminación del proceso de análisis. Para cada parámetro se utilizaron recipientes adecuados de acuerdo con el método analítico empleado, evitando contaminación cruzada y manipulaciones innecesarias.

Las muestras fueron trasladadas bajo estrictas condiciones destinadas a preservar sus propiedades intrínsecas hasta el momento del análisis. En cuanto a los parámetros determinados in situ, específicamente la temperatura, su medición se realizó directamente en los puntos de muestreo utilizando equipos previamente calibrados. Por su parte, los análisis de laboratorio se

llevaron a cabo priorizando la minimización del lapso entre la recolección y el procesamiento, de conformidad con los protocolos establecidos para cada metodología. Adicionalmente, se evitaron exposiciones prolongadas al ambiente y se mantuvieron las condiciones de conservación adecuadas para prevenir alteraciones físicas, químicas o microbiológicas antes del procesamiento definitivo.

3.6. Análisis de datos

Los datos obtenidos de las mediciones de los parámetros evaluados en el afluente y efluente de la PTAR de Ichpico fueron organizados en matrices para su procesamiento estadístico. Para el análisis inferencial se empleó la prueba t de Student para muestras pareadas, debido a que cada valor obtenido en el efluente corresponde directamente a su medición simultánea en el afluente, conformando así datos dependientes o emparejados.

Antes de la aplicación de la prueba t pareada, se verificó el cumplimiento del supuesto de normalidad de cada una de las variables de respuesta, es decir, los resultados finales de los parámetros evaluados.

Este supuesto se evaluó mediante la prueba de Shapiro–Wilk, adecuada para tamaños de muestra pequeños y medianos. Es importante señalar que, al tratarse de una prueba para muestras dependientes, no es necesario evaluar el supuesto de homogeneidad de varianzas, ya que el análisis se realiza únicamente sobre la distribución de la diferencia entre mediciones y no sobre las varianzas de los grupos por separado.

En caso de que la variable diferencia no presentara normalidad, se aplicó la prueba no paramétrica Wilcoxon de rangos con signos, utilizada para comparar dos muestras relacionadas cuando no se cumplen los supuestos de la t pareada.

Adicionalmente, se calcularon los porcentajes de eficiencia de remoción para cada parámetro mediante la expresión:

$$Eficiencia\ (\%) = \frac{Afluente - Efluente}{Afluente}\ x\ 100$$

Estos valores fueron utilizados únicamente para el análisis descriptivo y la interpretación ambiental del desempeño de la planta, mas no para el análisis estadístico inferencial, ya que las pruebas se realizaron sobre los valores originales en sus unidades fisicoquímicas (mg/L, °C, etc.), evitando distorsiones en la distribución de los datos.

Finalmente, los resultados del efluente fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la normativa ambiental peruana vigente, con el fin de evaluar el cumplimiento regulatorio de la PTAR.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Determinación de los valores de aceites y grasa, Coliformes Termotolerantes DBO_5, DQO, pH, SST, y Tº en el afluente y efluente de la PTAR de Ichpico, Huanta

Tabla 6

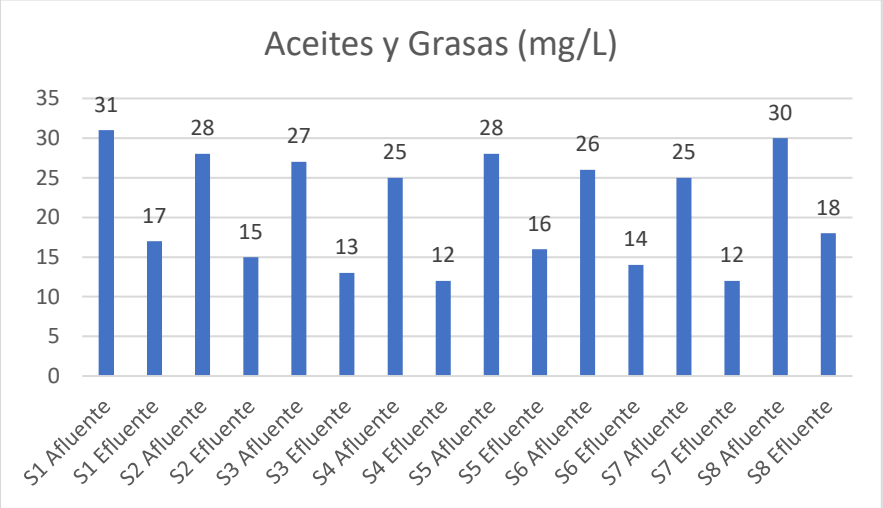
Resultados de evaluación de parámetros

Parámetros medidos	Día															
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
	1/10/2025		8/10/2025		15/10/2025		22/10/2025		29/10/2025		5/11/2025		12/11/2025		19/11/2025	
Aceites y Grasas (mg/L)	31	17	28	15	27	13	25	12	28	16	26	14	25	12	30	18
Coliformes Termotolerantes (NMP/100)	11x10⁴	9,3x10⁴	15x10⁴	11x10⁴	24x10⁴	15x10⁴	9,3x10⁴	4,3x10⁴	11x10⁴	9,3x10⁴	24x10⁴	15x10⁴	9,3x10⁴	4,3x10⁴	11x10⁴	9,3x10⁴
DBO_5 (mg/L)	247	128	254	131	248	119	204	172	257	151	233	137	220	129	214	124
DQO (mg/L)	417	237	430	233	413	238	425	235	422	238	428	236	425	230	421	239
pH (unidad)	8.5	7.5	8.3	7.5	8.5	7.8	8.4	7.2	8.4	7.7	8.5	7.7	8.4	7.3	8.2	7.5
SST (mg/L)	90	47	84	41	93	46	87	45	88	47	92	44	88	48	81	46
Temperatura (ºC)	20.5	21.4	20.5	21.2	20.2	21.8	20.3	21.7	19.7	20.6	20.8	23.8	19.9	21	20.6	19.9

Nota. Resultados obtenidos de afluente y efluente de la PTAR de Ichpico.

Figura 8

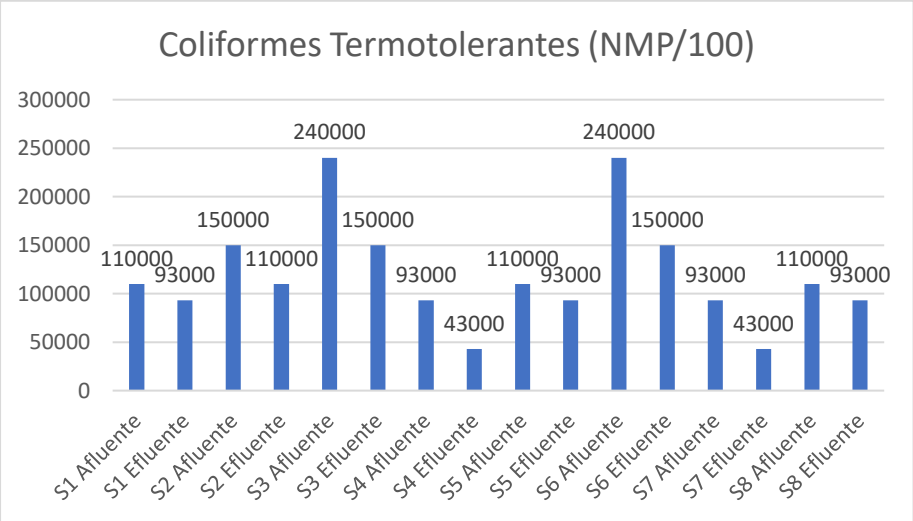
Resultados de evaluación de aceites y grasas



Aceites y grasa: Los valores registrados para aceites y grasas muestran una reducción entre el afluente (25–31 mg/L) y el efluente (12–18 mg/L) durante los ocho muestreos realizados. En el afluente se observó una ligera variabilidad, con concentraciones entre 25 y 31 mg/L, mientras que en el efluente los valores oscilaron entre 12 y 18 mg/L. Esta tendencia evidencia una disminución sostenida de la concentración de aceites y grasas durante el tratamiento, manteniéndose los valores del efluente por debajo del LMP de 20 mg/L en todas las fechas evaluadas.

Figura 9

Resultados de evaluación de coliformes termotolerantes

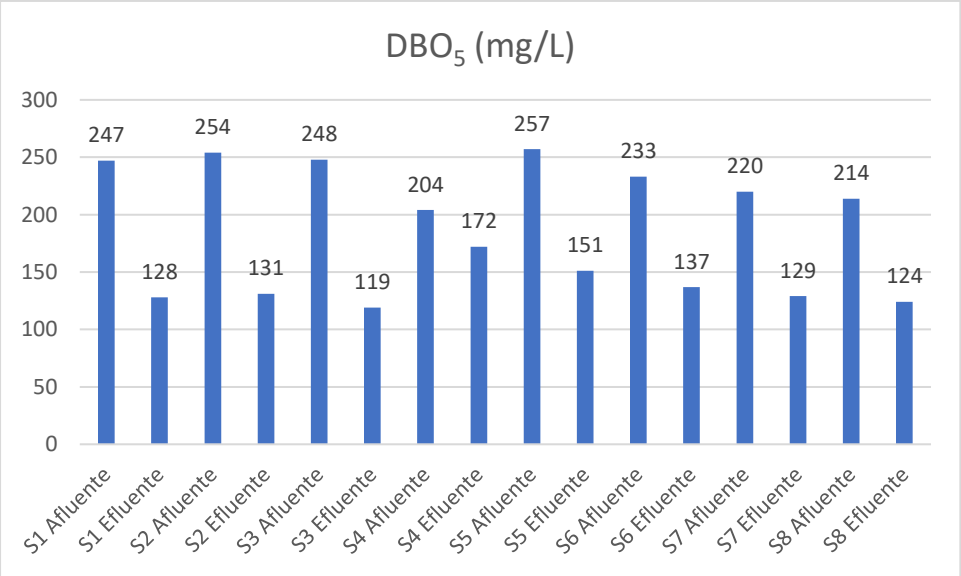


Coliformes termotolerantes: En el caso de los coliformes termotolerantes, los datos evidencian una reducción importante entre el afluente ($9{,}3\times10^4$ a 24×10^4 NMP/100 mL) y el

efluente ($4{,}3\times10^4$ a 15×10^4 NMP/100 mL). Aunque las concentraciones en el afluente presentan variaciones marcadas a lo largo del tiempo, los valores en el efluente muestran una tendencia descendente y más controlada, lo cual evidencia una remoción parcial de la carga microbiológica. Sin embargo, la persistencia de niveles elevados en el efluente sugiere que el proceso de desinfección no alcanzan una eliminación completa de patógenos.

Figura 10

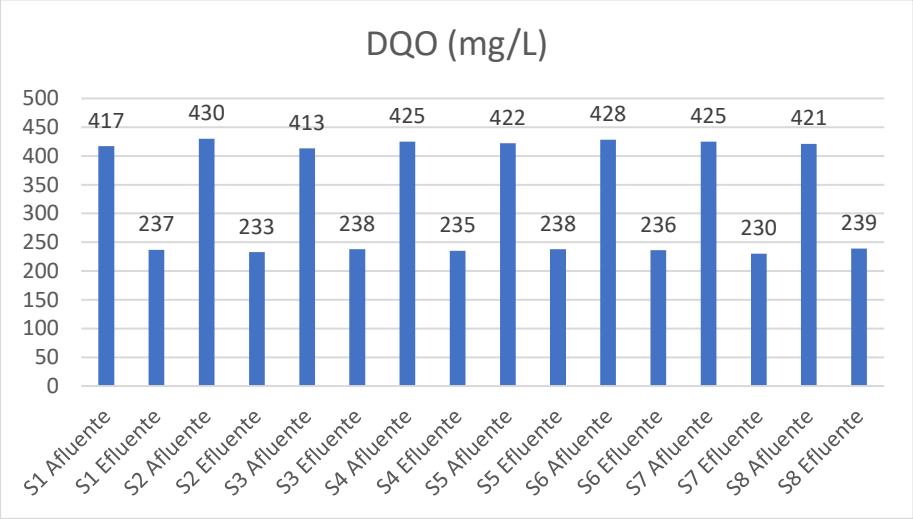
Resultados de evaluación de DBO_5



Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5): Los resultados de DBO_5 evidenciaron una disminución entre el afluente (204–257 mg/L) y el efluente (119–172 mg/L). Los valores del efluente fueron inferiores a los del ingreso en todas las fechas evaluadas. Se evidencia una reducción de la concentración de materia orgánica biodegradable durante el tratamiento. No obstante, las concentraciones del efluente superando en todos los muestreos el LMP establecido, por lo que no alcanzó el nivel exigido por la normativa durante el periodo de estudio.

Figura 11

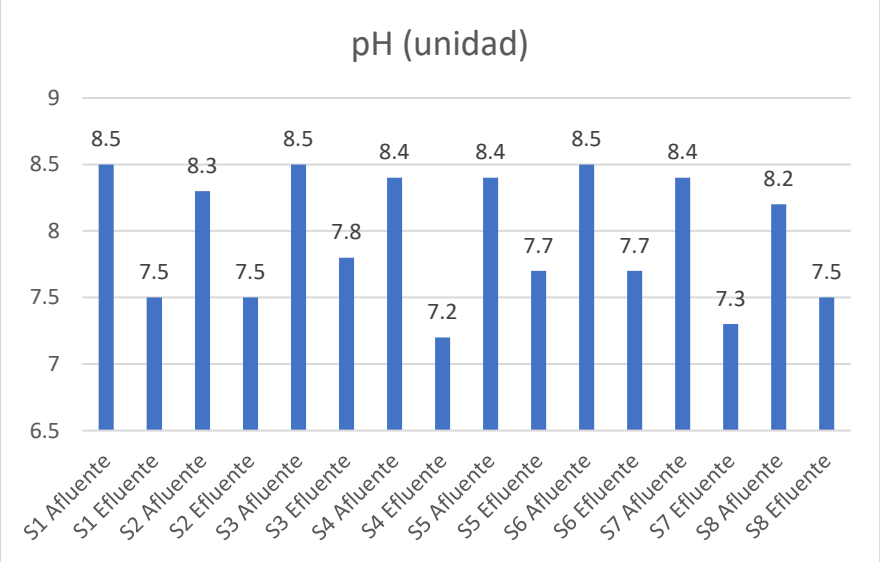
Resultados de la evaluación de DQO



Demanda química de oxígeno (DQO): Los resultados de la DQO oscilan entre 413 y 430 mg/L, hasta el efluente, donde se registran valores comprendidos en el intervalo de 230 a 239 mg/L. Los datos correspondientes al afluente exhiben una notable estabilidad, carentes de fluctuaciones bruscas, análogamente a como los valores del efluente permanecen contenidos dentro de un margen restringido, evidenciando así un rendimiento homogéneo por parte de la planta de tratamiento de aguas residuales. La disminución observada corrobora una eliminación sustancial de compuestos orgánicos e inorgánicos susceptibles de oxidación, lo cual resulta plenamente coherente con la funcionalidad esperada de la PTAR.

Figura 12

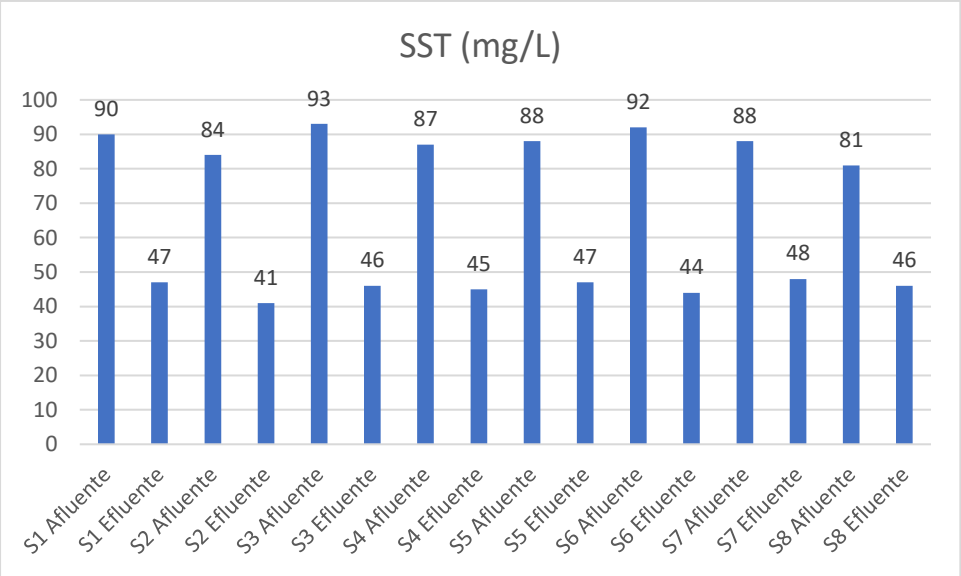
Resultados de la evaluación de pH



Potencial de hidrógeno (pH): Los resultados de pH oscilaron entre el afluente (8,2–8,5) y el efluente (7,2–7,8). El agua residual ingresó a la PTAR con concentraciones alcalinos y, post tratamiento, presentó valores a la neutralidad. Asimismo, los valores registrados en el efluente se mantuvieron dentro del rango establecido de 6,5–8,5, cumpliendo con los LMP correspondiente durante las ocho fechas de monitoreo.

Figura 13

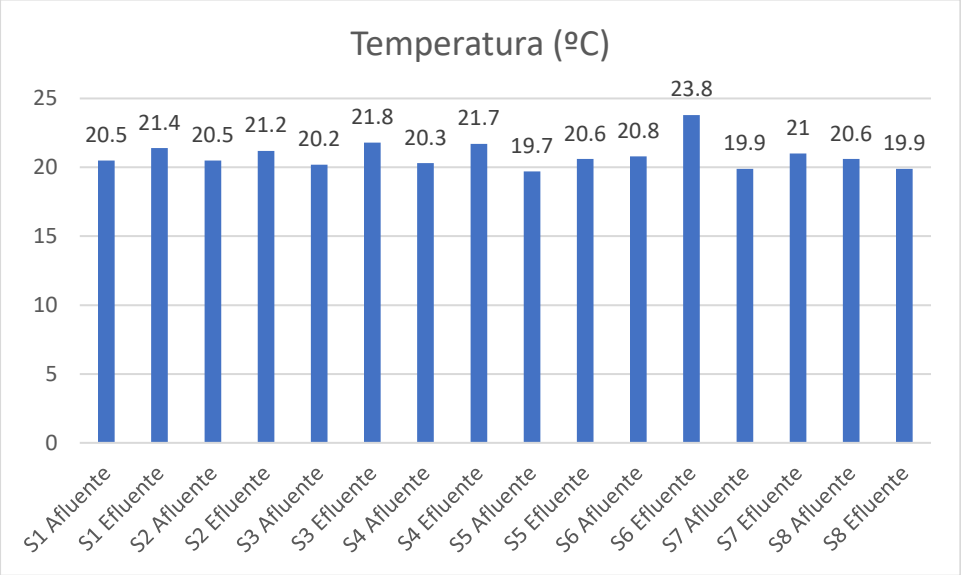
Resultados de evaluación de SST



Sólidos suspendidos totales (SST): En el caso de los SST, se observó una reducción de las concentraciones entre el afluente (81–93 mg/L) y el efluente (41–48 mg/L). Los valores del afluente presentaron ligeras variaciones entre los muestreos, mientras que los del efluente se mantuvieron dentro de un rango más estrecho. Esta disminución evidencia una reducción de los sólidos suspendidos durante el tratamiento, manteniéndose las concentraciones del efluente por debajo del LMP de 150 mg/L en todas las fechas evaluadas. Por tanto, el parámetro SST presentó un comportamiento estable y cumplió con el límite establecido durante el periodo de estudio.

Figura 14

Resultados de evaluación de temperatura



Temperatura (Tº): La temperatura del afluente varió entre 19,7 y 20,8 °C, mientras que en el efluente osciló entre 19,9 y 23,8 °C. En la mayoría de los muestreos, se observó un ligero incremento de la temperatura del efluente respecto al afluente, aunque las variaciones registradas fueron moderadas. Asimismo, los valores del efluente se mantuvieron por debajo del LMP establecido de 35 °C durante las ocho fechas evaluadas. Por tanto, la temperatura presentó variaciones entre el afluente y efluente, sin superar el límite establecido por la normativa durante el periodo de estudio.

4.1.2. Evaluar la eficiencia de remoción de los parámetros (DBO_5, DQO, pH, Coliformes Termotolerantes, SST, Tº y aceites y grasa) de la PTAR de Ichpico, Huanta

4.1.2.1. Aceites y grasa

Tabla 7

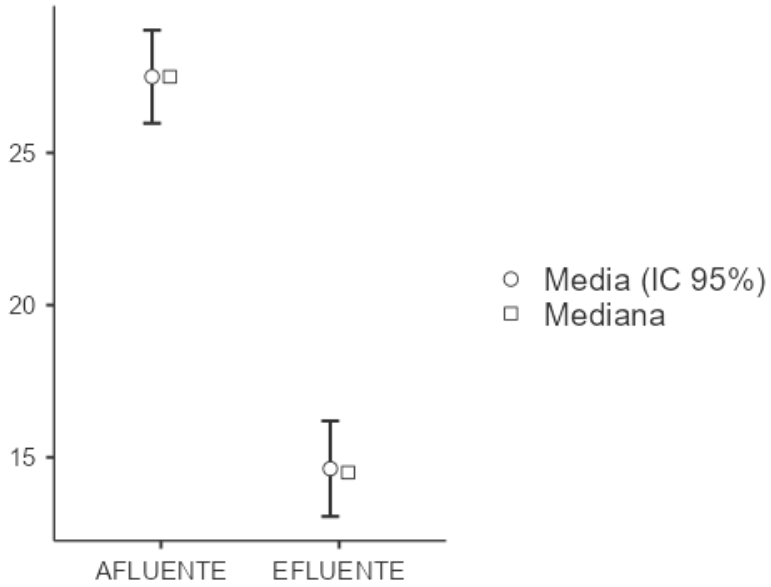
Prueba de t-student para muestras pareadas - Aceites y grasas

			estadístico	gl	p
AFLUENTE	**EFLUENTE**	**T de Student**	43.6	7.00	<.001

Nota. H_a $\mu_{Medida\ 1 - Medida\ 2} \neq 0$

Figura 15

Gráfico de cajas y bigotes para aceites y grasas



Se evaluó el supuesto de normalidad correspondientes a los valores de afluente y efluente. El análisis mediante la prueba de normalidad arrojó un valor p = 0.072, superior al umbral de significancia de 0.05, por lo que no se rechaza la hipótesis nula de normalidad. Este resultado confirma que los datos presentan una distribución aproximadamente normal y, por tanto, cumplen con el supuesto requerido para la aplicación de una prueba paramétrica como la t de Student pareada, garantizando así la validez estadística del análisis comparativo entre ambas condiciones.

En cuanto a la interpretación de la prueba t de Student para muestras pareadas aplicada al parámetro evaluado, se obtuvo un estadístico t = 43.6 con 7 grados de libertad y un valor p = 0.001. Dado que $p < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula (H_0: $\mu Afluente - \mu Efluente = 0$) y se acepta la hipótesis alternativa, que establece que existe una diferencia significativa entre las medias del afluente y del efluente. Esto indica que el tratamiento aplicado genera un cambio estadísticamente significativo, evidenciando un efecto real y medible entre ambas mediciones.

4.1.2.2. Coliformes termotolerantes

Tabla 8

Prueba de t-student para muestras pareadas - Coliformes termotolerantes

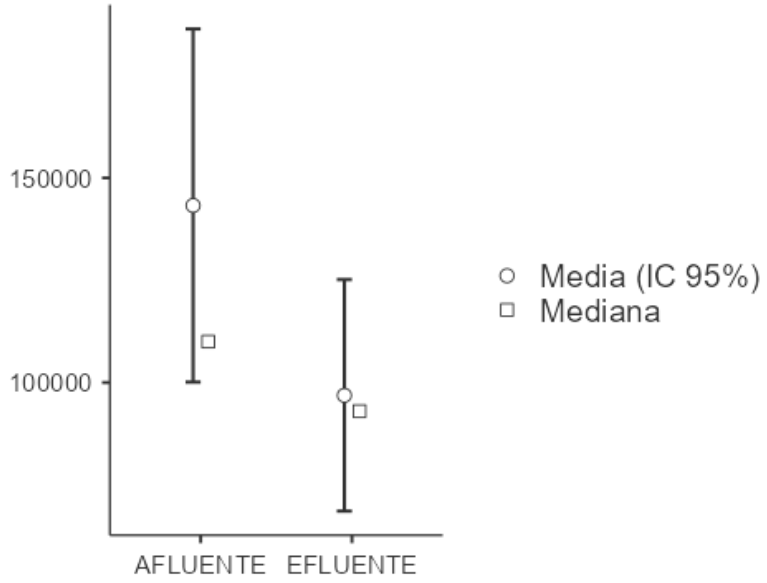
			estadístico	gl	p
AFLUENTE	**EFLUENTE**	**T de Student**	4.32	7.00	0.003

	estadístico	gl	p

Nota. H_a $\mu_{Medida\ 1 - Medida\ 2} \neq 0$

Figura 16

Gráfico de cajas y bigotes para coliformes termotolerantes



Previo a la aplicación de la prueba t de Student para muestras pareadas, se evaluó el supuesto de normalidad correspondientes a los valores de afluente y efluente. El análisis mediante la prueba de normalidad arrojó un valor p = 0.072, superior al umbral de significancia de 0.05, por lo que no se rechaza la hipótesis nula de normalidad. Este resultado confirma que los datos presentan una distribución aproximadamente normal y, por tanto, cumplen con el supuesto requerido para la aplicación de una prueba paramétrica como la t de Student pareada, garantizando así la validez estadística del análisis comparativo entre ambas condiciones.

En cuanto a la interpretación de la prueba t de Student para muestras pareadas aplicada al parámetro evaluado, se obtuvo un estadístico t = 4.32 con 7 grados de libertad y un valor p = 0.003. Dado que $p < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula (H_0: $\mu Afluente - \mu Efluente = 0$) y se acepta la hipótesis alternativa, que establece que existe una diferencia significativa entre las medias del afluente y del efluente. Esto indica que el tratamiento aplicado genera un cambio estadísticamente significativo en los niveles de coliformes termotolerantes, evidenciando un efecto real y medible entre ambas mediciones.

4.1.2.3. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)

Tabla 9

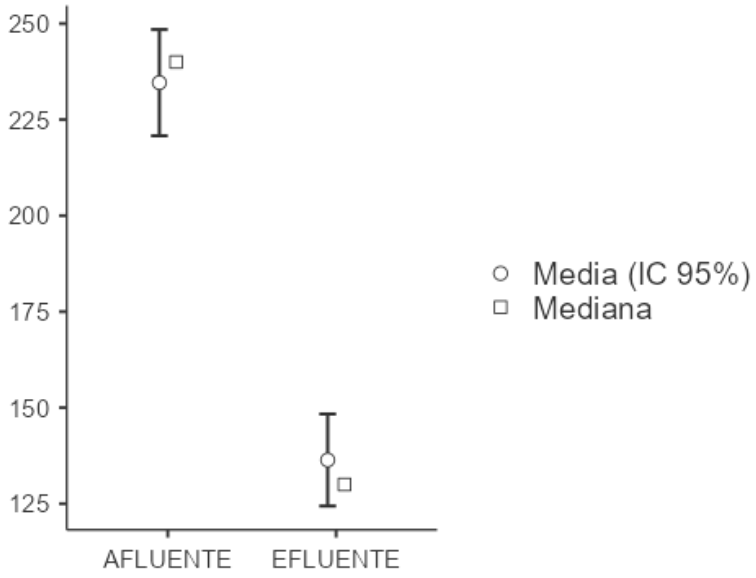
Prueba de t-student para muestras pareadas – DBO_5

			estadístico	gl	p
AFLUENTE	**EFLUENTE**	**T de Student**	9.08	7.00	<.001

Nota. H_a $\mu_{Medida\ 1 - Medida\ 2} \neq 0$

Figura 17

Gráfico de cajas y bigotes para DBO_5



Se verificó el cumplimiento del supuesto de normalidad necesario para aplicar la prueba t de Student pareada como técnica paramétrica. La evaluación de normalidad arrojó un valor p = 0.091, superior al nivel de significancia de 0.05, por lo que no se rechaza la hipótesis nula de normalidad. Esto indica que los datos presentan una distribución aproximadamente normal, permitiendo el uso adecuado y estadísticamente válido de la prueba t de Student para comparar los valores del afluente y efluente.

Respecto a la interpretación de la prueba t de Student para muestras pareadas aplicada al parámetro DBO_5, se obtuvo un estadístico t = 9.08 con 7 grados de libertad y un valor p < 0.001. Dado que el valor p es significativamente menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H_0: $\mu Afluente - \mu Efluente = 0$) y se acepta la hipótesis alternativa, indicando que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias del afluente y del efluente. Este resultado evidencia que el tratamiento aplicado produce una reducción significativa en los valores de DBO_5, demostrando un efecto claro y contundente entre ambas mediciones.

4.1.2.4. Demanda química de oxígeno (DQO)

Tabla 10

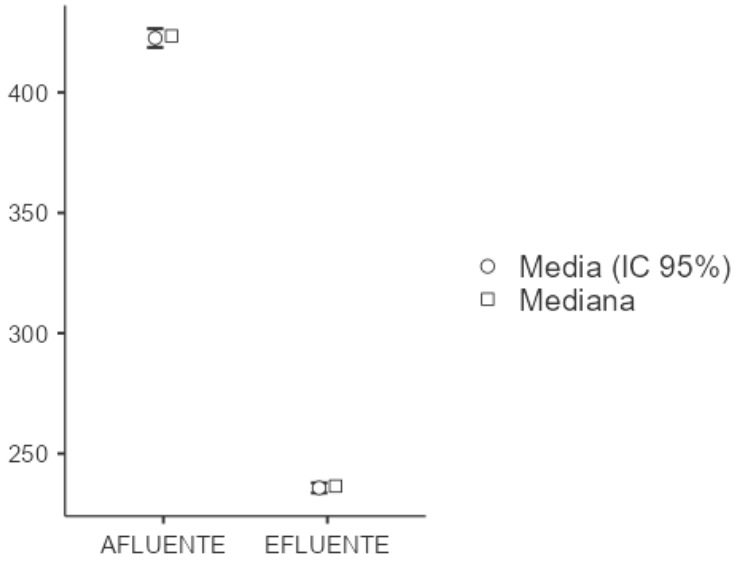
Prueba de t-student para muestras pareadas - DQO

			estadístico	gl	p
AFLUENTE	**EFLUENTE**	**T de Student**	67.8	7.00	<.001

Nota. H_a $\mu_{Medida\ 1 - Medida\ 2} \neq 0$

Figura 18

Gráfico de cajas y bigotes para DQO



Previo al análisis inferencial, se comprobó el cumplimiento del supuesto de normalidad requerido para aplicar la prueba t de Student pareada como técnica paramétrica. El resultado obtenido en la prueba de normalidad fue p = 0.764, valor ampliamente superior al nivel de significancia de 0.05, por lo que no se rechaza la hipótesis nula de normalidad. Esto confirma que los datos siguen una distribución aproximadamente normal, garantizando la pertinencia y validez del uso de la prueba t de Student para evaluar las diferencias entre los valores del afluente y efluente.

En cuanto a la interpretación de la prueba t de Student para muestras pareadas aplicada al parámetro DQO, se obtuvo un estadístico t = 67.8 con 7 grados de libertad y un valor p < 0.001. Dado que el valor p es significativamente menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H_0: μAfluente − μEfluente = 0) y se acepta la hipótesis alternativa, concluyéndose que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias del afluente y el efluente. Este resultado evidencia una remoción altamente significativa de la DQO después del tratamiento,

demostrando una eficiencia contundente en la reducción de la carga orgánica presente en el agua residual.

4.1.2.5. Potencial de hidrógeno (pH)

Tabla 11

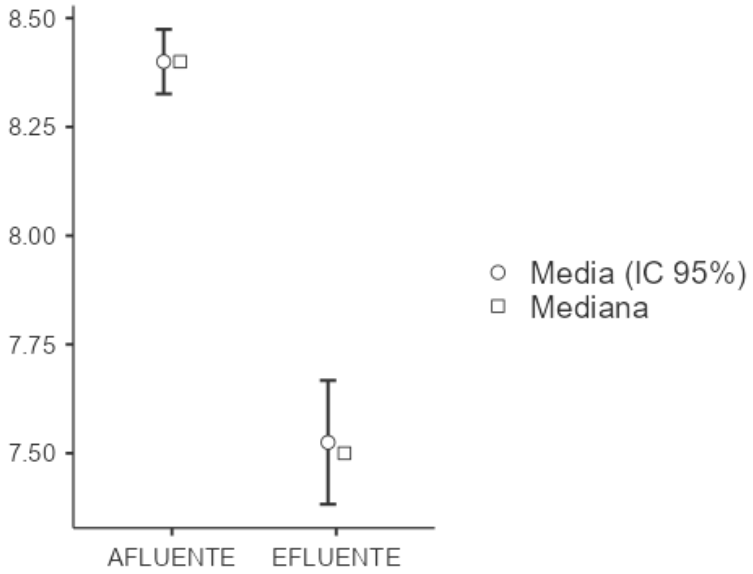
Prueba de t-student para muestras pareadas - pH

			estadístico	gl	p
AFLUENTE	**EFLUENTE**	**T de Student**	12.5	7.00	<.001

Nota. H_a $\mu_{Medida\ 1 - Medida\ 2} \neq 0$

Figura 19

Gráfico de cajas y bigotes para pH



Se evaluó el supuesto de normalidad requerido para la aplicación de la prueba t de Student para muestras pareadas. El valor obtenido en la prueba de normalidad fue p = 0.082, mayor al nivel de significancia de 0.05. En consecuencia, no se rechaza la hipótesis nula de normalidad, lo que indica que los datos presentan una distribución adecuada para el uso de una prueba paramétrica. Esto permite aplicar la prueba t de Student con validez y rigor metodológico para comparar los valores del afluente y efluente del parámetro pH.

En cuanto a la interpretación de la prueba t de Student para muestras pareadas aplicada al parámetro pH, se obtuvo un estadístico t = 12.5 con 7 grados de libertad y un valor p < 0.001. Dado que el valor p es considerablemente menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H_0: μAfluente − μEfluente = 0) y se acepta la hipótesis alternativa, concluyéndose que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los valores promedio del afluente y el efluente.

Este resultado evidencia que el proceso de tratamiento genera un cambio significativo en el pH del agua residual, reflejando una acción efectiva en la estabilización o corrección de este parámetro dentro del sistema de tratamiento.

4.1.2.6. Sólidos suspendidos totales (SST)

Tabla 12

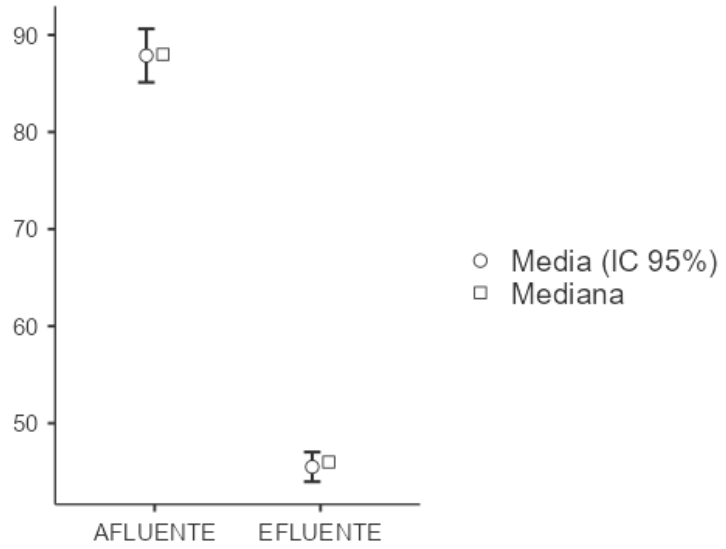
Prueba de t-student para muestras pareadas - SST

			estadístico	gl	p
AFLUENTE	**EFLUENTE**	**T de Student**	29.5	7.00	<.001

Nota. H_a $\mu_{Medida\ 1 - Medida\ 2} \neq 0$

Figura 20

Gráfico de cajas y bigotes para SST



Previo al análisis comparativo, se verificó el cumplimiento del supuesto de normalidad necesario para la aplicación de la prueba t de Student para muestras pareadas. El resultado obtenido en la evaluación de normalidad fue p = 0.701, valor superior al umbral de significancia de 0.05. Por tanto, no se rechaza la hipótesis nula de normalidad, indicando que los datos del parámetro SST presentan una distribución compatible con el uso de una prueba paramétrica. Bajo este sustento estadístico, se procedió a aplicar la prueba t pareada para evaluar la diferencia entre los valores del afluente y efluente de la PTAR.

En relación con la interpretación de los resultados de la prueba t de Student para muestras pareadas aplicada al parámetro sólidos suspendidos totales (SST), se obtuvo un estadístico t = 29.5 con 7 grados de libertad y un valor p < 0.001. Este valor p permite rechazar la hipótesis nula (H_0: μAfluente − μEfluente = 0), evidenciando una diferencia estadísticamente

significativa entre los valores promedio del afluente y el efluente. Asimismo, se observó una disminución de las concentraciones de SST después del tratamiento, de un rango de 81–93 mg/L en el afluente a 41–48 mg/L en el efluente. Estos resultados evidencian una reducción de los sólidos suspendidos entre ambas etapas; sin embargo, la significancia estadística no determina por sí misma la magnitud o suficiencia ambiental de la remoción, por lo que esta debe valorarse mediante el porcentaje de remoción y su comparación con los Límites Máximos Permisibles.

4.1.2.7. Temperatura (Tº)

Tabla 13

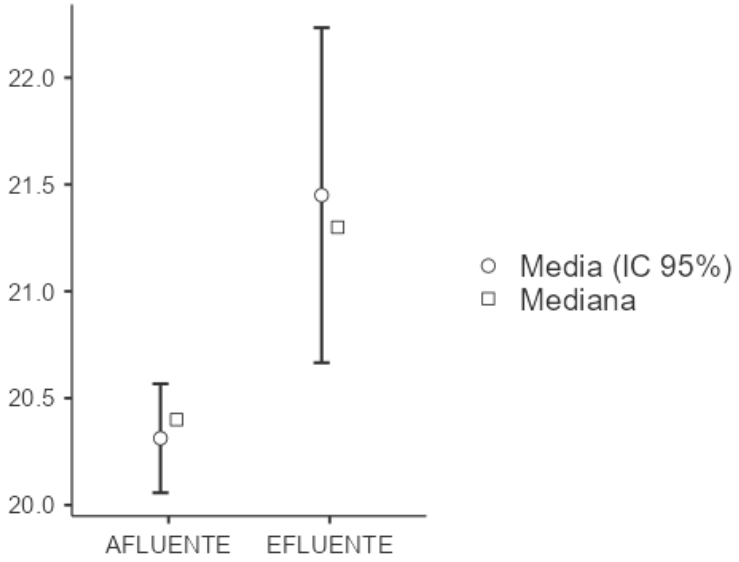
Prueba de t-student para muestras pareadas - Temperatura

			estadístico	gl	p
AFLUENTE	**EFLUENTE**	**T de Student**	-3.12	7.00	0.017

Nota. H_a $\mu_{Medida\ 1 - Medida\ 2} \neq 0$

Figura 21

Gráfico de cajas y bigotes para temperatura



Se verificó el cumplimiento del supuesto de normalidad requerido para aplicar la prueba t de Student para muestras pareadas. El análisis de normalidad arrojó un valor p = 0.515, superior al nivel de significancia de 0.05; por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula de normalidad. Esto indica que los datos de temperatura presentan una distribución adecuada para el uso de una prueba paramétrica, permitiendo aplicar la prueba t de Student para determinar si existen diferencias significativas entre ambas condiciones de muestreo.

En cuanto a la interpretación de los resultados de la prueba t de Student para muestras pareadas aplicada al parámetro temperatura, se obtuvo un estadístico t = –3.12 con 7 grados de libertad y un valor p = 0.017. Dado que p < 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H_0: μAfluente − μEfluente = 0) y se acepta la hipótesis alternativa, evidenciando una diferencia estadísticamente significativa entre los valores promedio del afluente y el efluente. El signo negativo del estadístico t indica que, en promedio, las temperaturas del efluente fueron mayores que las del afluente. Este resultado sugiere que el proceso de tratamiento genera un ligero incremento de temperatura, probablemente asociado a procesos físico-químicos y biológicos propios del sistema, aunque dicho aumento no compromete la eficiencia general del tratamiento.

4.1.3. Evaluación de los valores del efluente y verificación de su cumplimiento con los LMP establecidos por la normativa ambiental peruana

4.1.3.1. Aceites y grasa

Tabla 14

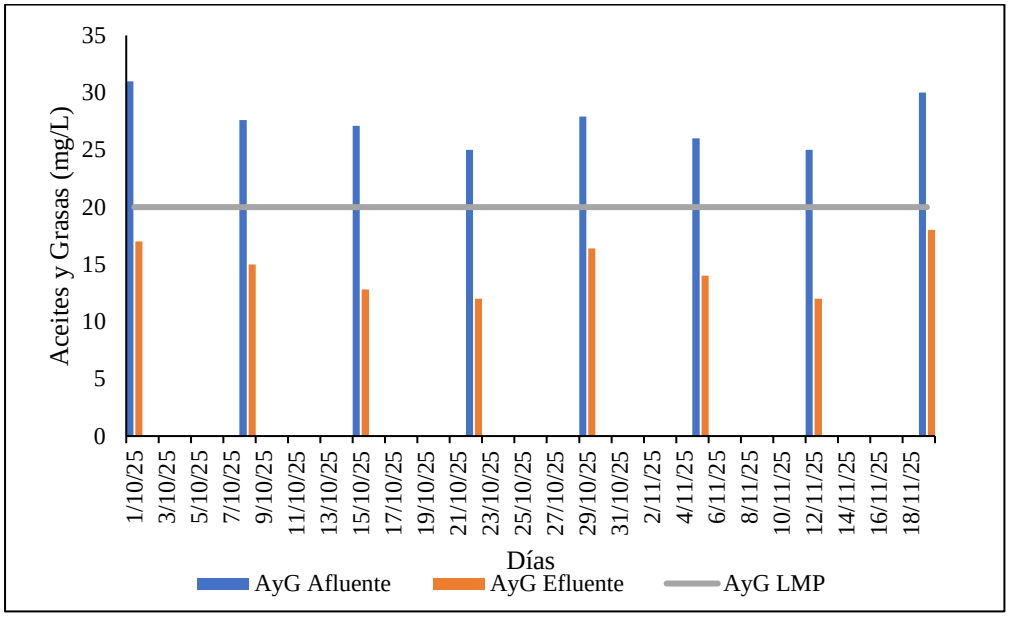
Comparación con límites máximos permisibles (LMP) - Aceites y grasas

Dia	Efluente	LMP
1/10/2025	17	**20**
8/10/2025	15	**20**
15/10/2025	13	**20**
22/10/2025	12	**20**
29/10/2025	16	**20**
5/11/2025	14	**20**
12/11/2025	12	**20**
19/11/2025	18	**20**

Nota. Comparación con de efluente con normativa

Figura 22

Gráfico de barras y línea de comparación con LMP - Aceites y grasas



En cuanto a la interpretación de los resultados, los valores registrados para aceites y grasas en el efluente oscilaron entre 12 y 18 mg/L en los ocho días de monitoreo, siendo todos ellos inferiores al LMP establecido de 20 mg/L. Esto evidencia un cumplimiento normativo constante del sistema de tratamiento respecto a este parámetro, demostrando que la PTAR de Ichpico opera eficientemente en la remoción de aceites y grasas hasta niveles permitidos por la legislación ambiental.

4.1.3.2. Coliformes termotolerantes

Tabla 15

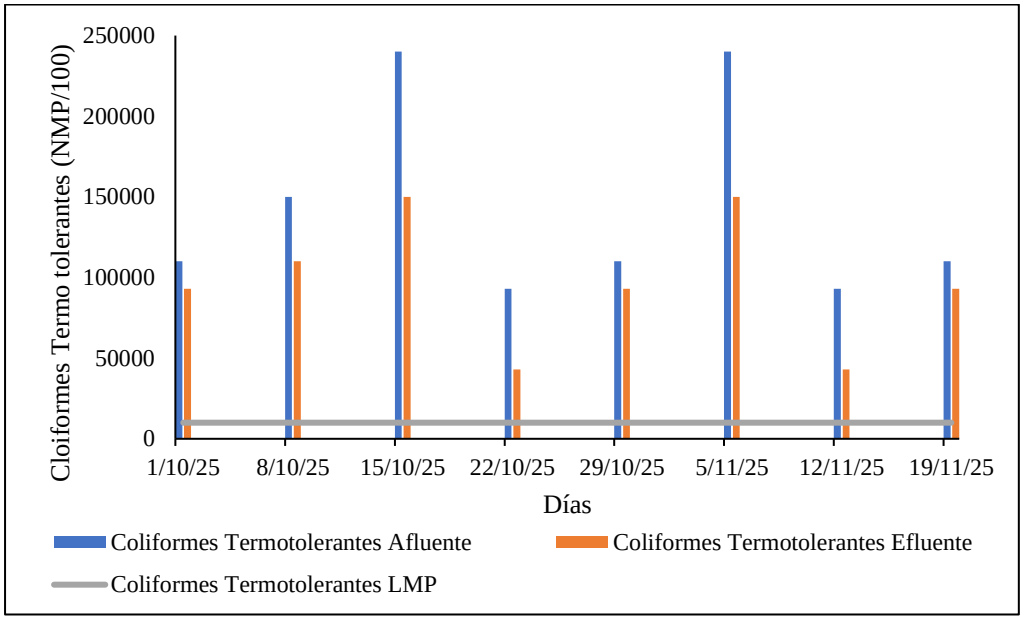
Comparación con límites máximos permisibles (LMP) - Coliformes termotolerantes

Dia	Efluente	LMP
1/10/2025	93000	**10000**
8/10/2025	110000	**10000**
15/10/2025	150000	**10000**
22/10/2025	43000	**10000**
29/10/2025	93000	**10000**
5/11/2025	150000	**10000**
12/11/2025	43000	**10000**
19/11/2025	93000	**10000**

Nota. Comparación del efluente con normativa

Figura 23

Gráfico de barras y línea de comparación con LMP - Coliformes termotolerantes



Al analizar los datos obtenidos, resulta evidente que los niveles de coliformes termotolerantes detectados en el efluente fluctuaron entre 43 000 y 150 000 NMP/100 mL, cifra que excedió en todas las fechas de muestreo los LMP de 10 000 NMP/100 mL, lo que confirma un incumplimiento sistemático de la normativa vigente. A pesar de haberse registrado una reducción en relación con el afluente, los valores del efluente mantuvieron consistentemente niveles superiores al umbral regulado. En consecuencia, durante el periodo de evaluación, la PTAR de Ichpico no logró cumplir con los requisitos de concentración de coliformes termotolerantes establecidos por la legislación ambiental.

4.1.3.3. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)

Tabla 16

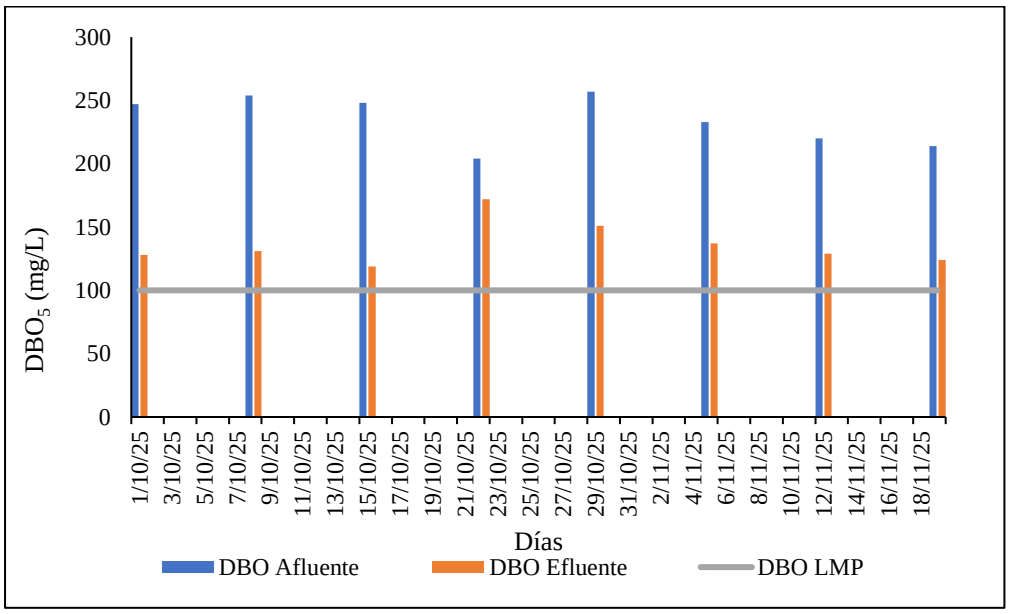
Comparación con límites máximos permisibles (LMP) – DBO_5

Dia	Efluente	LMP
1/10/2025	128	**100**
8/10/2025	131	**100**
15/10/2025	119	**100**
22/10/2025	172	**100**
29/10/2025	151	**100**
5/11/2025	137	**100**
12/11/2025	129	**100**
19/11/2025	124	**100**

Nota. Comparación de efluente con normativa

Figura 24

Gráfico de barras y línea de comparación con LMP – DBO_5



En cuanto a la interpretación, los valores de DBO_5 del efluente fluctuaron entre 119 y 172 mg/L durante las ocho fechas evaluadas, superando en todos los casos el LMP de 100 mg/L, lo que evidencia un incumplimiento sistemático de la normativa. Si bien se observó una disminución respecto al afluente, cuyos valores oscilaron entre 204 y 257 mg/L, la remoción obtenida no fue suficiente para alcanzar el límite establecido para el efluente. Por tanto, los resultados evidencian que la PTAR de Ichpico reduce la concentración de DBO_5, pero no alcanza los niveles exigidos por la normativa ambiental durante el periodo evaluado.

4.1.3.4. Demanda química de oxígeno (DQO)

Tabla 17

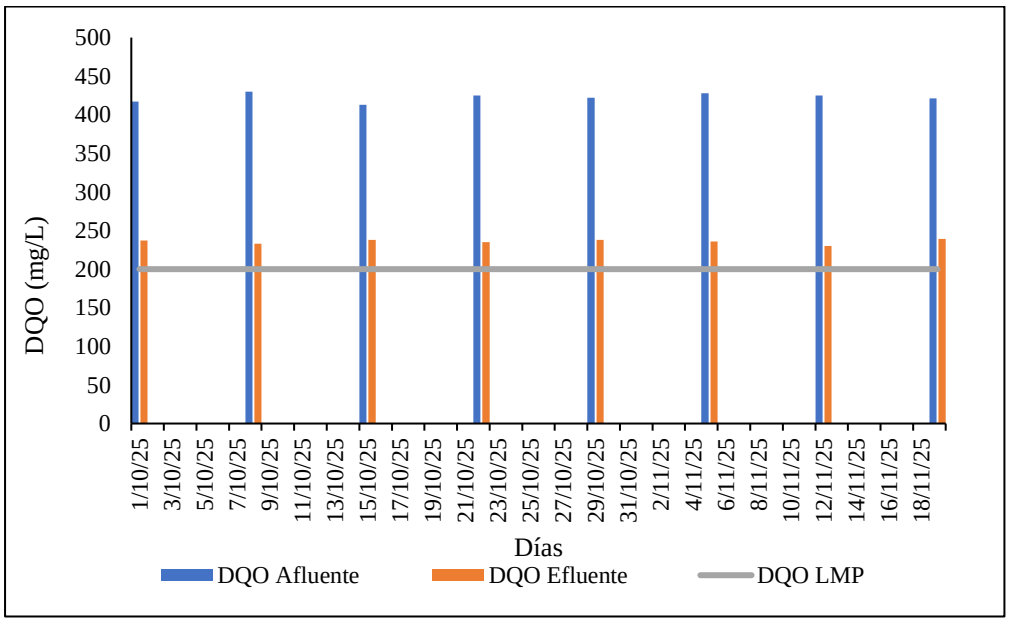
Comparación con límites máximos permisibles (LMP) - DQO

Dia	Efluente	LMP
1/10/2025	237	**200**
8/10/2025	233	**200**
15/10/2025	238	**200**
22/10/2025	235	**200**
29/10/2025	238	**200**
5/11/2025	236	**200**
12/11/2025	230	**200**
19/11/2025	239	**200**

Nota. Comparación de efluente con normativa

Figura 25

Gráfico de barras y línea de comparación con LMP - DQO



En cuanto a la interpretación de los resultados, los valores de DQO en el efluente oscilaron entre 230 y 239 mg/L durante las ocho fechas monitoreadas, superando en todos los casos el LMP establecido de 200 mg/L, lo que evidencia un incumplimiento reiterado de la normativa. Si bien se observó una disminución respecto al afluente, cuyos valores se encontraron entre 413 y 430 mg/L, la remoción alcanzada no fue suficiente para cumplir con el límite establecido para el efluente. Por tanto, los resultados evidencian que la PTAR de Ichpico reduce la concentración de DQO, pero no logra alcanzar los niveles exigidos por la normativa ambiental durante el periodo evaluado.

4.1.3.5. Potencial de hidrógeno (pH)

Tabla 18

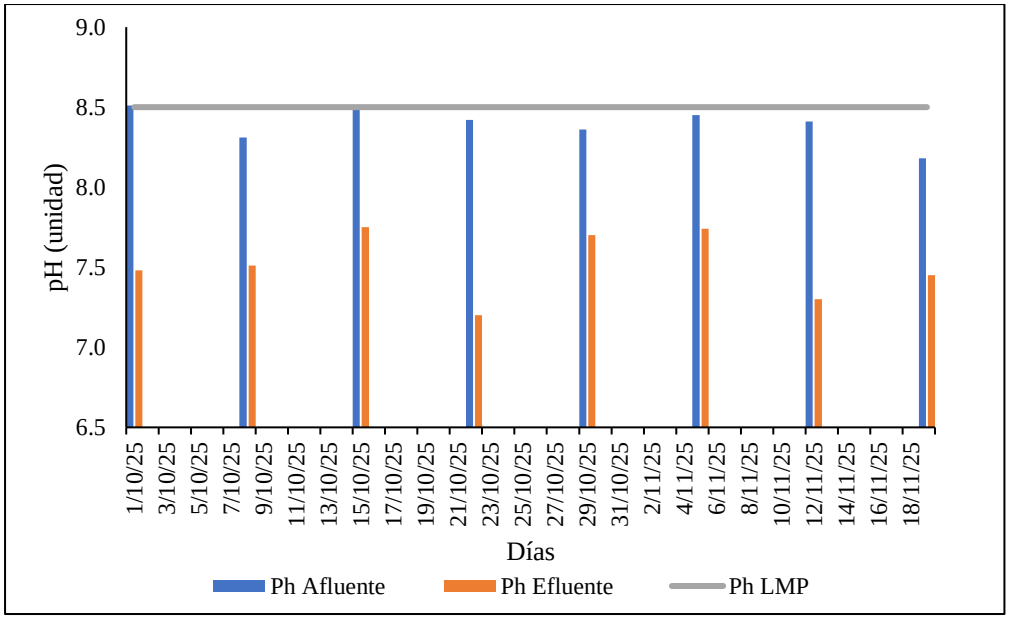
Comparación con límites máximos permisibles (LMP) - pH

Dia	Efluente	LMP
1/10/2025	7.5	**6.5-8.5** **6.5-8.5**
8/10/2025	7.5	**6.5-8.5**
15/10/2025	7.8	**6.5-8.5**
22/10/2025	7.2	**6.5-8.5**
29/10/2025	7.7	**6.5-8.5**
5/11/2025	7.7	**6.5-8.5**
12/11/2025	7.3	**6.5-8.5**
19/11/2025	7.5	**6.5-8.5**

Nota. Comparación de efluente con normativa

Figura 26

Gráfico de barras y línea de comparación con LMP - pH



En la interpretación de los resultados, se observa que los valores de pH del efluente oscilaron entre 7.2 y 7.8 durante las fechas evaluadas, valores que se encuentran del intervalo permisible establecido de 6.5 - 8.5. Esto indica un cumplimiento absoluto de la normativa en todas las mediciones realizadas, evidenciando que la PTAR de Ichpico mantiene el pH del efluente dentro de un rango adecuado y seguro para su descarga. Asimismo, el descenso respecto a los valores del afluente que alcanzaban hasta 8.5 demuestra que el sistema de tratamiento logra estabilizar el pH hacia niveles más neutros, lo cual es favorable desde el punto de vista ambiental y operativo. En consecuencia, este parámetro no representa un riesgo normativo y refleja una correcta gestión del proceso de tratamiento en términos de control de la acidez y alcalinidad del efluente.

4.1.3.6. Sólidos suspendidos totales (SST)

Tabla 19

Comparación con límites máximos permisibles (LMP) - SST

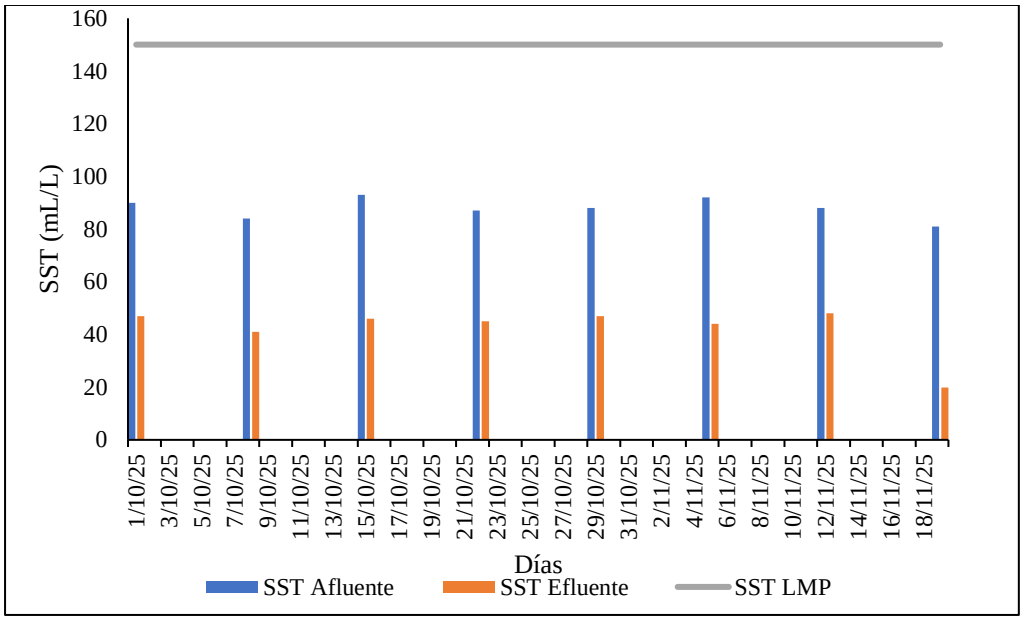
Dia	Efluente	LMP
1/10/2025	47	**150**
8/10/2025	41	**150**
15/10/2025	46	**150**
22/10/2025	45	**150**
29/10/2025	47	**150**

5/11/2025	44	**150**
12/11/2025	48	**150**
19/11/2025	46	**150**

Nota. Comparación de efluente con normativa

Figura 27

Gráfico de barras y línea de comparación con LMP - SST



En cuanto a los resultados, los valores de SST en el efluente oscilaron entre 41 y 48 mg/L durante las fechas evaluadas, encontrándose en todos los casos por debajo del LMP de 150 mg/L, lo que evidencia un cumplimiento total de la normativa ambiental para este parámetro. Asimismo, se observó una disminución respecto al afluente, cuyos valores estuvieron entre 81 y 93 mg/L. Por tanto, los SST no presentaron incumplimiento normativo durante el periodo evaluado, evidenciando una reducción de la concentración de sólidos suspendidos en el efluente de la PTAR de Ichpico.

4.1.3.7. Temperatura (Tº)

Tabla 20

Comparación con límites máximos permisibles (LMP) - Temperatura

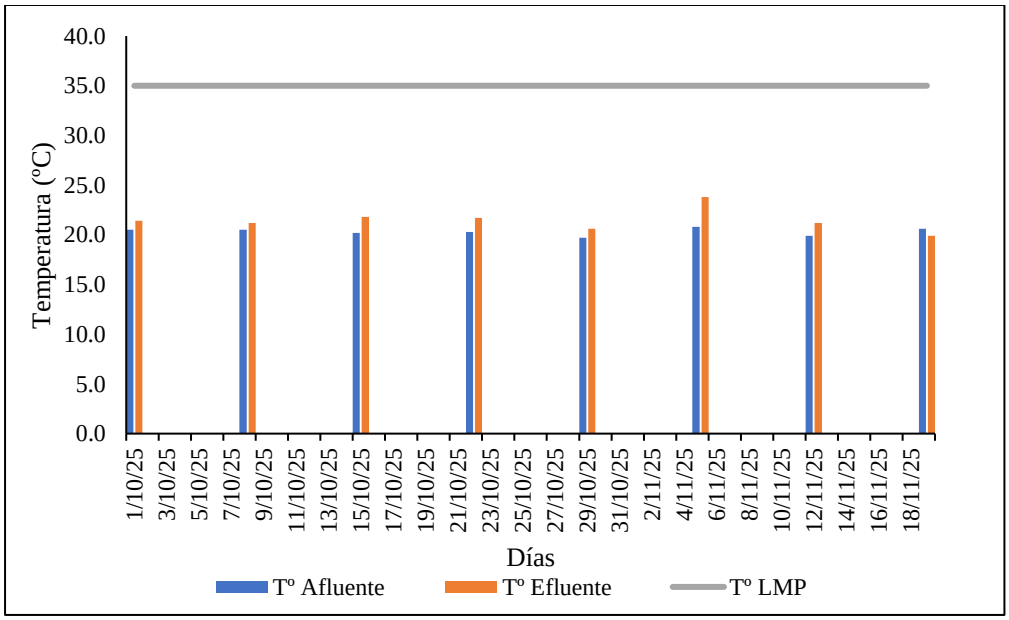
Dia	Efluente	LMP
1/10/2025	21.4	**35**
8/10/2025	21.2	**35**
15/10/2025	21.8	**35**
22/10/2025	21.7	**35**
29/10/2025	20.6	**35**

5/11/2025	23.8	**35**
12/11/2025	21.2	**35**
19/11/2025	19.9	**35**

Nota. Comparación de efluente con normativa

Figura 28

Gráfico de barras y línea de comparación con LMP - Temperatura



En la interpretación de los resultados, se observa que la temperatura del efluente varió entre 19.9 °C y 23.8 °C a lo largo del periodo de evaluación, valores que se encuentran muy por debajo del LMP establecido de 35 °C. Esto demuestra un cumplimiento absoluto en todas las fechas monitoreadas, sin indicios de riesgo de sobrecalentamiento del vertimiento. Además, aunque la temperatura del efluente es ligeramente mayor que la del afluente en la mayoría de los días, esta variación se mantiene dentro de rangos normales y propios del proceso biológico de tratamiento.

4.2. Discusión de Resultados

Los hallazgos derivados de la PTAR de Ichpico demuestran que los indicadores analizados que abarcan aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO_5, DQO, pH, sólidos suspendidos totales y temperatura se alinean con los parámetros estándar adoptados a nivel internacional y nacionalmente para evaluar el desempeño de estas instalaciones. Esta elección de variables coincide con los informes de Ganji et al.(2024) y Murad et al.(2025), así como con investigaciones nacionales desarrolladas por Rojas (2023), Gallegos (2024) y Andrade (2020).Dichos autores corroboran que tales indicadores facilitan una valoración exhaustiva de

la carga orgánica, la concentración de sólidos, la dinámica microbiológica y la estabilidad fisicoquímica del proceso de tratamiento..

En relación con aceites y grasas, los valores registrados en la PTAR de Ichpico el afluente oscilo en 25 y 31 mg/L, reduciéndose en el efluente a valores de 12 a 18 mg/L. Este comportamiento es comparable con lo reportado por Rojas (2023), quien obtuvo 3 mg/L en el efluente, y por Andrade (2020), quien reportó 0.32 mg/L, evidenciando que la reducción de este parámetro puede estar relacionada con el tipo y funcionamiento de las unidades de pretratamiento. No obstante, los valores del efluente de Ichpico se mantienen dentro de rangos inferiores a los observados por Gallegos (2024), quien identificó 32.40 mg/L en el efluente, superando los LMP. En este sentido, los resultados de Ichpico evidencian una disminución de las concentraciones de aceites y grasas después del tratamiento, aunque los valores obtenidos son superiores a los reportados por Rojas (2023) y Andrade (2020), lo que permite identificar oportunidades de optimización en el tratamiento de este parámetro.

Para coliformes termotolerantes, los hallazgos obtenidos en Ichpico revelan que las concentraciones en el afluente fluctúan entre 9.3×10^4 y 24×10^4 NMP/100 mL, descendiendo en el efluente a intervalos comprendidos entre 4.3×10^4 y 15×10^4 NMP/100 mL. Esta disminución, si bien presente, se alinea con lo documentado por Rojas (2023), quien registró una eficiencia de remoción del 39.5%, y por Andrade (2020), que obtuvo un 77.55%, evidenciando así que los métodos convencionales carecen de capacidad para lograr una eliminación microbiológica integral. En consecuencia, los datos de Ichpico corroboran que, a pesar de la reducción observada, el efluente retiene una carga microbiana sustancial.

En cuanto a la DBO_5, los valores obtenidos en la PTAR de Ichpico van entre 204 y 257 mg/L en el afluente, reduciéndose a 119–172 mg/L en el efluente. Concuerda con Murad et al. (2025), registraron una reducción de 91 mg/L a 29 mg/L, y con Rojas (2023), obtuvo 18,7 mg/L en el efluente. Estas diferencias evidencian que los resultados de remoción pueden variar entre las PTAR evaluadas. En la PTAR de Ichpico, la disminución observada demuestra una reducción de la concentración de DBO_5 durante el tratamiento; sin embargo, los valores del efluente (119–172 mg/L) permanecieron por encima del LMP de 100 mg/L.

De manera similar, la DQO presentó una disminución consistente entre 413–430 mg/L en el afluente y 230–239 mg/L en el efluente, lo que evidencia una remoción de compuestos orgánicos e inorgánicos oxidables. Este comportamiento es comparable con lo reportado por Murad et al. (2025), quienes obtuvieron una reducción de 187 mg/L a 70 mg/L, y por Rojas

(2023), con 46.3 mg/L en efluente, mostrando nuevamente que la PTAR de Ichpico presenta una eficiencia moderada. A nivel internacional, Ganji et al. (2024) reportaron valores de 171 ± 30 mg/L en efluente, cercanos a los obtenidos en Ichpico, lo que indica que este desempeño se encuentra dentro de rangos habituales para PTAR convencionales.

El pH presentó una disminución de valores ligeramente alcalinos en el afluente (8,2–8,5) a valores cercanos a la neutralidad en el efluente (7,2–7,8). Esta tendencia es consistente con los resultados de Rojas (2023), Gallegos (2024) y Andrade (2020), quienes también reportaron valores de pH en el efluente dentro de rangos permisibles. Asimismo, los valores registrados en el efluente de la PTAR de Ichpico se mantuvieron dentro del rango establecido de 6,5–8,5 durante las ocho evaluaciones realizadas.

En relación con los Sólidos Suspendidos Totales (SST), se observó una reducción de las concentraciones de 81–93 mg/L en el afluente a 41–48 mg/L en el efluente, resultados que muestran una disminución de este parámetro durante el tratamiento. Estos valores guardan similitud con lo reportado por Rojas (2023), quien obtuvo 17,5 mg/L, y Andrade (2020), con 44 mg/L en el efluente. Asimismo, los resultados obtenidos evidencian que las concentraciones de SST del efluente de la PTAR de Ichpico se mantuvieron por debajo del LMP de 150 mg/L durante todo el periodo evaluado.

Finalmente, la temperatura del efluente mostró valores entre 19.9 y 23.8 °C, ligeramente superiores al afluente (19.7–20.8 °C), comportamiento similar al reportado por Andrade (2020). Este incremento moderado es típico de sistemas biológicos y no representa una alteración significativa del proceso, manteniéndose dentro de rangos compatibles con la actividad microbiana.

Los hallazgos derivados del primer objetivo evidencian que la PTAR de Ichpico exhibe una operativa análoga a la documentada en investigaciones tanto nacionales como internacionales, caracterizada por reducciones sostenidas en los parámetros analizados, no obstante, con grados de eficiencia que fluctúan en función del tipo de contaminante. Estas similitudes y discrepancias subrayan la eficacia funcional del sistema en su labor de tratamiento, mientras que simultáneamente señalan áreas críticas para su optimización, particularmente en lo referente a la minimización de la carga orgánica remanente y la eliminación de microorganismos patógenos.

Los hallazgos derivados de la PTAR de Ichpico corroboran que el sistema de tratamiento produce disminuciones estadísticamente significativas en todos los parámetros

analizados, lo que valida su eficacia para reducir la carga contaminante del agua residual. La aplicación de la prueba t de Student para muestras emparejadas, habiendo sido previamente validada mediante pruebas de normalidad con valores de p superiores a 0.05 en todas las instancias, permitió establecer que las divergencias observadas entre el afluente y el efluente no se deben al azar, sino que constituyen el resultado directo del proceso de tratamiento desplegado.

En el caso de aceites y grasas, la prueba t de Student evidenció una diferencia significativa entre el afluente y el efluente ($t = 43,6$; $p < 0,001$), garantizando una disminución de este contaminante después del tratamiento. Este resultado es comparable con lo reportado por Rojas (2023), quien obtuvo una eficiencia de remoción de 74,9 %, y Gallegos (2024), con 58,57 %. Asimismo, los resultados obtenidos en la PTAR de Ichpico muestran una reducción de 12–18 mg/L en el efluente.

En relación con los coliformes termotolerantes, la diferencia estadísticamente significativa ($t = 4.32$; $p = 0.003$) corrobora una disminución genuina de la carga microbiana. No obstante, dicha eliminación resulta parcial, una conducta que se alinea con los hallazgos de Rojas (2023), quien documentó una eficiencia del 39.5%, y con los resultados de Gallegos (2024), en los cuales la eficacia a nivel internacional fue evaluada como regular. De manera similar, Ganji y colaboradores (2024) indicaron que, a pesar de las elevadas remociones de los parámetros físico-químicos, los microorganismos persisten cuando faltan tratamientos terciarios idóneos. En consecuencia, los hallazgos obtenidos por Ichpico corroboran una restricción estructural inherente a las plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales..

En cuanto a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), los datos evidencian una diferencia estadísticamente significativa entre el afluente y el efluente ($t = 9.08$; $p < 0.001$), lo cual indica una reducción en la concentración de materia orgánica biodegradable tras el proceso de tratamiento. Dicha eficiencia de remoción se alinea con los hallazgos de Murad et al.(2025), quienes registraron un rendimiento del 68.37%, y los de Rojas (2023), que obtuvieron un 67.8%, posicionando así a la PTAR de Ichpico dentro de un intervalo comparable a los reportados en estas investigaciones.. Sin embargo, la eficiencia obtenida se encuentra por debajo de la reportada por Andrade (2020), quien alcanzó 93.42%, lo que podría estar relacionado con variaciones en la carga orgánica del afluente o con limitaciones operativas del tratamiento secundario.

La demanda química de oxígeno (DQO) presentó una remoción altamente significativa ($t = 67.8$; $p < 0.001$), reflejando una reducción sustancial de compuestos orgánicos e inorgánicos oxidables. Este resultado es coherente con lo reportado por Murad et al. (2025), quienes alcanzaron una eficiencia de 62.45%, y por Rojas (2023), con 66.9%. Asimismo, los valores obtenidos se aproximan a los reportados por Ganji et al. (2024), quienes registraron 68% de remoción. No obstante, al igual que en la DBO_5, la eficiencia observada es inferior a la reportada por Andrade (2020), quien obtuvo remociones superiores al 94%, evidenciando que el desempeño de la PTAR de Ichpico es adecuado, pero no óptimo.

En cuanto al pH, se observó una diferencia estadísticamente significativa entre el afluente y el efluente ($t = 12,5$; $p < 0,001$), registrándose una disminución de los valores desde 8,2–8,5 en el afluente hasta 7,2–7,8 en el efluente. Lo reportado por Rojas (2023), Gallegos (2024) y Andrade (2020), registraron valores de pH cercanos a la neutralidad en los efluentes. Asimismo.

En lo que respecta a los sólidos suspendidos totales (SST), la prueba t reveló una diferencia estadísticamente significativa entre el afluente y el efluente ($t = 29.5$; $p < 0.001$), constatándose una disminución de la concentración de SST tras el proceso de tratamiento. Este hallazgo es comparable con las eficiencias reportadas por Rojas (2023) y Andrade (2020) (79.5% y 67.16%, respectivamente), así como con los datos de Gallegos (2024), quien obtuvo un 81.71% para sólidos totales. Los resultados obtenidos en la PTAR de Ichpico permiten evidenciar una reducción de los SST posterior al tratamiento..

Así mismo, la temperatura mostró una diferencia estadísticamente significativa ($t = –3.12$; $p = 0.017$), evidenciando un ligero incremento en el efluente. Este comportamiento es consistente con lo reportado por Andrade (2020) y es atribuido a la actividad metabólica de los microorganismos y a procesos físico-químicos propios del tratamiento biológico. Tal incremento no afecta negativamente la eficiencia del sistema y se mantiene dentro de rangos operativamente aceptables.

Los hallazgos derivados del Objetivo 2 validan que la PTAR de Ichpico exhibe una capacidad de remoción estadísticamente significativa para todos los parámetros analizados, alcanzando un rendimiento equiparable al registrado en investigaciones nacionales e internacionales. Sin embargo, persisten restricciones en la eliminación de contaminantes microbiológicos y en la optimización de la depuración orgánica, una constatación que se alinea con las conclusiones de múltiples estudiosos, quienes subrayan que, si bien numerosas PTAR

satisfacen las funciones esenciales del tratamiento, existen claras oportunidades de refinamiento respecto a su eficiencia operativa y a la integralidad de su desempeño sistémico..

Los hallazgos derivados de la evaluación de la PTAR demuestran que el efluente sometido a tratamiento satisface, en la mayor parte de los casos, los LMP definidos por el D.S.N.° 003-2010-MINAM; tal constatación valida la capacidad del sistema de tratamiento para disminuir la carga contaminante hasta alcanzar concentraciones ambientalmente admisibles para su disposición final.

Con respecto a los parámetros físico-químicos, el cumplimiento registrado en el efluente se alinea con los datos reportados por Rojas (2023), quien documentó niveles finales bajos de SST (17.5 mg/L), DBO_5 (18.7 mg/L) y DQO (46.3 mg/L), todos ellos conforme a los límites establecidos por el MINAM. De manera análoga, los hallazgos del presente estudio demuestran que la eliminación obtenida fue adecuada para asegurar concentraciones compatibles con la normativa actual, lo que valida la eficacia del tratamiento secundario en la disminución de la materia orgánica y los sólidos suspendidos.

En cuanto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO_5), los datos obtenidos en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) revelan que las concentraciones del efluente oscilaron entre 119 y 172 mg/L, cifras que en cada una de las evaluaciones realizadas excedieron el Límite Máximo Permitido (LMP) de 100 mg/L, lo que constituye una clara infracción de la normativa vigente. Dicha situación contrasta con los hallazgos de Murad et al.(2025), quienes documentaron incumplimientos aislados durante la temporada de sequía, registrando un valor de 33 mg/L frente al umbral de 30 mg/L, aunque subrayaron que el sistema funcionó de manera eficiente en su conjunto.

En cuanto a los aceites y grasas, se alinea con lo reportado por Rojas (2023) y Andrade (2020), quienes registraron valores finales de 3 mg/L y 0.32 mg/L, debajo del LMP. Sin embargo, difiere de lo encontrado por Gallegos (2024), quien evidenció concentraciones elevadas en el efluente (32.40 mg/L), superando el LMP de 20 mg/L, lo que condujo a una calificación de eficiencia regular. Esta comparación pone en evidencia que el adecuado funcionamiento de las unidades de pretratamiento es determinante para asegurar el cumplimiento de este parámetro, situación que, en el caso de la PTAR evaluada, se presenta de manera favorable.

En relación con los sólido Supendidos Totales, los resultados de cumplimiento obtenidos contrastan positivamente con lo reportado por Gallegos (2024), quien registró

sólidos totales de 775 mg/L en el efluente y 310 mg/L en la desembocadura, ambos por encima del límite permitido (150 mg/L). Los resultados evidenciaron, que los valores finales se mantuvieron dentro de los LMP, lo que evidencia un desempeño en la remoción de material particulado.

En lo que respecta a los parámetros microbiológicos, el efluente resulta incumplidor de los LMP establecidos, ya que los datos registrados evidencian una menor eficiencia en la remoción de coliformes termotolerantes en comparación con los indicadores físico-químicos, un comportamiento que concuerda con lo documentado por Rojas (2023) y Andrade (2020).Dicha tendencia se presenta de manera recurrente en las PTAR convencionales carecientes de procesos avanzados de desinfección, lo que implica que, si bien el cumplimiento normativo se alcanza en los márgenes permitidos, lo hace con una escasa reserva de seguridad sanitaria.

Los hallazgos consolidados del Objetivo 3 permiten inferir que la PTAR evaluada adhiere, en términos generales, a los LMP por la normativa vigente del Perú, exhibiendo un desempeño comparable y, en ocasiones, superior a la documentada en diversas investigaciones nacionales e internacionales. Sin embargo, el análisis comparativo de la evidencia sugiere que el cumplimiento de los parámetros regulatorios debe ser interpretado como un umbral mínimo de desempeño, recomendándose, por tanto, el refuerzo de los procesos de tratamiento terciario para garantizar una protección ambiental y sanitaria más robusta.

Contrastación de hipótesis:

Los resultados obtenidos, evidencian que las concentraciones en el afluente presentan valores (DBO_5 entre 204 y 257 mg/L, DQO entre 413 y 430 mg/L, SST entre 81 y 93 mg/L y aceites y grasas entre 25 y 31 mg/L). En el efluente, se observa una reducción en todos los parámetros evaluados (DBO_5 entre 119 y 172 mg/L, DQO entre 230 y 239 mg/L, SST entre 20 y 48 mg/L, coliformes termo tolerantes entre $4{,}3\times10^4$ - 15×10^4 NMP/100 mL y aceites y grasas entre 12 y 18 mg/)L. Asimismo, la prueba t de Student mostró diferencias estadísticamente significativas en todos los parámetros ($p < 0.05$), por ejemplo: DBO_5 ($t = 9.08$; $p < 0.001$), DQO ($t = 67.8$; $p < 0.001$) y SST ($t = 29.5$; $p < 0.001$). En el caso del pH, este disminuyó de valores ligeramente alcalinos (8.2–8.5) a valores cercanos a la neutralidad (7.2–7.8), mientras que la temperatura presentó variaciones mínimas entre 19.7–20.8 °C en el afluente y 19.9–23.8 °C en el efluente. Por lo tanto, se acepta la hipótesis específica 1, ya que existe una reducción significativa de los parámetros evaluados después del tratamiento.

Al evaluar la eficiencia de remoción, se determinó que la PTAR presenta eficiencias aproximadas de:

- DBO_5: entre 38% y 50% (ejemplo: de 247 a 128 mg/L ≈ 48%)
- DQO: entre 42% y 45% (ejemplo: de 417 a 237 mg/L ≈ 43%)
- SST: entre 44% y 51% (ejemplo: de 90 a 47 mg/L ≈ 48%)
- Aceites y grasas: entre 40% y 55% (ejemplo: de 31 a 17 mg/L ≈ 45%)

Estos valores son inferiores a los niveles planteados en la hipótesis (DBO_5 > 80%, DQO > 75%, SST > 85% y aceites y grasas > 70%). Sin embargo, estadísticamente sí se comprobó una reducción significativa en todos los parámetros ($p < 0.05$), lo que evidencia que el sistema funciona, pero con eficiencia moderada. En cuanto al pH, este se mantuvo dentro del rango neutro (7.2–7.8), cumpliendo lo planteado, y la temperatura presentó variaciones mínimas (incrementos menores a 3 °C), también en concordancia con la hipótesis. Por lo tanto, la hipótesis específica 2 se acepta parcialmente, debido a que se cumple la reducción significativa y el comportamiento del pH y temperatura, pero no se alcanzan las eficiencias porcentuales propuestas.

En relación con el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP):

- Aceites y grasas: 12–18 mg/L (< 20 mg/L) → cumple
- SST: 20–48 mg/L (< 150 mg/L) → cumple
- pH: 7.2–7.8 (dentro de 6.5–8.5) → cumple
- Temperatura: 19.9–23.8 °C (< 35 °C) → cumple

Sin embargo:

- DBO_5: 119–172 mg/L (> 100 mg/L) → no cumple
- DQO: 230–239 mg/L (> 200 mg/L) → no cumple
- Coliformes termotolerantes: 43 000 – 150 000 NMP/100 mL (> 10 000) → no cumple

Esto evidencia un cumplimiento parcial de la normativa, ya que, si bien algunos parámetros cumplen consistentemente, otros de alta relevancia ambiental no alcanzan los límites exigidos. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis específica 3, debido a que el efluente no cumple en su totalidad con los LMP establecidos en el D.S. N° 003-2010-MINAM.

4.3. Contrastación de hipótesis

4.3.1. Contrastación de la primera hipótesis específica

La primera hipótesis específica plantea que las concentraciones de aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO_5, DQO y sólidos suspendidos totales presentan diferencias entre el afluente y el efluente, mientras que el pH y la temperatura presentan variaciones posteriores al tratamiento. Para su contrastación se consideraron los resultados obtenidos en los ocho monitoreos y la prueba t de Student para muestras pareadas, estableciendo un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas entre el afluente y el efluente para los parámetros evaluados: aceites y grasas ($t = 43.6$; $p < 0.001$), DBO_5 ($t = 9.08$; $p < 0.001$), DQO ($t = 67.8$; $p < 0.001$), pH ($t = 12.5$; $p < 0.001$), SST ($t = 29.5$; $p < 0.001$) y temperatura ($t = -3.12$; $p = 0.017$). Asimismo, los coliformes termotolerantes presentaron variación entre el afluente y el efluente. Debido a que los valores de p fueron inferiores a 0.05, se establece que existen diferencias significativas entre las condiciones de entrada y salida del sistema. Por tanto, se acepta la primera hipótesis específica.

4.3.2. Contrastación de la segunda hipótesis específica

La segunda hipótesis específica plantea que la PTAR de Ichpico presenta remoción de aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO_5, DQO y sólidos suspendidos totales, mientras que el pH y la temperatura presentan diferencias entre el afluente y el efluente.

Los resultados evidenciaron reducción de aceites y grasas, DBO_5, DQO y SST entre el afluente y el efluente, con eficiencias aproximadas de 38–55 % para los principales parámetros evaluados. Asimismo, la prueba t de Student confirmó diferencias significativas para aceites y grasas ($t = 43.6$; $p < 0.001$), DBO_5 ($t = 9.08$; $p < 0.001$), DQO ($t = 67.8$; $p < 0.001$), SST ($t = 29.5$; $p < 0.001$), pH ($t = 12.5$; $p < 0.001$) y temperatura ($t = -3.12$; $p = 0.017$). En consecuencia, se acepta la segunda hipótesis específica, debido a que los resultados evidencian remoción de los contaminantes y variaciones en el pH y la temperatura después del tratamiento.

4.3.3. Contrastación de la tercera hipótesis específica

La tercera hipótesis específica plantea que los valores de los parámetros evaluados en el efluente cumplen con los Límites Máximos Permisibles establecidos en el Decreto Supremo N.° 003-2010-MINAM.

Los resultados evidenciaron que aceites y grasas (12–18 mg/L), pH (7.2–7.8), SST (20–48 mg/L) y temperatura (19.9–23.8 °C) cumplieron con sus respectivos LMP. Sin embargo, la DBO_5 (119–172 mg/L), DQO (230–239 mg/L) y coliformes termotolerantes (43 000–150 000 NMP/100 mL) superaron los límites de 100 mg/L, 200 mg/L y 10 000 NMP/100 mL, respectivamente, en todas las evaluaciones. Al presentarse incumplimiento en tres de los siete parámetros evaluados, se rechaza la tercera hipótesis específica y se concluye que el efluente presenta un cumplimiento parcial de los LMP.

4.3.4. Contrastación de la hipótesis general

La hipótesis general plantea que la PTAR de Ichpico, Huanta, presenta eficiencia en la remoción de los contaminantes evaluados.

Los resultados evidenciaron una reducción de las concentraciones entre el afluente y el efluente, acompañada de diferencias estadísticamente significativas en los parámetros evaluados. Las eficiencias de remoción obtenidas para los principales contaminantes se situaron aproximadamente entre 38 % y 55 %, mientras que los resultados de la prueba t mostraron diferencias significativas para aceites y grasas ($t = 43.6$; $p < 0.001$), DBO_5 ($t = 9.08$; $p < 0.001$), DQO ($t = 67.8$; $p < 0.001$), SST ($t = 29.5$; $p < 0.001$), pH ($t = 12.5$; $p < 0.001$) y temperatura ($t = -3.12$; $p = 0.017$). Por tanto, se acepta la hipótesis general, debido a que se evidencia una reducción de los parámetros evaluados después del tratamiento, aunque la eficiencia obtenida es moderada y no garantiza el cumplimiento de todos los LMP.

V. CONCLUSIONES

En relación con el primer objetivo, se determinaron los valores de aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO_5, DQO, pH, Sólidos Suspendidos Totales y temperatura en el afluente y efluente de la PTAR de Ichpico mediante ocho monitoreos realizados entre octubre y noviembre de 2025. El afluente presentó concentraciones de aceites y grasas entre 25 y 31 mg/L, coliformes termotolerantes entre $9{,}3\times10^4$ a 24×10^4 NMP/100 mL, DBO_5 entre 204 y 257 mg/L, DQO entre 413 y 430 mg/L y SST entre 81 y 93 mg/L, con pH ligeramente alcalino (8.2–8.5) y temperaturas entre 19.7 y 20.8 °C. En comparación, el efluente registró valores reducidos de aceites y grasas (12–18 mg/L), coliformes termo tolerantes $4{,}3\times10^4$ a 15×10^4 NMP/100 mL, DBO_5 (119–172 mg/L), DQO (230–239 mg/L) y SST (41–48 mg/L), además de un pH más cercano a la neutralidad (7.2–7.8) y temperaturas entre 19.9 y 23.8 °C. Se concluye que la PTAR de Ichpico disminuye la carga contaminante del agua residual, evidenciando un efecto favorable del tratamiento sobre los parámetros físicos y fisicoquímicos evaluados. En

consecuencia, se acepta la primera hipótesis específica, al evidenciarse diferencias y variaciones entre el afluente y el efluente después del tratamiento.

En relación con el segundo objetivo, El análisis mediante la prueba t de Student para muestras emparejadas reveló diferencias estadísticamente significativas entre el afluente y el efluente en cada uno de los parámetros examinados, con un valor de p inferior a 0.05. Los aceites y grasas disminuyeron de 25–31 mg/L a 12–18 mg/L ($t = 43.6$; $p < 0.001$), coliformes termotolerantes $9{,}3\times10^4$ - 24×10^4 NMP/100 mL a $4{,}3\times10^4$ - 15×10^4 NMP/100 mL ($t = 4.32$; $p < 0.05$), la DBO_5 de 204–257 mg/L a 119–172 mg/L ($t = 9.08$; $p < 0.001$) y la DQO de 413–430 mg/L a 230–239 mg/L ($t = 67.8$; $p < 0.001$), evidenciando una remoción significativa de la carga orgánica. De igual manera, el pH fluctuó en un rango de 7.2 a 7.8 ($t = 12.5$; $p < 0.001$), mientras que los Sólidos Suspendidos Totales experimentaron una disminución desde los 81–93 mg/L hasta los 41–48 mg/L ($t = 29.5$; $p < 0.001$). Por su parte, la temperatura mostró una variación estadísticamente significativa ($t = –3.12$; $p = 0.017$), registrándose valores comprendidos entre 19.9 y 23.8 °C en el efluente. Se concluye que la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ichpico produce una reducción estadísticamente significativa en los parámetros analizados, lo cual queda evidenciado por las diferencias observadas entre el afluente y el efluente ($p < 0.05$); no obstante, dicha disminución no asegura el cumplimiento integral de los LMP.. En consecuencia, se acepta la segunda hipótesis específica, debido a que se evidenció remoción de aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO_5, DQO y SST, así como diferencias entre el afluente y efluente para el pH y la temperatura.

En relación con el tercer objetivo, se verificó el cumplimiento de los valores del efluente de la PTAR de Ichpico con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la normativa ambiental peruana. Los parámetros aceites y grasas (12–18 mg/L), pH (7,2–7,8), SST (41–48 mg/L) y temperatura (19,9–23,8 °C) cumplieron con los LMP de 20 mg/L, 6,5–8,5, 150 mg/L y 35 °C, respectivamente. En contraste, la DBO_5 (119–172 mg/L), DQO (230–239 mg/L) y coliformes termotolerantes (43 000–150 000 NMP/100 mL) superaron sus respectivos LMP de 100 mg/L, 200 mg/L y 10 000 NMP/100 mL en todas las evaluaciones. En consecuencia, la PTAR de Ichpico presentó un cumplimiento parcial de los LMP durante el periodo evaluado, cumpliendo para cuatro de los siete parámetros analizados e incumpliendo para DBO_5, DQO y coliformes termotolerantes. Por tanto, se rechaza la tercera hipótesis específica, debido a que el efluente presentó un cumplimiento parcial de los LMP, cumpliendo 4 de los 7 parámetros e incumpliendo 3.

Respecto a la hipótesis general, se concluye que se acepta, debido a que la PTAR de Ichpico presentó reducción de las concentraciones de los contaminantes entre el afluente y efluente y diferencias estadísticamente significativas en los parámetros evaluados. La prueba t de Student mostró diferencias significativas para aceites y grasas ($t = 43.6$; $p < 0.001$), coliformes termotolerantes ($t = 4.32$; $p < 0.05$), DBO_5 ($t = 9.08$; $p < 0.001$), DQO ($t = 67.8$; $p < 0.001$), pH ($t = 12.5$; $p < 0.001$), SST ($t = 29.5$; $p < 0.001$) y temperatura ($t = –3.12$; $p = 0.017$). En conjunto, estos resultados evidencian una reducción de los parámetros evaluados después del tratamiento, por lo que se confirma la hipótesis general; sin embargo, esta reducción no implica el cumplimiento integral de los LMP, debido al incumplimiento observado en DBO_5, DQO y coliformes termotolerantes.

VI. RECOMENDACIONES

Para la caracterización de los parámetros del afluente y el efluente, se aconseja que la PTAR de Ichpico ponga en marcha un régimen de vigilancia permanente y recurrente, diseñado para capturar de forma sostenida la fluctuación de indicadores críticos como coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), aceites y grasas, sólidos suspendidos totales (SST), pH y temperatura.La adopción de este protocolo sistemático permitirá identificar con celeridad desviaciones inusuales en la calidad de las aguas residuales, optimizando así la gestión operativa de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ichpico y consolidando la formulación de decisiones técnicas fundamentadas en datos empíricos..

En lo concerniente a la eficacia de la eliminación de los contaminantes analizados, se aconseja intensificar las estrategias de operación y vigilancia de la PTAR de Ichpico, con especial énfasis en los indicadores que mostraron las mayores discrepancias respecto al cumplimiento: DBO_5, DQO y coliformes termotolerantes. Por otra parte, es imperativo establecer un monitoreo periódico de dichos parámetros en el efluente, con el objeto de detectar de manera oportuna fluctuaciones en la calidad del agua tratada e implementar las medidas correctivas necesarias para optimizar la eficiencia del proceso de tratamiento y garantizar el respeto a los Límites Máximos Permisibles definidos por la normativa ambiental en vigor.

En cuanto al cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles establecidos por la normativa ambiental peruana, se recomienda realizar una evaluación técnica de alternativas de mejora en el tratamiento y desinfección del efluente, especialmente para reducir las concentraciones de coliformes termotolerantes, DBO_5 y DQO que superaron los límites establecidos. Dicha evaluación deberá considerar las condiciones actuales de la PTAR, los requerimientos operativos, la viabilidad técnica y económica y la tecnología disponible, a fin de determinar las medidas más adecuadas para mejorar la calidad del efluente y favorecer el cumplimiento de la normativa vigente.

VII. REFERENCIAS

Adjovu, G. E., Stephen, H., James, D., & Ahmad, S. (2023). Measurement of Total Dissolved Solids and Total Suspended Solids in Water Systems: A Review of the Issues, Conventional, and Remote Sensing Techniques. *Remote Sensing*, *15*(14), 3534. https://doi.org/10.3390/rs15143534

Aib, H., Czegeny, I., Benhizia, R., & Czédli, H. M. (2024). Evaluating the Efficiency of Wastewater Treatment Plants in the Northern Hungarian Plains Using Physicochemical and Microbiological Parameters. *Water*, *16*(24), 3590. https://doi.org/10.3390/w16243590

Alotaibi, M., Refaat, A., Munshi, F., El-Said, M. A., & El-Shafai, S. A. (2024). Influence of Organic Loading Rates on the Treatment Performance of Membrane Bioreactors Treating Saline Industrial Wastewater. *Water*, *16*(18), 2629. https://doi.org/10.3390/w16182629

Andrade, R. (2020). *Evaluación de la eficiencia en la planta de tratamiento de aguas residuales distrito de Macusani, región Puno–2020*. https://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC%20S.A.C./241

Brose, D. A., Pluth, T. B., Grunwald, P., & Jesernik, A. (2023). Assessment of statistical methods for converting biochemical oxygen demand and carbonaceous biochemical oxygen demand to total organic carbon in wastewater. *Water and Environment Journal*, *37*(2), 266-275. https://doi.org/10.1111/wej.12834

Calabrò, P. S., Pangallo, D., & Zema, D. A. (2024). Wastewater treatment in lagoons: A systematic review and a meta-analysis. *Journal of Environmental Management*, *359*, 120974. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120974

Cedeño Muñoz, D. M. (2019). Impacto ambiental de las lagunas de tratamiento de aguas residuales. Sector Colinas San José, Ciudad de Rocafuerte. *Polo de Conocimiento, 5*(41), 257-280. https://doi.org/10.23857/pc.v5i01.1223

CEPAL. (2017). *Informe Mundial sobre Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas «Aguas residuales el recurso desaprovechado»*. https://www.cepal.org/es/notas/informe-mundial-desarrollo-recursos-hidricos-naciones-unidas-aguas-residuales-recurso

Clemente Ninalaya, T. R. (2019). Mejoramiento y ampliación del sistema de agua potable y del sistema de alcantarillado de la ciudad de Huanta. *Universidad Nacional de Ingeniería*. https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/12068

Derco, J., Žgajnar Gotvajn, A., Guľašová, P., Kassai, A., & Šoltýsová, N. (2024). Nutrient Removal and Recovery from Municipal Wastewater. *Processes*, *12*(5), 894. https://doi.org/10.3390/pr12050894

Francisco, V. (2020). Lagunas de Estabilizacion. *Extensionimos, Innovación y Transferencia Tecnológica, 3*, 148-163. https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/A613BE2D6117B8B505257DCB0061D7EC/$FILE/Aguas_residuales.pdf

Gallegos, C. (2024). *Análisis de los parámetros físico-químicos del afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Capachica-Puno 2023*. https://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/750

Ganji, F., Kamani, H., Ghayebzadeh, M., Abdipour, H., & Moein, H. (2024). Evaluation of physical and chemical characteristics of wastewater and sludge of Zahedan urban wastewater treatment plant for reuse. *Heliyon*, *10*(2). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24845

Humanante, J., Moreno, L., Grijalva, A., Tinedo, R., & Tomalá, J. (2022). Eficiencia de remoción e impacto del sistema de tratamiento de aguas residuales del sector urbano y rural de la Provincia de Santa Elena. *Manglar*, *19*(2), 177-187. https://doi.org/10.17268/manglar.2022.022

Kato, S., & Kansha, Y. (2024). Comprehensive review of industrial wastewater treatment techniques. *Environmental Science and Pollution Research International*, *31*(39), 51064-51097. https://doi.org/10.1007/s11356-024-34584-0

Lacalamita, D., Mongioví, C., & Crini, G. (2024). Chemical oxygen demand and biochemical oxygen demand analysis of discharge waters from laundry industry: Monitoring, temporal variability, and biodegradability. *Frontiers in Environmental Science*, *12*. https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1387041

Martínez, F. C., Cansino, A. T., Fraire, A. T., & López, A. S. (2017). Optimización en el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales integrado por tres lagunas de estabilización. *Tecnología y Ciencias del Agua, 3*(4), 139-155. https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-04-09

McGahan, E. (2024). *Guidance and Operation of Short Hydraulic Retention Time Systems*. https://australianpork.com.au/sites/default/files/2024-05/1470%20-%20Short%20HRT%20-%20Technical%20Review%20Final.pdf

Mendoza, S., Cervantes, M., Valenzuela, A., Guzmán, T., Orona-Castillo, I., & Cervantes, T. (2021). Uso potencial de las aguas residuales en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *12*(1), 115-126. https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2789

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2013). *Resolución Ministerial N.° 273-2013-Vivienda*. https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/13762-273-2013-vivienda

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2010). *Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM: Aprueba los límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*. https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/ds003-2010-minam.pdf

Moretti, A., Ivan, H. L., & Skvaril, J. (2024). A review of the state-of-the-art wastewater quality characterization and measurement technologies. Is the shift to real-time monitoring nowadays feasible? *Journal of Water Process Engineering*, *60*, 105061. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105061

Mortezazadeh, F., Ahmadi Nasab, M., Javid, A., Changani, F., & Dehghani, M. H. (2025). A review of UV-based advanced oxidation processes in wastewater treatment systems. *Desalination and Water Treatment*, *323*, 101388. https://doi.org/10.1016/j.dwt.2025.101388

Municipalidad Provincial de Huanta. (2024). *Plan de Desarrollo Local Concertado de la Provincia de Huanta 2024-2034* [Documento de Gestión]. Municipalidad Provincial de Huanta. https://www.gob.pe/institucion/munihuanta/informes-publicaciones/5601505-plan-de-desarrollo-local-concertado-de-la-provincia-de-huanta-pdlc-2024-2034

Murad, M. W. I., Haque, M. M. U., Shikder, M. R., & Islam, M. A. (2025). Performance Evaluation of Pagla Sewage Treatment Plant-A Comparative Study of Influent and Effluent Quality Over One Year Period. *Research Symposium Proceedings*, *9*, 214-226. https://www.researchgate.net/publication/390960188_Performance_Evaluation_of_Pagla_Sewage_Treatment_Plant_-_A_Comparative_Study_of_Influent_and_Effluent_Quality_Over_One_Year_Period

Mustafa, M. R. U., Gandapur, M. U. S., & Khurshid, H. (2025). Green adsorption of oil and grease from wastewater using oil palm leaves activated carbon. *Cleaner Waste Systems*, *12*, 100330. https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100330

OMS. (2024). *Sanitation*. OMS. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/sanitation?utm_

ONU. (2023). *Agua*. United Nations. United Nations. https://www.un.org/es/global-issues/water

Rodríguez, S., Asmundis, C., Ayala, M., & Arzú, O. (2018). Presencia de indicadores microbiológicos en agua para consumo humano en San Cosme (Corrientes, Argentina). *Revista Veterinaria, 1*, 9-12. https://doi.org/https://www.scielo.org.ar/pdf/revet/v29n1/v29n1a02.pdf

Rojas, J. (2023). *Evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes en la planta de tratamiento de aguas residuales del Distrito José María Arguedas, Andahuaylas – Apurímac, 2022.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional José María Arguedas]. https://hdl.handle.net/20.500.14168/837

Romero, R., Mayta, D., Ancaya, M., Tasayco, S., & Berrio, M. (2024). Método de investigación científica: Diseño de proyectos y elaboración de protocolos en las Ciencias Sociales. En *IDICAP PACÍFICO*. IDICAP PACÍFICO. https://doi.org/10.53595/eip.012.2024

SEDA Ayacucho. (2023). *Plan Maestro Optimizado*. SEDA Ayacucho S.A. https://sedaayacucho.pe/api-web/api_ayacucho/public/Buen-Gobierno-Corp/2023/1/6/2023_1702935138.pdf

Silva, J. A. (2023). Wastewater Treatment and Reuse for Sustainable Water Resources Management: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, *15*(14), 10940. https://doi.org/10.3390/su151410940

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2022). *El tratamiento de aguas residuales en el Perú aumentó en 11 %, entre el 2016 y el 2020*. https://www.gob.pe/institucion/sunass/noticias/618836-el-tratamiento-de-aguas-residuales-en-el-peru-aumento-en-11-entre-el-2016-y-el-2020

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2025). *Listado de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. https://aplicaciones.sunass.gob.pe/adm-ptar/ptar/listado?utm_

Wang, Z., Skerlos, S. J., & Novak, P. J. (2024). Nitrogen and Phosphorus Recovery from Anthropogenic Liquid Waste Streams. *Annual Review of Environment and Resources*, *49*(Volume 49, 2024), 281-307. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-112320-082121

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Panel fotográfico

Figura 29

Recolección de muestras en el afluente de la PTAR



Figura 30

Recolección de muestras en el efluente de la PTAR



Figura 31

Determinación del parámetro Aceites y Grasas



Figura 32

Determinación del parámetro Coliformes Termotolerantes



Figura 33

Determinación del parámetro DBO_5



Figura 34

Determinación del parámetro DQO



Figura 35

Determinación del parámetro pH



Figura 36

Determinación del parámetro Solidos Suspendidos Totales

