

# UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**TESIS**

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE ATUNCOLLA - PUNO, 2025**

**PRESENTADA POR:**

**LIZBETH MADELEYNE VILCA VARGAS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PUNO - PERÚ**

**2025**



Repositorio Institucional ALCIRA by [Universidad Privada San Carlos](http://www.upsc.edu.pe) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



# 10.88%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 5 SEP 2025, 8:31 PM

## Similarity report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL  
1.61%

● CHANGED TEXT  
9.27%

## Report #28367321

LIZBETH MADELEYNE VILCA VARGAS // EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE ATUNCOLLA - PUNO, 2025 RESUMEN La investigación tuvo como objetivo determinar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Atuncolla, año 2025. Con la toma de 02 muestras (para el afluente y efluente) se realizaron los análisis respectivos obteniendo los siguientes resultados: En relación a la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos: 97% en coliformes termotolerantes y coliformes totales, 78% en DBO<sub>5</sub> y DQO, y 75% en sólidos suspendidos totales. Asimismo, se logró un 49% en sólidos disueltos totales y conductividad, mientras que los aceites y grasas mostraron una eficiencia menor (29%). Así mismo todos los parámetros evaluados se encuentran dentro de los LMP establecidos en el D.S. N° 003-2010-MINAM: el pH (7.85) cumple con el rango permitido (6.5 – 8.5), la temperatura (14.2 °C) está muy por debajo del límite (35 °C), los sólidos suspendidos totales (30 mg/L) no superan el límite de 150 mg/L, los aceites y grasas (1.5 mg/L) cumplen con el máximo de 20 mg/L, la DBO<sub>5</sub> (36 mg/L) está por debajo de 100 mg/L, la DQO (90 mg/L) por debajo de 200 mg/L y los coliformes termotolerantes (550 NMP/100 ml) cumplen con el límite de 10000, por tanto, el efluente de la PTAR de Atuncolla sí cumple con los estándares nacionales vigentes para su descarga. En conclusión la

**UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**  
**TESIS**

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE ATUNCOLLA - PUNO, 2025**

**PRESENTADA POR:**

**LIZBETH MADELEYNE VILCA VARGAS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:



Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

PRIMER MIEMBRO

:



Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

SEGUNDO MIEMBRO

:



Dra. MARLENE CUSI MONTESINOS

ASESOR DE TESIS

:



M.Sc. FREDY APARICIO CASTILLO SUAQUITA

Área de Ingeniería, Tecnología.

Sub Área de Ingeniería Ambiental.

Línea de Investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 12 de setiembre del 2025.

## DEDICATORIA

### A DIOS

Por brindarme un día más de vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional, por permitirme tener a lado a personas que fueron el soporte durante este proceso.

### A MI FAMILIA

A mis padres por creer y confiar en mí, por brindarme su cariño y apoyo incondicional durante mi formación profesional.

A mi hija Luana por ser mi motivación para seguir adelante, a mis hermanos por mostrarme lo bueno que es tener hermanos y siempre estar a mi lado en todo momento.

A mi abuelo Enrique que me guía desde el cielo en cada paso que doy, por el inmenso amor que siempre me brinda para seguir adelante y ser un profesional de bien.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Privada San Carlos, por brindarme una sólida formación académica y profesional, que ha sido fundamental para mi crecimiento personal y para contribuir al desarrollo sostenible de mi región.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por acogerme durante estos años de formación, por facilitarme las herramientas científicas, técnicas y humanas necesarias para desenvolverme como profesional comprometida con el cuidado del medio ambiente.

A los distinguidos miembros del jurado calificador:

- Mg. Julio Wilfredo Cano Ojeda,
- Dr. Esteban Isidro León Apaza,
- Dra. Marlene Cusi Montesinos,

por haber sido parte fundamental de esta investigación, aportando con su experiencia, conocimiento y valiosas observaciones que enriquecieron este trabajo académico.

Al M.Sc. Fredy Aparicio Castillo Suaquita, mi asesor de tesis, por su constante apoyo, paciencia y guía durante cada etapa de este proceso investigativo. Su acompañamiento y orientación fueron esenciales para la culminación exitosa de esta tesis.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>13</b>
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	15
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	15
<b>1.2. ANTECEDENTES</b>	<b>15</b>
1.2.1. INTERNACIONALES.	15
1.2.2. NACIONALES.	16
1.2.3. LOCALES	18
<b>1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>20</b>
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	20
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

<b>2.1. MARCO TEÓRICO</b>	<b>22</b>
2.1.1. AGUAS RESIDUALES.	22

2.1.2. TIPOS DE AGUAS RESIDUALES.	23
2.1.3. COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.	23
2.1.4. LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	25
2.1.5. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO).	27
2.1.6. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO 5 (DBO5).	28
2.1.7. EFICIENCIA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO.	28
<b>2.2. MARCO CONCEPTUAL</b>	<b>28</b>
<b>2.3. MARCO NORMATIVO</b>	<b>31</b>
<b>2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>32</b>
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	32
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	32
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>	
<b>3.1. ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>33</b>
<b>3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.</b>	<b>34</b>
3.2.1. POBLACIÓN.	34
3.2.2. MUESTRA.	34
<b>3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>35</b>
3.3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.	35
3.3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.	35
3.3.3. MÉTODO.	35
<b>3.3. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVO ESPECÍFICOS</b>	<b>36</b>
3.3.1. PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO ESPECÍFICO 1.	36
3.3.2. PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO ESPECÍFICO 2	36
<b>3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES</b>	<b>38</b>
<b>3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO</b>	<b>39</b>

## CAPÍTULO IV

### EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

<b>4.1. DETERMINACIÓN DE LA REMOCIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DISTRITO DE ATUNCOLLA, AÑO 2025</b>	<b>40</b>
<b>4.2. DETERMINACIÓN SI LOS RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE ATUNCOLLA CUMPLEN CON LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (LMP) ESTABLECIDOS EN EL D.S. N.º 003-2010-MINAM.</b>	<b>42</b>
<b>4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>48</b>
<b>4.4. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS</b>	<b>50</b>
4.4.1. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS GENERAL.	50
4.4.2. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1.	50
4.4.3. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2.	51
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>52</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>54</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>55</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>58</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 01:</b> Operacionalización de variables.	38
<b>Tabla 02:</b> Remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 01:</b> Ubicación de la zona de estudio: Distrito de Atuncolla.	34
<b>Figura 02:</b> Ubicación de los 02 puntos de muestreo en la PTAR.	35
<b>Figura 03:</b> Cumplimiento de los LMP establecidos en el D.S. 003-2010-MINAM para los coliformes termotolerantes,	42
<b>Figura 04:</b> Cumplimiento de los LMP establecidos en el D.S. 003-2010-MINAM para los aceites y grasas. El LMP es 20 y el valor obtenido es 1.5 mg/L	43
<b>Figura 05:</b> Cumplimiento de los LMP establecidos en el D.S. 003-2010-MINAM para el pH.	44
<b>Figura 06:</b> Cumplimiento de los LMP establecidos en el D.S. 003-2010-MINAM para la demanda bioquímica de Oxígeno.	45
<b>Figura 07:</b> Cumplimiento de los LMP establecidos en el D.S. 003-2010-MINAM para los sólidos totales en suspensión. el LMP es de 150 y el valor es 30 mg/L	47
<b>Figura 08:</b> Cumplimiento de los LMP establecidos en el D.S. 003-2010-MINAM para la temperatura. el LMP es de 35 y el valor es 14.2 °C	48
<b>Figura 09:</b> Ingresando a la PTAR de Atuncolla con el permiso respectivo.	62
<b>Figura 10.</b> Vista panorámica de la PTAR.	62
<b>Figura 11:</b> Verificación de los puntos de muestreo.	63
<b>Figura 12:</b> Personal de la PTAR apoyando en la identificación del punto de afluente	63
<b>Figura 13:</b> Envasando las muestras del afluente.	64
<b>Figura 14:</b> Identificación del punto del efluente.	64
<b>Figura 15:</b> Verificando el punto del efluente	65
<b>Figura 16:</b> Tomando muestras del efluente	65
<b>Figura 17:</b> Rotulando las muestras del efluente	66
<b>Figura 18:</b> Almacenando la s muestras para el laboratorio	67
<b>Figura 19:</b> Despedida y agradecimiento al personal que me ha apoyado.	67

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 01:</b> Matriz de Consistencia.	59
<b>Anexo 02:</b> LMP para efluentes de PTAR D.S. 003-2010-MINAM	60
<b>Anexo 03:</b> Análisis de laboratorio de las aguas residuales.	61
<b>Anexo 04:</b> Galería fotográfica.	62

## RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo determinar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Atuncolla, año 2025. Con la toma de 02 muestras (para el afluente y efluente) se realizaron los análisis respectivos obteniendo los siguientes resultados: En relación a la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos: 97% en coliformes termotolerantes y coliformes totales, 78% en DBO<sub>5</sub> y DQO, y 75% en sólidos suspendidos totales. Asimismo, se logró un 49% en sólidos disueltos totales y conductividad, mientras que los aceites y grasas mostraron una eficiencia menor (29%). Así mismo todos los parámetros evaluados se encuentran dentro de los LMP establecidos en el D.S. N° 003-2010-MINAM: el pH (7.85) cumple con el rango permitido (6.5 – 8.5), la temperatura (14.2 °C) está muy por debajo del límite (35 °C), los sólidos suspendidos totales (30 mg/L) no superan el límite de 150 mg/L, los aceites y grasas (1.5 mg/L) cumplen con el máximo de 20 mg/L, la DBO<sub>5</sub> (36 mg/L) está por debajo de 100 mg/L, la DQO (90 mg/L) por debajo de 200 mg/L y los coliformes termotolerantes (550 NMP/100 ml) cumplen con el límite de 10000, por tanto, el efluente de la PTAR de Atuncolla sí cumple con los estándares nacionales vigentes para su descarga. En conclusión la planta presenta un promedio general de remoción de 69%, lo que evidencia un desempeño eficiente en la reducción de contaminantes. Este resultado refleja que el sistema de tratamiento implementado logra una disminución significativa de la carga contaminante, situándose dentro de valores aceptables reportados en la literatura nacional e internacional.

**Palabras Clave:** Aguas, Eficiencia, LMP, PTAR, Remoción, Residuales.

## ABSTRACT

The research aimed to determine the efficiency of the wastewater treatment plant in the district of Atuncolla, year 2025. With the taking of 02 samples (for the influent and effluent) the respective analyses were carried out obtaining the following results: In relation to the removal of physicochemical and microbiological parameters: 97% in thermotolerant coliforms and total coliforms, 78% in BOD<sub>5</sub> and COD, and 75% in total suspended solids. Likewise, 49% was achieved in total dissolved solids and conductivity, while oils and fats showed a lower efficiency (29%). Likewise, all the parameters evaluated are within the LMP established in the D.S. N° 003-2010-MINAM: the pH (7.85) complies with the permitted range (6.5 – 8.5), the temperature (14.2 °C) is well below the limit (35 °C), the total suspended solids (30 mg/L) do not exceed the limit of 150 mg/L, the oils and fats (1.5 mg/L) comply with the maximum of 20 mg/L, the BOD<sub>5</sub> (36 mg/L) is below 100 mg/L, the COD (90 mg/L) below 200 mg/L and the thermotolerant coliforms (550 NMP/100 ml) comply with the limit of 10000, therefore, the effluent from the Atuncolla WWTP does comply with the current national standards for its discharge. In conclusion, the plant presents an overall removal average of 69%, which shows an efficient performance in the reduction of contaminants. This result reflects that the implemented treatment system achieves a significant reduction in the pollutant load, falling within acceptable values reported in national and international literature.

**Keywords:** Water, Efficiency, LMP, WWTP, Removal, Wastewater.

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como finalidad evaluar objetivamente la eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del distrito de Atuncolla, ubicado en la provincia y departamento de Puno. Este análisis busca proporcionar información técnica precisa sobre la capacidad real del sistema para remover contaminantes a través de sus procesos de tratamiento, así como verificar el grado de cumplimiento de los parámetros establecidos en la normativa ambiental vigente del Perú, en específico el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM.

Contar con estos datos es fundamental para que las autoridades locales, operadores técnicos y entidades responsables de la gestión de saneamiento tomen decisiones informadas y basadas en evidencia, orientadas al mejoramiento del funcionamiento del sistema. La información generada permitirá identificar posibles deficiencias operativas, sustentar la implementación de ajustes técnicos o de mantenimiento preventivo, e incluso gestionar nuevas inversiones para optimizar el desempeño de la planta.

Este estudio también aspira a generar conocimiento útil para el diseño y evaluación de políticas públicas en el ámbito del saneamiento rural, fortaleciendo la eficiencia y sostenibilidad de infraestructuras similares en contextos regionales comparables. Los resultados podrían ser utilizados como referencia técnica por otros distritos con características ambientales y sociales afines, especialmente en la región altiplánica del país.

El tratamiento adecuado de las aguas residuales constituye un pilar esencial en la protección de la salud pública, la conservación de los ecosistemas acuáticos y la preservación de un ambiente sano para las generaciones presentes y futuras. En un distrito como Atuncolla, donde gran parte de la población depende directamente de los recursos hídricos para actividades básicas como el consumo humano, la agricultura y la ganadería, la descarga de aguas sin un tratamiento eficiente puede tener consecuencias graves: contaminación de fuentes de agua, propagación de enfermedades y deterioro ambiental. Por ello, la evaluación de la eficiencia de la PTAR permite dimensionar el

impacto real de su operación sobre el entorno natural, especialmente en lo que respecta a los cuerpos receptores que podrían estar siendo afectados por vertimientos inadecuados.

Asimismo, esta investigación se alinea con los compromisos internacionales asumidos por el Estado peruano, particularmente con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) N.º 6: "Agua limpia y saneamiento", el cual busca garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible para todos. De este modo, el estudio no solo responde a una necesidad local concreta, sino que también contribuye al cumplimiento de metas globales relacionadas con la sostenibilidad ambiental y el bienestar social.

Finalmente, el desarrollo del presente documento se ha estructurado en los siguientes capítulos: Capítulo I: Se presenta el planteamiento del problema, acompañado de información contextual relevante, antecedentes de investigaciones previas a nivel internacional, nacional y local, así como los objetivos de la presente investigación. Capítulo II: Se abordan los conceptos teóricos, técnicos y legales que fundamentan el estudio. Se expone el marco teórico, conceptual y normativo, y se formulan las hipótesis de investigación. Capítulo III: Se describe la metodología aplicada, incluyendo la zona de estudio, la población y muestra, así como el enfoque estadístico adoptado. Capítulo IV: Se presentan, analizan e interpretan los resultados obtenidos en el trabajo de campo y laboratorio. Finalmente, se concluye el trabajo con un conjunto de apreciaciones sustentadas en los hallazgos obtenidos, y se proponen recomendaciones que surgen como aporte práctico de la investigación realizada.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El acceso al agua en condiciones adecuadas y el tratamiento de las aguas residuales son aspectos fundamentales para garantizar la salud pública, la sostenibilidad ambiental y el desarrollo social. A nivel mundial, según el informe de las Naciones Unidas (2020), más del 80% de las aguas residuales generadas por las actividades humanas se vierten sin tratamiento adecuado, lo cual representa una grave amenaza para los ecosistemas acuáticos y para millones de personas que dependen de estas fuentes hídricas. Esta situación se agudiza en regiones en desarrollo, donde la infraestructura sanitaria es deficiente o insuficiente (Cusiche & Miranda, 2019).

En América Latina, la problemática del tratamiento de aguas residuales sigue siendo un desafío persistente. La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) ha señalado que menos del 30% de las aguas residuales domésticas reciben tratamiento adecuado antes de ser vertidas a cuerpos de agua naturales (Mara et al., 2020). Esta deficiencia contribuye significativamente a la contaminación de ríos y lagos, a la proliferación de enfermedades de origen hídrico y al deterioro de la biodiversidad acuática. Pese a los esfuerzos de los países de la región, como el incremento en la construcción de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), muchas de ellas no funcionan a su máxima capacidad o carecen de un mantenimiento eficiente (Mendo, 2025).

En el Perú, esta problemática también es evidente. Aunque en los últimos años se ha promovido la construcción de nuevas plantas de tratamiento, gran parte de ellas presentan limitaciones operativas o tecnológicas, lo que impide un tratamiento eficaz de las aguas servidas (Mara et al., 2020). El Ministerio del Ambiente (2022) reconoce que muchas PTAR en funcionamiento no cumplen con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM, lo cual representa un incumplimiento normativo y un riesgo ambiental significativo.

En el departamento de Puno, caracterizado por su gran cantidad de cuerpos hídricos y su altitud sobre los 3,800 m s.n.m., el tratamiento adecuado de las aguas residuales cobra vital importancia debido a la fragilidad de sus ecosistemas altoandinos y la dependencia directa de sus pobladores del agua para el consumo, riego y otras actividades productivas. Sin embargo, muchas de las plantas instaladas en distritos rurales presentan deficiencias tanto en su infraestructura como en su operación (Pacori, 2024).

El distrito de Atuncolla, ubicado en la provincia y departamento de Puno, no es ajeno a esta problemática. La planta de tratamiento de aguas residuales construida para este distrito tiene como finalidad disminuir la carga contaminante de los efluentes domésticos antes de su vertimiento a cuerpos receptores, como el río que atraviesa la zona. No obstante, existen dudas sobre la eficiencia real del tratamiento que se está llevando a cabo, así como sobre el cumplimiento de los estándares establecidos por la normativa ambiental vigente. Esta situación plantea interrogantes respecto a la eficacia del sistema implementado y la protección del entorno ecológico y sanitario de la población local.

En este contexto, surge la necesidad de evaluar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Atuncolla en el año 2025, con el propósito de analizar el grado de remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, y determinar si los valores obtenidos se ajustan a los Límites Máximos Permisibles establecidos por la legislación peruana. Esta evaluación permitirá establecer un diagnóstico técnico que contribuya al mejoramiento de la gestión de aguas residuales en la localidad.

### **1.1.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Cuál es la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Atuncolla, año 2025?

### **1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Cómo es la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la planta de tratamiento de aguas residuales distrito de Atuncolla, año 2025?
- ¿En qué medida los resultados de los parámetros del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Atuncolla superan los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el D.S. N.° 003-2010-MINAM?

## **1.2. ANTECEDENTES**

### **1.2.1. INTERNACIONALES.**

Colorado (2023), realizó una investigación en condiciones de laboratorio y evaluó la efectividad de un tratamiento biológico secundario mediante lodos activados, aplicado a aguas residuales domésticas provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del municipio de Andes, ubicado en el suroeste de Antioquia. El trabajo se desarrolló a escala de laboratorio e inició con la caracterización físico-química del agua residual y del lodo extraído de la planta, con el fin de preparar las condiciones adecuadas para el proceso de activación. Posteriormente, se implementó un sistema de tratamiento en dos etapas: primero en modalidad por lotes y luego en flujo continuo, donde se ensayaron tres diferentes caudales (2,4; 2,9 y 8,2 ml/min) dentro de un reactor de mezcla completa. La eficiencia del sistema se midió a través del análisis de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), indicador clave de la carga orgánica presente. Los resultados mostraron porcentajes de remoción de DQO de 77%, 79% y 75% respectivamente, lo que confirmó que el proceso de lodos activados permitió reducir de forma significativa la materia orgánica del efluente, demostrando su potencial como alternativa eficaz para el tratamiento biológico de aguas residuales en contextos municipales.

Echeverría et al. (2021), llevaron a cabo una evaluación del rendimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que originalmente operaba con lagunas de estabilización y que fue posteriormente ampliada para mejorar su capacidad operativa. Actualmente, esta instalación presta servicio a una población cercana a los 20 000 habitantes y trata un volumen aproximado de 2 416 m<sup>3</sup> por día. La implementación de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAC) tuvo un impacto positivo, principalmente en la reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y, de forma destacada, los Sólidos Suspendidos Totales (SST). El reacondicionamiento de las lagunas también evidenció mejoras sustanciales en la eficiencia del tratamiento. En cuanto al desempeño global de la planta, se obtuvieron porcentajes de remoción del 55% para DBO<sub>5</sub>, 67% para DQO total, 54% para DQO soluble, 80% para SST, 15% para nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) y 26% para fósforo. Además, gracias a la incorporación del RAC y a la optimización del sistema de lagunas, la eficiencia en la remoción de DQO se incrementó del 52% al 67%, lo cual respalda la viabilidad de integrar un sistema de pretratamiento previo al lagunaje como estrategia de mejora.

### **1.2.2. NACIONALES.**

Jimenez (2024), analizó el rendimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Taboada. La evaluación evidenció una remoción significativa en varios parámetros fisicoquímicos, como aceites y grasas (24,2%), DBO<sub>5</sub> (23,7%), DQO (26,6%) y sólidos suspendidos totales (SST) con 26,1%. No obstante, la eficiencia varió según el tipo de contaminante, siendo más baja en el caso del nitrógeno amoniacal (17,6%). En cuanto a los contaminantes microbiológicos, la planta logró eliminar un 32,6% de coliformes totales y un 31,5% de coliformes termotolerantes. Para algunos metales, como la sílice (11,4%) y el potasio (11,6%), la remoción fue limitada, mientras que los niveles fueron más aceptables para el manganeso (30,7%) y el hierro (31,6%). Al comparar los resultados obtenidos en el efluente con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la normativa nacional, se verificó que la PTAR cumple con los

estándares en cuanto a pH y temperatura; sin embargo, presenta incumplimientos en otros parámetros clave como coliformes termotolerantes, SST, DBO5, DQO, aceites y grasas. Estos hallazgos indican la necesidad de optimizar los procesos de tratamiento para alcanzar una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes críticos.

Guardia (2023), llevó a cabo un estudio para determinar la eficiencia del proceso de remoción de contaminantes en el tanque Imhoff de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Acoria, en la provincia y departamento de Huancavelica. El análisis se centró en tres parámetros clave: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST). Para ello, se tomaron muestras en dos puntos: P1 en el afluente y P2 en el efluente del tanque, recolectando un total de 32 muestras (16 por punto), que fueron analizadas en un laboratorio certificado por INACAL (Pacific Control). Los resultados mostraron que las eficiencias de remoción alcanzadas fueron de 27,19% para DBO5, 22,88% para DQO y 16,99% para SST. Al contrastar estos valores con los criterios establecidos en la Norma Técnica Peruana NTP OS.090 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), se concluye que el desempeño del tanque Imhoff es deficiente, ya que no alcanza los umbrales mínimos de eficiencia: 30% para DBO5, 40% para SST y 25% para DQO. Estos resultados reflejan la necesidad de mejoras en el diseño o mantenimiento del sistema de tratamiento para cumplir con los estándares nacionales de calidad ambiental.

Rojas (2023), evaluó el desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en el distrito José María Arguedas, en Andahuaylas, región Apurímac, durante el año 2022. Se analizaron diversos parámetros comparando los valores en el afluente y el efluente: los sólidos suspendidos totales (SST) se redujeron de 85,5 a 17,5 mg/L, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) bajó de 58 a 18,7 mg/L, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 139,9 a 46,3 mg/L, y los aceites y grasas de 11,9 a 3 mg/L. El pH se mantuvo constante (6,8), mientras que los coliformes termotolerantes pasaron de 10 125 a 6 125 NMP/100 mL. Al contrastar estos resultados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) del Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, se determinó que todos

los parámetros evaluados cumplen con la normativa. En cuanto a la eficiencia de remoción, se alcanzaron niveles de 79,5% para SST, 67,8% para DBO5, 66,9% para DQO y 74,9% para aceites y grasas, los cuales son considerados adecuados según la Norma Técnica Peruana OS.090. Sin embargo, la eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes fue moderada (39,5%), lo que sugiere una necesidad de mejoras en la desinfección. En general, la PTAR demostró capacidad para reducir la carga contaminante del agua residual a niveles aceptables para su descarga.

Díaz (2022), desarrolló una investigación orientada a evaluar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Lajas en la remoción de materia orgánica. Para ello, se tomaron ocho muestras simples entre noviembre de 2020 y febrero de 2021, en los puntos de ingreso (afluente) y salida (efluente) del sistema, midiendo tres parámetros clave: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST). Los resultados promedio obtenidos fueron de 67,9 mgO<sub>2</sub>/L en el afluente y 5,6 mgO<sub>2</sub>/L en el efluente para la DBO5; 131,8 mgO<sub>2</sub>/L y 12,3 mgO<sub>2</sub>/L para la DQO; y 41,0 mg/L y 10,65 mg/L para los SST. Con base en estos datos, se determinó que la planta cumple con los Límites Máximos Permisibles establecidos en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM para descargas de efluentes domésticos o municipales. Además, se concluyó que la PTAR de Lajas tiene una alta eficiencia en la remoción de contaminantes orgánicos, con porcentajes de eliminación del 91,83% para la DBO5, 90,72% para la DQO y 73,79% para los SST, evidenciando un adecuado funcionamiento del sistema de tratamiento.

### **1.2.3. LOCALES**

Mamani (2024), evaluó la eficiencia de remoción de contaminantes en los distintos procesos unitarios de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del distrito de Ajoyani, empleando un enfoque cuantitativo con carácter aplicado y nivel descriptivo transversal. Los resultados evidenciaron que la planta presenta eficiencias de remoción de 55,63% para sólidos totales, 49,21% para DBO, 56,88% para DQO, 11,23% para aceites y grasas, y una ineficiencia notoria en coliformes totales, con un valor negativo de

-110,53%. Se determinó que el pretratamiento, los filtros verticales y la nave de macrófitas son los procesos más efectivos para la reducción de sólidos, mientras que el reactor biológico destaca en la eliminación de materia orgánica. En contraste, el sedimentador fue el proceso menos eficiente. A pesar de estas deficiencias, los valores de pH y conductividad eléctrica cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA-3) y con los Límites Máximos Permisibles (LMP). Con base en los hallazgos, se propuso una mejora técnica que permitiría adecuar el sistema de tratamiento a los estándares normativos vigentes.

Salgado (2024), evaluó el rendimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales a partir de la comparación de parámetros en el afluente y el efluente. Los resultados obtenidos mostraron escasa variación en el pH (4,91 a 4,90) y temperatura (16,16°C a 16,30°C), mientras que la DBO se redujo de 516,55 a 383,45 mg/L. Sin embargo, se observó un incremento en la DQO (de 791,37 a 958,51 mg/L), en los SST (de 1315 a 1636,5 mg/L), y en aceites y grasas (de 81,56 a 88,41 mg/L). En cambio, se registró una mejora significativa en la remoción de coliformes termotolerantes (reducción del 120 al 15 NMP/100 mL). En términos de eficiencia, se calculó una remoción de 25,8% para DBO, -21,1% para DQO, -24,4% para SST, 87,5% para coliformes termotolerantes y -8,4% para aceites y grasas. Estos resultados muestran que, salvo en el caso de coliformes y temperatura, los demás parámetros no cumplen con los Límites Máximos Permisibles, lo que evidencia deficiencias graves en el proceso de tratamiento y una urgente necesidad de mejoras estructurales y operativas.

Pacori (2024), analizó el desempeño de una planta de tratamiento de aguas residuales durante las estaciones de estiaje y lluvia, con el objetivo de proponer una alternativa más eficiente. Se tomaron muestras tanto del afluente como del efluente para medir los niveles de DBO5, DQO y SST, encontrando que los valores en el efluente (160,87 mg/L para DBO5, 162,16 mg/L para DQO y 203,47 mg/L para SST) superaban los Límites Máximos Permisibles (LMP). La evaluación por procesos indicó que los tanques Imhoff registraron eficiencias bajas: 10,67% para DBO5, 12,67% para DQO y 22% para SST. Los filtros

percoladores mostraron un mejor desempeño, con valores cercanos al 48–50% de remoción en los tres parámetros. Sin embargo, el balance general del sistema arrojó una eficiencia global del 75,18%, alcanzada mediante la implementación del sistema de lodos activados, el cual fue validado estadísticamente mediante una prueba de hipótesis. Se concluye que los componentes menos eficientes fueron los tanques Imhoff y los filtros percoladores, y que la alternativa propuesta (lodos activados) permite cumplir con la normativa nacional vigente.

Paucar (2023), llevó a cabo una investigación orientada a medir la eficiencia de remoción de contaminantes en los procesos unitarios de la PTAR del distrito de Ajoyani. Los resultados coincidieron con los hallazgos de Mamani (2024), mostrando eficiencias del 55,63% en sólidos totales, 49,21% en DBO, 56,88% en DQO, 11,23% en aceites y grasas, y una ineficiencia marcada en coliformes totales con un valor de -110,53%. El análisis permitió identificar que los procesos de pretratamiento, filtros verticales y la nave de macrófitas son los más eficaces para reducir sólidos, mientras que el reactor biológico fue el que mejor desempeño tuvo en la remoción de materia orgánica. Por otro lado, el sedimentador fue identificado como el proceso menos eficiente de la planta. A pesar de estas deficiencias, los valores de pH y conductividad eléctrica están dentro de los límites establecidos por los ECA y LMP. En función de los resultados, se planteó una propuesta de mejora orientada a cumplir con los requerimientos técnicos de vertimiento establecidos por la normativa ambiental.

### **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Atuncolla, año 2025

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la planta de tratamiento de aguas residuales distrito de Atuncolla, año 2025.

- Determinar si los resultados de los parámetros del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Atuncolla cumplen con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el D.S. N.° 003-2010-MINAM.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1. MARCO TEÓRICO

##### 2.1.1. AGUAS RESIDUALES.

Las aguas residuales son aquellas cuyo contenido y calidad han sido modificados por diversas actividades humanas, como el uso doméstico, industrial, agrícola o comercial. También se incluyen dentro de esta categoría las aguas que se eliminan junto con estas en épocas sin precipitaciones, conocidas como aguas sucias, así como las aguas pluviales que escurren y se recolectan desde superficies urbanizadas. Estas aguas, al ser conducidas hacia plantas de tratamiento, requieren un manejo adecuado para su almacenamiento, tratamiento y disposición final. El tratamiento de aguas residuales urbanas comprende un conjunto de procesos técnicos destinados a garantizar tanto el abastecimiento seguro de agua para la población, la industria y otros servicios, como la correcta eliminación de los desechos generados. Este proceso incluye fases esenciales como la recolección, evacuación, tratamiento y disposición final del efluente (Metcalf & Eddy, 1996).

Según Sáenz (1985, pp. 6-9), las aguas residuales domésticas provienen directamente de las viviendas, a partir de actividades como el uso de sanitarios, el lavado de ropa, utensilios y aseo personal. La cantidad generada está estrechamente relacionada con los hábitos, nivel educativo y costumbres de los habitantes, ya que el sistema de alcantarillado interconecta las viviendas, canalizando toda esta agua utilizada hacia una red común destinada al tratamiento.

### 2.1.2. TIPOS DE AGUAS RESIDUALES.

Son aquellas que han sido utilizadas en diversas actividades humanas y que, como resultado, han perdido su calidad original. Generalmente son conducidas por sistemas de alcantarillado y pueden contener una mezcla de contaminantes físicos, químicos y biológicos.

De acuerdo con su origen y características, las aguas residuales se clasifican en las siguientes categorías (Gutiérrez et al., 2021):

- **Aguas servidas:** Son las aguas generadas por actividades domésticas, aunque estas aguas contienen restos de detergentes, grasas y partículas orgánicas, no presentan presencia de materia fecal, lo que las diferencia de las aguas negras. Su tratamiento suele requerir procesos físico-químicos menos complejos (Salvador, 2024).
- **Aguas negras:** Corresponden a las aguas que se originan en los inodoros y que contienen excretas humanas. Estas aguas tienen una alta carga orgánica y microbiológica, por lo cual representan un riesgo sanitario significativo si no se tratan adecuadamente (Salvador, 2024).
- **Aguas industriales:** Son aquellas resultantes de procesos productivos industriales como la minería, la agroindustria, las fábricas textiles, químicas o alimentarias. Este tipo de aguas puede contener compuestos tóxicos, metales pesados, solventes y altas concentraciones de materia orgánica, especialmente en industrias como mataderos, procesadoras de leche, café o caña de azúcar (Gutiérrez et al., 2021).
- **Aguas de hospitales o centros de salud:** Estas aguas contienen desechos biológicos, restos de medicamentos, agentes patógenos y materiales infecciosos, por lo que son consideradas altamente peligrosas. No deben mezclarse con aguas residuales comunes, ya que representan un riesgo severo para la salud pública y el medio ambiente (IDRICA, 2022).

### 2.1.3. COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Están constituidas por una mezcla de sólidos disueltos y sólidos suspendidos, los cuales, aunque se presentan en pequeñas concentraciones (generalmente menos de un gramo

por litro), pueden generar serios problemas de contaminación si no se tratan adecuadamente. Por ello, es fundamental su remoción mediante procesos de tratamiento específicos. Estos sólidos pueden clasificarse en función de su naturaleza química (orgánicos e inorgánicos) o según su estado físico (suspendidos o disueltos), dependiendo de su tamaño y comportamiento en el agua (HIDROTEC, 2023).

- **Sólidos Totales:** Son el conjunto de todos los sólidos presentes en el agua, tanto suspendidos como disueltos, orgánicos e inorgánicos. Se definen como el residuo que queda luego de evaporar el agua a temperaturas entre 103 °C y 105 °C (IDRICA, 2022).
- **Sólidos suspendidos:** Son partículas visibles que se mantienen en flotación dentro del agua y pueden ser retenidas por un filtro con poros de aproximadamente una micra. Se expresan en miligramos por litro (mg/L) y su presencia es un indicador importante de la turbidez del agua (Gutiérrez et al., 2021).
- **Sólidos sedimentables:** Dentro de los sólidos suspendidos, son aquellos que, por su tamaño y peso, tienden a depositarse en el fondo del recipiente en un corto periodo de tiempo. Esta propiedad los hace fácilmente separables por sedimentación simple.
- **Sólidos coloidales:** Se trata de partículas extremadamente pequeñas que permanecen en suspensión sin sedimentarse, incluso después de largos periodos. No pueden medirse directamente, por lo que se calculan como la diferencia entre los sólidos suspendidos y los sedimentables. Su separación requiere tratamientos más complejos como la coagulación-floculación (IDRICA, 2022).
- **Sólidos disueltos:** Son aquellas partículas tan pequeñas que atraviesan los filtros usados para separar sólidos suspendidos. Se pueden cuantificar evaporando el líquido filtrado y pesando el residuo. También se calculan como la diferencia entre sólidos totales y suspendidos (Salvador, 2024).
- **Sólidos inorgánicos:** También conocidos como minerales, incluyen arena, tierra y sales disueltas. Estos materiales no son biodegradables y no reaccionan fácilmente, por lo cual son considerados inertes. Se identifican como “residuo fijo” luego de

calcinarlos a 600 °C.

- Contenido de Materia tipo Orgánica: Agrupa compuestos derivados de organismos vivos, como restos vegetales o animales. Su degradación es la principal causa de consumo de oxígeno en el agua, y su presencia en exceso puede generar malos olores y proliferación de microorganismos (Salvador, 2024).
- Contenido de Sales: Toda agua contiene sales inorgánicas como parte de su composición natural, y en el caso de las aguas residuales, su presencia puede ser aún mayor dependiendo de su fuente. Estas sales provienen del suelo, del agua utilizada o de procesos industriales (IDRICA, 2022).
- Aceites y grasas: Son compuestos orgánicos presentes comúnmente en aguas residuales en pequeñas cantidades. Suelen ser de origen vegetal o animal, y aunque no son tóxicos en sí, pueden formar películas en la superficie del agua e interferir con los procesos de tratamiento (Martins et al., 2019).
- Oxígeno Disuelto: Es el oxígeno gaseoso presente en el agua, esencial para la vida acuática y para los procesos biológicos de depuración. Su concentración depende de factores como la temperatura y la presión atmosférica (Salvador, 2024).
- Otros Gases Disueltos: Además del oxígeno, en el agua residual pueden encontrarse gases como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), provenientes del contacto con el aire, así como amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y metano ( $\text{CH}_4$ ), generados por la descomposición de materia orgánica a cargo de microorganismos anaerobios (Telwesa, 2024).

#### **2.1.4. LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**

##### **a. Funcionamiento de una Planta.**

Las aguas residuales municipales que ingresan a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Atuncolla provienen directamente del sistema de alcantarillado de la ciudad del mismo nombre. Estas aguas son canalizadas hacia las Estaciones de Bombeo N.º 01, 02 y 03, ubicadas a lo largo de la vía principal que conecta con la localidad de Kasani. Desde estas estaciones, el flujo es impulsado a través de tres líneas

de conducción, utilizando tuberías de entre 200 y 315 mm de diámetro, hasta llegar a la planta. La PTAR fue diseñada para tratar un caudal promedio de 25,5 litros por segundo, con una capacidad máxima de hasta 56,1 l/s (ANA, 2016).

Esta planta emplea el sistema de lodos activados, y se compone de dos líneas principales: la línea de tratamiento de aguas y la línea de tratamiento de lodos. La línea de aguas incluye procesos primarios y secundarios, siendo este último un tratamiento biológico aeróbico basado en lodos activados, complementado con un sistema de aeración de ciclo extendido (ICEAS). También cuenta con un sistema de desinfección por rayos ultravioletas (UV), que permite reducir la carga microbiológica antes de la descarga final. Por otro lado, la línea de lodos está equipada con infraestructura específica para el manejo y acondicionamiento de los lodos generados en el proceso anterior.

Actualmente, todos estos procesos son gestionados de manera automatizada mediante un sistema de control y supervisión remota conocido como SCADA, que permite monitorear el funcionamiento integral de la planta en tiempo real. Finalmente, el efluente tratado es descargado al río Choquechaca a través de una tubería de 30 metros de longitud y 16 pulgadas de diámetro. Este cuerpo de agua tiene un recorrido de aproximadamente 2,91 kilómetros desde el punto de descarga hasta su desembocadura (Quispe et al., 2016).

#### **b. Componentes de la PTAR.**

Según lo señalado por Quispe et. al. (2016), la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Atuncolla se compone de los siguientes elementos principales: una cámara de llegada que recibe las aguas residuales provenientes de las cuencas, una cuchara bivalva para la remoción inicial de sólidos, y una reja gruesa manual, acompañada de un sistema de bypass para el tratamiento preliminar. La medición del caudal del afluente se realiza mediante un canal Parshall.

El tratamiento preliminar incluye reja fina, desarenador y sistema para la remoción de aceites y grasas. Luego, el caudal se distribuye a través de una cámara hacia los estanques de aireación tipo ICEAS de forma rectangular, los cuales constituyen el

tratamiento biológico. Se cuenta también con un bypass del tratamiento biológico, un sistema de bombeo de lodos hacia un espesador gravitacional, un digestor aireado para estabilizar los lodos, y un sistema de deshidratación seguido de su almacenamiento.

Finalmente, el sistema de desinfección mediante rayos ultravioleta (UV) garantiza la calidad del efluente tratado. Además, se integran los servicios generales necesarios para el funcionamiento de la planta.

### **c. Tratamiento biológico en estanques de aireación.**

El tratamiento biológico, correspondiente a la etapa secundaria del proceso, se lleva a cabo mediante el sistema ICEAS (Sistema de Aeración Extendida por Ciclos Intermitentes), el cual está implementado en dos tanques de concreto diseñados específicamente para esta función. En estos reactores biológicos se ejecutan una serie de procesos clave:

**Alimentación:** El ingreso de aguas residuales al sistema se realiza de manera continua durante las 24 horas del día, manteniéndose activo a lo largo de todo el ciclo de operación.

**Aireación:** La aireación se efectúa mediante la inyección de aire a presión suministrado por sopladores, los cuales están conectados a un sistema de tuberías de acero y a un manifold de PVC equipado con difusores de burbuja fina. Esta configuración asegura una distribución uniforme del oxígeno disuelto en los tanques, lo cual es esencial para promover la actividad de los microorganismos encargados de la degradación de la materia orgánica presente en el agua residual.

### **2.1.5. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO).**

La contaminación de los cuerpos de agua superficiales ha sido causada históricamente por diversas actividades humanas, entre ellas las industriales, comerciales y el constante crecimiento poblacional. En este contexto, el oxígeno disuelto cumple un rol fundamental, ya que es indispensable para la descomposición de la materia orgánica por acción de bacterias y hongos. Cuando hay una alta carga orgánica, estos microorganismos se multiplican y consumen grandes cantidades de oxígeno, lo cual reduce su disponibilidad

para otras formas de vida acuática. Esta disminución del oxígeno genera desequilibrios en el ecosistema, afectando negativamente a la fauna y flora acuática (Raffo & Ruiz, 2014, pp. 75-78). En este sentido, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es un parámetro clave que permite medir la cantidad de oxígeno que los microorganismos requieren para degradar la materia orgánica presente en una muestra de agua, ya sea residual o potable, y se utiliza como indicador del grado de contaminación orgánica.

#### **2.1.6. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO 5 (DBO5).**

Conocida como DBO5, es un indicador clave en el análisis de la calidad del agua, ya que permite cuantificar la cantidad de oxígeno disuelto que requieren los microorganismos aeróbicos para descomponer la materia orgánica biodegradable presente en una muestra de agua durante un periodo de cinco días. Este proceso se lleva a cabo bajo condiciones estandarizadas, específicamente a una temperatura constante de 20 °C, para garantizar resultados comparables. La DBO5 se utiliza ampliamente tanto en el monitoreo de aguas residuales como en aguas superficiales, ya que ofrece una estimación del nivel de contaminación orgánica (Calzada & Martínez del Pozo, 2012).

#### **2.1.7. EFICIENCIA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO.**

La eficiencia de remoción en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) se determina a partir del porcentaje de reducción de los contaminantes presentes en el agua residual al comparar su concentración antes y después del tratamiento. Para este cálculo, se emplea una fórmula propuesta por Pacheco (1993).

$$\% \text{ Eficiencia} = (AP - DP) / AP \times 100$$

Donde:

AP representa el valor del parámetro analizado en el afluente.

DP corresponde al valor del mismo parámetro en el efluente.

## **2.2. MARCO CONCEPTUAL**

**Aceites y grasas.** Son compuestos de origen animal o vegetal presentes en pequeñas cantidades en el agua residual. Pueden interferir con procesos de tratamiento y formar

películas sobre la superficie del agua. Se eliminan en el pretratamiento (Martins et al., 2019).

**Aguas hospitalarias.** Contienen desechos biológicos, medicamentos y agentes infecciosos provenientes de centros de salud. Representan un riesgo alto para la salud pública y el medio ambiente. No deben mezclarse con aguas residuales comunes (IDRICA, 2022).

**Aguas industriales.** Son aguas residuales generadas por procesos productivos como la minería o la agroindustria. Pueden contener metales pesados, compuestos tóxicos y materia orgánica. Su tratamiento requiere tecnologías específicas (Gutiérrez et al., 2021).

**Aguas negras.** Contienen excretas humanas y provienen principalmente de inodoros. Poseen una alta carga orgánica y microbiológica. Representan un serio riesgo sanitario si no se tratan adecuadamente (Salvador, 2024).

**Aguas residuales.** Son aguas cuyo contenido ha sido alterado por actividades humanas como el uso doméstico, industrial o agrícola. Estas aguas contienen una mezcla de contaminantes físicos, químicos y biológicos. Su tratamiento es fundamental para proteger la salud pública y el ambiente (Metcalf & Eddy, 1996).

**Aguas servidas.** Son aguas domésticas que contienen detergentes, grasas y residuos orgánicos, pero no materia fecal. Su tratamiento es menos complejo que el de las aguas negras. Son comunes en usos como lavado o cocina (Salvador, 2024).

**Componentes de una PTAR.** Incluyen sistemas de rejillas, desarenadores, reactores biológicos, digestores, deshidratadores y unidades de desinfección. Cada componente cumple una función específica en el tratamiento. Su diseño varía según el tipo de agua y caudal (Quispe et al., 2016).

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)** Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para descomponer materia orgánica en el agua. Un valor alto de DBO indica una alta carga contaminante. Es un parámetro clave para evaluar la calidad del agua (Raffo & Ruiz, 2014).

**Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 (DBO<sub>5</sub>)** Es la cantidad de oxígeno consumido por microorganismos en cinco días a 20 °C. Se utiliza para estimar la contaminación orgánica biodegradable. Es ampliamente usada en el análisis de aguas residuales (Calzada & Martínez del Pozo, 2012).

**Eficiencia de remoción en una PTAR.** Es el porcentaje de reducción de contaminantes entre el afluente y el efluente. Se calcula comparando las concentraciones antes y después del tratamiento. Permite evaluar el desempeño de la planta (Pacheco, 1993).

**Gases disueltos.** Incluyen dióxido de carbono, amoníaco, metano y ácido sulfhídrico. Se generan por descomposición de materia orgánica en condiciones anaeróbicas. Algunos son tóxicos y causan malos olores (Telwesa, 2024).

**Materia orgánica.** Son restos vegetales o animales presentes en el agua residual. Su descomposición consume oxígeno y puede generar malos olores. Es una de las principales causas de contaminación en cuerpos de agua (Salvador, 2024).

**Oxígeno disuelto (OD).** Es el oxígeno gaseoso presente en el agua, esencial para la vida acuática y procesos de depuración. Su concentración depende de la temperatura y la presión. Una baja concentración de OD indica alta contaminación (Salvador, 2024).

**Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).** Es una instalación que recibe y trata aguas residuales para reducir su carga contaminante. Utiliza procesos físicos, biológicos y químicos. Su objetivo es proteger la salud pública y el ambiente (ANA, 2016).

**Sales.** Son compuestos inorgánicos presentes naturalmente o por aportes humanos. Su concentración varía según la fuente del agua residual. Afectan la conductividad y salinidad del agua (IDRICA, 2022).

**Sistema ICEAS.** Es un proceso de tratamiento biológico aeróbico en ciclos, basado en lodos activados. Usa difusores de burbuja fina y reactores tipo tanque. Promueve la degradación de materia orgánica mediante microorganismos (Quispe et al., 2016).

**Sólidos coloidales.** Son partículas muy pequeñas que no sedimentan con facilidad. No se pueden filtrar ni observar a simple vista. Se eliminan mediante procesos como coagulación y floculación (IDRICA, 2022).

**Sólidos disueltos.** Son partículas extremadamente finas que atraviesan filtros convencionales. Se obtienen como diferencia entre sólidos totales y suspendidos. Su acumulación puede afectar procesos de tratamiento biológico (Salvador, 2024).

**Sólidos inorgánicos.** Incluyen minerales como arena y sales disueltas. No son biodegradables y se consideran residuos inertes. Se identifican como “residuo fijo” tras calcinación a 600 °C (IDRICA, 2022).

**Sólidos sedimentables.** Son sólidos suspendidos que se depositan en el fondo tras un corto tiempo de reposo. Se remueven fácilmente mediante procesos de sedimentación. Su medición es esencial para el diseño de unidades primarias de tratamiento (IDRICA, 2022).

**Sólidos suspendidos.** Son partículas visibles que flotan en el agua y pueden ser filtradas mecánicamente. Se expresan en miligramos por litro y determinan la turbidez. Son un parámetro clave en el análisis de calidad del agua (Gutiérrez et al., 2021).

**Sólidos totales.** Son la suma de todos los sólidos presentes en el agua, tanto disueltos como suspendidos. Se cuantifican tras evaporar el agua y pesar el residuo seco. Incluyen componentes orgánicos e inorgánicos (IDRICA, 2022).

### 2.3. MARCO NORMATIVO

- Constitución Política del Perú (1993): El artículo 7 consagra el derecho de toda persona a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para su desarrollo personal. Asimismo, el artículo 38 reconoce el acceso al agua como un recurso esencial, cuya protección y gestión sostenible es deber del Estado.
- Ley de Recursos Hídricos, Ley N.º 29338 (2009): Esta ley declara de interés nacional la gestión integrada de los recursos hídricos, basándose en principios como sostenibilidad, equidad en el uso, y participación ciudadana. Además, designa a la Autoridad Nacional del Agua (ANA) como el ente rector del Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos.
- Reglamento de la Ley N.º 29338 (D.S. N.º 001-2010-AG): Precisa las competencias específicas de la ANA y regula instrumentos de gestión como los planes de gestión

de cuenca, concesiones de uso de agua y evaluaciones de impacto ambiental. También establece los procedimientos para el otorgamiento de autorizaciones de vertimiento al recurso hídrico.

- Ley Marco de la Gestión y Prestación de Servicios de Saneamiento, Decreto Legislativo N.º 1280: Define las bases legales para la gestión integral de los servicios de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales tanto en zonas urbanas como rurales. Establece los roles de las entidades prestadoras de servicios y promueve la sostenibilidad, eficiencia y calidad en la prestación.
- Normas Técnicas de Calidad de Efluentes (D.S. N.º 003-2010-MINAM): Aprueba los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes generados por las PTAR de tipo doméstico o municipal. Establece parámetros fisicoquímicos como el pH, DBO<sub>5</sub>, SST y sólidos disueltos totales, así como microbiológicos como los coliformes totales y termotolerantes, para asegurar que los vertimientos no afecten los cuerpos receptores.
- Resolución Ministerial N.º 273-2013-VIVIENDA: Aprueba el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de Efluentes de las PTAR, el cual estandariza los métodos de muestreo, la frecuencia del monitoreo y las técnicas analíticas necesarias para verificar el cumplimiento de los LMP establecidos.

## **2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL**

La planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Atuncolla, año 2025, no es eficiente.

### **2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- La remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la planta de tratamiento de aguas residuales distrito de Atuncolla, año 2025, es baja.
- Los resultados de los parámetros del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Atuncolla no cumplen con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el D.S. N.º 003-2010-MINAM.

## CAPÍTULO III

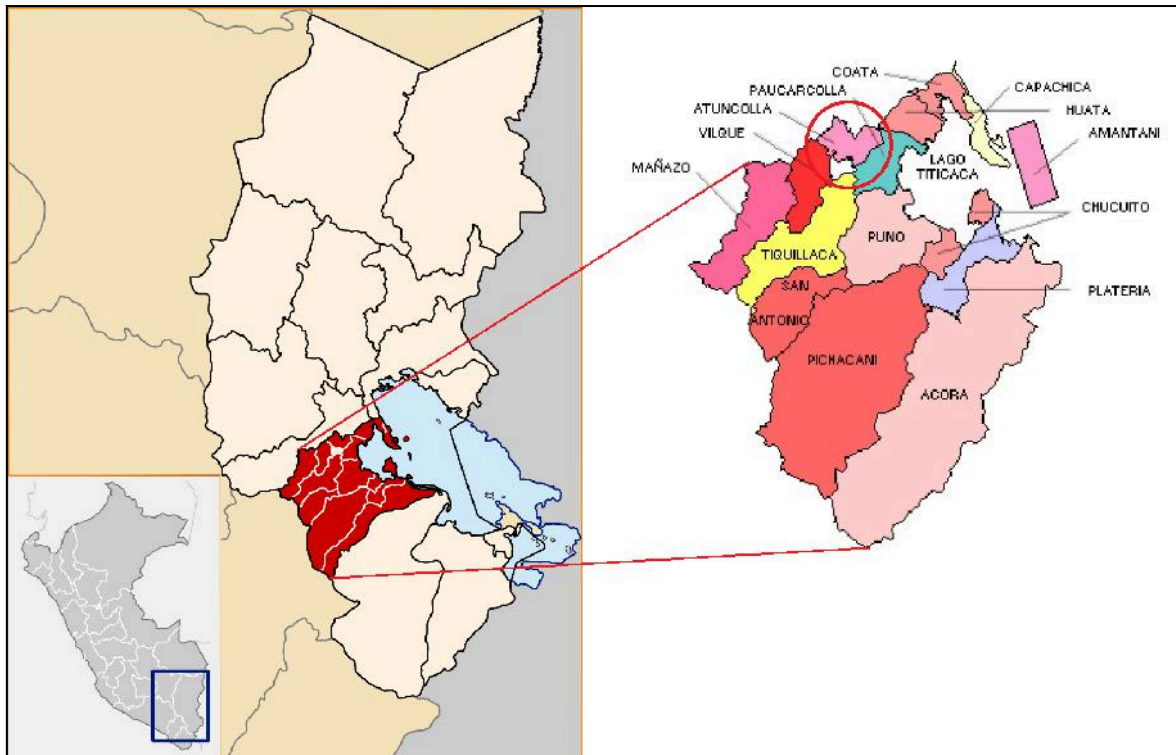
### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. ZONA DE ESTUDIO

El distrito de Atuncolla se ubica en el altiplano puneño, al noroeste de la ciudad de Puno, capital del departamento homónimo. Pertenece a la provincia de Puno y está inserto en la cuenca hidrográfica del lago Titicaca, a una altitud promedio de 3 880 metros sobre el nivel del mar. Sus coordenadas geográficas aproximadas son 15°40' S de latitud y 69°45' O de longitud.

Limita al norte con el distrito de Acora, al este con el distrito de Coata, al sur con el distrito de Platería y al oeste con el propio lago Titicaca. La extensión territorial del distrito es de aproximadamente 106 km<sup>2</sup>, de los cuales buena parte corresponde a zonas de puna y planicie lacustre. La población estimada para el último censo nacional (2023) asciende a unos 4 500 habitantes, distribuidos principalmente en la cabecera distrital que concentra cerca del 60 % y en varias comunidades campesinas ribereñas.

El clima de Atuncolla corresponde al tipo frío de puna altoandina, con temperaturas medias anuales cercanas a 8 °C, gran oscilación térmica diaria y un régimen de precipitaciones concentrado entre noviembre y marzo. El relieve, predominantemente plano en la ribera del lago y más accidentado hacia el interior, condiciona la disposición de las infraestructuras de saneamiento y la red de drenaje de aguas residuales, factores críticos para el diseño y eficiencia de la planta de tratamiento objeto de estudio.



**Figura 01:** Ubicación de la zona de estudio: Distrito de Atuncolla.

### 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.

#### 3.2.1. POBLACIÓN.

La población estuvo conformada por las aguas residuales de la planta de tratamiento (PTAR) del distrito de Atuncolla.

#### 3.2.2. MUESTRA.

El número de muestras a tomarse fue de 02 puntos, una para el afluente (ingreso de aguas al PTAR) y la otra para el efluente (Salida de agua del PTAR).



**Figura 02:** Ubicación de los 02 puntos de muestreo en la PTAR.

Cada muestra estuvo conformada por: 0.5 litros de agua residual doméstica tomadas del efluente de la PTAR de Atuncolla, las mismas que fueron analizadas en el laboratorio especializado: Megalaboratorios Químicos de los ANDES S.A.C.

### **3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.**

Descriptivo.

#### **3.3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.**

No Experimental - Descriptivo.

#### **3.3.3. MÉTODO.**

Deductivo , cualitativo.

### **3.3. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVO ESPECÍFICOS**

#### **3.3.1. PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO ESPECÍFICO 1.**

Determinar la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Atuncolla, año 2025.

- Fase de planificación: Se realizaron las siguientes actividades.
  - La identificación de los parámetros fisicoquímicos (como DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, pH, temperatura) y microbiológicos (como coliformes totales y fecales) a evaluar.
  - La ubicación exacta de los puntos de muestreo (afluente y efluente).
  - La frecuencia y el número de muestras a recolectar.
- Fase de campo:

Se realizó la toma de muestras compuestas en dos puntos representativos de la PTAR:

- Afluente: Entrada del agua residual sin tratar.
- Efluente: Salida del agua ya tratada.
- El procedimiento siguió las disposiciones del Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes aprobado mediante R.M. N.º 273-2013-VIVIENDA, incluyendo el uso de recipientes estériles, condiciones de conservación y custodia de muestras.
- Fase de laboratorio:

Las muestras fueron enviadas a un laboratorio (Megalaboratorios Químicos de los ANDES S.A.C.) para su análisis, utilizando métodos normalizados.
- Fase de evaluación:

Se calcularon el porcentaje de remoción de cada parámetro, mediante la siguiente fórmula descrita en el numeral 2.1.7 del presente documento.

#### **3.3.2. PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO ESPECÍFICO 2**

Determinar si los resultados de los parámetros del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Atuncolla cumplen con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el D.S. N.º 003-2010-MINAM.

- Fase de campo:

Se continuó con el muestreo ya descrito, centrándose en el efluente de la planta. Se garantizó que las condiciones de recolección, conservación y transporte cumplan estrictamente con lo establecido en el protocolo nacional vigente.

- Fase de evaluación:
  - Los resultados analíticos del efluente se compararon con los valores establecidos como Límites Máximos Permisibles (LMP) para vertimientos en cuerpos de agua, según el D.S. N.º 003-2010-MINAM.
  - Se elaborará una tabla comparativa por cada parámetro medido, indicando:
    - Concentración medida (promedio).
    - Valor del LMP.
    - Cumplimiento o no cumplimiento.
- Esto permitió determinar si el tratamiento que realiza la planta es conforme a la normativa ambiental nacional vigente.

### 3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

**Tabla 01:** Operacionalización de variables.

<b>Variable</b>	<b>Definición</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidad de Medición</b>	<b>Categoría y Valores</b>
<b>Variable Independiente.</b>	Conjunto integrado de operaciones y procesos físicos, químicos y biológicos, que se utilizan con la finalidad de depurar las <b>aguas residuales</b> hasta un nivel tal que permita alcanzar la calidad requerida para su disposición final	Remoción de DBO5 Remoción de DQO Remoción de TSS Remoción de Aceites y Grasas Eliminación de Coliformes Termotolerant es	mg/L mg/L mg/L mg/L NMP/100ML	Numérico
<b>Variable Dependiente.</b>	Porcentaje de disminución del valor de los parámetros.	Eficiencia	Porcentaje	Numérico
Eficiencia de la Planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Atuncolla				

### 3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

Estadística descriptiva

Se utilizó para resumir y organizar los datos obtenidos en campo y laboratorio. Las herramientas aplicadas fueron:

- **Tablas de frecuencia:** Para mostrar la distribución de valores obtenidos por cada parámetro (DBO5, DQO, SST, coliformes fecales, etc.) antes y después del tratamiento.
- **Representaciones gráficas:** Gráficos de barras y líneas para comparar visualmente los niveles de los parámetros en la entrada y salida del sistema de tratamiento.

Cálculo de eficiencia de remoción

Para cada parámetro contaminante se aplicó la siguiente fórmula para calcular la eficiencia de remoción del sistema (Pacheco, 1993):

$$\text{Eficiencia (\%)} = \left( \frac{C_{\text{afluente}} - C_{\text{efluente}}}{C_{\text{afluente}}} \right) \times 100$$

$C_{\text{afluente}}$ : concentración del parámetro en el ingreso a la PTAR.

$C_{\text{efluente}}$ : concentración del parámetro en la salida de la PTAR.

Comparación con los estándares legales

Los valores de los parámetros en el efluente fueron contrastados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) del **D.S. N.º 003-2010-MINAM** para verificar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

## CAPÍTULO IV

### EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

#### 4.1. DETERMINACIÓN DE LA REMOCIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DISTRITO DE ATUNCOLLA, AÑO 2025

**Tabla 02:** Remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Parámetros	Unidad	Afluente	Efluente	Remoción
pH	Valor de pH	7.40	7.85	-6%[NC]
Conductividad eléctrica (C.E.)	mS / cm	1.85	0.95	49%
Temperatura	°C	14.50	14.2	[NC]
Sólidos disueltos totales (SDT)	g/L	0.92	0.47	49%
Sólidos totales en suspensión	mg/L	120.00	30	75%
Aceites y grasas	mg/L	2.10	1.5	29%
Demanda bioquímica de Oxígeno DBO5	mg/L	164.00	36	78%
Demanda química de Oxígeno DQO	mg/L	410.00	90	78%
Coliformes totales	NMP/100 ml	25000	820	97%
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	18000	550	97%
			<b>PROMEDIO</b>	<b>69%</b>

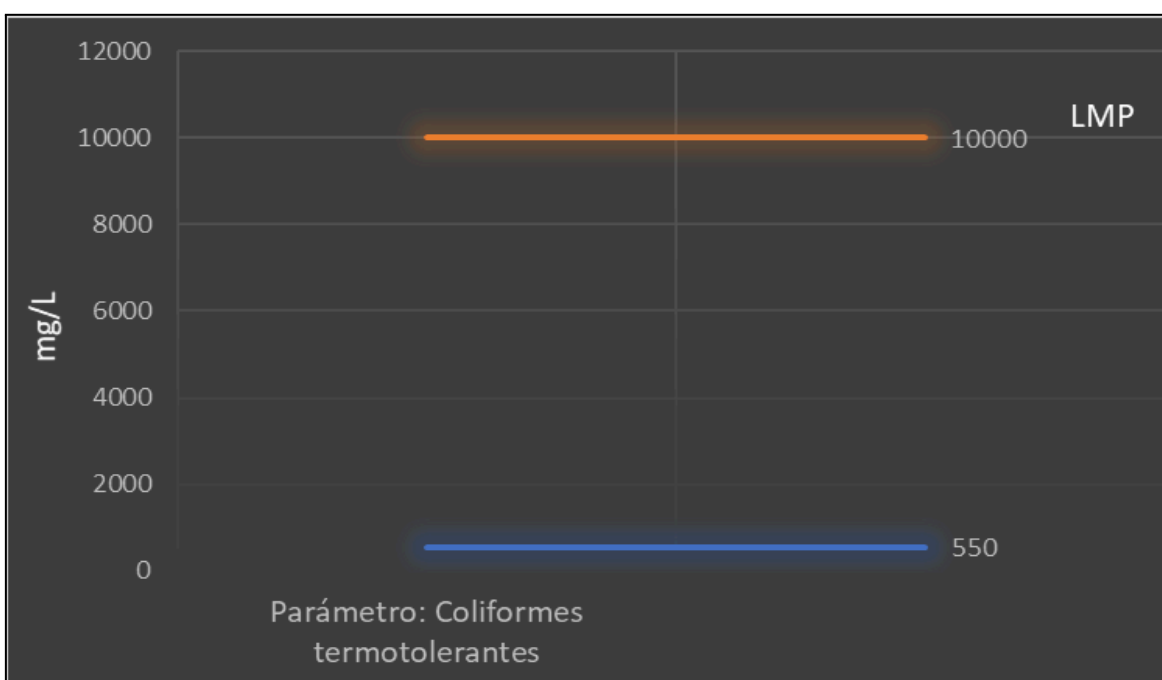
Nota: NC = Valor no considerado para la remoción.

De acuerdo a los observado en la tabla 02, el pH del afluente (7.40) aumentó ligeramente en el efluente (7.85), mostrando un valor dentro del rango neutro, el cálculo de “remoción” aparece negativo (-6 %), lo que en realidad no corresponde a un proceso de reducción sino a un ajuste natural del agua residual durante el tratamiento. Esto indica que el sistema mantiene la neutralidad del agua, lo cual es adecuado para los procesos biológicos y no representa un problema. La conductividad eléctrica se redujo en un 49 %, al igual que los SDT, pasando de 0.92 g/L a 0.47 g/L, esto evidencia que la PTAR tiene buena capacidad para disminuir sales disueltas y sólidos no sedimentables, mejorando la calidad del agua para su vertimiento. Respecto a la temperatura se registró un leve descenso de 14.5 °C a 14.2 °C, equivalente al 2 % de “remoción”, la temperatura no es un parámetro que la PTAR busque remover, por lo que este cambio es irrelevante desde el punto de vista de eficiencia. En cuanto a los sólidos totales en suspensión (STS) pasaron de 120 mg/L en el afluente a 30 mg/L en el efluente, con una reducción del 75 %, éste es un resultado esperado y positivo, ya que la remoción de STS es fundamental en el tratamiento primario y secundario. Para los aceites y grasas, la reducción fue de solo 29 %, bajando de 2.1 mg/L a 1.5 mg/L, aunque existe cierta remoción, la eficiencia es baja en comparación con otros parámetros, lo que podría deberse a limitaciones en las etapas de pretratamiento (desengrasadores o rejillas). El DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) disminuyó de 164 mg/L a 36 mg/L, logrando una eficiencia de 78 %, éste evidencia una buena capacidad del sistema biológico para remover materia orgánica biodegradable. La DQO (Demanda Química de Oxígeno) se redujo de 410 mg/L a 90 mg/L, también con una eficiencia del 78 %, éste valor confirma que la planta logra remover materia orgánica tanto biodegradable como no biodegradable en proporciones significativas. En los coliformes totales y termotolerantes, la reducción fue muy alta, con eficiencias de 97 % en ambos casos, éste refleja que el sistema de desinfección (probablemente radiación UV o cloración) funciona de manera adecuada, garantizando una notable disminución de la carga microbiológica.

En la eficiencia promedio no se han considerado los valores para el pH por ser un dato atípico y la temperatura por no ser representativos, por lo que la eficiencia real de la PTAR es igual 69 %, lo cual es un desempeño positivo.

#### 4.2. DETERMINACIÓN SI LOS RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE ATUNCOLLA CUMPLEN CON LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (LMP) ESTABLECIDOS EN EL D.S. N.º 003-2010-MINAM.

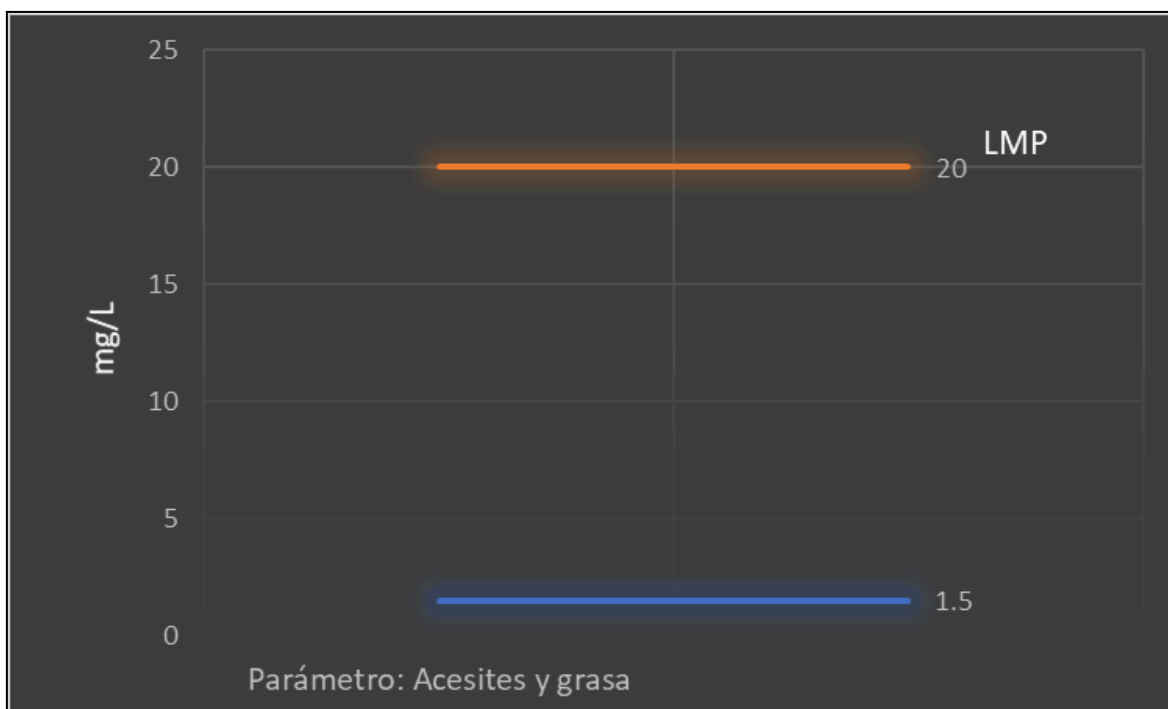
De acuerdo al D.S. N.º 003-2010-MINAM, los parámetros establecidos en la norma para determinar los Límites Máximos Permisibles son: Aceites y grasas, Coliformes termotolerantes, Demanda bioquímica de Oxígeno DBO5, Demanda química de Oxígeno DQO, pH, Sólidos totales en suspensión y temperatura, por lo que pasaremos a describir el análisis para cada parámetro.



**Figura 03:** Cumplimiento de los LMP establecidos en el D.S. 003-2010-MINAM para los coliformes termotolerantes,

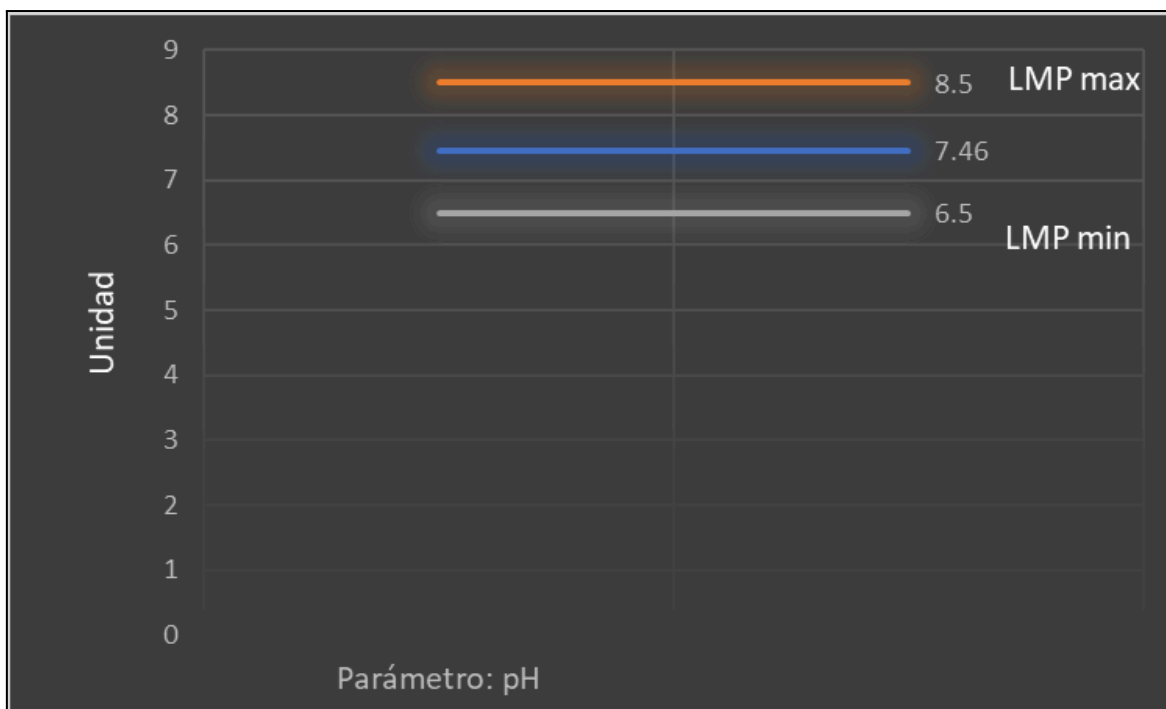
De acuerdo a la figura 03, el valor encontrado (550 NMP/100 ml) está muy por debajo del límite máximo permisible (10 000 NMP/100 ml) ésto representa un cumplimiento pleno de la normativa, con un margen de seguridad amplio, ya que el valor real equivale

aproximadamente al 5.5 % del límite permitido. El resultado refleja que el sistema de desinfección de la PTAR (probablemente por radiación solar natural UV) es altamente eficiente, logrando una remoción del 97 %. Desde el punto de vista sanitario, esta condición es favorable, ya que la reducción significativa de coliformes termotolerantes disminuye el riesgo de transmisión de enfermedades de origen hídrico a la población y a los ecosistemas receptores.



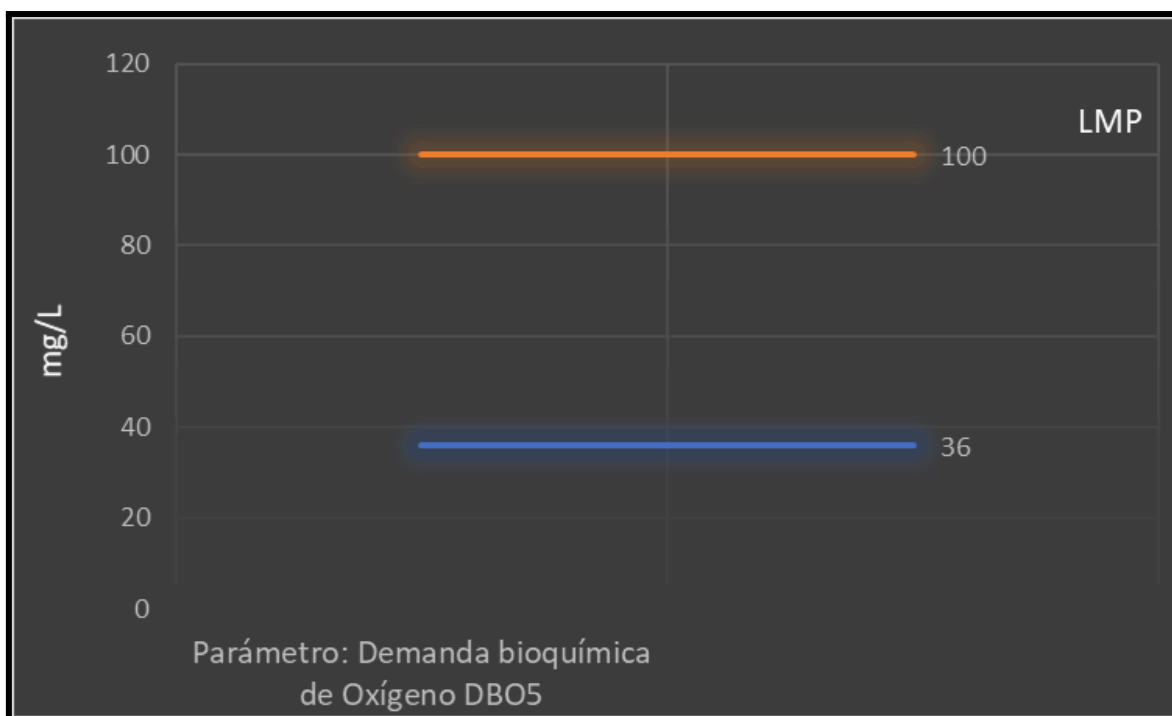
**Figura 04:** Cumplimiento de los LMP establecidos en el D.S. 003-2010-MINAM para los aceites y grasas. El LMP es 20 y el valor obtenido es 1.5 mg/L

De acuerdo a lo observado en la figura 04, el valor registrado (1.5 mg/L) es mucho menor al límite máximo permisible (20 mg/L). Esto significa que la PTAR cumple ampliamente con la normativa vigente. La concentración medida equivale apenas al 7.5 % del límite permitido, lo que indica un desempeño eficiente en la remoción de aceites y grasas. Ambientalmente, este resultado es positivo, ya que evita la formación de películas superficiales en cuerpos de agua, mejora la oxigenación y reduce riesgos de impactos negativos en la vida acuática.



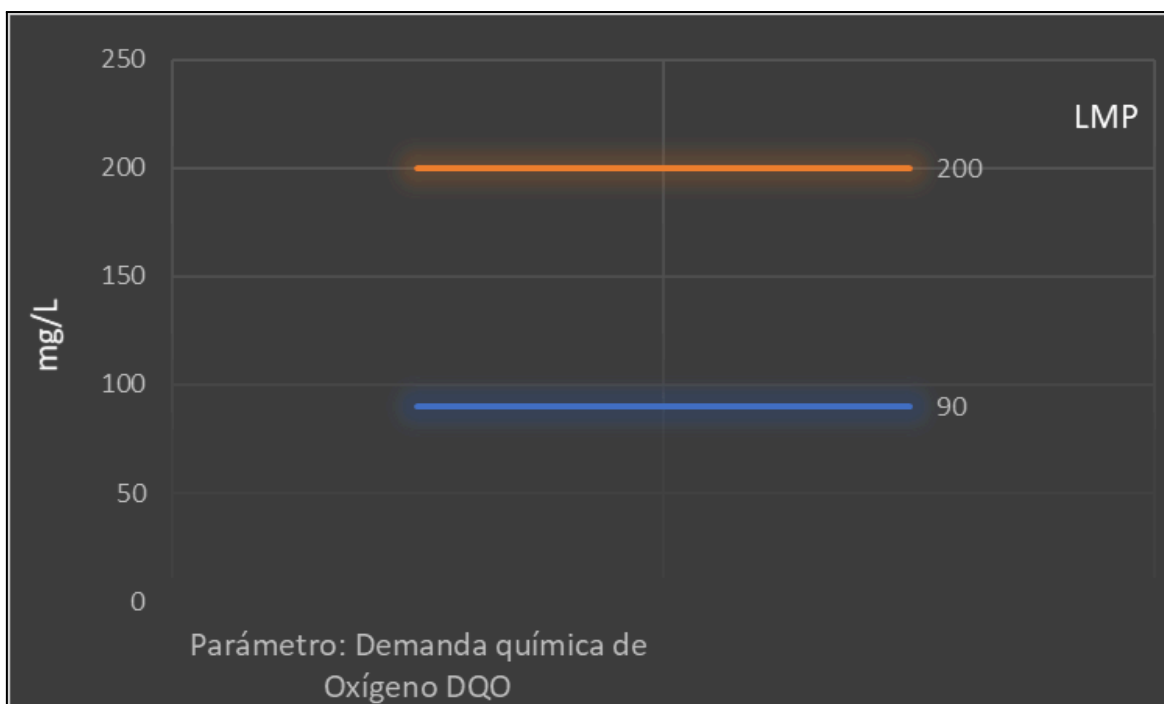
**Figura 05:** Cumplimiento de los LMP establecidos en el D.S. 003-2010-MINAM para el pH.

De acuerdo a figura 05 el valor de pH (7.46) se encuentra dentro del rango permitido (6.5 a 8.5), ésto indica un cumplimiento pleno de la normativa. El valor ligeramente alcalino es óptimo para los procesos biológicos del tratamiento y no representa riesgo de corrosión ni toxicidad en el agua tratada. Desde el punto de vista ambiental, un pH en este rango permite que el efluente se integre sin alterar significativamente las condiciones naturales del cuerpo receptor.



**Figura 06:** Cumplimiento de los LMP establecidos en el D.S. 003-2010-MINAM para la demanda bioquímica de Oxígeno.

De acuerdo a lo observado en la figura 06, el valor obtenido (36 mg/L) es considerablemente inferior al límite máximo permisible (100 mg/L), ésto indica un cumplimiento pleno de la normativa, con un margen de seguridad importante (apenas el 36 % del LMP). La eficiencia de remoción de la  $DBO_5$  fue de 78 %, lo que refleja un buen desempeño de los procesos biológicos de la planta. Desde el punto de vista ambiental, una baja concentración de  $DBO_5$  implica que el efluente no ejercerá una gran demanda de oxígeno en el cuerpo receptor, reduciendo el riesgo de eutrofización y afectación a la fauna acuática.



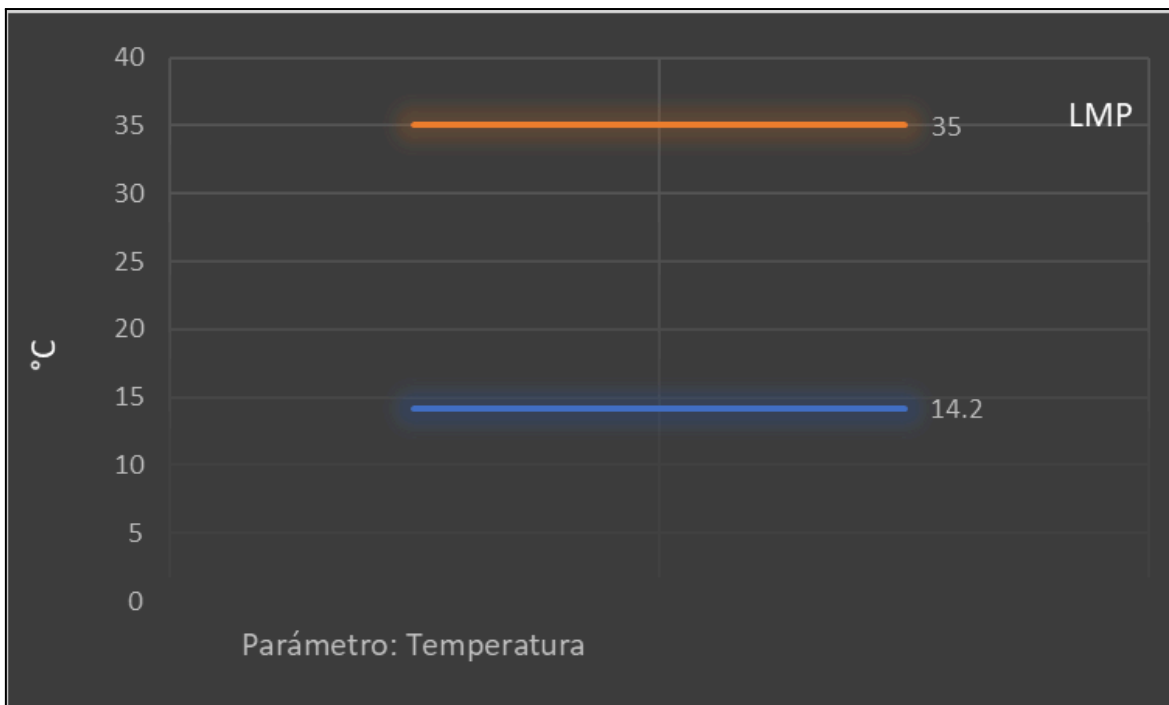
**Figura 06:** Cumplimiento de los LMP establecidos en el D.S. 003-2010-MINAM para la demanda bioquímica de Oxígeno.

De lo observado en la figura 06, el valor registrado (90 mg/L) es notablemente menor al límite máximo permisible (200 mg/L). Esto evidencia un cumplimiento pleno de la normativa, ya que representa solo el 45 % del LMP permitido, la eficiencia de remoción de la DQO fue de 78 %, lo que confirma la adecuada reducción de materia orgánica y compuestos oxidables en el proceso de tratamiento. Ambientalmente, este resultado es favorable, ya que reduce la posibilidad de que el efluente genere consumos excesivos de oxígeno en el cuerpo receptor y disminuye el riesgo de degradación de la calidad del agua.



**Figura 07:** Cumplimiento de los LMP establecidos en el D.S. 003-2010-MINAM para los sólidos totales en suspensión. el LMP es de 150 y el valor es 30 mg/L

Como se observa en la figura 07, el valor obtenido (30 mg/L) es muy inferior al límite máximo permisible (150 mg/L), ésto refleja un cumplimiento pleno de la normativa, con un amplio margen de seguridad (solo equivale al 20 % del LMP permitido), la eficiencia de remoción fue de 75 %, lo que muestra un buen desempeño de las unidades de sedimentación y clarificación en la PTAR. Desde el punto de vista ambiental, una baja concentración de sólidos suspendidos disminuye la turbidez del efluente, mejora la penetración de la luz en el cuerpo receptor y reduce el riesgo de sedimentación excesiva que pueda afectar hábitats acuáticos.



**Figura 08:** Cumplimiento de los LMP establecidos en el D.S. 003-2010-MINAM para la temperatura. el LMP es de 35 y el valor es 14.2 °C

Como se aprecia en la figura 08, el valor medido (14.2 °C) se encuentra muy por debajo del límite máximo permisible (35 °C). Esto evidencia un cumplimiento pleno de la normativa, ya que la temperatura es adecuada y no representa un riesgo de alteración térmica en el cuerpo receptor. Desde el punto de vista ambiental, mantener la temperatura baja favorece la estabilidad del ecosistema acuático, evitando fenómenos como la disminución del oxígeno disuelto o el estrés térmico en los organismos. Asimismo, este resultado refleja que la PTAR no genera un impacto térmico significativo en sus descargas, lo cual es positivo para la calidad del agua receptora.

#### 4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Colorado (2023) obtuvo eficiencias de remoción de DQO entre 75% y 79% empleando un sistema de lodos activados en condiciones de laboratorio, valores diferentes pero cercanos a los alcanzados en Atuncolla (78%). Este hallazgo confirma la capacidad del tratamiento biológico de lodos activados para reducir significativamente la carga orgánica. Por otro lado,

Echeverría et al. (2021) reportaron eficiencias más bajas para DBO (55%) y DQO (67%), aunque con resultados similares a Atuncolla en SST (80%). La diferencia principal radica en que la PTAR Atuncolla superó a esta experiencia internacional en parámetros de materia orgánica y microbiológicos, aunque con menor atención en nutrientes y aceites y grasas, que fueron más estudiados en el caso colombiano.

Jiménez (2024), en la PTAR Taboada, evidenció bajas eficiencias de remoción en DBO<sub>5</sub> (23,7%), DQO (26,6%) y SST (26,1%), con un pobre desempeño microbiológico (32,6% en coliformes totales y 31,5% en termotolerantes). En contraste, Atuncolla alcanzó porcentajes mucho más altos en los mismos parámetros (78%, 78%, 75% y 97%, respectivamente), lo que evidencia un mejor desempeño relativo. Sin embargo, Guardia (2023) y Pacori (2024) señalaron que tecnologías como el tanque Imhoff y los filtros percoladores presentan bajas eficiencias (<30% en DBO<sub>5</sub> y DQO), lo que contrasta con Atuncolla, donde el sistema ICEAS mostró resultados superiores. En cambio, estudios como los de Rojas (2023) y Díaz (2022) muestran eficiencias elevadas y consistentes (superiores al 67% en DBO<sub>5</sub> y DQO), coincidiendo con los resultados obtenidos en esta investigación, aunque con menor eficiencia en coliformes respecto a Atuncolla.

En el ámbito local, Mamani (2024) y Paucar (2023) identificaron deficiencias importantes en la PTAR de Ajoyani, con valores negativos en la remoción de coliformes (-110,53%) y bajas eficiencias en aceites y grasas (11,23%). En contraste, Atuncolla muestra un comportamiento inverso: la remoción de coliformes es altamente efectiva (97%), pero la de aceites y grasas es limitada (29%). Esta contradicción sugiere que, mientras algunos sistemas locales enfrentan dificultades en la desinfección, Atuncolla presenta limitaciones en la eliminación de grasas, lo que podría estar relacionado con deficiencias en el pretratamiento (desarenadores y trampas de grasa). Adicionalmente, Salgado (2024) evidenció incrementos en DQO, SST y aceites y grasas en otra planta local, reflejando un desempeño deficiente que contrasta con la estabilidad observada en Atuncolla.

#### 4.4. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

##### 4.4.1. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS GENERAL.

Planteamos la Hipótesis Nula:

$H_0$  = La planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Atuncolla, año 2025, es eficiente.

La Hipótesis Alternativa:

$H_1$  = La planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Atuncolla, año 2025, no es eficiente.

El promedio de remoción de 69% (tabla 02), esto indica que la PTAR tiene una eficiencia alta en la remoción de contaminantes críticos, aunque con ligeras limitaciones en parámetros fisicoquímicos menos relevantes, el 100% de los parámetros evaluados cumplen con los LMP nacionales, lo cual valida la efectividad del sistema. Con base en los resultados, **se acepta la Hipótesis Nula ( $H_0$ )**: la PTAR de Atuncolla es eficiente, ya que logra remociones significativas y cumple con los LMP establecidos por la normativa peruana.

##### 4.4.2. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1.

Planteamos la Hipótesis Nula:

$H_0$  = La remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la planta de tratamiento de aguas residuales distrito de Atuncolla, año 2025, no es baja.

La Hipótesis Alternativa:

$H_1$  = La remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la planta de tratamiento de aguas residuales distrito de Atuncolla, año 2025, es baja.

De acuerdo a los análisis a favor de  $H_0$  (remoción no es baja): La remoción global (69%) es aceptable y mayor al 50%, la mayoría de los parámetros relevantes ( $DBO_5$ , DQO, SST, coliformes) superan ampliamente el 70% de remoción. El efluente final cumple con los LMP nacionales. La evidencia indica que **la Hipótesis Nula ( $H_0$ ) se acepta**, ya que la remoción no es baja en términos globales, con un desempeño sobresaliente en parámetros críticos.

#### 4.4.3. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2.

Planteamos la Hipótesis Nula:

$H_0$  = Los resultados de los parámetros del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Atuncolla cumplen con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el D.S. N.° 003-2010-MINAM.

La Hipótesis Alterna:

$H_1$  = Los resultados de los parámetros del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Atuncolla no cumplen con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el D.S. N.° 003-2010-MINAM.

Debido a que el pH, SST,  $DBO_5$ , DQO, coliformes termotolerantes, aceites y grasas, y temperatura (figuras 03 a 08) están dentro de los rangos permitidos. No se identificaron parámetros regulados que sobrepasen los LMP. Se **acepta la Hipótesis Nula ( $H_0$ )**, confirmando que los resultados del efluente de la PTAR de Atuncolla, año 2025

## CONCLUSIONES

**PRIMERA.** Respecto a la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Atuncolla, año 2025, se concluye que la planta presenta un promedio general de remoción de 69%, lo que evidencia un desempeño eficiente en la reducción de contaminantes. Este resultado refleja que el sistema de tratamiento implementado logra una disminución significativa de la carga contaminante, situándose dentro de valores aceptables reportados en la literatura nacional e internacional.

**SEGUNDA.** En relación a la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la PTAR de Atuncolla, año 2025, los resultados demuestran altos niveles de remoción en parámetros críticos: 97% en coliformes termotolerantes y coliformes totales, 78% en DBO<sub>5</sub> y DQO, y 75% en sólidos suspendidos totales. Asimismo, se logró un 49% en sólidos disueltos totales y conductividad, mientras que los aceites y grasas mostraron una eficiencia menor (29%). Estos hallazgos confirman la efectividad del tratamiento en la eliminación de materia orgánica y carga microbiológica, aunque se requiere optimización en la remoción de grasas.

**TERCERA.** Respecto a si los resultados de los parámetros del efluente cumplen con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el D.S. N.° 003-2010-MINAM, se concluye que todos los parámetros evaluados se encuentran dentro de los valores normativos: el pH (7.85) cumple con el rango permitido (6.5 – 8.5), la temperatura (14.2 °C) está muy por debajo del límite (35 °C), los sólidos suspendidos totales (30 mg/L) no superan el límite de 150 mg/L, los aceites y grasas (1.5 mg/L) cumplen con el máximo de 20 mg/L, la DBO<sub>5</sub> (36 mg/L) está por debajo de 100 mg/L, la DQO (90 mg/L) por debajo de 200 mg/L y los coliformes termotolerantes (550 NMP/100 ml) cumplen con el límite de

10000. Por tanto, el efluente de la PTAR de Atuncolla, año 2025, sí cumple con los estándares nacionales vigentes para su descarga.

## RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** A la Municipalidad Distrital de Atuncolla, se recomienda mantener y fortalecer la operación de la PTAR, considerando que alcanzó una eficiencia general de 69%. Para garantizar la sostenibilidad de este rendimiento, se sugiere implementar programas de mantenimiento preventivo y correctivo, así como asegurar el financiamiento necesario para el funcionamiento continuo de la planta.

**SEGUNDA:** A los operadores de la PTAR del distrito de Atuncolla, se recomienda optimizar el proceso de tratamiento en la etapa de remoción de aceites y grasas, ya que este parámetro mostró una eficiencia relativamente baja (29%). Para ello, se sugiere la instalación de trampas de grasas más eficientes y la incorporación de unidades complementarias de pretratamiento, lo cual permitirá mejorar la calidad final del efluente.

**TERCERA:** A la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y al Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), se recomienda continuar con el monitoreo periódico de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente de la PTAR de Atuncolla, dado que los resultados cumplen con los LMP del D.S. N.° 003-2010-MINAM. Este seguimiento garantizará el cumplimiento sostenido de la normativa y permitirá detectar oportunamente cualquier desviación en el desempeño del sistema.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANA. (2016). *Autoridad Nacional del Agua considera eficiente Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de provincia puneña de Yunguyo*. Drupal. <http://www.ana.gob.pe/noticia/autoridad-nacional-del-agua-considera-eficiente-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-de>
- Calzada, F., & Martínez del Pozo, J. (2012). *Proyecto diseño de un sistema industrial de enfriamiento con agua de refrigeración para un complejo industrial en Lima*. Universidad Pontificia Icaí Icade Comillas.
- Colorado Bedoya, O. D. (2023). *Evaluación de la eficiencia de un tratamiento secundario de lodos activados a escala laboratorio en las aguas residuales domésticas de la Planta del municipio de Andes, Suroeste antioqueño*. <https://hdl.handle.net/10495/37926>
- Cusiche Pérez, L. F., & Miranda Zambrano, G. A. (2019). Contaminación por aguas residuales e indicadores de calidad en la reserva nacional 'Lago Junín', Perú. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(6), 1433-1447. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1870>
- Guardia Curasma, L. H., & Ccente Inga, R. C. (2023). *Evaluación de la eficiencia de remoción de la DBO, DQO y SST del tanque Imhoff, de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Acoria, provincia de Huancavelica, departamento de Huancavelica*. <https://hdl.handle.net/20.500.14597/5563>
- Gutiérrez Benítez, O., Alomá Oramas, R. M., Castro Rodríguez, D. J., Gutiérrez Benítez, O., Alomá Oramas, R. M., & Castro Rodríguez, D. J. (2021). Manejo de las aguas residuales en el sector empresarial de Cienfuegos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 42(2), 39-51. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1680-03382021000200039&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1680-03382021000200039&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- HIDROTEC. (2023, enero 11). *Tipos de aguas residuales—Hidrotec*. <https://www.hidrotec.com/blog/tipos-de-aguas-residuales/>

- Martins Pinheiro, A., Salla, M. R., & Bolanos Rojas, M. L. (2019). Tratamiento de aguas residuales provenientes de industria de productos de limpieza y desinfectantes por ozonización convencional y catalítica. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 27(2), 223-235. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052019000200223>
- Mendo Belizario, L. N. (2025). Evaluación de la eficiencia de tratamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Lampa, Puno 2024. *Universidad Privada San Carlos*. <http://repositorio.upsc.edu.pe:8080/handle/UPSC/1129>
- Metcalf, & Eddy. (1996). *Ingeniería de las aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización* (McGraw-Hill).
- Pacheco, V. (1993). *Control de calidad en plantas de tratamiento*. Perú.
- Pacori Pacori, J. (2024a). *Evaluación de la eficiencia y alternativa de solución de la planta de tratamiento de aguas residuales en Lampa*. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/renati/1720807>
- Pacori Pacori, J. (2024b). *Evaluación de la eficiencia y alternativa de solución de la planta de tratamiento de aguas residuales en Lampa*. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/21932>
- Paucar Collanque, A. (2023). *Evaluación de la eficiencia de los procesos unitarios de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ajoyani—Carabaya, 2022*. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/20898>
- QUISPE, J., Ortega, P., Ramos, E., & Sanchez, B. (2016). *PROYECTO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE YUNGUYO*. <https://es.scribd.com/doc/295486436/Proyecto-Planta-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-Ptar-Yunguyo>
- Raffo, E., & Ruiz, E. (2014). *Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno* [Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>
- Rojas Pocco, J. E. (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.

<http://repositorio.unajma.edu.pe/handle/20.500.14168/837>

Telwesa. (2024, septiembre 10). Aguas residuales: ¿Qué son y cómo se clasifican?

*Telwesa*. <https://telwesa.com/aguas-residuales/>

UNESCO. (2020). *UN World Water Development Report 2020 – Water and Climate Change* | UNESCO. <https://www.unesco.org/en/wwap/wwdr/2020>

## ANEXOS

Anexo 01: Matriz de Consistencia.

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS
<p><b>PROBLEMA GENERAL:</b> ¿Cuál es la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Atuncolla, año 2025?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL:</b> Determinar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Atuncolla, año 2025.</p>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL:</b> La planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Atuncolla no es eficiente.</p>	<p><b>V. INDEPENDIENTE:</b> Tratamiento de las aguas residuales</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Concentración de DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno después de 5 días)</li> <li>Concentración de DQO (Demanda Química de Oxígeno)</li> <li>Concentración de TSS (Sólidos Suspendedos Totales)</li> <li>Concentración de Aceites y Grasa</li> <li>Concentración de Coliformes Termotolerantes</li> <li>LMP establecidos en el D.S. N.º 003-2010-MINAM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>D.S. N.º 003-2010-MINAM (Ver Anexo 02).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recolección de Datos, mediante observación y registro.</li> <li>Limpeza de Datos para la conciliación en tablas.</li> <li>Estructuración de los datos.</li> <li>Determinación del Rangos de los LMP mediante estadística descriptiva.</li> </ul>
<p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS:</b> • ¿Cómo es la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Atuncolla, año 2025? • ¿En qué medida los resultados de los parámetros del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Atuncolla superan con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el D.S. N.º 003-2010-MINAM?</p>	<p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</b> • Determinar la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Atuncolla, año 2025. • Evaluar si los resultados de los parámetros del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Atuncolla cumplen con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el D.S. N.º 003-2010-MINAM</p>	<p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:</b> • La remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Atuncolla, año 2025, es baja. • Los resultados de los parámetros del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Atuncolla no cumplen con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el D.S. N.º 003-2010-MINAM.</p>	<p><b>V. DEPENDIENTE:</b> Eficiencia de la planta de tratamiento.</p>			


**Anexo 02:** LMP para efluentes de PTAR D.S. 003-2010-MINAM

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PTAR**

**DECRETO SUPREMO Nº 003-2010-MINAM**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS</b>
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

**Anexo 03:** Análisis de laboratorio de las aguas residuales.



**MEGALABORATORIOS QUÍMICOS DE LOS ANDES S.A.C**  
AGUAS – SUELOS – MINERALES Y OTROS.  
CON EQUIPOS CALIBRADOS Y CERTIFICADOS POR COMPARACIÓN  
DE TRAZABILIDAD DIRECTA DE INACAL.  
RUC: 20612800741

**INFORME DE ENSAYO 0120/MQA**  
**RESULTADO DE ANÁLISIS**

---

**ASUNTO:** ANALISIS FISICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUA.

---

**PROCEDENCIA** : ATUNCOLLA - PUNO.  
**INTERESADO** : BACH. LIZBETH MADELEYNE VILCA VARGAS.  
**PROYECTO** : EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE ATUNCOLLA, PUNO, 2025.  
**MOTIVO** : ANALISIS FISICO – QUIMICO Y MICROBIOLÓGICO.  
**FECHA DE MUESTREO** : 09/07/2025 (por el interesado).  
**FECHA DE ANALISIS** : 11/07/2025.

---

**CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS:**

**Aspecto** : Turbio.  
**Color** : Gris.  
**Olor** : Fétido.

---

PARÁMETROS	UNIDAD	M1 (Afluente)	M1-2 (Efluente)	METODOLOGÍA
pH	---	7.40	7.85	Electrométrico
Conductividad Eléctrica (C.E.)	mS/cm	1.85	0.95	Conductímetro
Temperatura	°C	14.5	14.2	Termómetro
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	g/L	0.92	0.47	Evaporación y pesaje
Sólidos Totales en Suspensión (SST)	mg/L	120	30	Filtración y gravimetría
Aceites y Grasas	mg/L	2.10	1.50	Extracción con solventes y gravimetría
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	164	36	Digestión cerrada
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	410	90	Digestión cerrada


---

**RESULTADO DE ANALISIS MICROBIOLÓGICO:**


Coliformes totales	NMP/100ml	25 000	820	Técnica del Número Más Probable (NMP)
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	18 000	550	Técnica del Número Más Probable (NMP)

---

**INTERPRETACION:**  
 El agua analizada es en licores líquido por lo tanto los resultados serán interpretados en el área correspondiente.



*[Signature]*  
**Dennis Fernando Callabaza**  
 RUC: 20612800741  
 GERENTE



*[Signature]*  
**Salomón Justo Morales Yucra**  
 INGENIERO QUÍMICO  
 ANALISTA DE LABORATORIO

---

Jr. Esmeralda N°193 URB - Villa Florida – a una cuadra del local Pégola - Puno  
 Cel. 973296546 - 983003185

**Anexo 04:** Galería fotográfica.



**Figura 09:** Ingresando a la PTAR de Atuncolla con el permiso respectivo.



**Figura 10.** Vista panorámica de la PTAR.



**Figura 11:** Verificación de los puntos de muestreo.



**Figura 12:** Personal de la PTAR apoyando en la identificación del punto de afluente



**Figura 13:** Envasando las muestras del afluente.



**Figura 14.** Identificación del punto del efluente.



**Figura 15:** Verificando el punto del efluente



**Figura 16:** Tomando muestras del efluente



**Figura 17:** Rotulando las muestras del efluente



**Figura 18:** Almacenando la s muestras para el laboratorio



**Figura 19:** Despedida y agradecimiento al personal que me ha apoyado.