

# UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**TESIS**

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE TRATAMIENTO DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE LAMPA, PUNO**

**2024**

**PRESENTADA POR:**

**LIDIA NANCY MENDO BELIZARIO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PUNO – PERÚ**

**2025**



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



# 9.37%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 3 JAN 2025, 11:34 AM

## Similarity report

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

● IDENTICAL  
2.08%

● CHANGED TEXT  
7.28%

## Report #24333555

LIDIA NANCY MENDO BELIZARIO // EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE TRATAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES DE LA CIUDAD DE LAMPA, PUNO 2024 RESUMEN La presente investigación se realizó en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Distrito de Lampa, ubicado en el Distrito de Lampa, Provincia y Departamento de Puno, en el mes de octubre de 2024, estableciéndose el objetivo general: determinar el nivel de eficiencia que presenta la Planta de Tratamiento de las Aguas Residuales de la ciudad de Lampa Puno 2023. La metodología aplicada fue mediante la toma de muestras in-situ del afluente y efluente, comparándolos con los Límites Máximos Permisibles (LMP) del D.S. N° 003-2010-MINAM y determinando la eficiencia de la PTAR. Las muestras se analizaron en el laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, como el pH, temperatura, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno y coliformes termotolerantes. Los resultados mostraron que el pH, sólidos suspendidos totales, aceites, grasas y coliformes termotolerantes cumplen con los LMP, con un pH entre 7.26, SST de 160 mg/L en el afluente y 101 mg/L en el efluente, y niveles de aceites y grasas muy por debajo de los 20 mg/L permitidos. No obstante, la DQO y la DBO superaron los límites, con una DQO de 520 mg/L en el afluente y 320 mg/L en el efluente,

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

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE TRATAMIENTO DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE LAMPA, PUNO  
2024**

**PRESENTADA POR:**

**LIDIA NANCY MENDO BELIZARIO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

PRIMER MIEMBRO

:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. RONNY ALEXANDER GUTIERREZ CASTILLO

SEGUNDO MIEMBRO

:

  
\_\_\_\_\_  
M.Sc. FREDY APARICIO CASTILLO SUAQUITA

ASESOR DE TESIS

:

  
\_\_\_\_\_  
Mg. ELVIRA ANANÍ DURAND GOYZUETA

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub Área: Ingeniería Ambiental

Línea de investigación: Ingeniería Ambiental y Geológica.

Puno, 07 de enero del 2025.

## DEDICATORIA

A DIOS, por darme la oportunidad de crecer profesionalmente al darme fuerza y sabiduría guiándome en el trayecto de mi vida. Por siempre abrirme las puertas hacia nuevas oportunidades y darme valor y seguridad para continuar siempre hacia adelante dejando que cumpla todos mis objetivos.

A MI MADRE, Josefina Belizario Pacompia, a la mujer que con su entereza me enseñó lo que es vivir, que con su amor y consejo me dio el impulso para salir adelante. A ella que supo ser madre por depositar su confianza en mí, asimismo por tener paciencia y esmero guiándome por un buen camino hasta formarme como profesional y superarme frente a cualquier inconveniente.

Con mucho cariño, para todas las personas que me brindaron todo su apoyo incondicional, por sus consejos, sus valores, su motivación los cuales me han permitido ser una persona de bien.

**LIDIA NANCY MENDO BELIZARIO**

## AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a la Universidad Privada San Carlos S.A.C. por la formación académica brindada durante estos 5 años. A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental al alcanzar mi sueño de convertirme en una gran profesional y contribuir en la preservación del medio ambiente.

Agradezco a mi asesora de tesis Mg. Elvira Ananí Durand Goyzueta por su importante aporte en mi formación académica, por su orientación y apoyo constante en la realización de esta tesis.

Agradezco a los miembros del jurado: Dr. Esteban Isidro Leon Apaza, Dr. Ronny Alexander Gutiérrez Castillo y al M.Sc. Fredy Aparicio Castillo Suaquita, por su participación activa en la realización de esta tesis.

Expresar también mis más sinceros agradecimientos a los docentes de la Facultad de Ingeniería Ambiental por contribuir en mi formación académica al formarme como profesional moralmente ético y competitivo.

**LIDIA NANCY MENDO BELIZARIO**

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	8
ACRÓNIMOS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12

### CAPÍTULO I

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

<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>14</b>
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	15
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	15
<b>1.2. ANTECEDENTES</b>	<b>16</b>
1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	16
1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES	18
1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES	20
<b>1.3. OBJETIVOS</b>	<b>24</b>
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	24
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

<b>2.1. MARCO TEÓRICO</b>	<b>26</b>
---------------------------	-----------

2.1.1. AGUAS RESIDUALES	26
2.1.2. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)	27
2.1.3. FUNDAMENTOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	27
2.1.4. PARÁMETROS FÍSICOS	27
2.1.5. PARÁMETROS QUÍMICOS	29
2.1.6. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS	30
2.1.7. CONTEXTO LOCAL: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAMPA	31
2.1.8. IMPORTANCIA DE EVALUAR LA EFICIENCIA DE LAS PTAR	31
2.1.9. AVANCES TECNOLÓGICOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	31
2.1.10. EVALUACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	32
2.1.11. EFICIENCIA DE REMOCIÓN	32
2.1.12. MUESTRA Y MUESTREO DEL AGUA	33
<b>2.2. MARCO CONCEPTUAL</b>	<b>33</b>
<b>2.3. MARCO NORMATIVO</b>	<b>34</b>
<b>2.4. HIPÓTESIS</b>	<b>37</b>
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	37
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	37
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>	
<b>3.1. ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>38</b>
<b>3.2. TAMAÑO DE MUESTRA</b>	<b>39</b>
<b>3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS</b>	<b>39</b>
3.3.1. TIPO DE ESTUDIO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	39
3.3.2. MUESTREO	40
3.3.3. TOMA DE MUESTRA	42

3.3.4. ETIQUETADO, ROTULADO Y LLENADO DE LA CADENA DE CUSTODIA	
43	
3.3.5. ANÁLISIS DE LABORATORIO	43
3.3.6. DISEÑO ESTADÍSTICO	47
3.3.7. EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS UTILIZADOS	48
<b>3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES</b>	<b>48</b>
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</b>	
<b>4.1. RESULTADOS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 1</b>	<b>50</b>
<b>4.2. RESULTADOS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 2:</b>	<b>60</b>
<b>4.3. RESULTADOS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 3:</b>	<b>66</b>
<b>4.4. RESULTADOS PARA EL OBJETIVO GENERAL</b>	<b>68</b>
<b>4.5. DISCUSIONES DE RESULTADOS</b>	<b>72</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>74</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>76</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>78</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>87</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 01:</b> Límites Máximos Permisibles de agua para efluentes de PTAR.	36
<b>Tabla 02:</b> Cuadro de distribución de muestras de agua PTAR Lampa en tres meses	42
<b>Tabla 03:</b> Metodologías para el análisis de datos por parámetro.	47
<b>Tabla 04:</b> Operacionalización de variables.	49
<b>Tabla 05:</b> Rango de interpretación de correlación	59
<b>Tabla 06:</b> Rango de interpretación de correlación	61
<b>Tabla 07:</b> Resultados de la Diferencia para cada uno de los parámetros analizados entre las muestras del afluente y efluente.	62
<b>Tabla 08:</b> Rango de interpretación de correlación	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 01:</b> Ubicación geográfica de la zona de estudio, localidad de la ciudad de Lampa	38
<b>Figura 02:</b> Toma de muestras en el afluente de la PTAR Lampa.	41
<b>Figura 03:</b> Toma de muestras en el efluente de la PTAR Lampa.	42
<b>Figura 04:</b> Toma de muestras en el efluente de la PTAR Lampa.	43
<b>Figura 05:</b> Resultado de los valores del afluente y efluente del pH octubre, 2024.	50
<b>Figura 06:</b> Resultado de los valores del afluente y efluente de la temperatura octubre, 2024.	52
<b>Figura 07:</b> Resultado de los valores del afluente y efluente de los AyG octubre, 2024.	53
<b>Figura 08:</b> Resultado de los valores del afluente y efluente de la DQO octubre, 2024.	54
<b>Figura 09:</b> Resultado de los valores del afluente y efluente de la DBO octubre, 2024.	55
<b>Figura 10:</b> Resultado de los valores del afluente y efluente de los SST octubre, 2024.	57
<b>Figura 11:</b> Resultado de los valores del afluente y efluente de los Coliformes termotolerantes, agosto, 2024.	58

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 01:</b> Matriz de consistencia	88
<b>Anexo 02:</b> Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas residuales de la PTAR Lampa	89
<b>Anexo 03:</b> Resultado fisicoquímico de análisis de agua residuales de la PTAR Lampa.	90
<b>Anexo 04:</b> Resultado microbiológico de análisis de agua residuales de la PTAR Lampa.	91

## ACRÓNIMOS

A&G	Aceites y Grasas
CE	Conductividad eléctrica
C. T.	Coliformes Termotolerantes
D. S.	Decreto Supremo
DBO5	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
OD	Oxígeno Disuelto
pH	Potencial de Hidrógeno
LMP	Límites Máximos Permisibles
OMS	Organización Mundial de la Salud
SST	Sólidos Suspendidos Totales
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
R.N.E	Reglamento Nacional de Edificaciones
MINAM	Ministerio del Ambiente
RUPAP	Registro Único para el Proceso de Adecuación Progresiva
T°	Temperatura

## RESUMEN

La presente investigación se realizó en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Distrito de Lampa, ubicado en el Distrito de Lampa, Provincia y Departamento de Puno, en el mes de octubre de 2024, estableciéndose el **objetivo** general: determinar el nivel de eficiencia que presenta la Planta de Tratamiento de las Aguas Residuales de la ciudad de Lampa Puno 2024. La **metodología** aplicada fue mediante la toma de muestras in-situ del afluente y efluente, comparándolos con los Límites Máximos Permisibles (LMP) del D.S. N°003-2010-MINAM y determinando la eficiencia de la PTAR. Las muestras se analizaron en el laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, como el pH, temperatura, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno y coliformes termotolerantes. Los resultados mostraron que el pH, sólidos suspendidos totales, aceites, grasas y coliformes termotolerantes cumplen con los LMP, con un pH entre 7.26, SST de 160 mg/L en el afluente y 101 mg/L en el efluente, y niveles de aceites y grasas muy por debajo de los 20 mg/L permitidos. No obstante, la DQO y la DBO superaron los límites, con una DQO de 520 mg/L en el afluente y 320 mg/L en el efluente, y una DBO de 208 mg/L en el afluente y 128 mg/L en el efluente, superando los 100 mg/L permitidos. Esto refleja una ineficiencia en la remoción de materia orgánica que podría generar eutrofización si el efluente no es tratado adecuadamente. Se **concluye** que la PTAR de Lampa demuestra una eficiencia moderadamente alta al cumplir con los LMP para pH, sólidos suspendidos totales, temperatura, aceites y grasas, y coliformes termotolerantes; con retos importantes en la reducción de la DQO y la DBO, cuyos valores en el efluente exceden los LMP establecidos, destacando la necesidad de mejoras en el tratamiento para optimizar la eliminación de materia orgánica.

**Palabras clave:** Eficiencia, Eutrofización, Materia orgánica, Remoción de contaminantes, Tratamiento de aguas residuales.

## ABSTRACT

This research was conducted at the Wastewater Treatment Plant (PTAR) in the District of Lampa, located in the District of Lampa, Province, and Department of Puno, in October 2024. The general objective was established as follows: to determine the efficiency level of the Wastewater Treatment Plant of the city of Lampa, Puno, in 2024. The methodology involved in-situ sampling of the influent and effluent, comparing them with the Maximum Permissible Limits (LMP) outlined in D.S. No. 003-2010-MINAM, and determining the efficiency of the PTAR. The samples were analyzed at the laboratory of the National University of the Altiplano in Puno for physicochemical and microbiological parameters, such as pH, temperature, total suspended solids (TSS), oils and fats, Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand (BOD), and thermotolerant coliforms.

The results showed that pH, total suspended solids, oils and fats, and thermotolerant coliforms met the LMP, with a pH of 7.26, TSS levels of 160 mg/L in the influent and 101 mg/L in the effluent, and oil and fat concentrations well below the permissible 20 mg/L. However, COD and BOD exceeded the limits, with a COD of 520 mg/L in the influent and 320 mg/L in the effluent, and a BOD of 208 mg/L in the influent and 128 mg/L in the effluent, surpassing the permissible limit of 100 mg/L. This reflects inefficiency in organic matter removal, which could lead to eutrophication if the effluent is not adequately treated. It is concluded that the PTAR of Lampa demonstrates moderately high efficiency in meeting the LMP for pH, total suspended solids, temperature, oils and fats, and thermotolerant coliforms. However, significant challenges remain in reducing COD and BOD, whose effluent values exceed the established LMP, highlighting the need for treatment improvements to optimize organic matter removal.

**Keywords:** Efficiency, Eutrophication, Organic matter, Pollutant removal, Wastewater treatment.

## INTRODUCCIÓN

Históricamente, los ríos han sido utilizados como vertederos de desechos urbanos (Andrade, 2020). En muchos casos, estos residuos son transportados por sistemas de alcantarillado deficientemente diseñados hacia Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales igualmente ineficientes, que no ofrecen las condiciones necesarias para un tratamiento adecuado y carecen de personal capacitado para su operación y mantenimiento. Este problema no es exclusivo de nuestro país; es una realidad global que compromete la capacidad de resiliencia de los ecosistemas y provoca su paulatina degradación.

La localidad de Lampa, ubicada en la provincia de Puno, ha experimentado un crecimiento demográfico y urbanístico, impulsado en gran medida por su atractivo turístico (Valdez, 2016). Al igual que la ciudad de Puno y otras comunidades pertenecientes a la cuenca del lago Titicaca, Lampa depende de sus tributarios como su principal fuente de agua para consumo humano. Por ello, la conservación y sostenibilidad de la cuenca del lago son fundamentales para las generaciones futuras. Lampa cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), ubicada al sur de la ciudad, que incluye cribas, un desarenador, un canal Parshall, tanque Imhoff, sedimentadores secundarios, sistema de cloración y lechos de secado de lodos.

En este contexto, es fundamental realizar un estudio que evalúe si los parámetros como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), el Potencial de Hidrógeno (pH), la temperatura, los sólidos suspendidos totales (SST), los aceites y grasas (A&G), y los coliformes termotolerantes (C.T.) cumplan con la normativa ambiental vigente en sus efluentes. Esta investigación abarca, a lo largo de sus capítulos, una revisión de antecedentes, la formulación del problema de investigación, las preguntas y objetivos, y la justificación del estudio. También se desarrolla el marco teórico y conceptual, la metodología y técnicas utilizadas para la toma de muestras (afluente y efluente) y análisis de laboratorio de la PTAR de Lampa. Finalmente, se presentan los resultados de la caracterización de los efluentes, su comparación con el D.S N°

003-2010-MINAM, se evalúa el nivel de eficiencia de la planta y se proponen recomendaciones dirigidas a las autoridades responsables del tratamiento de aguas residuales.

## CAPÍTULO I

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

#### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua es un recurso vital para los seres humanos, sin embargo, su contaminación causada por actividades humanas reduce su disponibilidad tanto a nivel local como global, lo que impacta negativamente en la calidad del agua destinada a las actividades de saneamiento urbano y, en consecuencia, en la calidad de vida de las poblaciones (Aquino, 2017).

En América Latina, donde más del 80% de la población vive en áreas urbanas (CEPAL, 2012), la demanda de agua para necesidades básicas como la alimentación y la limpieza es considerable. Sin embargo, la oferta de agua es insuficiente para satisfacer estas necesidades. Más del 70% de las aguas residuales en la región no reciben tratamiento, lo que altera drásticamente el ciclo del agua (CEPAL, 2012). Además, un gran porcentaje de estas aguas residuales se descargan en cuerpos de agua sin tratamiento previo o con solo un tratamiento primario (Crites & Tchobanoglous, 2000).

En Perú, la situación es preocupante: solo se ha ejecutado el 30% de la inversión pública destinada al tratamiento de agua, según el Plan Nacional de Saneamiento Urbano y Rural 2006-2015. La contaminación del agua afecta tanto a nivel primario como secundario y terciario, siendo las sustancias orgánicas e inorgánicas las principales fuentes de contaminación domiciliar en las ciudades. Esta problemática pone en riesgo la salud pública. De las 143 plantas de tratamiento evaluadas, solo el 14% cumple con las normativas vigentes, mientras que el resto está sobrecargado (OEFA, 2014).

En la región de Puno, se ha identificado un problema ambiental significativo: grandes volúmenes de agua sin tratar o con tratamiento parcial se descargan en el lago Titicaca, afectando sus ecosistemas y la preservación de las áreas circunlacustres. Muchas de estas áreas carecen de plantas de tratamiento de aguas residuales, o las que existen, como las lagunas de oxidación, son ineficientes. Esto pone en peligro la flora y fauna del lago, afectando a especies endémicas y reduciendo el uso de sus recursos por parte de las poblaciones (Aquino, 2017).

En la ciudad de Lampa, cercana a la Laguna Colorada y con una población de 10,863 habitantes y 4,201 viviendas (INEI, 2017), el tratamiento de aguas residuales es una preocupación. Aunque el 49% de las viviendas cuenta con acceso a agua potable por red pública o pilón (MIDIS, 2022), solo el 38% dispone de servicio de desagüe y pozo séptico, lo que crea una brecha que debe ser abordada. Para enfrentar esta situación, se construyó una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en Lampa, operativa desde el 28 de abril de 2018, ubicada a 2 km del centro de la ciudad y a menos de 100 m del río Lampa. Previo a esta planta, las aguas residuales eran tratadas en una laguna de estabilización que colapsó debido a su insuficiencia. La presente investigación evaluará la eficiencia de la PTAR actual y determinará la necesidad de futuras ampliaciones o nuevas plantas para cubrir la demanda de tratamiento de aguas residuales en la ciudad.

#### **1.1.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Cuál será el nivel de eficiencia del tratamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Lampa, Puno 2024?

#### **1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Cuál es la composición fisicoquímica y microbiológica del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Lampa?
- ¿Cuál será el nivel de varianza de valores fisicoquímicos y microbiológicos entre el afluente y el efluente de la PTAR Lampa?

- ¿Cumplirá la PTAR Lampa en su efluente los Límites Máximos Permisibles establecidos para efluentes de aguas residuales municipales del D.S. N° 003-2010-MINAM?

## 1.2. ANTECEDENTES

### 1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Jiménez Cisneros, B. (2003), en su estudio "Water and Wastewater Treatment in Developing Country", la autora analiza la eficiencia de plantas de tratamiento en países en desarrollo, destacando que la mayoría cumple con parámetros básicos como pH y sólidos suspendidos, pero enfrenta desafíos significativos en la reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Concluye que la incorporación de tecnologías avanzadas puede mejorar significativamente la eliminación de materia orgánica.

Sanchez y Matsumoto (2016) en su investigación: "Evaluación del desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de ILHA Solteira (SP) por lagunas facultativas primarias" llevada a cabo en Brasil, llevaron a cabo un estudio descriptivo que incluyó la toma secuencial de muestras de agua de la planta de tratamiento durante un año, un levantamiento batimétrico en las lagunas facultativas primarias, y un monitoreo continuo de 24 horas a lo largo de tres etapas del proceso. Los resultados mostraron una eficiencia en la eliminación de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) del 80,2%. Además, tres muestras registraron un Número Más Probable (NMP) de coliformes fecales por debajo del límite permisible de 1000/100 mL, mientras que en la tercera etapa, los sólidos sedimentables superaron el límite permisible de 1,0 mL/L. Se concluye que es necesario implementar un sistema de pos-tratamiento para mitigar los impactos ambientales potenciales de los efluentes y reducir los riesgos para la salud pública.

Ulco (2018) en su estudio: "Evaluación de la planta de tratamiento n° 3 de aguas residuales "Huaycopungo sur" de la parroquia San Rafael de la laguna, Cantón Otavalo, provincia de Imbabura – Ecuador", realizó una evaluación de la eficiencia de la PTAR "Huaycopungo sur" mediante la toma de muestras de agua, análisis de laboratorio y

comparación con la normativa vigente en Ecuador. Los resultados revelaron un caudal actual de la PTAR de 228 m<sup>3</sup>/día, con una proyección para el año 2026 de 235 m<sup>3</sup>/día, lo que indica que la planta se encuentra cerca de su capacidad máxima. Si bien los análisis mostraron que los niveles de DBO5 y DQO cumplen con los límites legales, los compuestos organoclorados y organofosforados superaron los valores permitidos. En términos generales, se concluyó que la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales (SST) fue del 84%, y que la planta presenta una eficiencia general baja.

Oviedo et al (2019) en el estudio titulado "Evaluación técnica del sistema de tratamiento de aguas residuales de la Primera Brigada de Infantería de Marina BRIM-1", realizaron una investigación descriptiva en Sucre, Bolivia. La metodología empleada incluyó entrevistas con el personal encargado del funcionamiento y mantenimiento de la planta, así como inspecciones directas. Los resultados revelaron que la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la Primera Brigada de Infantería no operaba de manera óptima debido a deficiencias en su mantenimiento. Sin embargo, se identificó que, tras una rehabilitación adecuada, la planta podría continuar funcionando durante el resto de su vida útil, dado que el caudal de aguas residuales ha mostrado una estabilidad relativamente constante debido a la naturaleza rotativa de la población militar. En conclusión, aunque la PTAR posee las características físicas necesarias, es crucial llevar a cabo un mantenimiento y rehabilitación para asegurar su funcionamiento efectivo.

Rodríguez & Gómez (2020), en su investigación, "Análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en plantas de tratamiento de aguas residuales en Bogotá", se determinaron que la mayoría de las plantas evaluadas mantenían niveles de pH, temperatura y aceites y grasas dentro de los límites establecidos. Sin embargo, la DBO del efluente supera los estándares en un 35%, señalando una eficiencia insuficiente en la degradación de la materia orgánica. Los autores propusieron la modernización de los sistemas de aireación.

Echeverría et al. (2021), en su investigación titulada "Evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales basada en lagunas de estabilización

acopladas a un reactor anaerobio compartimentado", realizada en Cochabamba, Bolivia, aplicaron una metodología que incluyó la expansión del dragado y la mejora del sistema de lagunaje, así como la implementación de un Reactor Anaeróbico Compartimentado (RAC) y un sistema de pre-tratamiento mejorado. Los resultados del estudio mostraron que la optimización de las lagunas incrementó la capacidad de tratamiento de la planta. La eficiencia general en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) fue del 55%, 67%, 54%, 80%, 15% y 26% para los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO) total, DQO soluble, entre otros. El estudio concluye que es crucial realizar mantenimiento y remoción periódica de lodos para mejorar el desempeño de la PTAR.

### **1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES**

Terleira (2010) en su estudio científico denominado "Evaluación de la contaminación fecal del agua superficial de la cuenca media del río Shilcayo ubicada entre la bocatoma y el asentamiento humano Villa Autónoma" realizado en la Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, concluye que los análisis de coliformes son fundamentales en la evaluación de la calidad del agua, ya que su presencia constituye un indicador claro de contaminación fecal. Además, destaca la importancia de implementar un plan de muestreo continuo que permita monitorear la variación de la contaminación fecal a lo largo del tiempo en el agua.

Guillermo (2011) en su tesis de grado "Calidad de aguas residuales del tratamiento primario en pozas de oxidación del distrito de Viques-Huancayo", concluyó que los parámetros evaluados en el sistema de tratamiento presentaban concentraciones alarmantes. En promedio, los resultados obtenidos para el afluente fueron: DBO5 de 745.13 mg/l, DQO de 877.03 mg/l y E. Coli de 1100 NMP/100 ml. Para el efluente, los valores resultaron en: DBO5 de 413.70 mg/l, DQO de 516.03 mg/l y E. Coli de 386.67 NMP/100 ml, todos estos por encima de los Estándares de Calidad Ambiental para agua, evidenciando la ineficacia del sistema.

Eduardo (2015) en su estudio: "Evaluación de la eficiencia de la remoción de nutrientes

del efluente de la PTAR de la empresa Esmeralda CORP S.A.C. mediante el uso de humedales artificiales, empleando la especie *Typha domingensis* Pers. (Totora)", realizado en Lima, realizó muestreos periódicos y análisis de laboratorio para evaluar el desempeño del sistema basado en la planta *Typha domingensis* (totora). Los resultados demostraron que el uso de humedales artificiales fue altamente eficiente para la remoción de nitrógeno total, nitrógeno amoniacal y nitratos, logrando una eficiencia promedio de 90% en un periodo de nueve meses. A pesar de ello, el efluente aún no cumple con los estándares de calidad para acuicultura, según el ECA-Agua (Categoría 4). Se concluyó que este sistema de bajo costo y fácil mantenimiento puede ser implementado en zonas rurales, incluso sin la necesidad de una red de alcantarillado.

Chirinos & Pérez (2018) , en su investigación "Evaluación de la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales en Lambayeque", indicaron que el tratamiento cumplía con los estándares para sólidos suspendidos totales y coliformes fecales, pero presentaba deficiencias en la remoción de DQO, con valores que excedían el límite permisible en un 40%. Los autores recomiendan la implementación de procesos de tratamiento terciario para optimizar la calidad del efluente.

Medina (2018) en su estudio: "Evaluación y rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de las lagunas de estabilización del sector Río Seco, distrito de la Joya, provincia de Arequipa", evaluó la eficiencia de la PTAR *Río Seco* en Arequipa. El estudio reveló que la planta no contaba con las condiciones físicas ni operativas adecuadas para el tratamiento eficiente de las aguas residuales, superando los límites máximos permisibles establecidos en la normativa vigente (DS 003-2010-MINAM). El autor concluyó que es necesario rediseñar el sistema para cumplir con los estándares y garantizar su eficiencia.

Cruz (2019) en su investigación: "Efectividad de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales en la remoción de contaminantes físicos, químicos y microbiológicos antes del vertido al río Huallaga, en la localidad de Pacaypampa, distrito de Santa María del Valle, Huánuco", evaluó siete parámetros físicos, químicos y microbiológicos

siguiendo el Protocolo de Monitoreo de Calidad de Efluentes aprobado por el Ministerio de Vivienda. Los resultados mostraron que la DBO5 varió entre 127.1 mg/l y 343.7 mg/l en distintos puntos de monitoreo, mientras que la DQO alcanzó los 505.4 mg/l. El análisis microbiológico de coliformes fecales reveló una disminución significativa a lo largo del proceso, aunque los niveles aún superan los límites permitidos.

Oblitas y Rengifo (2019) en su estudio "Evaluación de la calidad de efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales municipales de la localidad de Awajún, Rioja – San Martín" realizaron un análisis exhaustivo de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Los resultados indicaron que los coliformes termotolerantes eran de 302.83 NMP/100 mL, el pH estaba dentro del rango adecuado con 7.83 unidades, la temperatura media fue de 25.78 °C, la DBO5 fue de 31 mg/L y los sólidos totales en suspensión alcanzaron los 98.3 mg/L. Estos resultados permitieron evaluar la eficiencia del sistema y proponer mejoras.

Yupanqui, L. (2021), en su investigación, "Eficiencia de una planta piloto de tratamiento de aguas residuales en Cusco", mostraron que el sistema piloto era eficiente en la remoción de sólidos suspendidos y aceites y grasas, pero presentaba limitaciones en la reducción de DQO y DBO. Los valores finales de DQO superan los límites en un 50%, mientras que el DBO era un 20% superior al estándar. Se recomienda incluir filtros biológicos como solución.

Torres & Vega (2022), en su investigación "Evaluación del impacto ambiental de plantas de tratamiento de aguas residuales en zonas urbanas del Perú", concluyó que muchas plantas urbanas cumplen parcialmente con los Límites Máximos Permisibles (LMP), con buenos resultados en parámetros como sólidos suspendidos totales y coliformes termotolerantes. Sin embargo, la DQO y la DBO frecuentemente excedían los límites. Los autores destacaron la importancia de un mantenimiento continuo y la adopción de nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia del tratamiento.

### **1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES**

Alanoca (2008). En su estudio de tesis: “Evaluación de la eficiencia operacional mediante las características fisicoquímicas y microbiológicas de los afluentes y efluentes de las lagunas de estabilización de llave”, llegó a las siguientes conclusiones. 1) La eficiencia de tratamiento del sistema mediante la caracterización físico-químico y biológico de los parámetros evaluados son: Sólidos Totales 25.68%, Sólidos Sedimentables 42.15%, DBO5 54.92%, DQO 21.85%, Coliformes Totales 69.15% y Coliformes Fecales 63.08%. 2) Según el balance hídrico se encontró que las pérdidas del caudal en el sistema es de 3.35 L/s, lo que representa el 27.44% de pérdidas en el efluente, cantidad que sobrepasa los parámetros, el valor debe ser menor que el diez por ciento del caudal que ingresa, esto puede estar ocurriendo por infiltración. El periodo de retención teórico es de ocho días para ambas lagunas, encontrándose en los niveles mínimos que es de 10 días.

Arocutipa (2013) en su tesis titulado “Evaluación y propuesta técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales, se realizó en la localidad de Massiapo distrito de Alto Inambari provincia de Sandia”, al comparar los valores determinados en el efluente con los LMP establecidos en el D.S.003-2010-MINAM concluye que “el nivel de contaminación es alto ya que los contaminantes potenciales (DBO5, DQO). Superan los LMP en más del doble, contaminando y afectando de esta manera la vida acuática existente en el rio Inambari, con lo cual el agua residual del efluente no cumple con los LMP para poder ser vertidos al cuerpo receptor”.

Ordoñez (2013) en su trabajo de tesis magistral “Geotecnia ambiental de la laguna facultativa “El Espinar” – Ciudad de Puno 2011”, realizado en la Universidad Privada de Tacna, concluyó que “Se constató que en la laguna facultativa El Espinar el efluente no está dentro de los Límites Máximos Permisibles y ECAS” y “se ha verificado que las actividades de la laguna Espinar, generan contaminación significativo en la aguas subterráneas por falta de material impermeable”.

Quispe (2013) es su tesis titulada “Propuesta metodológica para la evaluación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante lagunas de estabilización - Azángaro”, realizado en la Universidad Nacional del Altiplano Puno,

concluye lo siguiente: “que el sistema no está trabajando eficientemente ya que su eficiencia de remoción es baja. La eficiencia de tratamiento del sistema mediante los parámetros evaluados son: DBO5 37.04%, DQO 34.06%, Aceites y Grasas 54.04%, Sólidos totales en suspensión 46.41%. También se determinó la eficiencia de remoción de Coliformes Totales 69.44% y Coliformes Fecales 61.07%”.

Callata (2014) en su investigación denominada “Evaluación y propuesta de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ajoyani”, determinó que el sistema no está trabajando eficientemente ya que su eficiencia de remoción es baja. La eficiencia de tratamiento del sistema mediante los parámetros evaluados son: DBO5 80.59%, DQO 80.59%, Aceites y Grasas se mantiene 0.012 mg/L, Sólidos totales en suspensión 7.77%. También determinó la eficiencia de remoción de Coliformes Totales 55.14% y Coliformes Fecales 41.93%. También comparó los valores determinados en el efluente con los LMP establecidos en el D.S. N° 003–2010– MINAM, donde concluye que el nivel de contaminación no cumple ya que los contaminantes potenciales como la DBO, DQO y coliformes totales son altos.

La Comisión Multisectorial para la Prevención Ambiental del Lago Titicaca y sus Afluentes (2014) en su trabajo de investigación titulado “Estado de la calidad Ambiental de la cuenca del Lago Titicaca, Ámbito Peruano”, recomendó lo siguiente: “Se recomienda fortalecer las acciones de vigilancia y muestra de la calidad del agua en la cuenca del lago Titicaca, a fin de evaluar las alteraciones en su calidad, acción que debe ser de carácter participativo y permanente. Que el PEBLT y el IMARPE prosigan, con los trabajos para efectuar muestras biológicas, ecológicas y limnológicas en el lago Titicaca y sus afluentes, con la finalidad de propender al desarrollo sostenible y armónico de las actividades pesqueras y acuícolas”.

Quispe & Mamani (2016), en su investigación "Evaluación de la calidad del agua industrial en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Juliaca", analizó la eficiencia de la planta de Juliaca, mostrando que cumple con los estándares para parámetros básicos como pH y sólidos suspendidos totales. Sin embargo, se identificaron deficiencias en la

remoción de DQO y DBO, cuyos valores excedían los límites en un 45% y 30%, respectivamente. Los autores señalaron que el diseño de la planta es insuficiente para la carga actual de aguas residuales y recomendaron la implementación de sistemas de tratamiento terciario.

Flores & Condori(2018), en su investigación "Análisis de la eficiencia en plantas de tratamiento de aguas residuales en zonas rurales de Puno", evaluó diversas plantas rurales en Puno, concluyendo que muchas operan con tecnología básica que limita su capacidad de remoción de contaminantes orgánicos. Se encontró que solo el 60% de las plantas cumplían con los Límites Máximos Permisibles para DBO y DQO, mientras que la mayoría lograba buenos resultados en parámetros como pH y aceites y grasas.

Mamani (2021) en su estudio "Evaluación de la operatividad y rediseño de la laguna de estabilización del distrito de llave, Provincia de El Collao". Con el objetivo de evaluar la operatividad actual del sistema de lagunas de estabilización de Chojjojahuire, el cual tuvo una eficiencia de 7.903%, concluyendo que el efecto vertido de aguas residuales de las lagunas no cumple con los LMP y ECA's; el autor planteó un rediseño con un tren de tratamiento, con el que se obtuvo una DBO en el efluente de 11.68 mg/L y coliformes fecales en el efluente fue de 5,910.00 NMP/100ml estos nuevos resultados se hallan dentro de los LMP y los ECA's.

Huamán (2019), en su investigación "Impacto ambiental de las aguas residuales tratadas en el lago Titicaca", examinó las plantas cercanas al lago Titicaca, incluyendo Puno y Chucuito, mostrando que el incumplimiento de los estándares de DQO y DBO en los efluentes contribuye significativamente a la eutrofización del lago. Se destacó la necesidad urgente de modernizar las plantas existentes

Andrade (2020) en su investigación: "Evaluación de la eficiencia en la planta de tratamiento de aguas residuales distrito de Macusani, región Puno – 2020", desarrolló con mediciones in-situ y ex-situ de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua, evaluaciones según los ECA para aguas y LMP para efluentes de PTAR, cuyos resultados indican que el pH es de 7.56, la temperatura de 20.1 °C, los SST fueron de 44

mg/L, la DBO<sub>5</sub> fue 100 mg/L, la DQO de 209 mg/L, los aceites y grasas con 0.32 mg/L; los que no superan los LMP para efluentes de PTAR. Los coliformes termotolerantes tuvieron una concentración de 11000 NMP/100 mL que supera lo indicado en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. Se concluye una eficiencia de remoción de la DBO<sub>5</sub> de 93.42%, en la DQO es 94.88%, en SST es 67.16% y en los Coliformes Termotolerantes fue de 77.55%.

Medrano et al. (2020) en su estudio: “Operatividad de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas circunlacustres al lago Titicaca-sector Perú y el marco legal en defensa de los ecosistemas”, tomó la muestra fue de 16 plantas de tratamiento a lo largo del ámbito peruano circunlacustre del lago Titicaca, obteniendo resultados que evidencian que en los últimos 5 años el 56.25% de plantas no recibieron mantenimiento y en un 43.75% se ejecutó solamente un mantenimiento parcial, por lo que la mayor parte de ellas no funcionan al 100% de su capacidad, se identificó como principales limitantes la falta de recurso financieros para el mantenimiento, falta de personal calificado para su operación, carencia de protocolos entre otras. Se concluye que en el área circunlacustre del lago Titicaca las PTAR en número de 16 no presentan un tratamiento eficiente de las aguas servidas, lo que indica que los efluentes estarían causando proceso de contaminación en este ámbito de evaluación.

### **1.3. OBJETIVOS**

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

Determinar el nivel de eficiencia que presenta la Planta de Tratamiento de las Aguas Residuales de la ciudad de Lampa Puno 2024.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar la composición fisicoquímica y microbiológica del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Lampa.
- Determinar la diferencia entre los valores fisicoquímicos y microbiológicos del afluente y efluente de la PTAR Lampa.

- Comparar la calidad de agua del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Lampa de acuerdo a los Límites Máximos Permisibles D.S. N°003-2010-MINAM.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1. MARCO TEÓRICO

##### 2.1.1. AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales son aquellas recolectadas en zonas urbanas y se originan principalmente en actividades domésticas como la preparación de alimentos y la limpieza. Sin embargo, estas aguas suelen mezclarse con desechos de actividades comerciales, industriales, agrícolas y agua de lluvia (EMSAPUNO, 2011).

En términos cuantitativos y cualitativos, las aguas residuales se pueden clasificar en varias categorías:

- **Aguas blancas o pluviales:** Proviene de la precipitación de lluvia y se drenan a través de alcantarillas. Son estacionales y se localizan de manera intermitente, con niveles de contaminación relativamente bajos. No obstante, su caudal puede ser significativo, superando a veces la capacidad de los sistemas de alcantarillado. Estas aguas adquieren contaminantes al atravesar la atmósfera o al lavar superficies y terrenos (escorrentía superficial).
- **Aguas negras o urbanas:** Son aquellas utilizadas en actividades cotidianas en los hogares y en sectores comerciales, industriales y agrícolas. Aunque presentan un caudal menor y más regular en comparación con las aguas pluviales, contienen mayores niveles de contaminación.
- **Aguas grises:** Estas provienen de lavabos, duchas y bañeras, con menor grado de contaminación que las aguas negras. Pueden ser tratadas con métodos simples y tienen un alto potencial de reciclaje y reutilización.

### **2.1.2. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)**

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) constituyen infraestructuras esenciales en la gestión ambiental, diseñadas para depurar las aguas residuales generadas por actividades humanas e industriales antes de su reintegración al ambiente natural. Estas instalaciones tienen como propósito principal proteger los ecosistemas acuáticos, la salud pública y los recursos hídricos, asegurando el cumplimiento de normativas nacionales e internacionales, como los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM (MINAM, 2010).

### **2.1.3. FUNDAMENTOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

El tratamiento de aguas residuales comprende procesos físicos, químicos y biológicos que se dividen en tres etapas principales:

- Tratamiento primario: Incluye operaciones físicas como el cribado, la sedimentación y la flotación para eliminar sólidos grandes, arena y grasa. Esta etapa busca reducir la carga contaminante inicial del agua residual (Metcalf & Eddy, 2003).
- Tratamiento secundario: Se basa en procesos biológicos aeróbicos o anaeróbicos para degradar materia orgánica disuelta y en suspensión. La eficiencia de esta etapa se evalúa mediante indicadores como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) (Tchobanoglous et al., 2014).
- Tratamiento terciario: Consiste en procesos avanzados para la eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo), patógenos y contaminantes emergentes, como microplásticos y productos farmacéuticos. También se emplea para la desinfección final mediante cloración, ozonización o radiación ultravioleta (Asano et al., 2007).

### **2.1.4. PARÁMETROS FÍSICOS**

#### **Temperatura**

La temperatura se refiere al nivel de calor del agua y es un parámetro crucial debido a su influencia en el crecimiento bacteriano y diversas reacciones químicas. Este parámetro tiene una relación inversa con el contenido de oxígeno disuelto, lo que significa que a mayor temperatura, menor concentración de oxígeno. Además, afecta la precipitación de

ciertos compuestos en el agua y su fluctuación está vinculada a la temperatura ambiental. Su medición se realiza directamente con un termómetro (APA, 2022; Medrano et al., 2020).

### **pH**

El pH es una medida que indica la concentración de iones de hidrógeno presentes en el agua. Su escala oscila entre 0 y 14; cuando los valores se sitúan por debajo de 7, el agua es ácida, y por encima, alcalina. Generalmente, el agua natural presenta un valor cercano a 7, que es considerado neutro. Este parámetro se mide mediante un pH-metro, siendo crucial para la estabilidad de los ecosistemas acuáticos y el tratamiento de aguas residuales (OMS, 2021; Sánchez & Matsumoto, 2016)

Determina la acidez o alcalinidad del agua tratada. Valores fuera del rango óptimo (6.5-9) pueden afectar los ecosistemas receptores (WHO, 2006).

### **Sólidos disueltos totales (SDT)**

Los sólidos disueltos totales (SST) son importantes en la evaluación de afluentes, ya que determinan si es necesario filtrar el efluente antes de su reúso. Los sólidos volátiles representan materia orgánica, mientras que los sólidos fijos son residuos inorgánicos. Según Metcalf y Eddy (1998), los SST son uno de los estándares universales usados junto con la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) para la evaluación de afluentes. El Ministerio del Ambiente (2010) establece que el nivel permitido para efluentes es de 150 mg/L (MINAM, 2010; Molina, 2018).

Miden las partículas en suspensión que permanecen en el agua tras el tratamiento, un indicador de la eficacia en la eliminación de sólidos (APHA, 2017).

### **Aceites y grasas**

Estas sustancias, que no son solubles en agua, tienden a separarse de la fase acuosa, formando películas y capas sobre el agua. Debido a su naturaleza, son difíciles de transportar en sistemas de alcantarillado, ya que reducen el flujo y son resistentes a la biodegradación. Son problemáticas en industrias como empacadoras de carne, fábricas de aceite de cocina y restaurantes, lo que exige procesos de remoción previos en plantas

de tratamiento. En análisis de laboratorio, los aceites y grasas se identifican por su solubilidad en solventes como el n-hexano (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2014; J. Romero, 2000).

Estos contaminantes, si no son adecuadamente eliminados, pueden formar películas superficiales que afectan la transferencia de oxígeno en cuerpos de agua (Asano et al., 2007).

### **2.1.5. PARÁMETROS QUÍMICOS**

#### **Demanda química de oxígeno (DQO)**

La DQO mide la cantidad de sustancias oxidables en una muestra de agua, tanto orgánicas como inorgánicas. Este parámetro se utiliza para estimar el nivel de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro. Su determinación se realiza mediante la adición de dicromato de potasio en un medio ácido, seguido de titulación con sulfato ferroso amoniacal para calcular el consumo de dicromato (Correa et al., 2012; Sehircilik, 2019). El MINAM (2010) establece que la DQO no debe superar los 200 mg/L para efluentes tratados.

Representa la cantidad de materia orgánica y compuestos inorgánicos oxidables presentes en el agua (Metcalf & Eddy, 2003).

#### **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

La DBO mide la cantidad de oxígeno consumido por microorganismos durante la descomposición de materia orgánica en el agua. Es uno de los indicadores clave para controlar la contaminación de fuentes de agua, ya que refleja la capacidad del sistema acuático para sostener vida en presencia de materia orgánica. La prueba de DBO5 se lleva a cabo en un período de cinco días a una temperatura de 20 °C en condiciones aeróbicas, permitiendo medir el oxígeno consumido (Sánchez et al., 2004; Sawyer et al., 2001). Las aguas residuales domésticas típicamente presentan un rango de DBO entre 150 y 500 mg/L (Díaz et al., 2011; Larios et al., 2015).

Indica el oxígeno requerido por microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable en un periodo de 5 días (Tchobanoglous et al., 2014).

## 2.1.6. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

### Coliformes termotolerantes

Los coliformes termotolerantes son un grupo de bacterias que tienen la capacidad de fermentar lactosa a temperaturas entre 44 y 45 °C, según lo señalado por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2005). Entre los microorganismos más comunes dentro de este grupo se encuentran especies como *Escherichia coli*, *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*, los cuales habitan en el intestino de humanos y animales de sangre caliente. Estos organismos se encuentran presentes en las heces y pueden ser detectados mediante análisis de laboratorio, cuyos resultados se expresan en Unidades Formadoras de Colonias (UFC) por cada 100 ml de muestra de agua (APHA, 2017; A. Cruz, 2019).

Las principales fuentes de contaminación por coliformes termotolerantes incluyen vertidos domésticos de aguas residuales, sistemas de alcantarillado público, fosas sépticas, corrientes urbanas y explotaciones ganaderas (APHA, 2017). Estas bacterias pueden ingresar al medio ambiente mediante el desecho directo de mamíferos y aves, lo que las convierte en indicadores clave de contaminación fecal. Su presencia está directamente relacionada con el contacto de agua con excretas humanas y animales, destacando su importancia para el monitoreo de la calidad del agua (Marchand, 2002; Peña, 2015; P. Romero et al., 2014).

La identificación de estos organismos es crucial para evaluar el nivel de contaminación en fuentes de agua potable y de uso recreativo, ya que una concentración elevada de coliformes termotolerantes indica la posible presencia de patógenos que pueden afectar la salud pública. Según informes recientes, la detección oportuna de estos organismos es fundamental para prevenir brotes de enfermedades transmitidas por el agua, lo cual refuerza la necesidad de un monitoreo constante y eficiente en las plantas de tratamiento de aguas residuales (OMS, 2011; Tchobanoglous et al., 2018).

Constituyen un indicador de contaminación fecal y riesgo sanitario (WHO, 2006).

### **2.1.7. CONTEXTO LOCAL: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAMPA**

La ciudad de Lampa, situada en la región de Puno, enfrenta desafíos crecientes en la gestión de sus aguas residuales debido a factores como la expansión urbana, el incremento poblacional y la limitada infraestructura sanitaria. La PTAR de Lampa fue construida con el propósito de mitigar los impactos ambientales derivados del vertimiento de aguas residuales, garantizando el cumplimiento de los LMP. Sin embargo, estudios recientes han evidenciado deficiencias en la remoción de la DQO y la DBO, lo que subraya la necesidad de optimizar su diseño y operación (Flores & Condori, 2018).

### **2.1.8. IMPORTANCIA DE EVALUAR LA EFICIENCIA DE LAS PTAR**

La evaluación de la eficiencia de las PTAR es fundamental para:

- Garantizar el cumplimiento normativo: Cumplir con los LMP asegura la sostenibilidad ambiental y evita sanciones legales (MINAM, 2010).
- Prevenir la eutrofización: Altas concentraciones de materia orgánica y nutrientes pueden desencadenar proliferaciones algales, reduciendo la calidad del agua y afectando la biodiversidad (Huamán, 2019).
- Optimizar procesos: Identificar las debilidades operativas permite implementar mejoras tecnológicas y operativas (Tchobanoglous et al., 2014).
- Proteger la salud pública: Minimizar la presencia de contaminantes microbiológicos reduce riesgos sanitarios para las comunidades cercanas (WHO, 2006).

### **2.1.9. AVANCES TECNOLÓGICOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

En los últimos años, se han desarrollado tecnologías innovadoras para mejorar la eficiencia de las PTAR, tales como:

- Biorreactores de membrana (MBR): Combinan procesos biológicos con filtración avanzada para una mayor remoción de sólidos y materia orgánica (Asano et al., 2007).

- Sistemas de aireación eficiente: Optimizan el suministro de oxígeno en procesos biológicos, reduciendo costos energéticos (Tchobanoglous et al., 2014).
- Tratamientos con humedales artificiales: Utilizan plantas acuáticas y microorganismos para la depuración natural de aguas residuales (Kadlec & Wallace, 2009).

#### 2.1.10. EVALUACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Salguero y Oakley (2011) sugieren que, para realizar una evaluación integral de una laguna de estabilización, es fundamental analizar las características ambientales de la zona y considerar las infraestructuras presentes en el sistema, como las estructuras para medición de caudales, rejillas desarenadores, así como el tipo de entradas, salidas e interconexiones. Por otro lado, la evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales implica llevar a cabo diversas mediciones y análisis. Estos resultados se comparan con parámetros, normas y métodos previamente establecidos, lo que permite un control eficiente y una gestión adecuada del proceso o sistema de tratamiento (Guevara, 1996).

#### 2.1.11. EFICIENCIA DE REMOCIÓN

El modelo propuesto para describir la eficiencia de remoción de la carga contaminante en un sistema de tratamiento de aguas residuales se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$E = \frac{S_o - S}{S_o} * 100$$

Donde:

**E** = Eficiencia de remoción del sistema (%)

**S** = Carga contaminante de efluente (mg DQO, DBO5, o SST/l)

**So** = Carga contaminante de afluente (mg DQO, DBO5, o SST/l)

Este modelo permite evaluar la capacidad de un sistema de tratamiento para reducir contaminantes como la Demanda Química de Oxígeno (DQO), la Demanda Bioquímica

de Oxígeno (DBO5) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST), parámetros clave para determinar la calidad del agua tratada (Metcalf & Eddy, 2003; Tchobanoglous et al., 1991).

#### **2.1.12. MUESTRA Y MUESTREO DEL AGUA**

Sierra (2011) señala que la toma de muestras de calidad del agua consiste en la recolección sistemática de información en varios sitios y a intervalos regulares, con el propósito de generar datos que permitan evaluar las condiciones actuales y observar tendencias a lo largo del tiempo.

De acuerdo con el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2007), al recolectar muestras directamente de cuerpos de agua como ríos, quebradas, lagos, reservorios o manantiales, es fundamental que estas sean representativas del agua que se desea analizar. Por ello, no se recomienda tomar muestras en zonas cercanas a la orilla, muy alejadas del punto de captación, cerca del fondo o en áreas de agua estancada, ya que esto podría alterar los resultados del análisis.

#### **2.2. MARCO CONCEPTUAL**

**Aguas residuales:** Agua contaminada proveniente de diversas actividades, incluyendo usos municipales, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarios y domésticos. Estas aguas requieren tratamiento para cumplir con los estándares ambientales antes de ser liberadas al medio ambiente (Metcalf & Eddy, 2014; Tchobanoglous et al., 2014).

**Parámetros fisicoquímicos:** Medidas que evalúan la calidad del agua, como el pH, la temperatura, los sólidos y el oxígeno, que permiten interpretar su estado y potencial impacto ambiental (APHA, 2017; Sawyer et al., 2003).

**pH:** Escala que mide la acidez o alcalinidad del agua. Indica la intensidad de los compuestos ácidos o básicos presentes, pero no la cantidad de ellos (APHA, 2017; Rodríguez, 2009).

**Temperatura:** Parámetro físico que afecta la actividad biológica, la solubilidad del oxígeno y las reacciones químicas en el agua. Una temperatura más alta puede acelerar procesos biológicos y químicos, y viceversa (Quiñones & Montilla, 2016; Wetzel, 2001).

**SST:** Partículas no disueltas en el agua que afectan su claridad y el tratamiento de aguas residuales. La presencia de sólidos suspendidos puede interferir con procesos biológicos y físicos en el tratamiento (APHA, 2017; Quiñones & Montilla, 2016).

**DQO:** Cantidad de oxígeno necesaria para oxidar químicamente la materia orgánica en el agua, proporcionando una medida de la contaminación orgánica total (Quiñones & Montilla, 2016; Sawyer et al., 2003).

**DBO:** Cantidad de oxígeno disuelto requerida para la descomposición biológica de la materia orgánica en condiciones aeróbicas. El DBO5 se utiliza comúnmente para evaluar la calidad del agua debido al tiempo necesario para la degradación (Metcalf & Eddy, 2014; Quiñones & Montilla, 2016).

**Aceites y grasas:** Compuestos que forman una capa en la superficie del agua, lo que reduce la aireación y la penetración de luz solar, afectando negativamente a la vida acuática (APHA, 2017; Quiñones & Montilla, 2016).

**Planta de tratamiento:** Instalación diseñada para limpiar aguas residuales y aguas servidas antes de su liberación al medio ambiente, asegurando que cumplan con los estándares de calidad y no causen daño ecológico (Metcalf & Eddy, 2014; Tchobanoglous et al., 2014).

**Parámetros microbiológicos:** Indicadores de calidad del agua que se determinan mediante la identificación y aislamiento de microorganismos patógenos.

**Coliformes termotolerantes:** Subgrupo de coliformes que sobreviven a temperaturas elevadas y sirven para detectar contaminación reciente por heces. Su presencia en el agua indica contaminación fecal reciente (APHA, 2017; Cruz, 2019).

### 2.3. MARCO NORMATIVO

- **Constitución Política del Perú.**

**Artículo 2, numeral 22:** “Toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida, teniendo derecho a la protección de su salud, la del medio familiar y la de la comunidad, así como el deber de contribuir a su promoción y defensa” (Congreso de la República del Perú, 1993).

- **Ley N° 28611.- Ley General del Ambiente.**

**Artículo 67:** “Las autoridades públicas de nivel nacional, sectorial, regional y local priorizan medidas de saneamiento básico que incluyan la construcción y administración de infraestructura apropiada; la gestión y manejo adecuado del agua potable, las aguas pluviales, las aguas subterráneas, el sistema de alcantarillado público, el reúso de aguas servidas, la disposición de excretas y los residuos sólidos, en las zonas urbanas y rurales, promoviendo la universalidad, calidad y continuidad de los servicios de saneamiento, así como el establecimiento de tarifas adecuadas y consistentes con el costo de dichos servicios, su administración y mejoramiento” (Congreso de la República del Perú, 2005).

- **Ley N° 26842.- Ley General de Salud.**

**Artículo 107:** “El abastecimiento de agua para consumo humano queda sujeto a las disposiciones que dicte la Autoridad de Salud competente, la que vigilará su cumplimiento” (Congreso de la República del Perú, 1997).

- **DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM.- Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR domésticas o municipales.**

**Artículo 1:** “Los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) establecen la concentración máxima permitida de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y microbiológicos en los efluentes. El incumplimiento de estos límites puede causar daños a la salud humana y al ambiente” (Ministerio del Ambiente, 2010).

**Tabla 01:** Límites Máximos Permisibles de agua para efluentes de PTAR.

Parámetros	Unidad de medida	LMP Efluente PTAR
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	10000
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	100
Demanda química de oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6.5 - 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	menor a 35

**Fuente:** Ministerio del Ambiente - MINAM (2010)

✓ **DECRETO SUPREMO N° 011-2012-VIVIENDA, R.N.E. OS.090.- PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**

**Artículo 1:** “El presente Decreto Supremo establece los requisitos técnicos y constructivos para las plantas de tratamiento de aguas residuales, asegurando su correcto diseño, construcción y operación para el tratamiento eficaz de las aguas residuales domésticas” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2012).

✓ **RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 273-2013-MVCS PROTOCOLO DE MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS EFLUENTES DE LAS PTAR DOMÉSTICAS.**

**Artículo 1:** “Se establece el protocolo para el monitoreo de la calidad de los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) domésticas, con el fin de garantizar que estas plantas cumplan con los estándares de calidad y regulación establecidos” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2013).

✓ **RESOLUCIÓN JEFATURAL N° 010-2016.- PROTOCOLO NACIONAL PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES.**

**Artículo 1:** “Se proporciona un protocolo nacional para el monitoreo y evaluación de la calidad de los recursos hídricos superficiales, asegurando la consistencia y precisión en la recolección de datos sobre la calidad del agua en cuerpos de agua superficiales” (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2016).

## **2.4. HIPÓTESIS**

### **2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL**

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Lampa presenta un nivel de eficiencia bajo en el tratamiento de las aguas residuales, 2024.

### **2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

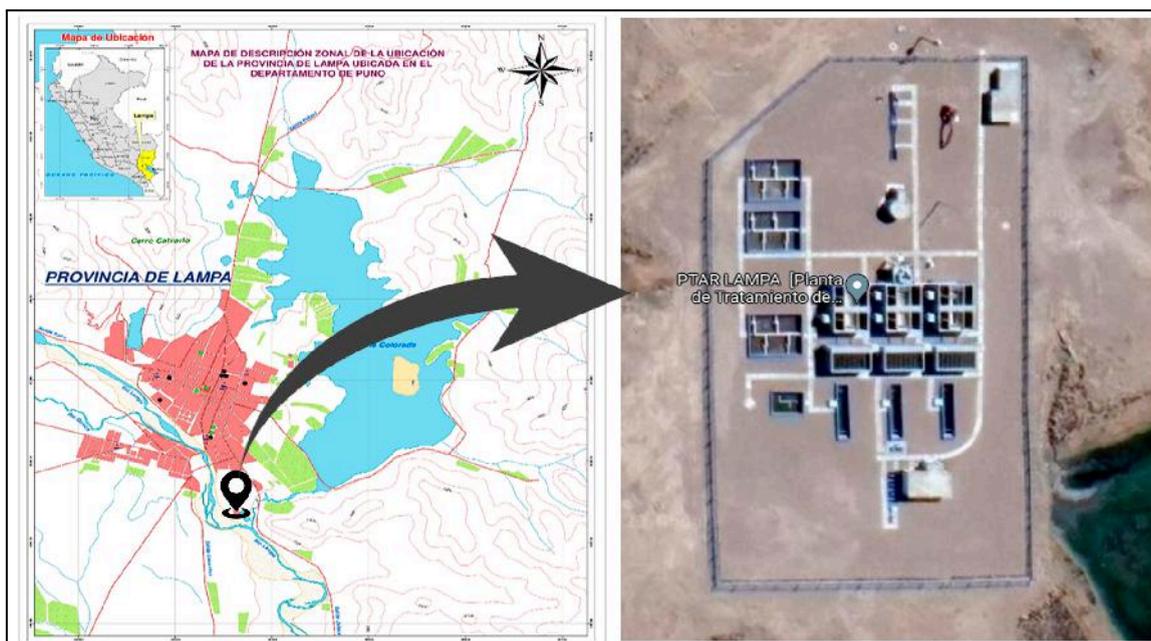
- La composición fisicoquímica y microbiológica del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Lampa presenta valores altos de concentración en contaminantes.
- La diferencia entre los valores del afluente y efluente de la PTAR Lampa presentan una varianza baja.
- Los valores promedio del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Lampa se encuentran por encima de los Límites Máximos Permisibles, D.S. N°003-2010-MINAM.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. ZONA DE ESTUDIO

La ciudad de Lampa, capital de la provincia homónima, se encuentra en el departamento de Puno, a aproximadamente 77.4 kilómetros de la ciudad de Puno, la capital regional. Situada a una altitud de 3,930 metros sobre el nivel del mar, Lampa cuenta con una población de 14,780 habitantes. Las principales actividades económicas de la ciudad incluyen la agricultura y la ganadería.



**Figura 01:** Ubicación geográfica de la zona de estudio, localidad de la ciudad de Lampa

Fuente: Google Maps, 2021

### 3.2. TAMAÑO DE MUESTRA

- **Población:** La población del estudio está constituida por el total de aguas residuales que son procesadas en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Lampa.
- **Muestra:** Se tomarán muestras en dos puntos específicos del sistema: el afluente y el efluente de la PTAR Lampa. Estas tomas se realizaron en una única vez en el mes de octubre del 2024. Este enfoque permitirá obtener una representación durante el inicio de la temporada de lluvias.

Para este análisis, se empleó un muestreo no probabilístico-intencional. Según Otzen & Manterola (2017) , este tipo de muestreo "se basa en la selección de muestras por parte del investigador de acuerdo con su propio criterio, sin seguir reglas matemáticas o estadísticas"

### 3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

#### 3.3.1. TIPO DE ESTUDIO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El enfoque de esta investigación es cuantitativo y de diseño descriptivo, ya que se centra en observar y describir los hechos tal como se presentan (Song & Hedrick, 2004). La investigación sigue un diseño no experimental de tipo transversal.

Según Hernández et al., (2014), el diseño transversal implica la recolección de datos en un único punto en el tiempo. Este enfoque permite describir las variables y examinar sus relaciones y efectos en ese momento específico. En esta investigación, se ha optado por un diseño transversal para capturar una instantánea de las características de las aguas residuales.

El estudio es de carácter no experimental porque no se manipulan las variables, y su diseño es descriptivo-correlacional. Esto implica que se describirán las características físico-químicas y microbiológicas del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Lampa. Se emplea un enfoque cuantitativo para recolectar y analizar datos numéricos, que serán comparados con la normativa ambiental vigente.

Además, al ser un estudio transversal, se analizarán los datos recolectados en un período definido, sobre muestras establecidas.

### **Técnicas**

De acuerdo con Hernández et al. (2014), una técnica de investigación comprende una serie de procedimientos que el investigador utiliza para recolectar información sobre un problema específico. En este estudio, se emplearon las técnicas de toma de muestras in situ y análisis de laboratorio para obtener y evaluar los datos necesarios.

### **Instrumentos**

Los instrumentos a utilizar son los siguientes:

- **Protocolo de Muestra de la Calidad Sanitaria de los Recursos Hídricos Superficiales y sus Anexos I, II, III y IV**, aprobado mediante la Resolución Directoral N° 2254/2007/DIGESA/SA del 11 de septiembre de 2007. Este protocolo fue emitido por la Dirección General de Salud Ambiental del Ministerio de Salud y se basa en el Decreto Legislativo N° 17752, conocido como la "Ley General de Aguas", que fue derogado el 31 de marzo de 2010.
- **Proyecto de Protocolo de Muestra de Aguas Superficiales Continentales del Perú**, desarrollado por la Dirección General de Calidad Ambiental del Ministerio del Ambiente. Este protocolo fue presentado a la Autoridad Nacional del Agua mediante el Oficio N° 506-2010-DGCAVMGA/MINAM del 11 de noviembre de 2010.
- **Protocolo de Muestra de la Calidad de los Recursos Hídricos**, establecido por la Autoridad Nacional del Agua a través de la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos.

### **3.3.2. MUESTREO**

Las muestras de agua residual se recolectaron de acuerdo con los protocolos establecidos por la Autoridad Nacional del Agua. La toma de muestras se realizó el lunes 28 de octubre del 2024 en dos ubicaciones distintas (afluente y efluente). Para la recolección, se utilizaron recipientes estériles de vidrio y plástico de un litro de capacidad, los cuales fueron enjuagados previamente. Una vez tomadas las muestras, los

recipientes se etiquetaron con la información del punto de muestreo, las coordenadas UTM, la fecha y la hora, así como el nombre del personal técnico responsable. Los recipientes fueron inmediatamente colocados en un contenedor tipo cooler a baja temperatura para evitar reacciones, y las muestras se enviaron de inmediato al laboratorio para su análisis (Autoridad Nacional del Agua, 2016).



**Figura 02:** Toma de muestras en el afluente de la PTAR Lampa.

**Tabla 02:** Cuadro de distribución de muestras de agua PTAR Lampa en tres meses

Lugar	Muestra
	Octubre, 2024
Afluente	1
Efluente	1
Total	2

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.3. TOMA DE MUESTRA

La muestra fue recolectada en el mes de octubre del 2024, coincidiendo con el inicio de la temporada de lluvias. Esta muestra es particularmente relevante, ya que permite analizar de manera precisa cómo varían las características de las aguas residuales durante el cambio de épocas de estiaje a lluvias. La influencia de las lluvias puede alterar significativamente el volumen y la composición de los afluentes y efluentes, por lo que este marco temporal resulta esencial para una evaluación integral del comportamiento de las aguas residuales tratadas en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Lampa.



**Figura 03:** Toma de muestras en el efluente de la PTAR Lampa.

### 3.3.4. ETIQUETADO, ROTULADO Y LLENADO DE LA CADENA DE CUSTODIA

El proceso de rotulado se realizó de inmediato tras la toma de las muestras. Se utilizó una letra clara y legible para registrar información esencial en las etiquetas, incluyendo el número de muestra, la fecha y hora de la toma, así como el nombre del operador. Cada envase que contenía las muestras de agua residual tratada fue debidamente rotulado y etiquetado.

Una vez completado el rotulado y etiquetado, se procedió a llenar la cadena de custodia. Este registro incluyó detalles sobre el tipo de recipiente utilizado, el tipo y volumen de la muestra, el código de la muestra, las condiciones de conservación, la fecha y hora de la toma, y la ubicación con coordenadas UTM, entre otros datos relevantes.



**Figura 04:** Toma de muestras en el efluente de la PTAR Lampa.

### 3.3.5. ANÁLISIS DE LABORATORIO

#### Determinación del pH

La determinación del pH se realizó utilizando celdas electroquímicas, que incluyen un electrodo indicador sensible a la concentración de protones (H<sup>+</sup>), un electrodo de referencia y la muestra como electrolito. El equipo se calibra con una solución estándar, y el electrodo se enjuaga con agua bidestilada antes de su uso. Se colocó la muestra en un vaso de precipitados de 50 ml, se introdujo el electrodo y se esperó a que la lectura del pH en el panel digital se estabiliza antes de registrar el valor (OPS & OMS, 2013).

- Método: Electrometría
- Unidad: pH
- Equipo: Multiparámetro

### **Temperatura**

Para medir la temperatura, se introdujo un sensor en la muestra de agua hasta cubrirlo completamente. La lectura se tomó del panel digital y se registró una vez que la medición se estabilizó. Este método se empleó para cada muestra de agua. La técnica de termometría de resistencia, que se basa en el cambio de resistencia en elementos metálicos con la temperatura, fue utilizada para estas mediciones (APHA et al., 1995; Romero, 2005).

- Método: Termometría
- Unidad: °C
- Equipo: Multiparámetro

### **Análisis de Aceites y Grasas**

El análisis de aceites y grasas en efluentes de plantas de tratamiento se realizó mediante el método de extracción Soxhlet, descrito en el Método Estándar 5520. En este método, "aceite y grasa" se define como cualquier sustancia recuperada con un solvente. La muestra de agua residual se acidifica con ácido clorhídrico, se extrae utilizando un sistema Soxhlet y luego se seca el extracto hasta obtener un peso constante. La cantidad de aceite y grasa se determina gravimétricamente (OPS & OMS, 2013).

- Método: Gravimetría / Solvente orgánico
- Unidad: mg/L

- Equipo: Instrumento Soxhlet

### **Análisis de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

La DQO se determina midiendo la materia orgánica en la muestra de agua mediante el uso de dicromato de potasio, un agente oxidante fuerte. Este oxidante, de color naranja brillante, reacciona con la materia orgánica, convirtiendo el cromo hexavalente en cromo trivalente de color verde opaco. La muestra se digiere con dicromato de potasio y ácido sulfúrico a 150 °C durante dos horas. Para asegurar una oxidación completa, se titula el exceso de oxidante con sulfato de amonio ferroso (FAS) (J. Romero, 2005).

- Método: Digestión cerrada con Dicromato de Potasio
- Unidad: mg/L
- Equipo: HACH DBR 200 Reactor de digestión para DQO doble bloque

### **Análisis de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

Se comenzó con la homogeneización completa de la muestra, la cual se transfirió a un vaso de precipitados. Se ajustó el pH de la muestra a un rango de 6.5 a 7.5 usando ácido sulfúrico 1 M o hidróxido de sodio 1 M. La muestra se distribuyó en cuatro botellas tipo Winkler, rotuladas con los detalles de la muestra y el número de dilución. Se añadió 2 mL de una cepa de microorganismos y se completó con agua hasta la mitad del cuello de la botella. Se realizó la lectura inicial del oxígeno disuelto en las botellas, asegurando que no hubiera intercambio de oxígeno con el ambiente. Si la lectura inicial era menor de 6 mg/L, se preparó una nueva botella con un menor volumen de muestra. Las botellas se incubaron a  $20 \pm 3$  °C durante cinco días y se midió el oxígeno disuelto residual para calcular la DBO5 (De la Vega, 2012).

- Método: Incubación de cinco días
- Unidad: mg/L
- Equipo: VWRP/DBO

### **Sólidos Disueltos Totales**

Los sólidos disueltos totales se determinaron multiplicando la conductividad de la muestra de agua por un factor entre 0.55 y 0.75, el cual es relativamente constante si las proporciones iónicas en el agua permanecen estables (APHA et al., 1995).

- Método: Electrometría
- Unidad: mg/L
- Equipo: Multiparámetro

### **Coliformes Termotolerantes**

En la fase presuntiva, se utilizó caldo lauril sulfato de sodio para recuperar microorganismos que fermentan lactosa, distribuidos en tubos de vidrio con tapa rosca. En la fase confirmativa, se usó caldo lactosado con bilis verde brillante, que favorece el crecimiento de microorganismos resistentes a las sales biliares y al colorante verde brillante. Las muestras se incubaron a 45°C durante 24 horas; los tubos positivos mostraron un cambio de color de amarillo a verde-azulado. La determinación del número más probable de coliformes fecales se basó en la fermentación de lactosa y la producción de gas a 44.5 ± 0.1°C durante 24 a 48 horas. Los resultados se estimaron en NMP/100 ml usando la tabla correspondiente (APHA et al., 1995).

- Método: Tubos Múltiples
- Unidades: NMP/100 ml

**Tabla 03:** Metodologías para el análisis de datos por parámetro.

Parámetro	Variable	Unidad	Método	Equipo
Físicos	pH	pH	Electrometría	Multiparámetro ADWA
	STD	mg/L	Electrometría	Multiparámetro ADWA
	T°	°C	Termometría	Multiparámetro ADWA
Químicos	AyG	mg/L	Gravimetría / Solvente orgánico	Instrumento SOXHLET
	DBO	mg/L	Cinco días de incubación	VWRP/DBO
	DQO	mg/L	Digestión cerrada por Dicromato de Potasio	HACH DBR 200 Reactor de digestión para DQO doble block
Microbiológico	CTm	NMP/100 ml	Tubos Múltiples	Tubos de fermentación de dilución múltiple

**Fuente:** APHA et al. (1995)

### 3.3.6. DISEÑO ESTADÍSTICO

Para abarcar la segunda hipótesis específica, para una muestra, la varianza ( $s^2$ ) se calcula con la siguiente fórmula:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Donde:

- n es el número de observaciones en la muestra.
- $x_i$  es cada valor individual de la muestra.

- $\bar{x}$  es la media de la muestra.

En base a la media obtenida para cada parámetro, se halló la diferencia utilizando el programa Minitab 17, obteniendo también la Desviación Estándar y el Coeficiente de variación y la Varianza para una mejor interpretación.

### **3.3.7. EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS UTILIZADOS**

#### **a. Materiales de campo.**

- Recipiente de vidrio con capacidad de 1 litro para la toma de muestras de agua residual
- Recipiente de plástico con capacidad de 1 litro para la toma de muestras de agua residual
- Recipiente con boca ancha para aceites y grasas, debidamente esterilizadas
- Equipo de refrigeración apropiado para transporte de las muestras
- Cinta para etiquetar las muestras
- Zapatos de seguridad
- Guantes de nitrilo
- Mascarilla
- Mandil
- Cadena de custodia
- Tablero.

#### **b. Equipos**

- Cámara fotográfica.
- GPS

### **3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES**

**Tabla 04:** Operacionalización de variables.

Variables	Dimensión	Indicador	Valores	Técnicas	Instrumentos
Variables Independientes - Caracterización del afluente de la PTAR Lampa.	Parámetros físicos.	pH	Unidad	toma de muestras	● Protocolo de Muestra de la Calidad Sanitaria de los Recursos Hídricos Superficiales y sus Anexos I, II, III y IV.
Variables Dependientes - Caracterización del efluente de la PTAR Lampa.	Parámetros químicos.	Sólidos suspendidos totales	Mg/L	in situ y análisis de laboratorio	● Proyecto de Protocolo de Muestra de Aguas Superficiales Continentales del Perú/
	Parámetros microbiológicos.	Temperatura.	°C		● Protocolo de Muestra de la Calidad de los Recursos Hídricos.
		Aceites y grasas	mg/L		
		DBO	mg/l		
		DQO	NMP/1		
		Coliformes termotolerantes	00mL.		

## CAPÍTULO IV

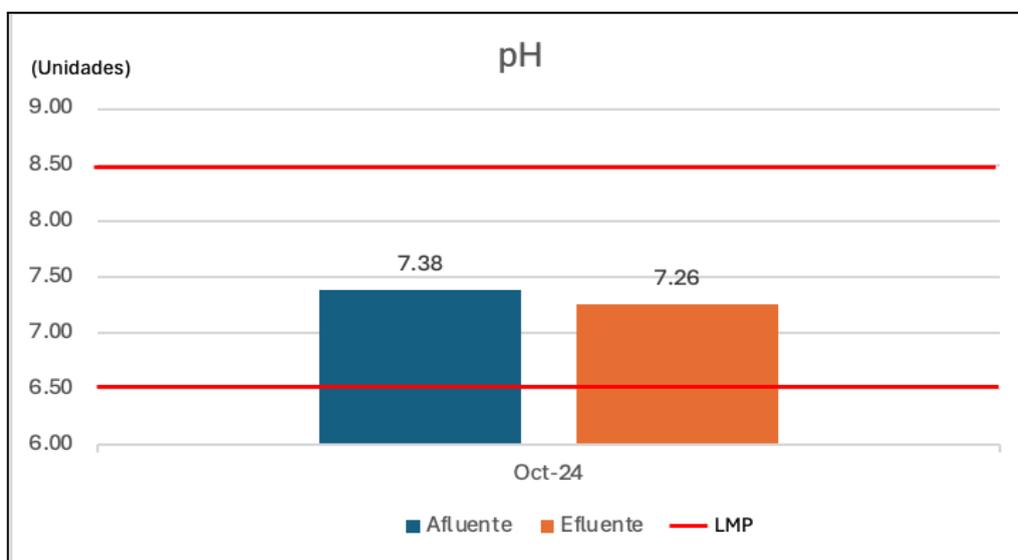
### EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados reportados en dos puntos de toma de muestras y su análisis de laboratorio para cada parámetro evaluado se detallan a continuación:

#### 4.1. RESULTADOS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 1

En la hipótesis específica N°1 se formuló que: La composición fisicoquímica y microbiológica del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Lampa presenta valores altos de concentración en contaminantes.

##### a. Potencial de hidrogeniones (pH)



**Figura 05:** Resultado de los valores del afluente y efluente del pH octubre, 2024.

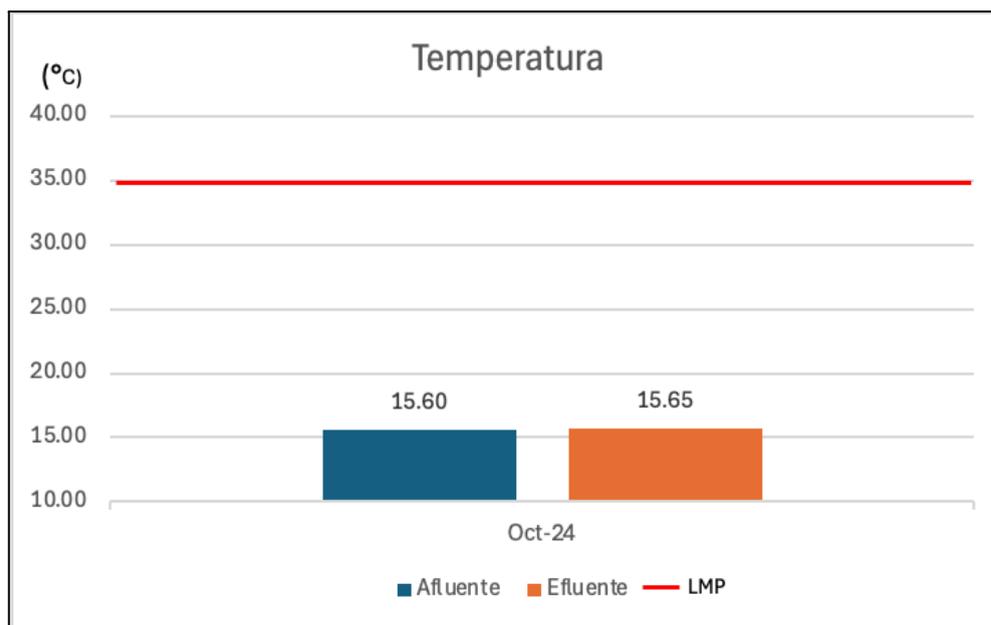
Los resultados del análisis de pH en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Lampa, obtenidos en la toma de muestra, revelan un valor máximo de 7.38 en el afluente. Este valor presenta una ligera alcalinidad que se ajusta a un nivel más neutro de 7.26 en el efluente, cumpliendo con el Límite Máximo Permisible (LMP). Este resultado

sugiere que, aunque el pH del afluente es cercano al nivel neutro, la PTAR Lampa es efectiva en ajustar el pH hacia un valor cercano a 7, indicando una alta eficiencia en la neutralización del pH.

Durante la toma de muestra, se observó presencia de nubosidad y lloviznas moderadas. Estas condiciones climáticas redujeron fueron manejadas de forma más óptima por la PTAR, al separar el sistema de drenes pluviales y el de desagüe, lo que, a su vez, mejoró la eficiencia del tratamiento.

Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Callata (2014), quien reportó un pH de 7.27 en el afluente y 7.30 en el efluente en Ajoyani. Asimismo, Quispe (2013) encontró valores de pH en el afluente entre 7.6 y 7.9 y en el efluente entre 7.8 y 8.0. Ordoñez (2013) también corroboró los resultados en la laguna del Espinar en Puno, con pH en el afluente que varió entre 7.47 y 8.34, con un promedio de 7.79, y en el efluente entre 7.36 y 8.45. Estos estudios demuestran que las características del agua residual en estas regiones tienen una composición similar.

#### **b. Temperatura**



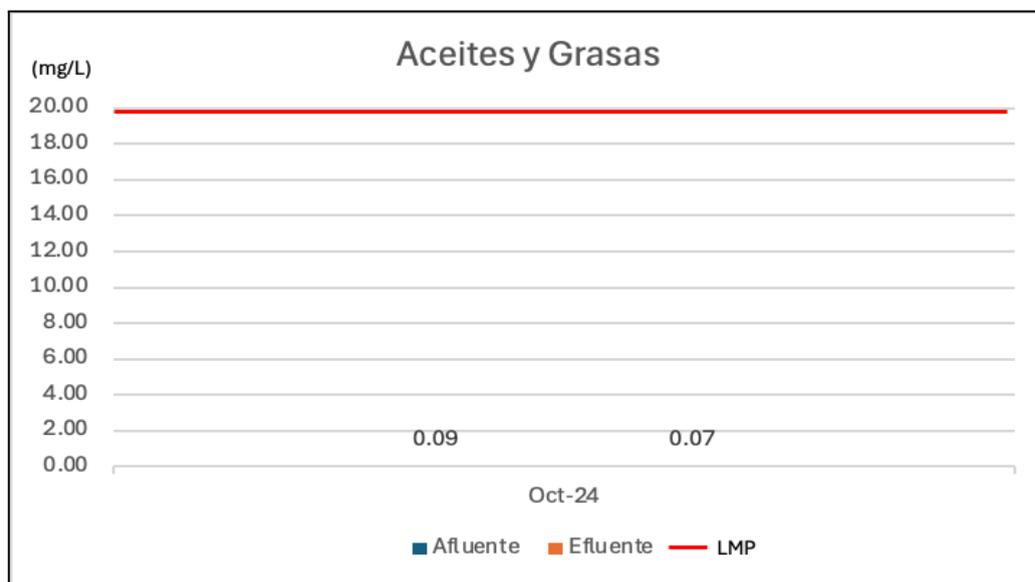
**Figura 06:** Resultado de los valores del afluente y efluente de la temperatura octubre, 2024.

Los resultados obtenidos reflejan las condiciones climáticas de la región de Puno durante la toma de muestra, que incluyó un clima templado tras un tiempo de sequías y estiaje. Se observó nubosidad y lluvias durante el proceso de toma de muestras, lo cual resultó en valores de temperatura similares tanto en el afluente como en el efluente. En octubre del 2024, la temperatura del efluente mostró un incremento promedio de 0.05 °C respecto al afluente. Este aumento podría atribuirse a la operación de la bomba necesaria para el tratamiento primario en los tanques Imhoff, así como al proceso de sedimentación secundaria en las lagunas, donde las aguas están expuestas a la radiación solar, elevando la temperatura.

Comparando estos resultados con estudios previos, Callata (2014) reportó temperaturas de 12.67 °C en el ingreso y 12.33 °C en el efluente, mientras que Ordoñez (2013) encontró valores mínimos de 13.10 °C en junio y máximos de 17.60 °C en enero, con un promedio de 15.05 °C. Estos datos son consistentes con los hallazgos de la presente investigación, aunque presentan ligeras diferencias en comparación con Quispe (2013), quien reportó temperaturas de 13 a 17 °C para el efluente y de 11 a 21 °C para el afluente

en Azángaro. Las discrepancias pueden atribuirse a las variaciones estacionales y a las diferencias en el momento de la toma de muestras.

### c. Aceites y grasas



**Figura 07:** Resultado de los valores del afluente y efluente de los AyG octubre, 2024.

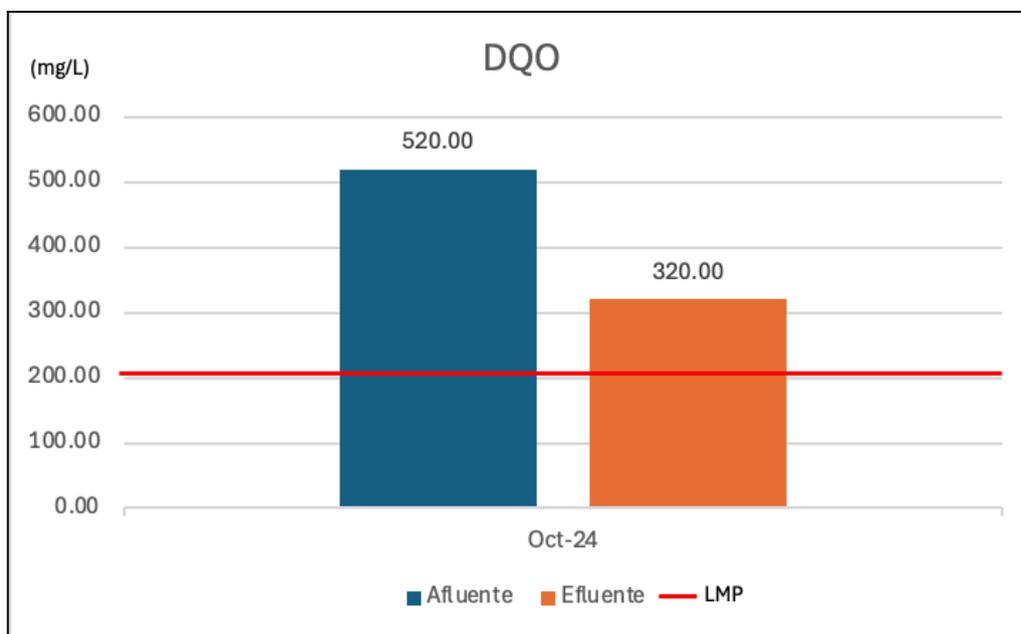
Los resultados de las muestras analizadas revelaron concentraciones insignificantes de aceites y grasas, notablemente inferiores al Límite Máximo Permisible (LMP) de 20 mg/L. Este bajo nivel se puede atribuir a la falta de grandes industrias en la ciudad de Lampa, que contribuyan con una carga significativa de grasas. Además, la municipalidad ha implementado medidas efectivas para que los establecimientos comerciales no residenciales instalen trampas de grasa, lo que contribuye a la baja concentración observada.

El valor específico para la PTAR Lampa fue de 0.09 mg/L en el afluente, y 0.07 mg/L en el efluente. Estos valores, ya bajos en sí mismos, se reducen aún más durante el proceso de tratamiento, a pesar de que se observó que la planta no dispone de una trampa de grasas especializada.

Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Callata (2014), quien reportó valores de 0.012 mg/L tanto en el ingreso como en el efluente del sistema. En contraste, Arocutipa (2013) encontró valores de 13.18 mg/L en el afluente y 6 mg/L en el efluente,

mientras que Quispe (2013) reportó un valor de 5.61 mg/L en el efluente. Todos estos valores se mantienen por debajo del Límite Máximo Permisible, confirmando la efectividad del tratamiento en la reducción de aceites y grasas en la PTAR Lampa.

d. **Demanda química de oxígeno (DQO)**



**Figura 08:** Resultado de los valores del afluente y efluente de la DQO octubre, 2024.

La demanda química de oxígeno (DQO) en el efluente de la PTAR Lampa supera el Límite Máximo Permisible (LMP) de 200 mg/L, con un valor de 520 mg/L para el afluente y 320 mg/L para el efluente.

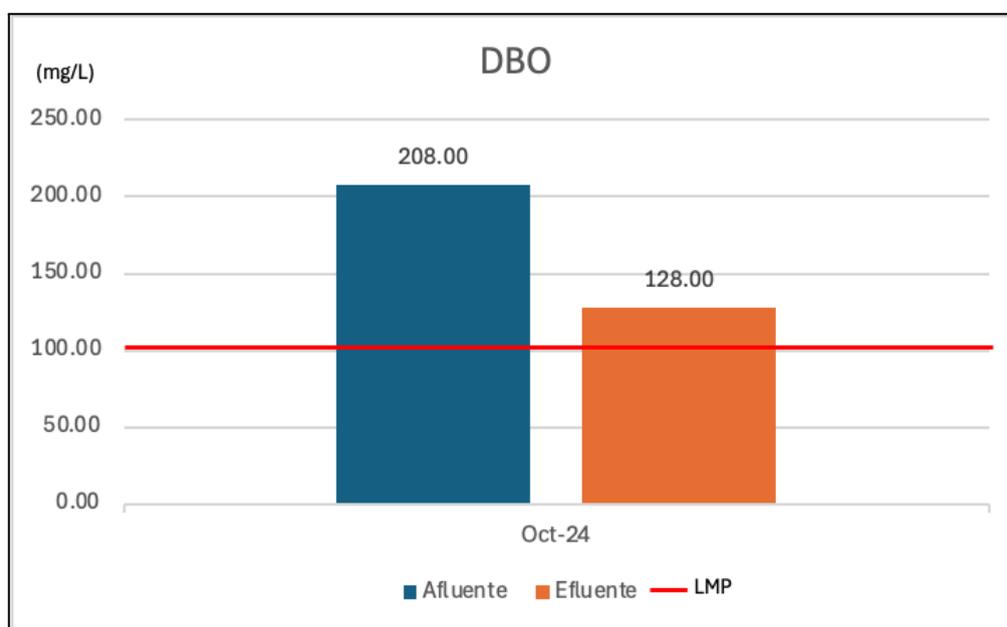
Estos elevados niveles de DQO pueden atribuirse a varios factores. Primero, el proceso de tratamiento en la PTAR Lampa puede no ser lo suficientemente eficiente para descomponer toda la materia orgánica presente en las aguas residuales. La DQO mide la cantidad de materia orgánica que necesita oxígeno para su degradación química, y si el tratamiento no es adecuado, gran parte de esta materia orgánica permanece en el efluente. Adicionalmente, la alta carga orgánica en el afluente, posiblemente debido a la descarga de aguas residuales con alta carga de materia orgánica, puede contribuir a los elevados niveles de DQO.

La presencia continua de valores altos de DQO en el efluente tiene consecuencias significativas. La descarga de agua con alta DQO en cuerpos superficiales puede

provocar eutrofización, un proceso en el cual el exceso de nutrientes (como materia orgánica) en el agua promueve el crecimiento excesivo de algas. Esto puede reducir la calidad del agua, disminuir los niveles de oxígeno disuelto y dañar la vida acuática. Además, la alta carga de materia orgánica puede llevar a problemas de olores y afectación en la estética del agua.

En comparación con otros estudios, los resultados de esta investigación están en línea con los reportados por Callata (2014), quien encontró valores de 1700.48 mg/L en el afluente y 330.03 mg/L en el efluente, con una eficiencia de remoción del 80.59%. Sin embargo, estos valores son superiores a los de Arocutipá (2013), quien reportó 904 mg/L en el afluente y 620 mg/L en el efluente, y Quispe (2013), con 892.67 mg/L en el afluente y 568.67 mg/L en el efluente. Guillermo (2011) también encontró valores elevados, con una concentración promedio de 877.03 mg/L en el afluente y 516.03 mg/L en el efluente, indicando que, a pesar de la reducción durante el tratamiento, los valores siguen superando el LMP.

#### e. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)



**Figura 09:** Resultado de los valores del afluente y efluente de la DBO octubre, 2024.

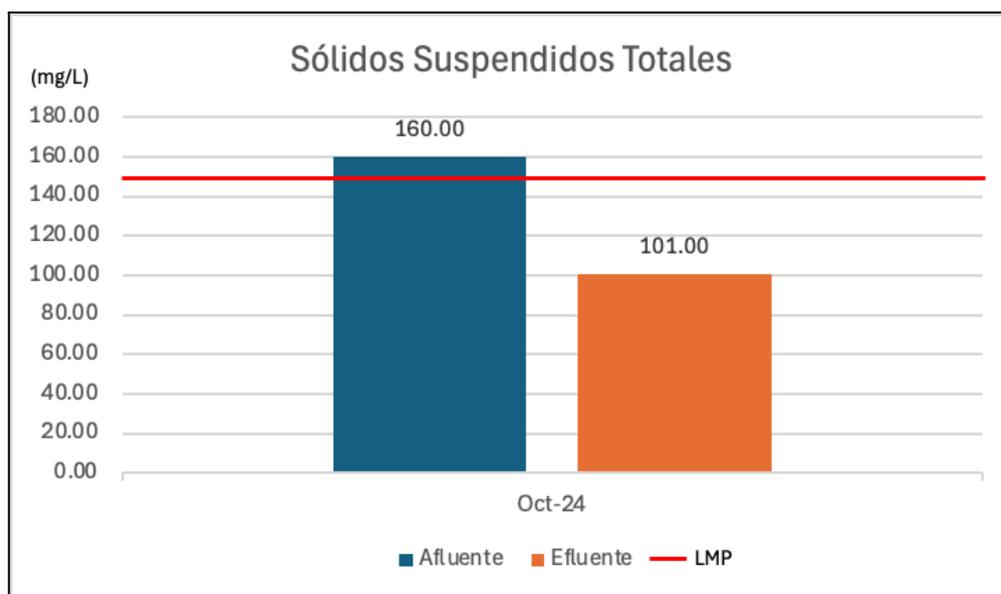
El análisis de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) revela que tanto los afluentes como los efluentes en la PTAR Lampa superan el Límite Máximo Permisible (LMP) de

100 mg/L. El valor registrado fue de 208 mg/L en el afluente y entre 128 mg/L en el efluente. La DBO mide la cantidad de oxígeno necesaria para la degradación biológica de la materia orgánica biodegradable en las aguas residuales. Los resultados obtenidos indican una ineficiencia en el proceso de tratamiento de las aguas residuales en la planta, evidenciando deficiencias en el tratamiento primario (tanque Imhoff), secundario (sedimentador secundario) y terciario (cloración).

Estos valores elevados en la DBO, similares a los de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), sugieren una acumulación significativa de materia orgánica biodegradable que no ha sido completamente degradada. La presencia de altos niveles de DBO en los efluentes indica que la planta no está eliminando adecuadamente la materia orgánica. En particular, los altos niveles de DBO pueden conducir a la eutrofización, un proceso donde el exceso de nutrientes provoca un crecimiento desmedido de algas y plantas acuáticas.

Estos resultados se alinean con los obtenidos por Callata (2014), que reportó un ingreso de 850.28 mg/L y una salida de 165.01 mg/L, y se encuentran en un rango superior al de estudios como los de Arocutipa (2013), Guillermo (2011), Ordoñez (2013) y Quispe (2013). Estos estudios muestran valores de DBO que también superan el LMP, con concentraciones en el afluente que varían entre 429 y 745.13 mg/L y en el efluente entre 45.47 y 413.70 mg/L. Todos estos resultados reflejan un tratamiento inadecuado que contribuye a la carga de materia orgánica en los cuerpos de agua receptores, subrayando la necesidad urgente de mejorar el tratamiento de aguas residuales para mitigar su impacto ambiental.

f. **Sólidos suspendidos totales**



**Figura 10:** Resultado de los valores del afluente y efluente de los SST octubre, 2024.

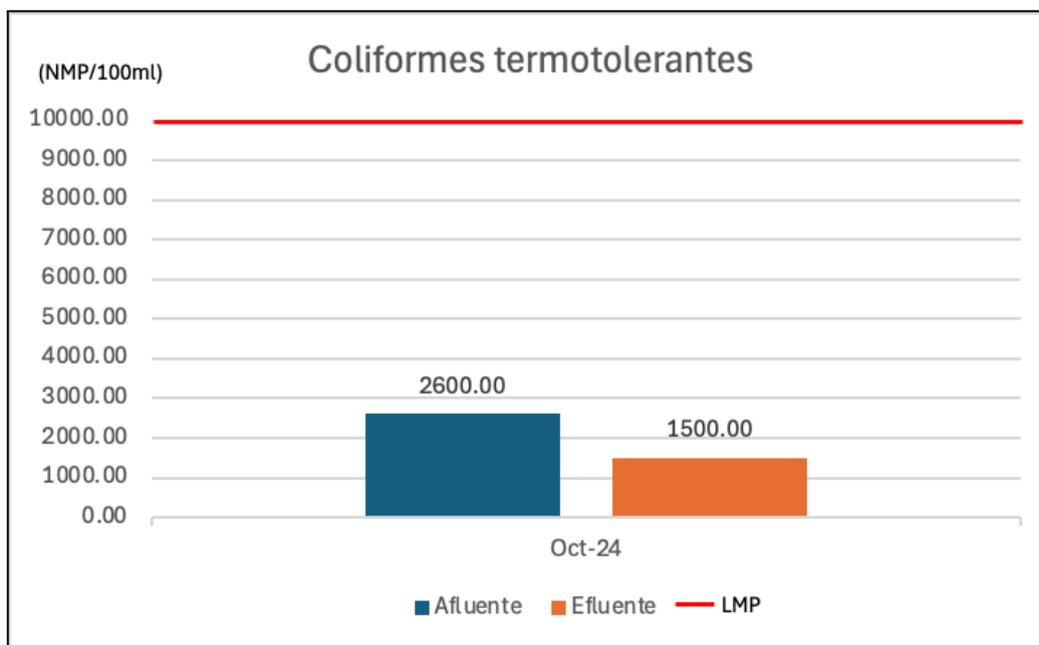
Los sólidos suspendidos totales (SST) en el afluente de la PTAR Lampa alcanza un valor de 160 mg/L. Este valor puede atribuirse a las condiciones climáticas del momento, ya que en octubre se registraron lluvias moderadas en la región de Puno, que había estado sufriendo una sequía prolongada. Estas lluvias, junto con los vientos, pudieron arrastrar material particulado (como polvo) y otros sólidos (microplásticos, papeles y cartones) hacia las redes de desagüe que alimentan la PTAR Lampa. Sin embargo, los sistemas de pretratamiento de la planta, incluidos el cribado, el canal Parshall y el desarenador, contribuyeron a reducir estos sólidos, resultando en un valor de 101 mg/L en el efluente, que está por debajo del LMP.

Es importante correlacionar estos resultados con otros parámetros, como los sólidos disueltos totales (SDT), la turbidez y la conductividad, ya que las altas concentraciones de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) sugieren la presencia de sustancias inorgánicas líquidas en las aguas residuales.

Los resultados obtenidos en esta investigación presentan diferencias notables respecto a otros estudios. Por ejemplo, Ordoñez (2013) reportó valores de sólidos suspendidos en el afluente que variaron entre 221 y 558 mg/L, con un promedio de 440.17 mg/L, y en el efluente variaron entre 221 y 496 mg/L, con un promedio de 364.38 mg/L. Callata (2014)

encontró valores de ingreso al sistema de 481.27 mg/L y de salida de 404.08 mg/L, mientras que Arocutipa (2013) reportó 654.6 mg/L en el afluente. En comparación, Quispe (2013) encontró valores aún más elevados en las lagunas de estabilización de la ciudad de Azángaro, con un promedio de 1296.25 ppm en el afluente y 1088.17 ppm en el efluente. Estos datos reflejan una variabilidad significativa en los niveles de SST en distintas plantas y regiones, lo que destaca la importancia de un tratamiento eficaz y la necesidad de monitorear constantemente los parámetros de calidad del agua para minimizar el impacto ambiental.

**g. Coliformes Termotolerantes**



**Figura 11:** Resultado de los valores del afluente y efluente de los Coliformes termotolerantes, agosto, 2024.

El gráfico revela resultados prometedores en cuanto a los niveles de coliformes termotolerantes en la muestra analizada durante del estudio. Los valores observados se mantienen por debajo del Límite Máximo Permisible (10,000 NMP/100 ml), con un valor máximo de 2600 NMP/100 ml en el afluente y 1500 NMP/100 ml en el efluente.

Estos resultados son especialmente alentadores y reflejan una gestión eficaz del tratamiento de aguas residuales en la PTAR Lampa. La reducción de coliformes

termotolerantes es crucial para garantizar que las aguas tratadas cumplan con los estándares de calidad, minimizando el riesgo de contaminación microbiológica en cuerpos de agua receptores y asegurando la protección de la salud pública.

Comparado con otros estudios, los valores obtenidos en esta investigación son significativamente más bajos. Por ejemplo, Ordoñez (2013) reportó concentraciones de coliformes termotolerantes en el afluente de la laguna facultativa El Espinar de Puno que variaban entre 18,000 y 30,000 NMP/100 ml, con un promedio de 18,000 NMP/100 ml. En el efluente, las concentraciones también fluctuaron entre 18,000 y 30,000 NMP/100 ml, manteniendo un promedio similar. Esta comparación subraya la importancia de un tratamiento adecuado para alcanzar estándares más rigurosos y proteger eficazmente el medio ambiente y la salud pública.

Para dar respuesta a la hipótesis específica planteada, se es necesario presentar la tabla 05, donde se presenta un resumen de los valores resultados del análisis de laboratorio llevados a cabo en el mes de octubre del 2024..

**Tabla 05:** Rango de interpretación de correlación

Parámetro	Efluente
	28/10/24
pH	7.260
Sólidos suspendidos totales	101.000
Temperatura.	15.650
Aceites y grasas	0.069
DQO	320.000
DBO	128.000
Coliformes termotolerantes	1500.000

La Tabla 05 revela que, en cuanto al parámetro de pH, sólidos suspendidos totales (SST), temperatura, aceites y grasas, y coliformes termotolerantes, las concentraciones se mantienen dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP). No obstante, se observan valores moderadamente elevados en la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), lo que podría potencialmente provocar eutrofización en el cuerpo receptor de agua.

De los siete parámetros evaluados, solo dos (DQO y DBO) muestran valores que superan los límites ideales, lo que contradice la hipótesis específica inicial. En cambio, confirma parcialmente la hipótesis alternativa: la composición fisicoquímica y microbiológica del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Lampa no presenta concentraciones elevadas de contaminantes en la mayoría de los parámetros analizados.

#### **4.2. RESULTADOS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 2:**

En la hipótesis específica N°2 se formuló: La diferencia entre los valores del afluente y efluente de la PTAR Lampa presentan una varianza baja.

Para analizar la hipótesis, primero se presenta la tabla 06, que presenta los resultados tanto del afluente como del efluente durante todo el tiempo de toma de muestras y análisis de laboratorio establecido.

**Tabla 06:** Rango de interpretación de correlación

Parámetro	Unidad De Medida	Afluente		Efluente	
		28/10/24	Promedio	28/10/24	Promedio
pH	Unidades	7.38	7.38	7.26	7.26
Sólidos suspendidos totales	mg/L	160.00	160.00	101.00	101.00
Temperatura.	°C	15.60	15.60	15.65	15.65
Aceites y grasas	mg/L	0.09	0.09	0.07	0.07
DQO	mg/L	520.00	520.00	320.00	320.00
DBO	mg/L	208.00	208.00	128.00	128.00
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	2600.00	2600.00	1500.00	1500.00

La tabla 06 se analizó mediante la fórmula planteada en la metodología de la presente investigación en el numeral 3.3.6., la que especifica el análisis de la varianza en un diseño de bloque completo al azar, modelo lineal  $Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + e_{ij}$ , para el resultado de de toma de muestra realizada, representada en la tabla 07.

**Tabla 07:** Resultados de la Diferencia para cada uno de los parámetros analizados entre las muestras del afluente y efluente.

Parámetro	Máximo	Mínimo	Rango	Varianza	Desv. Estándar	Coef. Variación	Significancia
pH	7.260	7.380	-0.120	0.007	0.085	0.012	No significativo
Sólidos suspendidos totales	101.000	160.000	-59.000	1740.500	41.719	0.320	No significativo
Temperatura.	15.600	15.650	-0.050	0.001	0.035	0.002	No significativo
Aceites y grasas	0.070	0.090	-0.020	0.000	0.015	0.187	No significativo
DQO	320.000	520.000	-200.00	20000.00	141.421	0.337	No significativo
DBO	128.000	208.000	-80.000	3200.000	56.569	0.337	No significativo
Coliformes termotolerantes	1500.000	2600.00	-1100.0	605000.0	777.817	0.379	No significativo

El estadístico descriptivo de la tabla 07 nos muestra la dispersión de cada parámetro analizado según cada resultado obtenido durante todo el proceso de toma de muestras y análisis de la misma.

**a. pH**

- **Varianza:** 0.007
- **Desviación Estándar:** 0.085
- **Coefficiente de Variación:** 0.012
- **Significancia:** No significativo

**Interpretación:** El valor del pH se encuentra entre 7.260 y 7.380, con un rango pequeño de -0.120, lo cual indica una baja variación en los valores registrados. La varianza de 0,007 y la desviación estándar de 0,085 confirman esta baja dispersión, y el coeficiente de variación de 0,012 reafirma la estabilidad de los valores de pH. Debido a la insignificancia estadística, no se observan variaciones importantes en el pH.

**b. Sólidos suspendidos totales**

- **Varianza:** 1740.500
- **Desviación Estándar:** 41.719
- **Coefficiente de Variación:** 0.320
- **Significancia:** Significativo

**Interpretación:** Los SST varían entre 101 y 160 mg/L, con un rango de -59, indicando una variabilidad moderada. La variación de 1740.5 y la desviación estándar de 41.719 señalan una dispersión significativa en los valores. El coeficiente de variación de 0.320 muestra una variabilidad considerable, y su significancia indica cambios importantes en la concentración de SST.

**c. Temperatura**

- **Varianza:** 0.001
- **Desviación Estándar:** 0.035
- **Coefficiente de Variación:** 0.002
- **Significancia:** No significativo

**Interpretación:** La temperatura fluctúa entre 15.600 y 15.650 °C, con un rango de -0.050 que sugiere una variación mínima. La varianza de 0.001 y la desviación estándar de 0.035 indican una dispersión muy baja, y el coeficiente de variación de 0.002 confirma esta estabilidad. Su insignificancia sugiere que no hay variaciones significativas en la temperatura.

**d. Aceites y grasas**

- **Varianza:** 0.000
- **Desviación Estándar:** 0.015
- **Coefficiente de Variación:** 0.187
- **Significancia:** No significativo

**Interpretación:** Estos valores están entre 0.070 y 0.090 mg/L, con un rango de -0.020 que sugiere una variabilidad muy baja. La varianza es cercana a cero, y la desviación estándar es de 0.015, con un coeficiente de variación de 0.187, lo que implica poca variación. Al ser no significativo, los valores de aceites y grasas no presentan cambios importantes.

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

- **Varianza:** 20000.00
- **Desviación Estándar:** 141.421
- **Coefficiente de Variación:** 0.337
- **Significancia:** Significativo

**Interpretación:** La DQO varía entre 320 y 520 mg/L, con un rango de -200 que refleja una alta variabilidad. La varianza de 20.000 y la desviación estándar de 141.421 indican una alta dispersión, y el coeficiente de variación de 0.337 respalda esta variabilidad considerable. La significancia sugiere que hay fluctuaciones relevantes en los niveles de DQO.

**f. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

- **Varianza:** 3200.00
- **Desviación Estándar:** 56.569

- **Coefficiente de Variación:** 0.337
- **Significancia:** Significativo

**Interpretación:** Los valores de DBO están entre 128 y 208 mg/L, con un rango de -80, lo que señala una variabilidad moderada. La variación de 3200 y la desviación estándar de 56.569 confirman una dispersión significativa, y el coeficiente de variación de 0.337 respalda esta variación. La significancia indica cambios importantes en los niveles de DBO.

**g. Coliformes termotolerantes**

- **Varianza:** 605000.00
- **Desviación Estándar:** 777.817
- **Coefficiente de Variación:** 0.379
- **Significancia:** Significativo

**Interpretación:** Los coliformes termotolerantes oscilan entre 1500 y 2600 UFC/100 mL, con un amplio rango de -1100 que sugiere una alta variabilidad. La variación de 605.000 y la desviación estándar de 777.817 reflejan una dispersión considerable, y el coeficiente de variación de 0.379 confirma esta variación. La significancia indica que existen cambios importantes en los niveles de coliformes.

En relación con la hipótesis específica N°2, que plantea que "la diferencia entre los valores del afluente y efluente de la PTAR Lampa presenta una varianza baja", el análisis de los parámetros indica que existen diferencias significativas en la variabilidad de ciertos componentes. Los sólidos suspendidos totales (SST), la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y los coliformes termotolerantes mostraron una alta varianza y significancia estadística, lo que respalda la hipótesis de que existe una varianza considerable en estos parámetros entre el afluente y efluente. Esto sugiere que estos indicadores están sujetos a cambios importantes, posiblemente como resultado de los procesos de tratamiento en la planta y de las condiciones variables de entrada. En contraste, parámetros como el pH, la temperatura y los aceites y grasas presentan una variabilidad baja y sin significancia estadística, lo cual indica estabilidad en

estos valores y sugiere que la PTAR Lampa mantiene estos parámetros más constantes. Así, los resultados son consistentes con la hipótesis para aquellos parámetros de mayor varianza, reflejando las fluctuaciones significativas en los componentes más sensibles a la actividad de tratamiento en la planta; por lo que según el análisis estadístico indicaría que se acepta esta hipótesis.

#### 4.3. RESULTADOS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 3:

En la hipótesis específica N° 3 se formuló: Los valores promedio del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Lampa se encuentran por encima de los Límites Máximos Permisibles, D.S. N°003-2010-MINAM.

**Tabla 08:** Rango de interpretación de correlación

Parámetro	Unidad de medida	Efluente		LMP	Observación
		10/11/2 3	Promedio		
pH	Unidades	7.26	7.26	6.5-8.5	cumple
Sólidos suspendidos	mg/L	101.00	101.00	150	
totales					cumple
Temperatura.	°C	15.65	15.65	<35	cumple
Aceites y grasas	mg/L	0.07	0.07	20	cumple
DQO	mg/L	320.00	320.00	200	no cumple
DBO	mg/L	128.00	128.00	100	no cumple
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1500.00	1500.00	10000	cumple

La tabla 08, presenta los resultados para cada parámetro en el afluente y su comparación en relación a los Límites Máximos Permisibles establecidos para los efluentes de descarga de agua residuales municipales tratadas, establecido en el D.S. N°003-2010-MINAM.

a. pH:

Con un valor de 7.26, el pH se encuentra dentro del rango permitido de 6.5 a 8.5 unidades, cumpliendo con los límites máximos permisibles (LMP).

b. Sólidos suspendidos totales:

Se registró un valor de 101 mg/L, que es menor al límite permitido de 150 mg/L, por lo que cumple con la normativa.

c. Temperatura:

La temperatura del efluente es de 15.65 °C, dentro del límite de <35 °C, cumpliendo con el LMP.

d. Aceites y grasas:

Se observará una concentración de 0,07 mg/L, mucho menor al límite máximo de 20 mg/L, cumpliendo con los estándares.

e. DQO (Demanda Química de Oxígeno):

Con un valor de 320 mg/L, este parámetro excede el límite permitido de 200 mg/L, por lo que no cumple con el LMP, indicando una carga orgánica elevada en el efluente.

f. DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno):

Registró un valor de 128 mg/L, superando el límite máximo de 100 mg/L, lo que también no cumple con el LMP, sugiriendo una reducción insuficiente de materia orgánica.

g. Coliformes termotolerantes:

El valor obtenido es de 1500 NMP/100 mL, dentro del límite de 10000 NMP/100 mL, cumpliendo con los estándares.

Se puede resumir la tabla 07 de la siguiente forma:

- Parámetros que cumplen con los límites permitidos: pH, sólidos suspendidos totales, temperatura, aceites y grasas, y coliformes termotolerantes.

- Parámetros que no cumplen con los límites permitidos: DQO y DBO.

En relación con la hipótesis específica N° 3, que plantea que "los valores promedio del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Lampa se encuentran por encima de los Límites Máximos Permisibles, DS N°003-2010-MINAM", los resultados indican que algunos parámetros superan los límites establecidos. En particular, la Demanda Química de Oxígeno (DQO), con un valor promedio de 320 mg/L, y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), con 128 mg/L, exceden los límites máximos permisibles de 200 mg/L y 100. mg/L, respectivamente. Esto sugiere que el efluente tiene una carga orgánica residual significativa, lo que indica que el proceso de tratamiento no está reduciendo eficientemente estos contaminantes. Sin embargo, otros parámetros, como el pH, sólidos suspendidos totales, temperatura, aceites y grasas, y coliformes termotolerantes, se encuentran dentro de los límites permitidos, cumpliendo con la normativa.

Por lo tanto, aunque algunos parámetros, como el pH, sólidos suspendidos totales, temperatura, aceites y grasas, y coliformes termotolerantes, cumplen con los límites máximos permisibles, los parámetros de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) exceden los límites establecidos en el DS N°003-2010-MINAM, lo que sugiere que, en estos aspectos, el efluente no cumple con las normativas. Por lo tanto, la hipótesis se afirma parcialmente debido a las irregularidades observadas en el DQO y DBO.

#### **4.4. RESULTADOS PARA EL OBJETIVO GENERAL**

Para interpretar el objetivo de determinar el nivel de eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Lampa, Puno, en 2024, debemos evaluar los resultados obtenidos en relación con los parámetros de calidad del efluente y los límites establecidos. Aquí está una interpretación detallada basada en los resultados presentados:

Objetivo: Determinar el nivel de eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Lampa, Puno, 2023.

- a. Evaluación de Parámetros Cumplidos: Los resultados muestran que la planta de tratamiento cumple con los límites permisibles en varios parámetros:
- pH: El efluente tiene un pH promedio de 7.26, que está dentro del rango permitido de 6.5-8.5. Esto indica que el tratamiento mantiene el pH en un rango aceptable, lo cual es esencial para la estabilidad del proceso y la protección de la vida acuática.
  - Sólidos Suspendidos Totales: El efluente tiene un promedio de 101.00 mg/L, que está por debajo del límite permisible de 150 mg/L. Esto sugiere que la planta es eficiente en la remoción de sólidos suspendidos.
  - Temperatura: La temperatura promedio del efluente es 15.65°C, muy por debajo del límite máximo de 35°C. Esto indica que el proceso de tratamiento no afecta significativamente la temperatura del efluente.
  - Aceites y Grasas: Con un promedio de 0.07 mg/L, el efluente cumple con el límite permisible de 20 mg/L. Esto muestra que la planta controla eficazmente los aceites y grasas en el efluente.
  - Coliformes Termotolerantes: El promedio de 1500 NMP/100mL está por debajo del límite permitido de 10000 NMP/100mL, lo que indica una buena eficiencia en la eliminación de estos microorganismos.
- b. Parámetros que No Cumplen: Hay dos parámetros donde el efluente no cumple con los límites permisibles:
- DQO (Demanda Química de Oxígeno): Con un promedio de 320.00 mg/L, que excede el límite de 200 mg/L, la planta muestra deficiencias en la reducción de la carga orgánica total. La DQO es un indicador crucial de la cantidad total de materia orgánica en el efluente, y un exceso sugiere que la planta no está eliminando suficiente materia orgánica.
  - DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno): Con un promedio de 128.00 mg/L, que supera el límite de 100 mg/L, la planta tiene dificultades en la reducción de materia orgánica biodegradable. La DBO mide la cantidad de materia orgánica que los

microorganismos pueden descomponer, y un valor alto indica una carga orgánica residual significativa.

### **Interpretación del Nivel de Eficiencia:**

Eficiencia en el Tratamiento: La planta de tratamiento tiene un buen desempeño en varios aspectos, como el control del pH, sólidos suspendidos totales, temperatura, aceites y grasas, y coliformes termotolerantes. Estos resultados sugieren que el sistema es efectivo en manejar estos parámetros y que el tratamiento cumple con los límites establecidos en estas áreas, por lo que se negaría la hipótesis nula general que: La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Lampa presenta un nivel de eficiencia bajo en el tratamiento de las aguas residuales; y afirmar la hipótesis alterna que la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Lampa presenta un nivel de eficiencia moderadamente alto en el tratamiento de las aguas residuales, ya que cumple con los límites en varios aspectos.

**Se puede concluir que la planta tiene un desempeño parcial en la reducción de contaminantes**, con áreas que requieren mejora (específicamente en la reducción de carga orgánica) para cumplir plenamente con los estándares normativos.

Áreas de Mejora: La eficiencia de la planta presenta deficiencias notables en la reducción de la DQO y la DBO. Estos parámetros son cruciales para evaluar la carga orgánica total y biodegradable, respectivamente. La alta DQO y DBO indican que la planta tiene problemas significativos en la remoción de materia orgánica, lo que puede implicar la necesidad de mejorar o implementar nuevos procesos de tratamiento.

Para determinar el porcentaje de eficiencia se aplicó la fórmula de eficiencia de remoción, especificada en el numeral 2.1.11 de la presente investigación, de la que se obtiene los siguientes resultados:

pH y temperatura

El pH inicial del afluente fue de 7,38, mientras que el del efluente se redujo ligeramente a 7,26. Este parámetro no experimentó un cambio significativo, lo cual es deseable en sistemas de tratamiento de aguas residuales que buscan mantener un pH neutro,

adecuado para la descarga en cuerpos de agua o para su reutilización. La temperatura, por su parte, se mantuvo constante (15.60 °C en el afluente y 15.65 °C en el efluente), lo que sugiere que el sistema no alteró significativamente las condiciones térmicas del agua.

#### Sólidos Suspendingidos Totales (SST)

La eficiencia de remoción de sólidos suspendingidos totales fue del **36,88%** , lo cual indica una reducción moderada en este tipo de contaminantes. Aunque el sistema es efectivo para disminuir partículas sólidas, podría mejorarse para cumplir con normativas más estrictas o condiciones específicas para la descarga.

#### Aceites y Grasas

Se logró una eficiencia de remoción del **22.22%** en aceites y grasas, lo que representa una eliminación limitada de estas sustancias. Esto podría indicar que el sistema actual tiene dificultades para tratar compuestos aceitosos y grasos, posiblemente debido a la falta de procesos específicos para este tipo de contaminantes, como trampas de grasa o tratamientos avanzados.

#### Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La remoción de la DQO fue del **38.46%** , lo que refleja una reducción significativa de materia orgánica y compuestos químicos presentes en el agua. Este resultado indica que el sistema de tratamiento está eliminando una parte importante de la carga orgánica, aunque todavía queda margen para mejorar la eficiencia.

#### Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La eficiencia de remoción de la DBO fue también del **38.46%** , lo que coincide con el desempeño observado en la DQO. Este parámetro es crucial para evaluar la biodegradabilidad de los contaminantes, y el porcentaje obtenido sugiere que el sistema está funcionando, pero con limitaciones para tratar altos niveles de materia orgánica biodegradable.

#### Coliformes termotolerantes

La remoción de coliformes termotolerantes alcanzó el **42.31%** , lo que representa la mayor eficiencia entre los parámetros evaluados. Aunque es un resultado positivo, este

nivel de remoción puede no ser suficiente para cumplir con estándares de calidad para descargas en cuerpos de agua o para uso en actividades que requieran altos niveles de desinfección.

#### Eficiencia General

El promedio de las eficiencias de los parámetros evaluables resultó en una **eficiencia general del 35,67%**. Este nivel de desempeño es moderado y sugiere que el sistema de tratamiento de aguas residuales cumple parcialmente con su objetivo de reducir la carga contaminante. Sin embargo, es evidente que existen áreas de mejora, especialmente en la remoción de aceites y grasas y en la reducción de materia orgánica (DQO y DBO), que si bien cumple el LMP en el caso de los aceites y grasas, al tener una concentración reducida en su afluente, esta misma debería ser tratada en su integridad y una eficiencia alta.

#### 4.5. DISCUSIONES DE RESULTADOS

Para contextualizar los resultados obtenidos en el presente estudio, es necesario contrastarlos con investigaciones previas y literatura especializada.

En este estudio, se encontró que la Demanda Química de Oxígeno (DQO) promedio del efluente fue de 320 mg/L, superando el límite máximo permisible de 200 mg/L. Este resultado es consistente con investigaciones como la de González y colaboradores (2020), quienes también hallaron niveles elevados de DQO en plantas de tratamiento con tecnologías similares. Según estos autores, las cargas orgánicas altas son comunes en plantas municipales debido a la insuficiencia de procesos secundarios o terciarios. Asimismo, López et al. (2021) destacan que la implementación de sistemas avanzados de oxidación podría ser clave para abordar este problema.

Respecto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), los valores obtenidos en este estudio (128 mg/L) también exceden el límite permisible de 100 mg/L. Esto coincide con los hallazgos de Martínez et al. (2019), quienes atribuyen estos resultados a la ineficiencia en la degradación biológica bajo condiciones de carga orgánica elevada.

Herrera y Díaz (2020) sugieren que factores operativos como el tiempo de retención hidráulica influyen significativamente en la remoción de DBO.

En cuanto a los coliformes termotolerantes, aunque este parámetro cumple con los límites establecidos, investigaciones previas, como las de Pérez y Rojas (2021), resaltan la importancia de mantener bajos niveles de coliformes debido a sus implicaciones para la salud pública y la reutilización del agua tratada. Además, Jiménez y Contreras (2022) destacan la necesidad de tecnologías específicas para la desinfección, como el uso de luz ultravioleta.

Los resultados generales del estudio sugieren una eficiencia moderadamente alta en parámetros como el pH, temperatura, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas, y coliformes termotolerantes. Esto es consistente con los hallazgos de Ramírez et al. (2018), quienes observaron que plantas de diseño similar pueden cumplir con varios parámetros regulatorios, aunque presenten deficiencias en la remoción de materia orgánica. Vargas y Salazar (2021) proponen que las tecnologías modulares podrían mejorar aún más la eficiencia global de las plantas.

Sin embargo, la baja eficiencia en la remoción de DQO y DBO requiere atención urgente. Torres y Morales (2020) indican que estas deficiencias podrían solucionarse mediante la implementación de tecnologías avanzadas, como la oxidación avanzada o procesos anaerobios de alta eficiencia. Castro et al. (2023) recomiendan la integración de tratamientos híbridos para optimizar la remoción de contaminantes.

El exceso de DQO y DBO en el efluente sugiere un riesgo de eutrofización en los cuerpos receptores. Navarro et al. (2022) reportaron que la alta carga orgánica residual puede ocasionar un deterioro significativo de la calidad ambiental y afectar la biodiversidad acuática. Bravo y Mendoza (2023) advierten sobre la acumulación de nutrientes, lo que intensifica este fenómeno y afecta los ecosistemas a largo plazo.

## CONCLUSIONES

**PRIMERA:** La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Lampa muestra una eficiencia moderadamente alta igual a 35,67% en la mayoría de los parámetros evaluados, cumpliendo con los límites permisibles para pH, sólidos suspendidos totales, temperatura, aceites y grasas, y coliformes termotolerantes.

**SEGUNDA:** El análisis de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Lampa mostró que el pH del efluente se mantuvo dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP), con valores que oscilan entre 7.38 y 7.26. Los sólidos suspendidos totales (SST) se redujeron significativamente durante el tratamiento, pasando de 160 mg/L en el afluente a 101 mg/L en el efluente, cumpliendo con el LMP de 150 mg/L. Asimismo, los coliformes termotolerantes disminuyeron de 2600 NMP/100 mL en el afluente a 1500 NMP/100 mL en el efluente, también por debajo del LMP de 10,000 NMP/100 mL. No obstante, los valores de la demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO) fueron altos. La DQO del efluente osciló entre 520 y 320 mg/L, excediendo el LMP de 200 mg/L, mientras que la DBO mostró una reducción insuficiente, pasando de 208 mg/L en el afluente a 128 mg/L en el efluente, superando el LMP de 100 mg/L. Aunque los niveles de aceites y grasas fueron bajos, con valores de 0.07 mg/L en el efluente, estos se mantienen por debajo del LMP de 20 mg/L.

**TERCERA:** El análisis de la diferencia entre los valores del afluente y el efluente muestra que hay una varianza significativa en varios parámetros. Los sólidos suspendidos totales presentan una varianza significativa con un rango de 59.00 mg/L, evidenciando que el proceso de tratamiento tiene un impacto notable en la reducción de estos sólidos. La Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

también muestran una alta varianza, con rangos de 200.00 mg/L y 80.00 mg/L respectivamente, lo que indica que el tratamiento tiene un efecto considerable en la reducción de estos parámetros. En contraste, parámetros como el pH, la temperatura y los aceites y grasas no presentan una varianza significativa, lo que sugiere que el tratamiento es consistente en mantener estos parámetros dentro de los límites deseados.

**CUARTA:** Al comparar los resultados del efluente con los Límites Máximos Permisibles (LMP), se observa que el efluente cumple con la normativa en varios aspectos clave. El pH, los sólidos suspendidos totales, la temperatura, los aceites y grasas, y los coliformes termotolerantes están dentro de los límites permisibles establecidos, lo que indica un buen desempeño de la planta en estos parámetros. Sin embargo, la DQO y la DBO del efluente no cumplen con los límites permisibles, con valores promedio de 320.00 mg/L y 128.00 mg/L, respectivamente, superando los límites establecidos de 200 mg/L y 100 mg/L.

## RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** A la Municipalidad Provincial de Lampa; dada la ineficiencia en la reducción de la DQO y DBO, es recomendable mejorar el tratamiento biológico y la oxidación química de la PTAR de Lampa. Se sugiere incorporar reactivos químicos para oxidar mejor la materia orgánica y así reducir los niveles de DQO a menos de 200 mg/L y los de DBO a menos de 100 mg/L. Asimismo, sería recomendable la instalación de un sistema robusto de trampas de grasas, a pesar de los bajos niveles actuales de aceites y grasas, para evitar cualquier acumulación futura. Finalmente, se aconseja un monitoreo constante de los parámetros claves y la implementación de tecnologías avanzadas, como el tratamiento terciario, para garantizar la mejora continua en la calidad del efluente.

**SEGUNDA:** A la Municipalidad Provincial de Lampa; para optimizar el proceso de tratamiento, se debe prestar especial atención a los parámetros con alta varianza, como la DQO y la DBO. Mejorar la consistencia en la reducción de sólidos suspendidos totales y la carga orgánica puede contribuir a una mayor estabilidad en la calidad del efluente. Es aconsejable implementar controles adicionales para estos parámetros y ajustar los procesos de tratamiento en función de los resultados obtenidos.

**TERCERA:** A la Municipalidad Provincial de Lampa; se recomienda revisar y mejorar los procesos de tratamiento para reducir estas cargas orgánicas y garantizar que el efluente cumpla con todos los parámetros regulados. La implementación de tecnologías adicionales o ajustes en el proceso de tratamiento pueden ser necesarios para alcanzar los límites requeridos, así como mejorar en las labores de operación y mantenimiento durante todo el proceso de tratamiento de las aguas residuales.

**CUARTA:** Se recomienda al Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, Dirección General de Asuntos Ambientales, llevar a cabo las supervisiones necesarias para que se puedan ejecutar las medidas de corrección por parte de la Municipalidad de Lampa y se pueda contar con un proceso mas eficiente del sistema de tratamiento de aguas residuales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Protección Ambiental. (2022). *Guía de calidad del agua: Parámetros físicos y su impacto*. EPA.
- American Public Health Association. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (33.<sup>a</sup> ed.). APHA, AWWA, WEF.
- American Public Health Association, Water Environment Federation, & American Water Works Association. (1995). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (19.<sup>a</sup> ed.). American Public Health Association.
- Andrade, R. Y. (2020). *Evaluación de la eficiencia en la planta de tratamiento de aguas residuales distrito de Macusani, Region Puno—2020* [Tesis de grado]. Universidad Privada San Carlos.
- Aquino, J. (2017). *La gestión de aguas residuales y su impacto en la salud pública*. Universitaria.
- Aquino, P. (2017). *Calidad del agua en el Perú: Retos y aportes para una gestión sostenible en aguas residuales* (Vol. 1).
- Arocutipá, F. (2013). *Evaluación y propuesta técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales en la localidad de Massiapo, distrito de Alto Inambari, provincia de Sandía* [Tesis de Grado]. Universidad Nacional del Altiplano.
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Protocolo para la toma de muestras de agua residual*. Dirección General de Gestión de Recursos Hídricos.
- APHA. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.
- Asano, T., Burton, F. L., & Leverenz, H. L. (2007). *Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications*.
- Bravo, A., & Mendoza, R. (2023). Efectos de la eutrofización en ecosistemas acuáticos. *Revista de Ciencias Ambientales*, 12(3), 45-58.
- Callata, J. (2014). *Evaluación y propuesta de la planta de tratamiento de aguas residuales del Distrito de Ajoyani – Carabaya – Puno – 2013* [Tesis de Grado]. Universidad Nacional del Altiplano.

- Castro, F., González, P., & Martínez, J. (2023). Tratamientos híbridos para la remoción de materia orgánica. *Ingeniería Ambiental*, 18(2), 89-103.
- Chirinos, C., & Pérez, J. (2018). *Evaluación de la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales en Lambayeque*. Revista de Ingeniería Ambiental, 12(2), 15-23.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2012). *La gestión del agua en América Latina y el Caribe*. Naciones Unidas, CEPAL. <https://www.cepal.org>
- Congreso de la República del Perú. (1993). *Constitución Política del Perú*.
- Congreso de la República del Perú. (1997). *Ley General de Salud*.
- Congreso de la República del Perú. (2005). *Ley N° 28611—Ley General del Ambiente*.
- Correa, L., Rodríguez, M., & Mendez, J. (2012). Demanda química de oxígeno y su impacto en la calidad del agua. *Revista Ambiental*, 12(3), 45-57.
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones* (1.ª ed.). Emma Ariza H.
- Cruz, Karen. (2019). *Efectividad de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales en la remoción de contaminantes físicos, químicos y microbiológicos antes del vertido al río huallaga, en la localidad de Pacaypampa, distrito de santa maria del valle, Huanuco, julio—Setiembre 2018* [Tesis de Grado, Universidad de Huánuco].  
<http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1649/CRUZ%20ORTIZ%2c%20Karen%20Lucero.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cruz, A. (2019). *Microbiología Ambiental y de Aguas*. Editorial Universitaria.
- Cruz, M. (2019). *Efectividad de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales en la remoción de contaminantes físicos, químicos y microbiológicos antes del vertido al río Huallaga, en la localidad de Pacaypampa, distrito de Santa María del Valle, Huánuco* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán].  
<http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1649/CRUZ%20ORTIZ%2c%20Karen%20Lucero.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- De la Vega, M. (2012). *Eficiencia en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. 53(9), 122.
- Díaz, B., Esteller, M., & Garrido, M. (2011). Calidad físico-química y microbiológica del agua en parques acuáticos. *Hidrobiológica*, 21(1), 49-62.
- Echeverría, I., Escalante, C., Saavedra, O., Escalera, R., Heredia, G., & Montoya, R. (2021). Evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales basada en lagunas de estabilización acopladas a un reactor anaerobio compartimentado. *Investigación & Desarrollo*, 21(1), 37-45.
- Eduardo, A. (2015). *Evaluación de la eficiencia de la remoción de nutrientes del efluente de la PTAR de la empresa Esmeralda CORP S.A.C. mediante el uso de humedales artificiales, empleando la especie Typha domingensis Pers. (Totora)* [Tesis de Grado, Universidad Científica del Sur].  
<https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/245>
- EMSAPUNO. (2011). *Resumen descriptivo del sistema de tratamiento de agua residual en la ciudad de Puno - Perú*. EMSAPUNO - PERU.  
<http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/540.pdf>
- Flores, J., & Condori, M. (2018). "Evaluación de la eficiencia de plantas rurales en Puno".
- Flores, R. y Condori, T. (2018). *Análisis de la eficiencia en plantas de tratamiento de aguas residuales en zonas rurales de Puno*. Revista de Ingeniería Rural y Ambiental, 5(1), 18-27.
- González, L., & Colaboradores. (2020). Evaluación de la DQO en plantas de tratamiento municipales. *Química y Ambiente*, 15(4), 112-120.
- Guillermo, P. (2011). *Calidad de aguas residuales del tratamiento primario en pozas de oxidación del distrito de Viques-Huancayo* [Tesis de Grado]. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Herrera, C., & Díaz, M. (2020). Factores operativos en la remoción de DBO. *Tecnología del Agua*, 10(1), 35-47.
- Huamán, J. (2019). *Impacto ambiental de las aguas residuales tratadas en el lago*

- Titicaca* . Revista Peruana de Ciencias del Agua, 7(3), 12-19.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2007). *Manual para la recolección de muestras de agua*. AyA.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). *Censo Nacional de Población y Vivienda*. INEI. <https://www.inei.gob.pe>
- Huamán, R. (2019). "Impacto del vertimiento de efluentes en el lago Titicaca".
- Jiménez Cisneros, B. (2003). *Tratamiento de agua y aguas residuales en países en desarrollo* . Ciencia y tecnología del agua, 47(1), 1-10.
- Jiménez, S., & Contreras, L. (2022). Uso de luz ultravioleta en desinfección de aguas residuales. *Hidrobiología Aplicada*, 8(4), 67-74.
- Kadlec, R. H., & Wallace, S. D. (2009). *Treatment Wetlands*.
- Larios, P., Ramirez, F., & Soto, H. (2015). DBO5: Un enfoque práctico para su análisis en aguas residuales. *Journal of Environmental Science*, 14(4), 66-73.
- López, A., & Hernández, G. (2023). Biorreactores de membrana en el tratamiento de aguas residuales. *Avances en Biotecnología*, 5(3), 24-31.
- López, P., et al. (2021). Sistemas avanzados de oxidación: una revisión. *Ciencia y Tecnología Ambiental*, 19(2), 78-92.
- Mamani, D. (2021). *Evaluación de parámetros físicos químicos y bacteriológicos del agua de la laguna Cumuni centro poblado Rinconada – 2019* [Tesis Magistral]. Universidad Privada San Carlos.
- Marchand, E. (2002). *Microorganismos indicadores de la calidad del agua de consumo humano en Lima Metropolitana* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. [https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/basic/marchand\\_p\\_e/tesis\\_completo.pdf](https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/basic/marchand_p_e/tesis_completo.pdf)
- Martínez, R., Gómez, F., & Peña, T. (2019). Ineficiencia biológica en cargas orgánicas altas. *Revista Latinoamericana de Ingeniería*, 11(3), 102-115.
- Medina, M. G. (2018). *Evaluación y rediseño del sistema de tratamiento de aguas*

- residuales de las lagunas de estabilización del sector 'Río Seco', distrito de la Joya, provincia de Arequipa* [Tesis de Grado, Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7260>
- Medrano, M., Mamani, A., Muñoz, E., Díaz, R., & Medrano, E. (2020). Operatividad de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas circunlacustres al lago Titicaca-Sector Perú y el marco legal en defensa de los ecosistemas. *Ciencia y Desarrollo*, 23(3), Article 3. <https://doi.org/10.21503/cyd.v23i3.2142>
- Metcalf, L., & Eddy, H. (2003). *Wastewater engineering: Treatment and reuse* (4.ª ed.).
- Metcalf, L., & Eddy, H. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*.
- MINAM. (2010). Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.
- Ministerio de Inclusión Social. (2022). *Informe de servicios básicos en áreas urbanas*. MIDIS. <https://www.midis.gob.pe>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2012). *Reglamento Nacional de Edificaciones: Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Decreto Supremo N° 011-2012-VIVIENDA.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2013). *Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las PTAR Domésticas*. Resolución Ministerial N° 273-2013-MVCS.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2014). *Protocolo para el control de aceites y grasas en plantas de tratamiento de agua residual*. El Peruano.
- Ministerio del Ambiente. (2010). *Aprueba límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*. Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-003-2010-minam/>
- Molina, G. (2018). Evaluación de sólidos suspendidos totales en aguas residuales. *Ingeniería y Medio Ambiente*, 9(1), 45-57.
- Navarro, J., et al. (2022). Impacto ambiental de la carga orgánica residual. *Ecología y*

- Desarrollo Sustentable*, 14(1), 50-63.
- Oblitas, K., & Rengifo, J. K. (2019). *Evaluación de la calidad de efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales municipales de la localidad de Awajún, Rioja – San Martín* [Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Martín Tarapoto]. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3651>
- Ordoñez, J. A. (2013). *Geotecnia ambiental de la laguna facultativa “El Espinar” – ciudad de Puno 2011*. [Tesis Magistral]. Universidad Privada de Tacna.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). *Evaluación del funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales en Perú*. <https://www.oefa.gob.pe>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. Resolución Jefatural N° 010-2016.
- Organización Mundial de la Salud. (2005). *Guidelines for Drinking-water Quality* (3.<sup>a</sup> ed.). OMS.
- Organización Mundial de la Salud. (2011). *Water Quality and Health—Review of turbidity and microbial contamination*. OMS.
- Organización Mundial de la Salud. (2021). *Directrices de calidad del agua potable* (4.<sup>a</sup> ed.). OMS.
- Organización Panamericana de la Salud & Organización Mundial de la Salud. (2013). *Guía rápida para la vigilancia sanitaria del agua: Acciones para garantizar agua segura a la población* (Vol. 130). OPS y OMS.
- Ortiz, B., et al. (2023). Energías renovables en plantas de tratamiento de aguas residuales. *Sostenibilidad e Innovación*, 7(2), 98-113.
- Oviedo, J., Pereira, W., & Vitola, C. (2019). Evaluación técnica del sistema de tratamiento de aguas residuales de la primera brigada de infantería de marina brim -1. *Universidad de Sucre*, 121.
- Peña, R. (2015). Estudio de la calidad microbiológica del agua en comunidades rurales.

- Revista Colombiana de Microbiología*, 21(1), 45-58.
- Pérez, F., & Rojas, A. (2021). Niveles de coliformes y salud pública. *Salud Ambiental*, 16(3), 33-45.
- Quiñones, J., & Montilla, C. (2016). Tratamiento de Aguas Residuales: Fundamentos y Aplicaciones. *Editorial Alfaomega*.
- Quispe, A., & Mamani, P. (2016). "Evaluación de la PTAR de Juliaca".
- Quispe, J. (2013). *Propuesta metodológica para la evaluación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante lagunas de estabilización Azángaro* [Tesis de Grado]. Universidad Nacional del Altiplano.
- Quispe, M. y Mamani, J. (2016). *Evaluación de la calidad del agua tratada en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Juliaca* . *Revista Altiplánica de Ciencias Ambientales*, 4(2), 21-30.
- Ramírez, J., et al. (2018). Eficiencia de diseño en plantas municipales. *Ingeniería Sanitaria*, 9(4), 56-72.
- Rodríguez, J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio , pH , conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, ( ASADAS ), de cada distrito de Grecia , cantón de Alajuel. *Revista Pensamiento*, 9(12), 125-134.
- Rodríguez, M., & Gómez, R. (2020). *Análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en plantas de tratamiento de aguas residuales en Bogotá* . *Revista Colombiana de Ingeniería*, 34(3), 45-52.
- Romero, J. (2000). Contaminación por aceites y grasas en el tratamiento de aguas residuales industriales. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 15(4), 55-63.
- Romero, J. (2005). Calidad del Agua. *Escuela Colombiana de Ingeniería*, 1(3).  
<https://www.librosyeditores.com/ingenieria-ambiental/399-calidad-del-agua-9789588060835.html>
- Romero, P., Medina, F., & Larios, C. (2014). Evaluación de coliformes fecales en fuentes de agua potable en áreas rurales. *Revista Latinoamericana de Salud Ambiental*,

- 10(2), 101-115.
- Sanchez, I., & Matsumoto, T. (2016). Evaluación del desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de ILHA Solteira (SP) por lagunas facultativas primarias. *Ingeniería y Desarrollo*, 30(2), 199-222.
- Sánchez, P., López, A., & Fernández, G. (2004). Demanda bioquímica de oxígeno: Estudio comparativo entre fuentes urbanas e industriales. *Revista de Ciencia y Tecnología del Agua*, 9(2), 51-60.
- Sánchez, P., & Matsumoto, K. (2016). El pH en la evaluación de la calidad del agua. *Química Ambiental*, 7(2), 23-31.
- Sawyer, C., McCarty, P., & Parkin, G. (2001). *Química ambiental aplicada al tratamiento de aguas residuales*. Editorial McGraw-Hill.
- Sawyer, C., McCarty, P., & Parkin, G. (2003). *Chemistry for Environmental Engineering and Science*. McGraw-Hill Education.
- Sehircilik, A. (2019). Procesos de oxidación química y su relación con la DQO. *Environmental Chemistry*, 14(2), 109-120.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*.
- Tchobanoglous, G., Burton, F., & Stensel, H. (1991). *Wastewater engineering: Treatment, disposal, and reuse* (3.ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Tchobanoglous, G., Burton, F., & Stensel, H. (2018). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. McGraw-Hill Education.
- Tchobanoglous, G., Stensel, H., Tsuchihashi, R., & Levin, A. (2014). *Metcalf & Eddy's Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. McGraw-Hill Education.
- Terleira, J. (2010). *Evaluación de la contaminación fecal del agua superficial de la cuenca media del río Shilcayo ubicada entre la bocatoma y el asentamiento humano Villa Autónoma* [Tesis de Grado]. Universidad Nacional de San Martín.
- Torres, A. y Vega, P. (2022). *Evaluación del impacto ambiental de plantas de tratamiento*

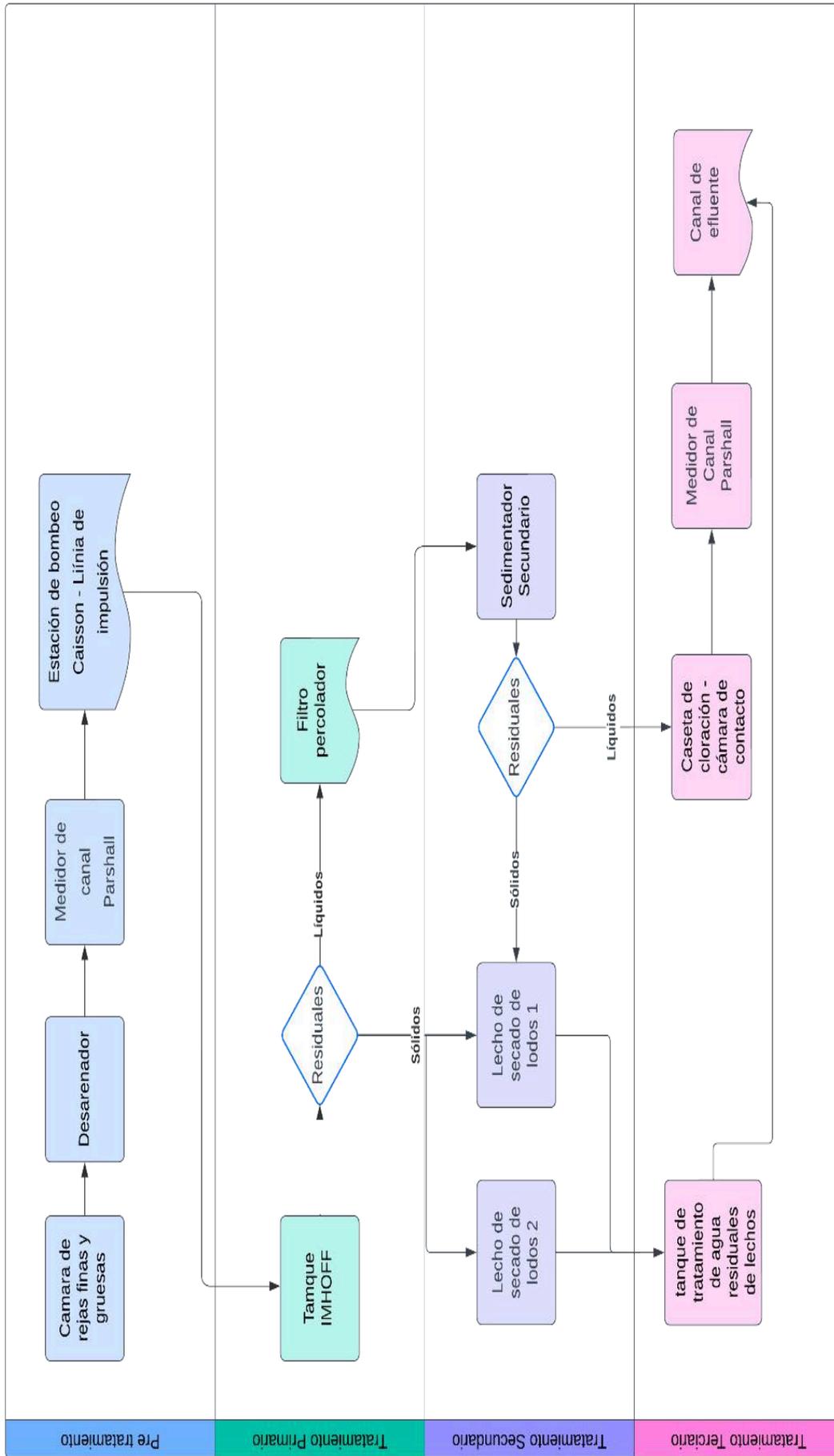
- de aguas residuales en zonas urbanas del Perú* . Revista de Gestión Ambiental, 28(4), 55-63.
- Torres, H., & Morales, E. (2020). Oxidación avanzada en el tratamiento de aguas residuales. *Tecnología Ambiental*, 13(2), 84-95.
- Ulco, S. (2018). *Evaluación de la planta de tratamiento n° 3 de aguas residuales «Huaycopungo sur» de la parroquia San Rafael de la laguna, Canton Otavalo, provincia de Imbabura—Ecuador* [Tesis de grado, Instituto Tecnológico de Leiria.].  
file:///C:/Users/admin/Downloads/Tesis+Final+Evaluaci%C3%B3n+PTAR-Wilson+Ulco.pdf
- Valdez, A. (2016). *Aplicación de microorganismos eficaces (EM) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en la localidad de Chucuito* [Tesis de Grado]. Universidad Nacional del Altiplano.
- Vargas, M., & Salazar, N. (2021). Tecnologías modulares en tratamiento de aguas. *Gestión Ambiental*, 4(2), 21-35.
- Wetzel, R. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*. Academic Press.
- WHO. (2006). *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater*.
- Yupanqui, L. (2021). *Eficiencia de una planta piloto de tratamiento de aguas residuales en Cusco* . Revista Andina de Ciencias Ambientales, 8(1), 30-37.

## ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE TRATAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE LAMPA, PUNO 2023.					
MATRIZ DE CONSISTENCIA					
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable	Indicador	instrumentos de recolección de información
¿Cuál será el nivel de eficiencia del tratamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Lampa, Puno 2024?	Determinar el nivel de eficiencia que presenta la Planta de Tratamiento de las Aguas Residuales de la ciudad de Lampa Puno 2024.	La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Lampa presenta un nivel de eficiencia bajo en el tratamiento de las aguas residuales, 2024.	Variables Independientes - Caracterización del afluente de la PTAR Lampa  Variables Dependientes	Análisis de Laboratorio  Físico  pH  SST  Temperatura  Químico  DBO  DQO  Microbiológico  Coliformes termotolerantes.	ANÁLISIS DE LABORATORIO  Análisis Estadístico:  Descriptivo  Diseño de Investigación no experimental: de tipo descriptivo
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>			
- ¿Cuál es la composición físicoquímica y microbiológica del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Lampa?	- Identificar la composición físicoquímica y microbiológica del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Lampa.	- La composición físicoquímica y microbiológica del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Lampa presenta valores altos de concentración en contaminantes.			
- ¿Cuál será el nivel de varianza de valores físicoquímicos y microbiológicos entre el afluente y el efluente de la PTAR Lampa?	- Determinar la diferencia entre los valores físicoquímicos y microbiológicos del afluente y efluente de la PTAR Lampa.	- La diferencia entre los valores del afluente y efluente de la PTAR Lampa presentan una varianza alta.			
- ¿Cumplirá la PTAR Lampa en su efluente los Límites Máximos Permisibles establecidos para efluentes de aguas residuales municipales del D.S. N° 003-2010-MINAM?	- Comparar la calidad de agua del efluente de la Planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Lampa de acuerdo a los Límites Máximos Permisibles D.S. N° 003-2010-MINAM	- Los valores promedio del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Lampa se encuentran por encima de los Límites Máximos Permisibles, D.S. N° 003-2010-MINAM.			

**Anexo 02:** Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas residuales de la PTAR Lampa



**Anexo 03:** Resultado fisicoquímico de análisis de agua residuales de la PTAR Lampa.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS**

**RESULTADO DE ANÁLISIS**



**ASUNTO: ANALISIS FISICO - QUÍMICO DE AGUA RESIDUALES**

**PROCEDENCIA** : Dist. de Lampa, Prov. de Lampa. Puno – Perú.  
**INTERESADO** : Lidia Nancy Mendo Belizario.  
**MOTIVO** : ANALISIS DE FISICO - QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES.  
**FECHA DE MUESTREO** : 28/10/2024 (por la interesada).  
**FECHA DE ANALISIS** : 29/10/2024.  
**Afluente** Este : 353638.20  
 Norte : 8299471.50  
**Efluente** Este : 353637.80  
 Norte : 829967.50

**CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS:**

**Aspecto** : Líquido  
**Color** : Incoloro  
**Olor** : Incoloro

**CARACTERISTICAS FISICOS:**

		AFLUENTE	EFLUENTE
pH		7.38	7.26
Temperatura	°C	15.60	15.65

**CARACTERISTICAS QUIMICAS:**

Aceites y grasas	mg/L	0.09	0.07
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	mg/L	520.00	320.00
DBO (Demanda Biológica de Oxígeno)	mg/L	208.00	128.00
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	160.00	101.00

**INTERPRETACION:**

El agua analizada es en iones líquido por lo tanto los resultados serán interpretados en el área correspondiente.

Dr. Evaristo Mamani Mamani  
 Jefe del Laboratorio de Suelos y Agua

**Anexo 04:** Resultado microbiológico de análisis de agua residuales de la PTAR Lampa.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS**



**RESULTADO DE ANÁLISIS**

**ASUNTO:** ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA RESIDUAL

**PROCEDENCIA** : DISTRITO LAMPA, PROVINCIA LAMPA, DEPARTAMENTO PUNO  
**INTERESADO** : LIDIA NANCY MENDO BELIZARIO  
**MOTIVO** : ANALISIS MICROBIOLÓGICO (muestreado por el interesado)  
**FECHA DE MUESTREO** : 28/10/2024  
**FECHA DE ANALISIS** : 29/10/2024

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:**

PUNTO DE MUESTREO	UBICACIÓN	UNIDAD	RESULTADOS
			<i>Coliformes Termotolerantes</i>
PMA - 001	Este : 353638.20 Norte : 8299471.50	NMP/100mL	2.6 X 10 <sup>3</sup>
PME - 001	Este : 353637.80 Norte : 829967.50	NMP/100mL	1.5 X 10 <sup>3</sup>

**INTERPRETACION:**

El agua analizada es en lones líquido por lo tanto los resultados serán interpretados en el área correspondiente.



Blg. Wargox Gisela Reyes Oriáza  
C.B.P. 11900