

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
RECURSOS NATURALES



Tesis

**Análisis del vertimiento de efluentes de las PTARs en la calidad del agua de la laguna de
Langui - Layo de la provincia de Canas, región Cusco - 2024**

Asesor:

Mg.Blg.Pozo Gonzales, José Salustio

Autores:

Ccasani Gutierrez, Katerin Noelia

Jaimes Huamán, Armando

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental

Cusco – Cusco - Perú

2025



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES
" Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana "

Acta N°: 010

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Cusco, a los 14 días del mes de noviembre del año 2025, siendo las 11:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Sub Directoral N° 160-2025-UTEA-FI-EPIARN-SD de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales, Facultad de Ingeniería

Presidente :	Econ. Vega Villafuerte Wilfredo Baltazar
Dictaminante :	Mg. Hanco Loayza Helidia
Replicante :	Mg. Escobar Candía Yesenia

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

- Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Análisis del vertimiento de efluentes de las PTARs en la calidad del agua de la laguna de Langui - Layo de la provincia de Canas, región Cusco - 2024

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Bach: Ccasani Gutierrez, Katerin Noelia
Bach. Jaimes Huaman, Armando

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero (a) Ambiental

Concluido el acto de Sustentación, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Unanimidad

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Bach: Ccasani Gutierrez, Katerin Noelia	Aprobado
Bach. Jaimes Huaman, Armando	Aprobado

Siendo las 13:00 pm horas concluyó el Acto Académico, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Econ. Vega Villafuerte Wilfredo Baltazar

Dictaminante: Mg. Hanco Loayza Helidia

Replicante: Mg. Escobar Candía Yesenia

(*) Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.
(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.




9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 6%  Fuentes de Internet
- 5%  Publicaciones
- 7%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Metadatos

Datos del Autor		
Apellidos y Nombres	:	Ccasani Gutierrez, Katerin Noelia
Tipo de Documento de Identidad	:	Documento de Identidad Nacional
Numero de Documento de Identidad	:	77076412
URL ORCID	:	
Datos del Autor		
Apellidos y Nombre	:	Jaimes Huamán, Armando
Tipo de Documento de Identidad	:	Documento de Identidad Nacional
Numero de Documento de Identidad	:	46379668
URL ORCID	:	
Datos del Asesor		
Apellidos y nombres	:	Mg. Blg. Pozo Gonzales, José Salustio
Tipo de Documento de Identidad	:	Documento de Identidad Nacional
Numero de Documento de Identidad	:	23964591
URL ORCID	:	https://orcid.org/0000-0002-4560-0072
Datos de la Investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales
Línea de Investigación	:	Calidad Ambiental
Rango de años en que se realizó la investigación	:	Setiembre 2024 – junio 2025
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	9%
URL OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01

Dedicatoria

Con la bendición de Dios dedico este trabajo de investigación a todos aquellos que sueñan con alcanzar sus metas, recordarles que el camino del esfuerzo y la perseverancia siempre vale la pena.

A mis familiares y amigos en especial a mis padres Jesús Ccasani y María Esther Gutiérrez por su amor, paciencia y su constante apoyo en cada paso de mi vida, a mi hermana Evelin que estuvo constante en el apoyo moral.

A mi mayor tesoro mi hija Emma I. que fue el mayor motivo de mi inspiración y fuerza a seguir luchando por mis metas, sueños y ser la luz que guía mi camino.

Katerin C.

A Dios, por la vida, salud, fuerza, esperanza y fe, en este trabajo de investigación por permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A todos mis familiares quienes siempre confiaron en mí en especial a mis padres Fabián Jaimes y Libia Sánchez que, con su sabio consejo y amor incondicional, me guiaron y me aconsejaron en todo momento para ser una buena persona.

Armando J.

Agradecimientos

A lo largo de este proceso, he contado con el apoyo invaluable de muchas personas a quienes quisiera expresar mi más sincero agradecimiento.

En primer lugar, agradezco profundamente al Mg. Pozo Gonzales José Salustio por su guía, paciencia y valiosas observaciones que nos permitió mejorar y enriquecer el desarrollo de este proyecto. Su compromiso y dedicación han sido una fuente constante de inspiración.

A mi familia, amigos y compañeros por su amor incondicional, su apoyo moral y emocional, en todo momento. Gracias por estar siempre presentes, brindándome fuerza en los momentos más difíciles.

Finalmente, agradezco a la Universidad Tecnológica de los Andes por brindarme la formación académica y los recursos necesarios para llevar a cabo este trabajo.

Katerin C.

Agradezco a Dios por brindarme la salud, guiarme en este proceso, agradezco a las personas claves en este proceso, mis amados padres a Fabián Jaimes y Libia Sánchez quienes significan todo para mí.

Agradezco también a mi asesor Mg. José Salustio Pozo Gonzales, por brindarme y compartir su conocimiento.

Armando J.

Resumen

El objetivo de la investigación fue determinar de qué manera los vertimientos de efluentes de las PTARs afectan la calidad del agua de la laguna Langui – Layo. Para tal fin se aplicó la metodología establecida en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (R.J. N.º 010-2016-ANA) y el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (D.S.N. 003-2010-MINAM). Posteriormente, se aplicó el instrumento de Índice de Calidad de Agua Peruano (ICA-PE), herramienta que integra parámetros físicos, químicos y microbiológicos relevantes para determinar el estado de la calidad del agua. Los resultados relevantes que el agua de la laguna Langui presenta un estado regular (ICA-PE=50.76), mientras que la laguna de Layo se clasifica en un estado malo (ICA-PE=44.92), lo que confirma la influencia negativa de los vertimientos sobre el ecosistema. Se concluye que la laguna, categorizada como tipo 4 para conservación del ambiente acuático, se encuentra comprometida ambientalmente. Finalmente, se concluye que la laguna Langui Layo presenta un deterioro significativo en su estado debido al vertimiento de efluentes, se recomienda implementar estrategias de conservación, control y prevención que permitan mitigar la contaminación y asegurar la sostenibilidad de este recurso hídrico.

Palabras claves: *Calidad de agua, efluentes, índice de calidad del agua, Laguna Langui-Layo, contaminación hídrica*

Abstract

The objective of this research was to determine how effluent discharges from Wastewater Treatment Plants (WWTPs) affect the water quality of the Langui–Layo Lagoon, located in the province of Canas, Cusco region. The study followed the methodology established in the National Protocol for Monitoring the Quality of Surface Water Resources (R.J. No. 010-2016-ANA) and the Protocol for Monitoring the Quality of Effluents from Domestic or Municipal Wastewater Treatment Plants (D.S. No. 003-2010-MINAM). Subsequently, the Peruvian Water Quality Index (ICA-PE) was applied as an integrative tool that combines relevant physical, chemical, and microbiological parameters to determine the environmental status of the lagoon. The results revealed that the water of the Langui Lagoon presents a “regular” condition (ICA-PE = 50.76), whereas the Layo Lagoon is classified as “poor” (ICA-PE = 44.92), confirming the negative influence of wastewater discharges on the aquatic ecosystem. According to the Environmental Quality Standards (ECA) established in D.S. No. 004-2017-MINAM for Category 4—Conservation of the Aquatic Environment—the lagoon’s water quality is environmentally compromised. In conclusion, the Langui–Layo Lagoon shows a significant deterioration in water quality due to the continuous discharge of insufficiently treated effluents from WWTPs. It is recommended to strengthen the management and operation of these treatment systems, implement periodic water quality monitoring, and apply effective conservation and pollution control strategies to ensure the long-term sustainability of this aquatic ecosystem.

Keywords: water quality, effluents, wastewater treatment plant,, Langui–Layo Lagoon, environmental contamination.

Índice

Portada.....	i
Acta de sustentación original.....	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimientos.....	vi
Resumen	vii
Abstract.....	viii
Índice	ix
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xiv
Índice de anexos	xvii
Acrónimos	xviii
I. Introducción.....	19
II. Planteamiento del problema	21
2.1. Descripción y formulación del problema.....	21
2.2. Objetivos.....	24
2.2.1. Objetivo general	24
2.2.2. Objetivos específicos.....	24
2.3. Justificaciones e importancia	24
2.4. Hipótesis	27
2.5. Variables.....	28
III. Marco teórico.....	30
3.1. Antecedentes	30

3.2. Bases teóricas.....	39
3.3. Definición de términos.....	66
IV. Metodología.....	69
4.1. Tipo y nivel de investigación.....	69
4.2. Ámbito temporal y espacial	70
4.3. Población y muestra.....	72
4.4. Instrumentos.....	72
4.5. Procedimientos.....	73
4.6. Análisis de datos	82
4.7. Consideraciones Éticas	91
V. Resultados y Discusión.....	92
VI. Conclusiones.....	159
VII. Recomendaciones	161
VIII. Referencia.....	163
IX. Anexos.....	168

Índice de tablas

Tabla 1	Cuadro de operacionalización de variables.....	28
Tabla 2	Cuadro de las categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua	48
Tabla 3	Cuadro categoría 4: conservación del Ambiente Acuático	50
Tabla 4	Cuadro de Límites Máximos Permisibles.....	55
Tabla 5	Cuadro de puntos de monitoreo ECA Langui - codificado.....	74
Tabla 6	Cuadro de puntos de monitoreo ECA Layo – codificado	75
Tabla 7	Cuadro de puntos de monitoreo LMP Langui - codificado	75
Tabla 8	Cuadro de puntos de monitoreo LMP Layo - codificado.....	75
Tabla 9	Cuadro de materiales para la toma de muestreo	76
Tabla 10	Cuadro de tipos de recipientes para el muestreo.....	77
Tabla 11	Cuadro de rotulado de los frascos	80
Tabla 12	Cuadro de análisis de datos.....	84
Tabla 13	Cuadro de resultado de potencial de hidrogeno (pH) – Langui.....	92
Tabla 14	Cuadro de resultado de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) – Langui.....	93
Tabla 15	Cuadro de resultado de Demanda Química de Oxígeno (DQO) – Langui.....	94
Tabla 16	Cuadro de resultado de Solidos Suspendidos Totales (SST)- LMP– Langui.....	95
Tabla 17	Cuadro de resultado de aceites y grasas - LMP – Langui	96
Tabla 18	Cuadro de resultado de coliformes termo tolerables o fecales - LMP – Langui	97
Tabla 19	Cuadro de resultado de temperatura - LMP – Langui	98
Tabla 20	Cuadro de los parámetros evaluados LMP-Langui	99
Tabla 21	Cuadro de resultados de potencial de hidrogeno (pH) - LMP – Layo.....	101
Tabla 22	Cuadro de resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) - LMP – Layo	102

Tabla 23	Cuadro de resultados de Demanda Química de Oxígeno (DQO) - LMP – Layo ...	103
Tabla 24	Cuadro de resultados de Solidos Suspendidos totales (SST) - LMP – Layo.....	104
Tabla 25	Cuadro de resultados de aceites y grasas - LMP – Layo.....	105
Tabla 26	Cuadro de resultados de coliformes termo tolerables o fecales - LMP – Layo.....	106
Tabla 27	Cuadro de resultado de temperatura - LMP – Langui	107
Tabla 28	Cuadro de resultados de los parámetros evaluados - LMP – Layo	108
Tabla 29	Cuadro de resultado de aceites y grasas - ECA – Langui.....	110
Tabla 30	Cuadro de resultado de potencial de hidrogeno (pH) - ECA – Langui	111
Tabla 31	Cuadro de resultado de potencial de hidrogeno (pH) - ECA – Langui	112
Tabla 32	Cuadro de resultado de Solidos Suspendidos Totales (SST) - ECA – Langui	113
Tabla 33	Cuadro de resultado de Oxígeno Disuelto - ECA – Langui	114
Tabla 34	Cuadro de resultado de Color - ECA – Langui	115
Tabla 35	Cuadro de resultado de Conductividad - ECA – Langui.....	116
Tabla 36	Cuadro de resultado de Temperatura - ECA – Langui	117
Tabla 37	Cuadro de resultado de coliformes termo tolerables o fecales - ECA – Langui	118
Tabla 38	Cuadro de resultados de los parámetros evaluados - ECA – Langui	119
Tabla 39	Cuadro de resultado de aceite y grasa - ECA – Layo.....	121
Tabla 40	Cuadro de resultado de potencial de hidrogeno (pH) - ECA – Layo	122
Tabla 41	Cuadro de resultado de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) - ECA – Layo	123
Tabla 42	Cuadro de resultado de Solidos Suspendidos Totales (SST) - ECA – Layo	124
Tabla 43	Cuadro de resultado de Oxígeno disuelto - ECA – Layo	125
Tabla 44	Cuadro de resultado de Color - ECA – Layo.....	126
Tabla 45	Cuadro de resultado de Conductividad - ECA – Layo	127

Tabla 46 Cuadro de resultado de temperatura - ECA – Layo.....	128
Tabla 47 Cuadro de resultado de Coliformes termo tolerables o fecales - ECA – Layo.....	129
Tabla 48 Cuadro de resultados de los parámetros evaluados - ECA – Layo.....	130
Tabla 49 Cuadro de parámetros considerados en la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.....	133
Tabla 50 Cuadro de parámetros considerados en la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático para Langui.....	134
Tabla 51 Cuadro de parámetros considerados en la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático para Layo.....	135
Tabla 52 Cuadro de interpretación del Índice de Calidad Ambiental del Perú (ICA-PE)	142
Tabla 53 Cuadro de comparación de parámetros observados vs LMP en PTAR Langui y Layo	147
Tabla 54 Cuadro de evaluación del cumplimiento de los estándares de Calidad Ambiental (ECA) en los puntos de Monitoreo de la Laguna Layo	149
Tabla 55 Cuadro de evaluación del cumplimiento de los estándares de Calidad Ambiental (ECA) en los puntos de Monitoreo de la Laguna Langui.....	151
Tabla 56 Cuadro estadístico descriptivo de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en la laguna Layo.....	153
Tabla 57 Cuadro estadístico descriptivo de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en la laguna Langui	154
Tabla 58 Cuadro de comparación de parámetros promedio observados en PTAR Llang y PTAR LLayo (2024) con datos históricos de ANA (2020)	155
Tabla 59 Cuadro del Sistema de registro de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el Perú.....	190

Índice de figuras

Figura 1 Esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales	57
Figura 2 Esquema funcionamiento Biorreactor fangos activos + decantador secundario.....	62
Figura 3 Corte transversal de una laguna anaeróbica	64
Figura 4 Corte transversal de una laguna facultativa	65
Figura 5 Mapa geográfico de la Laguna Langui-Layo	71
Figura 6 Mapa geográfico de los puntos de monitoreo (WGS84) - Langui.....	78
Figura 7 Mapa geográfico de los puntos de monitoreo (WGS84) - Layo	79
Figura 8 Cuadro de análisis de datos	90
Figura 9 Cuadro comparativo de los valores de pH - LMP - Langui	93
Figura 10 Cuadro comparativo de los valores de DBO ₅ - LMP - Langui	94
Figura 11 Cuadro comparativo de los valores de DQO - LMP - Langui.....	95
Figura 12 Cuadro comparativo de los valores de Solidos Suspendidos Totales - LMP - Langui	96
Figura 13 Cuadro comparativo de los valores de aceites y grasas - LMP - Langui	97
Figura 14 Cuadro comparativo de los valores de coliformes termo tolerables o fecales - LMP – Langui.....	98
Figura 15 Cuadro comparativo de los valores de temperatura - LMP – Langui	99
Figura 16 Cuadro comparativo de los valores de LMP – Langui.....	100
Figura 17 Cuadro comparativo de los valores de potencial de hidrogeno (pH) - LMP – Layo	101
Figura 18 Cuadro comparativo de los valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) - LMP – Layo	102

Figura 19 Cuadro comparativo de los valores de Demanda Química de Oxígeno (DQO) - LMP – Layo	103
Figura 20 Cuadro comparativo de los valores de Solidos Suspendidos Totales (SST) - LMP – Layo	104
Figura 21 Cuadro comparativo de los valores de aceites y grasas - LMP – Layo.....	105
Figura 22 Cuadro comparativo de los valores de coliformes termo tolerables o fecales - LMP – Layo	106
Figura 23 Cuadro comparativo de los valores de temperatura - LMP – Langui	107
Figura 24 Cuadro comparativo de los valores de LMP – Layo.....	109
Figura 25 Cuadro comparativo de los valores de aceites y grasas - ECA – Langui.....	110
Figura 26 Cuadro comparativo de los valores de potencial de hidrogeno (pH) - ECA – Langui	111
Figura 27 Cuadro comparativo de los valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) - ECA – Langui	112
Figura 28 Cuadro comparativo de los valores de Solidos Suspendidos Totales (SST) - ECA – Langui.....	113
Figura 29 Cuadro comparativo de los valores de Oxígeno disuelto - ECA – Langui	114
Figura 30 Cuadro comparativo de los valores de color - ECA – Langui	115
Figura 31 Cuadro comparativo de los valores de conductividad - ECA – Langui	116
Figura 32 Cuadro comparativo de los valores de temperatura - ECA – Langui.....	117
Figura 33 Cuadro comparativo de los valores de coliformes termo tolerables - ECA – Langui	118
Figura 34 Cuadro comparativo de los valores de ECA-Langui	120
Figura 35 Cuadro comparativo de los valores de aceites y grasas - ECA – Layo.....	121

Figura 36 Cuadro comparativo de los valores potencial de hidrogeno (pH) - ECA – Layo ..	122
Figura 37 Cuadro comparativo de los valores Demanda Bioquímica de Oxígeno - ECA – Layo	123
Figura 38 Cuadro comparativo de los valores Solidos Suspendido Totales (SST) - ECA – Layo	124
Figura 39 Cuadro comparativo de los valores Oxígeno disuelto - ECA – Layo	125
Figura 40 Cuadro comparativo de los valores color - ECA – Layo	126
Figura 41 Cuadro comparativo de los valores conductividad - ECA – Layo	127
Figura 42 Cuadro comparativo de los valores temperatura - ECA – Layo	128
Figura 43 Cuadro comparativo de los valores de coliformes termo tolerables - ECA – Layo	129
Figura 44 Cuadro comparativo de los valores de ECA-Layo.....	131
Figura 45 Comparación de PTAR Langui y PTAR Layo	148
Figura 46 Comparación de parámetros observados en PTAR Layo con los límites del ECA	150
Figura 47 Comparación de parámetros observados en PTAR Langui con los límites del ECA	152
Figura 48 Comparación multitemporal de parámetros promedio en la lagua LLang y LLayo entre 2020 y 2024	156

Índice de anexos

Anexo 1 Matriz de consistencia	169
Anexo 2 Solicitud enviada a la Municipalidad Distrital de Langui – Layo	173
Anexo 3 Validación de los instrumentos (solicitud de servicio) de Langui y Layo	175
Anexo 4 Informe de laboratorio Louis Pasteur S.R.L. – Llang – LMP – Langui	180
Anexo 5 Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales (PTAR) autorizadas del Perú	190
Anexo 6 Punto de monitoreo LLang1-ECA-langui	215

Acrónimos

ECA: estándares de calidad ambiental.

LMP: límites máximos permisibles.

PTAR: planta de tratamiento de agua residual.

ICA-PE: Índice de Calidad Ambiental Peruano.

DBO: demanda bioquímica de oxígeno.

DQO: demanda química de oxígeno.

pH: potencial de hidrogeno

SST: solidos totales suspendidos.

ESVAL: empresa sanitaria de Valparaíso, Aconcagua y Litoral.

DIUTAMA: municipio de Colombia.

DS: Decreto Supremo.

RJ: Registro Jefatural.

MINITAD: software estadístico.

R: software libre y de código abierto.

SPSS: software de análisis de datos.

CORMIX: sistema de software de modelado.

QGIS: sistema de información geográfico.

ArcGIS: plataforma geoespacial.

OMS: organismo mundial de la salud.

ANA: autoridad nacional del agua.

I. Introducción

El presente trabajo de investigación aborda la problemática de la calidad del agua en un cuerpo lacustre expuesto a la contaminación generada por el vertimiento de efluentes de aguas residuales, los cuales no reciben un tratamiento adecuado ni consideran la sostenibilidad del hábitat de la flora y fauna acuática. Esta situación se ve agravada por factores asociados al crecimiento poblacional y al desarrollo de actividades agrícolas, pesqueras, de saneamiento y otras prácticas productivas, que contribuyen de manera significativa al deterioro del recurso hídrico. En los distritos de Langui y Layo, la laguna ha evidenciado cambios notorios a lo largo del tiempo, perceptibles incluso de manera visual como consecuencia del contacto continuo con actividades domésticas y económicas, sumado al vertimiento de efluentes provenientes de la Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

La necesidad de contar con información técnica precisa sobre el estado de la laguna motivo la realización de esta investigación, cuyo objetivo fue determinar de qué manera los vertimientos de efluentes de las PTARs afectan la calidad del agua a partir del análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

Desde el aspecto metodológico, la investigación se desarrolló bajo procedimientos estandarizados y reconocidos a nivel nacional, empleando como referencia los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N. °010-2016-ANA), así como los Límites Máximos Permisibles (Decreto Supremo N. °003-2010-MINAM). Las muestras

recolectadas fueron analizadas en un laboratorio acreditado y certificación por INACAL, garantizando de esta manera la fiabilidad de los resultados obtenidos. La investigación corresponde a un estudio de tipo cuantitativo, con diseño no experimental de corte transeccional o transversal.

Una de las principales limitaciones encontradas fue la distancia geográfica hacia la laguna Langui – Layo, que dificultó las labores de monitoreo y recolección de muestras.

La finalidad de este estudio fue aportar información útil para la gestión ambiental y la toma de decisiones en materia de conservación.

La estructura del trabajo se organiza de la siguiente manera:

Ítem I: Introducción.

Ítem II: Planteamiento del problema, formulación, objetivos, justificación e importancia, hipótesis y variables.

Ítem III: Marco teórico, antecedentes, bases conceptuales y definición de términos.

Ítem IV: Metodología, tipo y nivel de la investigación, ámbito temporal y espacial, población, muestra, instrumentos, procedimientos y análisis de datos.

Ítem V: Resultados, discusión, índice de calidad del agua (ICA-PE), conclusiones y recomendaciones.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

En las últimas décadas, el crecimiento poblacional ha generado un incremento considerable en la demanda de servicios de saneamiento básico, particularmente en el tratamiento de aguas residuales de origen municipal y doméstico. Este aumento ha provocado un mayor volumen de caudales que requieren tratamiento; sin embargo, la mayoría de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) presentan deficiencias en su capacidad operativa y en las labores de mantenimiento, lo que limita su efectividad y afecta negativamente el entorno ambiental.

Como consecuencia, diversos cuerpos de agua, entre ellos lagunas, ríos y humedales se encuentran expuestos a la contaminación por vertimiento de efluentes no tratados o tratados de manera insuficiente, comprometiendo la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos y la biodiversidad que estos albergan.

A nivel Internacional, esta problemática se evidencia en diferentes países. Por ejemplo, en Colombia, según (Cachaya *et. al.*, 2023) desarrollo la investigación intitulada “*Evaluación de impacto ambiental para la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales en el conjunto residencial Quintas de Morelia III, municipio de Villavicencio*”, en la cual se documentó que el sector residencial Quinta de Morelia III, con una población de 904 habitantes, enfrenta serios problemas ambientales y de salud pública debido a la ausencia de un sistema adecuado de tratamiento de aguas residuales. Ante esta situación, el autor propone la

implementación de una planta de tratamiento modular por su viabilidad técnica y económica, destacando la necesidad de realizar una evaluación de impacto ambiental y cumplir con las regulaciones ambientales vigentes, así como establecer mecanismos de financiamiento sostenibles y tarifas justas para los usuarios. (Miller Alejandro Cachaya Rodriguez, 2023).

De manera similar, (Cedeño, 2020) en su estudio *“Impacto Ambiental de las lagunas de tratamiento de aguas residuales sector colina San José, ciudad de Roca Fuerte”*, identificó la presencia de sedimentos y microorganismos en el agua de la laguna de Pulimiento. Los resultados del análisis evidenciaron que, si bien la laguna cumple con las normativas de descarga, presenta niveles de calidad más bajos que implican contaminación en los cuerpos receptores. Asimismo, se detectaron concentraciones elevadas de cobre, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, cloruros, coliformes termotolerables y sólidos disueltos. Por tanto, el vertimiento de estas aguas al efluente natural sin un tratamiento adecuado afecta la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, la estructura del suelo y la calidad de vida de la población. (Muñoz, 2020)

En el contexto peruano, el tratamiento de aguas residuales continúa siendo insuficiente y preocupante. Según (Larios *et.al.*, 2015), una gran proporción de las PTAR operan sin contar con las autorizaciones ambientales requeridas ni con los instrumentos de gestión adecuados, lo que conlleva a la descarga de efluentes que no cumplen con los estándares nacionales, comprometiendo la calidad del agua y la salud pública. (Larios-Meño, 2015)

En la provincia de Canas de la región Cusco, específicamente en los distritos de Langui y Layo, se encuentra un recurso hídrico de vital importancia: la laguna Langui-Layo, la cual sustenta actividades económicas como la acuicultura, el turismo, la ganadería y la agricultura.

No obstante, en los últimos años se ha evidenciado un deterioro progresivo en la calidad de sus aguas, atribuible principalmente al vertimiento de aguas residuales domésticas y municipales.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales local presenta deficiencias operativas derivada de la falta de mantenimiento y de un diseño inadecuado, lo que impide el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos para la descarga de efluentes. Esta situación ocasiona vertimientos directos de aguas residuales sin el tratamiento apropiado, generando contaminación del recurso hídrico y consecuencias negativas sobre la salud pública, la biodiversidad, la cadena trófica y el equilibrio ecológico de la laguna.

Por lo tanto, resulta indispensable realizar un análisis integral de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua de la laguna Langui-Layo, con el propósito de analizar los vertimientos de efluentes provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y determinar su influencia en la calidad del recurso hídrico. Dicho estudio permitirá generar información científica confiable que contribuya a la formulación de estrategias orientadas a la gestión sostenible del agua y a la conservación del ecosistema lacustre de la provincia de Canas, región Cusco.

2.1.1. Problema General

¿Cómo los vertimientos de efluentes de las PTARs, afectan la Calidad del Agua de la laguna Langui – Layo de la provincia Canas, región Cusco -2024?

2.1.2. Problema Especifico

- ¿Qué parámetros exceden los Límites Máximos Permisibles (LMP) en los efluentes vertidos por las PTARs hacia la laguna Langui-Layo de la provincia Canas, región Cusco-2024?
- ¿Qué parámetros exceden los Estándares de calidad del Agua (ECA) en la laguna Langui - Layo de la provincia de Canas, región Cusco-2024?

- ¿cuál es el valor del índice de calidad del agua (ICA-PE) en la laguna Langui-Layo como resultado del vertimiento de efluentes las PTARs en la provincia de Canas, región Cusco - 2024?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

Determinar de qué manera los vertimientos de efluentes de las PTARs afectan la Calidad del Agua de la laguna Langui – Layo de la provincia Canas, región Cusco -2024.

2.2.2. Objetivos específicos

- Identificar los parámetros que exceden en los Límites Máximos Permisibles (LMP) en los efluentes vertidos por las PTARs hacia la laguna Langui-Layo de la provincia Canas, región Cusco-2024.
- Determinar los parámetros que exceden los ECA del agua de laguna Langui-Layo de la provincia Canas-2024.
- Determinar el valor del Índice de calidad del agua (ICA-PE) para identificar el estado de la laguna Langui-Layo como resultado del vertimiento de efluentes procedentes de las PTAR en la provincia de Canas, región Cusco -2024

2.3. Justificaciones e importancia

La presente investigación se origina ante la creciente preocupación por la contaminación del cuerpo acuático de la laguna Langui -Layo, ocasionada por el vertimiento de efluentes provenientes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de las localidades circundantes. Esta problemática representa un riesgo ambiental de alta relevancia, dado que las lagunas, como ecosistemas lenticos, albergan una gran diversidad biológica y desempeñan funciones esenciales para el equilibrio ecológico y el bienestar humano.

En este contexto, resulta pertinente desarrollar estudios técnicos y científicos que permitan comprender la degradación de la calidad del agua de la laguna por los vertimientos, contribuyendo así a su conservación y gestión sostenible del recurso hídrico.

La investigación permitirá obtener datos reales y verificables sobre los parámetros físicos, químicos y microbiológicos presentes en los efluentes que llegan a la laguna Langui-Layo, identificando aquellos que superen los Estándares de Calidad Ambiental del agua (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la normativa ambiental vigente. Asimismo, se aplicará el Índice de Calidad de Agua del Perú (ICA-PE) como herramienta metodológica para clasificar el estado del cuerpo de agua, proporcionando un diagnóstico integral sobre su situación actual.

La justificación de este trabajo se sustenta en los siguientes aspectos:

2.3.1. Relevancia Social

La investigación generará información actualizada que facilitará la identificación de los principales puntos de contaminación en la laguna Langui – Layo. Este cuerpo de agua es fundamental para el desarrollo de actividades económicas locales, tales como la piscicultura, la ganadería, el turismo y la agricultura. Asimismo, los resultados contribuirán a garantizar el acceso a un recurso hídrico seguro, mejorando la calidad de vida de la población y fortaleciendo la salud pública.

2.3.2. Implicancia práctica

Los resultados permitirán evidenciar la degradación de la calidad del agua por los vertimientos provenientes de las PTAR de los distritos de Langui y Layo. Asimismo, servirán como base técnica y científica para el diseño de planes de gestión ambiental, el fortalecimiento de los mecanismos de control y monitoreo y la mejora del funcionamiento de las plantas de

tratamiento de aguas residuales, promoviendo una gestión más eficiente y sostenible del recurso hídrico.

2.3.3. Valor teórico

Este estudio contribuirá al fortalecimiento del conocimiento científico en el campo de la gestión ambiental y el tratamiento de aguas residuales. La evidencia obtenida permitirá ampliar la comprensión de procesos como la eutrofización, la alteración microbiológica y los efectos de la carga orgánica en ecosistemas lenticos altoandinos. De igual manera, constituirá una base referencial útil para futuras investigaciones orientadas a la conservación de la calidad del agua y a la formulación de políticas públicas en materia de saneamiento ambiental.

2.3.4. Utilidad metodológica

La investigación adopta un enfoque descriptivo, de tipo cuantitativo y diseño no experimental transversal, integrando la metodología establecida en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (R.J. N.º 010-2016-ANA) y el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (D.S.N. 003-2010-MINAM). Posteriormente, se aplicó el instrumento de Índice de Calidad de Agua Peruano (ICA-PE), herramienta del ICA-PE para la evaluación de la calidad del agua. Este enfoque ofrece un modelo replicable para estudios similares en otros cuerpos de agua de la región andina que enfrenten problemas de contaminación por efluentes.

Finalmente, el estudio se enmarca en lo dispuesto por la Ley General del Ambiente N°28611, la cual reconoce el derecho de toda persona a vivir en un ambiente equilibrado y saludable, y establece la obligación de proteger los recursos naturales para garantizar el desarrollo sostenible del país.

2.4. Hipótesis

3.1.3. Hipótesis general

Los vertimientos de efluentes provenientes de las PTARs afectan degradando la calidad del agua de la laguna Langui-Layo en la provincia de Canas, región Cusco -2024

2.4.2. Hipótesis específicas

- Los efluentes vertidos por las PTARs hacia la laguna Langui-Layo presentan concentraciones que superan los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el D.S. N°003-2010-MINAM.
- Los parámetros evaluados en la laguna Langui -Layo presentan concentraciones que superan los valores establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) según el D.S.N° 004-2017-MINAM.
- El valor del índice de calidad del agua (ICA-PE) en la laguna Langui-Layo se encuentra en el rango de 30 a 70 por consecuencia del vertimiento de efluentes de la PTAR.

2.5. Variables

Tabla 1

Cuadro de operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONAL	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
Variable independiente: vertimientos de efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales	Los vertimientos de efluentes de las plantas de Tratamiento de Aguas Residuales se refieren a las descargas líquidas resultantes de los procesos de tratamiento del agua residual, las cuales son liberadas a un cuerpo receptor natural o artificial. Cuando estos efluentes no cumplen con los estándares de calidad establecidos por la normativa ambiental, pueden generar efectos negativos sobre los ecosistemas acuáticos, alterar las características físico, químico y microbiológico del agua. Fuente: (OMS, 2022)	Se medirá mediante el análisis de las características físicas, químicas y microbiológicas de los efluentes vertidos de las plantas de tratamientos de aguas residuales de los distritos Langui y Layo	Químico	pH	Unidades de pH
				DBO	mg/l
				DQO	mg/l
			Físico	SST	mg/l
				Aceites y grasas	mg/l
				Temperatura	°C
Biológico	Coliforme fecales	NMP/100ml			

		pH	Unidades de pH
<p>Variable dependiente: Calidad del agua de la laguna Langui -Layo</p> <p>La calidad del agua se define con el conjunto de características físicas, químicas y microbiológicas que determinan su aptitud para un uso determinado. En el caso de la laguna Langui -Layo, dicha puede verse alterada por la presencia de contaminantes provenientes de vertimientos domésticos o industriales, los cuales modifican las condiciones naturales del cuerpo lentic.</p> <p>Fuente: (MINAM, Estandares de Calidad Ambiental (ECA) agua , 2017)</p>	Químico	DBO	mg/l
		Oxígeno disuelto	mg/l
		SST	mg/l
	físico	Aceites y grasas	mg/l
		Temperatura	°C
		Color	UCV
		Conductividad	(μ S/cm)
	Biológico	Coliformes termotolerables	NMP/100ml

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes

3.1.3. *A nivel Internacional*

Navas-Gallo et al. (2024), es su estudio intitulado “*Alteración de la calidad del agua por el vertido de aguas residuales en el municipio de San Benito, Colombia*”, publicado en la *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, evaluaron el impacto ambiental generado por el vertimiento de aguas residuales domesticas sin tratamiento adecuado sobre cuerpos de aguas superficiales. La investigación se enfocó en la caracterización física y químicas de los efluentes descargados, cuyos resultados evidenciaron que parámetros críticos, como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), grasas y aceites, solidos sedimentables y solidos suspendidos totales, superaron los límites permisibles establecidos en la resolución N°0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo de Colombia. Asimismo, los autores aplicaron la metodología de evaluación de impactos ambientales propuesta por Arboleda, identificando efectos directos e indirectos significativos sobre los recursos agua y suelo, los cuales resultaron ser los componentes más afectados dentro del área de estudio. Este antecedente pone en evidencia la necesidad de implementar sistemas eficientes de tratamiento de aguas residuales antes de su descarga en cuerpos naturales, con el propósito de prevenir alteración de la calidad del recurso hídrico, minimizar los impactos sobre la biota acuática y reducir los riesgos por la salud humana y el equilibrio ambiental.

Rivera Castro et al. (2020), en su investigación intitlada “*Calidad del agua del estero El Sauce, Valparaíso, Chile central*”, publicada por la *Revista Internacional Contaminación Ambiental*, realizaron un diagnóstico ambiental del estero El Sauce, un cuerpo de agua somero

ubicado en la zona central de Chile. El estudio concluyó que este ecosistema presenta una condición hipertrófica y de mala calidad en casi toda su extensión, como consecuencia de la elevada carga de materia orgánica, nutrientes, cloruros y contaminación fecal, lo que impide que sus aguas cumplan con los estándares ambientales establecidos para cualquier tipo de uso. Entre las principales fuentes de deterioro identificadas, los autores destacan el vertimiento no puntual de aguas servidas en la zona de Placilla y la descarga puntual de efluentes provenientes de la planta de tratamiento ESVAL, cuyo caudal aumentó en aproximadamente 70% sin cumplir con los límites de emisión establecidos por la normativa chilena (D.S.90, MSGP-SEPRES2000). Asimismo, se evidenció la infiltración de lixiviados provenientes de un antiguo vertedero convertido en relleno sanitario, afectando no solo al estero, sino también a las napas freáticas del acuífero de Laguna verde, de donde se abastece más del 60% de la población local sin recibir tratamiento previo. Finalmente, se reportó que la ausencia de redes de alcantarillado en las zonas rurales cercanas a la desembocadura constituye una fuente adicional de contaminación difusa, agravando el deterioro del recurso hídrico y comprometiendo la sostenibilidad del ecosistema.

Sánchez & Viveros Salazar (2020), en su trabajo de investigación intitulado *“Diagnostico del manejo de las aguas residuales y contaminación de esta en el área urbana del municipio de Puerto Santander, Norte de Santander”*, desarrollado en la Universidad Francisco de Paula Santander, realizaron un análisis integral de la situación del manejo de aguas residuales en dicho municipio colombiano. La investigación tuvo como objetivo identificar y evaluar los principales factores que inciden en la gestión inadecuada de las aguas residuales urbanas, tales como el crecimiento poblacional, la dotación hídrica, la cobertura del sistema de alcantarillado, el número de vertimientos, la ausencia de tratamiento y las condiciones geográficas del área de estudio. Como parte del análisis técnico, se efectuó un balance de masas y se propuso el predimensionamiento de una laguna de oxidación orientada a la remoción de carga contaminante, cumpliendo con los requerimientos técnicos establecidos por la normativa ambiental vigente. Sin

embargo, esta alternativa fue finalmente descartada debido a la falta de disponibilidad de terreno adecuados, lo que evidenció las limitaciones especiales y logísticas existentes para la implementación de sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales en el área evaluada.

Morales Holguín (2019), desarrolló su trabajo intitulado “*Diagnóstico y seguimiento de vertimientos de aguas residuales no domésticas al alcantarillado urbano de Duitama*”, en el marco del programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Esta investigación se llevó a cabo en colaboración con la empresa EMPODUITAMA S.A. E.S.P., encargada de la prestación del servicio de alcantarillado, con el objetivo de evaluar el cumplimiento de la normativa ambiental por parte de los usuarios industriales, comerciales, oficiales y especiales que descargan aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado urbano del municipio de Duitama. El estudio permitió identificar deficiencias significativas en la gestión de los vertimientos, tales como el bajo porcentaje de usuarios que realizan la caracterización físico y químico de sus efluentes, el incumplimiento generalizado de los valores máximos permisibles establecidos en la Resolución 0631 de 2015, principalmente en los parámetros de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y grasas y aceites, así como la escasa implementación de sistemas de pretratamientos o tratamientos. Asimismo, se evidencio una limitada gestión de residuos generados en los procesos de tratamiento, como lodos y aceites usados, lo cual representa un riesgo ambiental y sanitario. Entre los principales aportes de esta investigación destacan la actualización de la base de datos de usuarios con vertimientos no domésticos, el diseño de instrumentos de seguimiento, y el análisis de impactos generados por las descargas al sistema de alcantarillado, que posteriormente afectan a los cuerpos hídricos receptores. Este estudio resalta la necesidad de fortalecer los mecanismos de control, fiscalización y educación ambiental para promover una gestión sostenible de los vertimientos en entorno urbanos.

Tenemaza Solorzano (2024) en un estudio intitulado “*Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR): impacto ambiental esperado e impacto ambiental provocado en la PTAR el Tambo*” desarrollado en la Universidad Técnica de Manabí, analizó la relación entre el impacto ambiental previsto y el impacto ambiental real generado por la construcción y operación de plantas de tratamiento de aguas residuales. La investigación evidenció que, si bien las PTAR están diseñadas con el propósito de mitigar los impactos ambientales derivados del manejo inadecuado de las aguas residuales, en la práctica presentan deficiencias significativas que comprometen su efectividad operativa. Entre los principales problemas identificados destacan el incumplimiento de la normativa ambiental vigente, el desconocimiento de los protocolos de operación, la falta de mantenimiento adecuado de la infraestructura y una alta vulnerabilidad ante fenómenos naturales. Estas condiciones reducen considerablemente la capacidad de las plantas para cumplir su función esencial: proteger y recuperar los ecosistemas receptores afectados por las descargas de efluentes. El estudio resalta la necesidad de establecer mecanismos más rigurosos de vigilancia y control ambiental, así como de promover una gestión sostenible del recurso hídrico, especialmente en contextos marcados por el crecimiento poblacional y las presiones industriales. Dichos hallazgos reflejan la importancia de fortalecer la planificación, operación y monitoreo de las PTAR para garantizar su eficacia en la reducción de la contaminación y la preservación de los recursos naturales.

Mayono Cuadros et. al. (2021), en su estudio intitulado “*Impacto ambiental del vertimiento de aguas servidas en aglomerados urbanos ilegales del municipio de Villavicencio, Colombia*”, desarrollado en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, evaluaron las consecuencias ambientales derivadas del vertimiento de aguas residuales sin tratamiento en zonas de urbanización informal caracterizadas por la ausencia de infraestructura sanitaria básica. Los resultados de esta investigación evidenciaron altos niveles de materia orgánica (MO) y demanda química de oxígeno (DQO) en los cuerpos receptores, particularmente en el río Ocoa, lo que

refleja una contaminación significativa atribuida a las descargas provenientes de actividades agropecuarias e industriales. Estas condiciones generaron una alteración negativa en la calidad del agua, pérdida de biodiversidad acuática y deterioro de los suelos circundantes. Asimismo, se identificaron afectaciones en los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo, destacando la disminución de la cobertura vegetal y la pérdida de fertilidad, producto de la acumulación de materia orgánica no degradada, lo cual representa un riesgo para la salud pública de las comunidades aledañas. El estudio resalta la necesidad urgente de implementar sistemas de saneamiento adecuados, tanto individuales (pretratamiento, pozos sépticos y filtraciones terciaria) o colectivos (plantas de tratamiento de aguas residuales -PTAR), junto con el fortalecimiento del control técnico sobre las actividades agropecuarias. Además, enfatiza la importancia de promover una gestión integral del recurso hídrico, con participación activa de las autoridades locales y la comunidad, como estrategia fundamental para mitigar los impactos ambientales y mejorar la calidad de vida en los asentamientos urbanos informales.

3.1.3. A nivel Nacional

Peña Diaz (2018), en su estudio intitulado “*Efectos de la contaminación de aguas residuales del lago de Mora Cocha en la salud de la población ribereña – Iquitos - 2018*”, desarrollada en la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, evaluó el nivel de contaminación del cuerpo de agua y su relación con los efectos en la salud de los habitantes cercanos. A través de la aplicación de encuestas a 95 personas, se determinó que, aunque el consumo directo del agua del lago es limitado, una proporción significativa de la población la utiliza para actividades domésticas, como el lavado de ropa. Se identificó que las enfermedades respiratorias agudas son las más frecuentes entre los pobladores, aunque se aparición se asocia principalmente a factores climáticos antes que al contacto directo con el agua contaminada. No obstante, se resaltó la importancia de fortalecer las campañas de concientización y prevención respecto al uso y consumo de aguas contaminadas, las cuales ha contribuido a reducir la

incidencia de enfermedades gastrointestinales y dérmicas en comparación con años anteriores. Este antecedente pone en evidencia la relevancia del monitoreo continuo de la calidad del agua en cuerpos naturales próximos a zonas pobladas, así como el papel fundamental de la educación ambiental en la protección de la salud pública y la prevención de riesgos sanitarios derivados de la contaminación hídrica.

Tocre Fracchia (2023), en su informe de suficiencia profesional intitulado “*Evaluación Ambiental del Efecto del vertimiento de aguas residuales domésticas tratadas provenientes de la unidad minera San Rafael en la calidad del agua de quebrada Caquene ubicada en la región de Puno, periodo 2018 – 2022*”, desarrollado en la Universidad Nacional Federico Villarreal, realizó un análisis técnico del impacto potencial del efluente tratado sobre la calidad del cuerpo receptor. El estudio concluyó que, bajo las condiciones proyectadas, el vertimiento no generaría una afectación significativa a la quebrada Caquene, dado que los parámetros evaluados (pH, DBO, DQO, aceites y grasas, coliformes termo tolerables) cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA), categoría 3, subcategoría D2. A través de modelamientos como el balance de masas y CORMIX, se determinó que las zonas de mezcla son mínimas y que las concentraciones del efluente tratado resultan compatibles con las condiciones del cuerpo receptor, salvo en circunstancias actuales donde los coliformes termo tolerantes exceden los límites permitidos, situación atribuida a las actividades de pastoreo y a las condiciones climáticas adversas durante la época seca. Este antecedente destaca la importancia de fortalecer las medidas de tratamiento y control de efluentes, así como la necesidad de considerar factores externos como la dinámica climática y las actividades antrópicas locales en los procesos de monitoreo ambiental de cuerpos hídricos influenciados por vertimientos, aun cuando estos sean tratados.

Lima Huacho (2022), en su estudio intitulada “*Efecto del vertimiento de aguas residuales domiciliarias en la calidad del agua en el río Sicra Lircay- Huancavelica 2018*”, desarrollada en la Universidad Continental, evaluó los efectos físicos, químico y microbiológicos ocasionados

por las descargas domesticas en dicho cuerpo hídrico. El estudio identificó alteraciones significativas en parámetros como el color, los sólidos suspendidos totales, la Demanda Química de Oxígeno (DQO), el fósforo total, los nitratos, el nitrógeno amoniacal, el nitrógeno total y coliformes termo tolerables, particularmente en el punto de monitoreo posterior al vertimiento (PM°3), en comparación con el punto de control (PM°1). Si bien algunas pruebas estadísticas no mostraron diferencias significativas entre los puntos de muestreo, la aplicación de la metodología del Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF) arrojó un valor de 42.18, calificando al rio Sicra como “muy contaminado”. Además, se constató que varios parámetros excedían los valores establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental para Agua (ECA), según el D.S. N°004-2017-MINAM, motivo por el cual la Autoridad Nacional del Agua (ANA) reclasificó este cuerpo hídrico en la categoría 3, correspondiente al uso para riego de vegetales y abrevadero de animales. El estudio evidencia el impacto negativo del vertimiento de aguas residuales domiciliarias no tratadas sobre la calidad del agua superficial y resalta la necesidad urgente de implementar sistemas de tratamiento eficientes en las zonas urbanas en expansión, con el fin de preservar la salud ambiental y los recursos hídricos locales.

Alcántara et al. (2023) en su estudio intitulado “*Calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas de Piura*”, publicado en la Revista Instrumento Investigación Facultad Minas Metalúrgica Ciencia. Georg vol.26 N°51, 2023, realizaron una evaluación integral de la calidad de los efluentes generados por las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) domésticas en la región Piura, durante el periodo 2019-2021. Los resultados del estudio evidenciaron que la calidad de los efluentes fue deficiente, ya que diversos parámetros, entre ellos coliformes termo tolerantes, demanda Bioquímica de oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Solidos Suspendidos Totales (SST), superaron en más del 40% los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la normativa ambiental peruana. Estos hallazgos reflejan un riesgo potencial para la salud pública y los ecosistemas

acuáticos receptores, subrayando la necesidad de fortalecer las políticas de gestión y control en el tratamiento de aguas residuales domésticas en el Perú, así como de implementar mecanismos de monitoreo y fiscalización ambiental más rigurosos que garanticen el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental.

Domínguez (2023), desarrollo su estudio intitulado *“Vertimiento de aguas residuales domésticas y su efecto en la contaminación ambiental de la fuente hídrica del río Higueras 2022”* presentada en la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, con el propósito de evaluar la incidencia de las descargas domésticas sobre la calidad del agua del río Higueras. Los resultados del estudio mostraron que los parámetros físico y químico como el color, la conductividad, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), la Demanda Química de Oxígeno (DQO), el oxígeno disuelto, el pH, los sólidos totales, la temperatura y la turbidez, se mantuvieron dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la normativa vigente. No obstante, los parámetros microbiológicos, como los coliformes totales, coliformes termo tolerantes y *Escherichia coli*, presentaron valores elevados, evidenciando la influencia de las actividades humanas en el deterioro de la calidad del agua. Asimismo, el autor destacó que el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM no establece valores de referencia específicos para este tipo de parámetros en la subcategoría correspondiente, lo que pone en evidencia vacíos normativos en la regulación ambiental peruana y limita la eficacia del control sobre los vertimientos domésticos en cuerpos hídricos naturales.

3.1.3. A nivel local

Cayllahua (2022) desarrollo su estudio intitulado *“Evaluación de la PTAR Sicuani y su impacto en la calidad del agua del río Vilcanota”*, presentada en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, con el objetivo de analizar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales y su influencia en el cuerpo receptor. Los resultados evidenciaron que la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Sicuani cumple con las etapas básicas establecidas en la Norma

Técnica OS.090 del Reglamento Nacional de Edificaciones, registrando un tiempo de retención de 5 a 7 días en las lagunas anaeróbicas, valor que se encuentra dentro de lo remendado. En cuanto a la eficiencia de remoción, se reportaron valores elevados: entre 90.49% a 98.53% para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), de 86.47% a 96.91% para la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 83.17% a 98.22% para aceites y grasas de 73.80% a 88.75% para sólidos totales en suspensión y de hasta 100% para coliformes termo tolerantes. Asimismo, se verificó que los efluentes tratados cumplen con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el Decreto Supremo N°003-2010-MINAM. Finalmente, se concluyó que el vertimiento de aguas tratadas influye de manera positivamente en la calidad del agua del río Vilcanota, clasificándola entre los niveles de “regular” y “excelente” para uso agrícola, lo que corresponde a la categoría 3 del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua, destinada al riego de vegetales y abrevadero de animales.

Chura (2017) en la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, desarrolló la investigación intitulada “*Impacto ambiental por aguas residuales en la laguna Langui – Layo*”, cuyo propósito fue evaluar los efectos ambientales ocasionados por el vertimiento de aguas residuales en el humedal Langui – Layo, ubicado en los distritos de Langui y Layo, provincia de Canas, región Cusco. El estudio se ejecutó durante el periodo 2013 – 2016, abarcaron una zona de estudio de 54.105 kilómetros cuadrados de superficie, con un perímetro de 37.24km, una longitud de 16.04 km, un ancho promedio de 5.00km y de una profundidad máxima 232m. Los resultados evidenciaron que el grado de impacto ambiental sobre las aguas de la cuenca Langui – Layo está directamente relacionado con el vertimiento de aguas residuales provenientes del sistema de tratamiento, el cual presenta un deterioro estructural significativo que limita su capacidad operativa. La evaluación de los impactos ambientales se llevó a cabo mediante la aplicación de la Matriz de Leopold, complementada con el método estructural para el cálculo de indicadores de calidad del agua, considerando las propiedades físicas, químicas y biológicas de

las muestras de humedales y su comparación con las muestras de escorrentía de ríos, arroyos y lagunas adyacentes. El estudio concluyó que el vertimiento de aguas residuales no tratadas ni debidamente gestionadas constituye un factor crítico de deterioro ambiental en la laguna Langui – Layo, afectando la calidad del agua y el equilibrio ecológico del ecosistema.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Agua

El agua es uno de los compuestos más abundantes en la naturaleza, ya que cubre aproximadamente tres cuartas partes de la superficie terrestre. Sin embargo, diversos factores limitan su disponibilidad para el consumo humano y las actividades productivas. (Guzman, 2011).

La Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2018) la define como un recurso natural esencial e indispensable para todas las formas de vida, cuya calidad incide de manera directa en la conservación de los ecosistemas y en el bienestar humano.

Según (Guzman, 2011), alrededor del 97% del total del agua existente se encuentra en los océanos y otros cuerpos salinos, el 3% corresponde al agua dulce, de la cual cerca del 2% esta almacenada en glaciares, témpanos de hielo, la atmosfera o en interacción con el suelo, lo que la hace inaccesible. Consecuentemente, solo el 0.62% está disponible en ríos, lagos y acuíferos de agua dulce para el desarrollo y mantenimiento de la vida humana, así como para actividades agrícolas e industriales.

Aunque se trata de un recurso renovable, el agua se encuentra altamente afectada por la contaminación generada por el ser humano y por la degradación ambiental. Además, su disponibilidad puede ser limitada en determinadas zonas geográficas y temporadas, mientras que en otras puede manifestarse de manera excesiva y destructiva.

En esta misma línea, (Sierra, 2011), señala que, si bien los océanos contienen la mayor proporción de agua, su alto nivel de salinidad los hace inutilizables para el consumo directo, a

diferencia del agua dulce proveniente de ríos y lagunas, que constituyen una fracción muy reducida. No obstante, estas fuentes superficiales son las más vulnerables a la contaminación derivada de actividades humanas y procesos naturales, lo que amenaza su aprovechamiento sostenible.

3.2.2. Agua superficial

En el Perú la disponibilidad hídrica de las aguas superficiales, es relativamente cuantiosa; sin embargo, su distribución presenta una marcada desigualdad a lo largo del territorio nacional. A esta situación se suma el impacto crítico sobre la calidad de dichos recursos, productos principalmente de la insuficiencia o el limitado tratamiento que reciben las aguas residuales, así como el inadecuado manejo de residuos sólidos, factores que deterioran significativamente la calidad de las fuentes superficiales.

Las aguas superficiales corresponden a los cuerpos de agua presentes en la superficie terrestre. Estas se originan a partir de las precipitaciones pluviales o de la acumuladas en las cabeceras de las cuencas hidrográficas, manantiales y arroyos. Asimismo, cuando no logran infiltrarse en el suelo, pueden dar origen a lagos, lagunas o charcos. De acuerdo con su dinámica, las aguas superficiales se clasifican en dos tipos: lénticas, que corresponden a masas de agua estancadas como lagos y lagunas, y lóticos, que incluyen cuerpos de agua en movimiento, como ríos, arroyos y manantiales.

A. Cuerpo agua léntico

El ecosistema léntico, también llamado ecosistema lacustre o de agua inmóvil, está constituido por cuerpos de agua que, a diferencia de los ecosistemas lóticos, carecen de un movimiento continuo. Estos se caracterizan por presentar aguas quietas o con un flujo muy reducido, encontrándose en estado de calma o estancamiento parcial. Dentro de este tipo de ecosistemas se incluyen lagunas, charcos, humedales y pantanos, que cumplen funciones esenciales en la regulación hídrica, la biodiversidad y el equilibrio ecológico.

B. Cuerpo aguas lóaticos

Son los ecosistemas loticos están conformados por el cuerpo de agua en constante movimiento y con dirección definida, lo que les otorga características dinámicas en comparación con los ecosistemas lenticos. Dentro de esta categoría se incluyen los ríos, manantiales, riachuelos y arroyos, los cuales presentan un flujo continuo que influye en la distribución de nutrientes, oxígeno disuelto y sedimentos.

3.2.3. Importancia del uso

El agua contribuye el elemento primordial para la existencia de la vida y el desarrollo sostenible. Su importancia radica en que es indispensable para la salud humana, la preservación de los ecosistemas y el progreso económico y social. En este sentido (Ordoñez, 2011). Destaca que la reducción de la pobreza y el desarrollo en todos los ámbitos de las actividades naturales y humanas están directamente relacionados con la disponibilidad y gestión adecuada del recurso hídrico.

3.2.4. Uso del agua de acuerdo con la normativa peruana

En el marco legal peruano, el agua es reconocida como un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible del país. Asimismo, se considera esencial para el mantenimiento de los sistemas ecológicos y la seguridad de la nación así lo establece el Decreto Legislativo N°29338, ley de recurso hídrico (2009), que regula el aprovechamiento sostenible, la conservación y la protección del recurso hídrico en beneficio de las actuales y futuras generaciones.

- **Uso primario del agua**

El uso primario del agua se refiere a la utilización directa y efectiva de este recurso en las fuentes naturales de acceso público. Comprende actividades esenciales como la preparación de alimentos, el consumo humano directo, el aseo personal, así como su empleo y ceremonias culturales o rituales tradicionales. Este tipo de uso es considerado libre y gratuito, siempre que

no implique afectación a la propiedad de terrenos privados ni a los bienes asociados al recurso hídrico.

3.2.5. Contaminación ambiental

La contaminación ambiental se entiende como la presencia de sustancias ajenas al entorno natural, generadas principalmente por la actividad humana, las cuales generan alteran en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas. Este fenómeno constituye una consecuencia directa de diversos procesos sociales y económicos, que van desde derrames accidentes hasta descargas toxicas intencionales.

Las principales fuentes de contaminación se asocian a la agricultura, la construcción de viviendas, el transporte, la generación de energía, la actividad industrial y el uso de energía nuclear. Incluso las funciones biológicas básica, como la producción de excretas, contribuyen a la degradación del ambiente.

Con el transcurso del tiempo, los impactos de la contaminación se han intensificado debido al crecimiento demográfico, al incremento en el consumo per cápita de bienes y energía, y al aumento sostenido de residuos vertidos en el ambiente. A ello se suma que muchos de los materiales de uso cotidiano, como plásticos, las latas de aluminio y diversos compuestos químicos sintéticos, presentan una escasa o nula biodegradabilidad, lo que incrementa la acumulación y persistencia de contaminantes en los ecosistemas. (Barba., 2002).

3.2.6. Aguas residuales

Las aguas residuales son aquellas cuyas características originales han sido modificadas como consecuencia de diferentes actividades humanas, lo que genera la presencia de compuestos físicos, químicos y biológicos que pueden representar un riesgo para la salud y el ambiente. Debido a estas condiciones requieren un tratamiento previo antes de su reutilización, vertimiento en cuerpos naturales de agua o descarga en sistemas de alcantarillado, con el fin de evitar impactos negativos en los ecosistemas y la salud pública. (OEFA, 2014)

La clasificación de las aguas residuales se establece principalmente de acuerdo con su origen, siendo las más comunes las siguientes:

- **Aguas residuales industriales:** Generados en los procesos productivos de diferentes sectores industriales, que suelen contener sustancias químicas específicas asociadas a cada actividad. (OEFA, 2014).
- **Aguas residuales domésticas:** Provenientes de las actividades diarias de los hogares, como el aseo personal, la preparación de alimentos y la limpieza. (OEFA, 2014).
- **Aguas residuales municipales:** Son los vertidos que se generan en los núcleos de la población urbana como consecuencia de las actividades propias de estos. Presentan una cierta homogeneidad en cuanto a su composición y carga contaminante, ya que sus aportes van a ser siempre los mismos; las características de cada vertido urbano van a depender del núcleo de población en el que genere, influyendo parámetros tales como el número de habitantes, la existencia de la industria dentro del núcleo, tipo de industria, etc. los aportes que genera esta agua son:
 - ✓ **Aguas negras o fecales:** Son aguas residuales que contienen desechos orgánicos y químicos, como heces y orina.
 - ✓ **Aguas grises:** Son aguas residuales que provienen de actividades domésticas como duchas, lavamanos, baños, lavadoras y limpieza de vajilla, pero no incluye el agua del inodoro.
 - ✓ **Aguas de lavado doméstico:** Son un tipo de agua residual doméstica, que se genera en los hogares y establecimientos comerciales al lavar ropa, ducharse, bañarse y cocina.

3.2.7. Efectos de la contaminación del agua por aguas residuales

Las aguas residuales que no reciben tratamiento y son vertidas directamente a los cuerpos de aguas, se diluyen en estos y son transportados aguas abajo, o en otros casos, a infiltrarse en

los acuíferos afectando así la calidad y la disponibilidad de los recursos hídricos. Esta práctica genera impactos ambientales significativos, tales como la contaminación de aguas superficiales, subterráneas y suelos. (OEFA, 2014)

Cuando las aguas residuales son vertidas sin tratamiento o con tratamiento inadecuado, sus consecuencias pueden clasificarse en tres dimensiones principales:

- a. **Efectos en la salud humana:** Incrementa el riesgo de enfermedades de origen hídrico, como la colera, infecciones por *Escherichia coli* y otras patologías.
- b. **Efectos ambientales:** La falta de tratamiento impacta en la calidad del agua, reduciendo la disponibilidad de recursos hídricos y afectando los ecosistemas acuáticos.
- c. **Efectos económicos:** Disminución en la producción piscícola, agricultura y en general en toda la cadena de producción.

3.2.8. Problemática de las aguas residuales en el Perú

En el contexto nacional, el uso de aguas residuales sin un tratamiento adecuado constituye un problema de gran magnitud. El informe elaborado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y el Ministerio de Agricultura (2011) evidencio que esta práctica afecta directamente la agricultura, poniendo en riesgo la salud de los pobladores y consumidores de productos agrícolas.

Además, identifiqué deficiencias en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, carencias en la fiscalización ambiental, limitaciones en la vigilancia y control por parte de las entidades competentes, así como la falta de una adecuada evaluación del volumen real de aguas residuales generadas. Estas limitaciones reflejan la necesidad urgente de implementar medidas integrales para compensar el déficit en el manejo de aguas superficiales y residuales. (Amarildo, 2011)

3.2.9. Situación actual de las aguas residuales en el Perú

En el Perú, en el informe emitido por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS, 2008) señalo que el 70% de las aguas residuales no recibían ningún tipo de tratamiento antes de ser vertidas a cuerpos receptores.

Para 2014, esta cifra se redujo parcialmente, alcanzando un 32% de aguas tratadas, y en 2017 apenas se logró un incremento de dos puntos porcentuales, con un volumen de descargas de aguas residuales domesticas tratadas de 4.46 hm³/año

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), uno de los principales problemas ambientales identificados por las municipales es el vertimiento de aguas residuales domesticas a ríos, lagunas y arroyos, lo que ocasiona contaminación hídrica severa. Asimismo, un estudio sobre la calidad del agua en el Perú resalto que el país carece de recursos técnicos y financieros suficientes para gestionar adecuadamente los recursos hídricos y las aguas residuales de manera responsable, eficiente y sostenible. (Espinoza, 2017)

3.2.10. Calidad del agua en el Perú

El termino *calidad del agua* es relativo, referido a la composición del agua en función de la concentración de sustancias presentes, ya sea por procesos naturales o por actividades humanas. Se trata de un concepto neutral, que puede calificarse como “bueno” o “malo” dependiendo del uso al cual este destinada (consumo humano, agrícola, industrial, recreativo o para la preservación ambiental). (Salud, 1995)

Los límites permisibles de contaminantes en el agua están normados por organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS), así como por los gobiernos nacionales, que pueden establecer variaciones en sus estándares.

En ausencia de actividades humana, la calidad del agua está determinada por factores naturales como la erosión mineral, procesos de evaporación y sedimentación, lixiviaciones y la acción de agentes biológicos que modifican su composición física y química

La calidad del agua se evalúa mediante el análisis de características físicas, químicas y biológicas de una muestra, comparándolas con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) o con los Límites Máximos Permisibles (LMP)

3.2.11. Parámetros considerados para la evaluación de la calidad del agua en Perú

La calidad del agua se determina a partir de tres grupos principales de parámetros: físicos, químicos y biológicos: (Beltran, 2020)

A continuación, se describen algunos parámetros referidos a los tres primeros grupos:

a. Parámetros físicos

- **Aceites y grasas**

Forman una película superficial que dificulta la oxigenación, afectando a la flora y fauna acuática. (Beltran, 2020)

- **Temperatura**

Influye en la actividad biológica, solubilidad del oxígeno y procesos de tratamiento de agua como sedimentación y filtración. (Beltran, 2020)

- **Turbidez**

Representa la dificultad del agua para transmitir la luz debido a partículas en suspensión, lo que puede afectar la calidad y potabilidad. (Beltran, 2020).

- **Conductividad y resistencia**

Miden la capacidad del agua para conducir electricidad, indicador de la concentración de iones disueltos. (Beltran, 2020)

b. Parámetros químicos

- **Potencial de Hidrogeno**

Mide la acidez o alcalinidad del agua, generalmente entre 6 y 8 en aguas naturales. (Beltran, 2020)

- **Dureza**

Asociada a la concentración del calcio y magnesio (Beltran, 2020)

- **Alcalinidad**

Capacidad de neutralizar ácidos. (Beltran, 2020)

- **Sólidos disueltos**

Reflejan la cantidad de material presente en el agua, tanto orgánico como inorgánico (Beltran, 2020)

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

Mide oxígeno necesario para la oxigenación química de compuestos orgánicos. (Beltran, 2020)

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO)**

Indica el consumo de oxígeno requerido por microorganismos para degradar materia orgánica. (Beltran, 2020)

- **Cloruros, sulfatos y nitratos**

Presentes de forma natural, pero su exceso puede indicar contaminación. En particular, los nitratos están vinculados a eutrofización y su límite en agua potable está regulado por la Organización Mundial de la Salud (OMS). (Beltran, 2020).

- **Detergentes**

Al actuar como tensoactivos, reducen la solubilidad del oxígeno en el agua e interfieren en los procesos fotosintéticos acuáticos. (Beltran, 2020)

c. Parámetros biológicos

- **Coliformes termo tolerantes (fecales)**

Indicadores de contaminación fecal por vertimientos domésticos no tratados. (Beltran, 2020)

- **Escherichia coli**

Bacteria indicadora de contaminación reciente de origen fecal humano o animal. (Beltran, 2020)

3.2.12. Estándares de Calidad Ambiental – ECA agua

El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua, son instrumentos normativos que establecen los niveles máximos permitidos de concentración de parámetros físicos, químicos y

microbiológicos en cuerpos de agua receptores. En el Perú, el ECA-Agua fue aprobada mediante el Decreto Supremo N°004-2017- MINAM, que modificó y derogó de los Decretos Supremo N°002-2008-MINAM y N°015-2015-MINAM.

Su finalidad es servir como herramienta de gestión ambiental, permitiendo determinar la calidad del agua, prevenir la degradación de los ecosistemas acuáticos y proteger la salud de las personas mediante la regulación de los valores de referencia de calidad ambiental establecidos por la normativa nacional. (MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) agua , 2017).

Tabla 2

Cuadro de las categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

				CATEGORI	
ACTIVIDA				CATEGORIA	A 4
D	CATEGORI	CATEGO	CATEGO	4 RIOS,	ECOSISTE
GENERAD	A 1	RIA 2	RIA 3	LAGUNAS Y	MAS
ORA				LAGOS	MARINO –
				COSTEROS	
		pH, AyG,			
	pH, AyG,	CN _{wad} ,	pH, AyG,	pH, AyG,	pH, AyG,
Minera y	CN _{tot} , AS,	SST, AS,	CN _{wad} , AS,	CN _{wad} , CN _{tot}	CN _{tot} SST,
metalúrgica	Cd, Cr, Cu,	Cd, Cr ⁺⁶ ,	Cd, Cr, Cu,	SST, AS, Cd,	AS, Cd,
	Pb, Hg, Zn	Cu, Pb, Hg,	Pb, Hg, Zn	Cr ⁺⁶ , Pb, Hg,	Cr ⁺⁶ , Pb, Cu,
		Zn		Zn	Hg, Zn
Extracción y	pH,T, AyG,	pH,T, AyG,	pH,T, AyG,	pH,T, AyG,	pH,T, AyG,
procedimient	HTP,	HTP-FA, P,	Cloruros,	HTP, N-NH ₃ ,	HTP, N-NH ₃ ,
o de	Cloruros, N-	Ba AS, Cd,	Ba, AS, Cd,	P, Ba, AS, Cd,	P, Ba, AS, Cd,
	NH ₃ , P,Ba			Cr, Cu, Pb, Hg,	Cr, Pb, Hg,

hidrocarburos	CN, AS, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, fenoles(R) benzo(a),pire no(r)	Cr, Pb, Hg, S(R)	Cr, Pb, Hg, fenoles(R)	fenoles(R) benzo(a),pire no(r) S(R)	fenoles(R) benzo(a),pire no(r) S(R)
Generación					
transmisión					
y					
distribución	pH, AyG,T	pH, AyG, SST, T	pH, AyG,T	pH, AyG, SST, T	pH, AyG, SST, T
de energía					
eléctrica					
Procesamiento					
industrial	pH, AyG,	pH, AyG,	pH, AyG,	pH, AyG, SST, P(L), N _{TOT} (L)	pH, AyG,
de pescados y	DBO ₅ , P(L)	SST, DBO ₅	DBO ₅	DBO ₅	SST, DBO ₅
mariscos					
Procedimiento					
de					
productos	pH, AyG,	pH, AyG,	pH, AyG,	pH, AyG, SST, P(L), N _{TOT} (L)	pH, AyG,
agrícolas y	DBO ₅ , P(L)	SST, DBO ₅	DBO ₅	DBO ₅	SST, DBO ₅
pecuarios					
Producción	pH, AyG,	pH, T,	pH, AyG,	pH, AyG,	pH, T, AyG,
de bebidas	C.term DQO,	AyG,	C.term	C.term DQO,	C.term , SST,
alcohólicas y	P(L), DBO ₅	C.term	DQO,	P(L), SST,	DBO ₅
		P(L), DBO ₅	DBO ₅		

no				N_{TOT} (L),		
alcohólicas				DBO_5		
Ganadería			pH, T,			
intensiva e	pH, T, AyG,	pH, T,	AyG, SST,	pH, T, AyG,		pH, T, AyG,
instalaciones	SST, DBO_5	AyG, DQO	P(L), N_{TOT}	SST, P(L),		SST, DBO_5
de sacrificio		DBO_5	DBO_5	N_{TOT} DBO_5		
Producción	pH, AyG, T,	pH, AyG,	pH, AyG,	pH, T, SST,		pH, AyG,
de celulosa y	P(L), N-NH ₃ ,	T, S, SST,	DQO, Cr,	AyG, P(L) N-		SST, N-NH ₃ ,
papel	Cr, DQO,	Cr ⁺⁶ ,	DBO_5	NH ₃ , S, Cr ⁺⁶		Cr, DBO_5
	DBO_5	DBO_5		DBO_5		
curtiembre	pH, T	pH, T, SST	pH, T	pH, T, SST		pH, T, SST

Nota: Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos

Superficiales

Tabla 3

Cuadro categoría 4: conservación del Ambiente Acuático

PARAMETROS	UNIDAD DE MEDIDA	E1:	E2:Rios		E3:ecosistemas costeros y marinos	
		Laguna y Lagos	Costa y sierra	Selva	estuarios	Marinos
FISICOS-QUIMICOS						
Aceites y grasas (MEH)	mg/L	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Cianuro libre	mg/L	0.0052	0.0052	0.0052	0.001	0.001
Color (b)	Color verdadero	20(a)	20(a)	20(a)	-	-

	escala					
	Pt/Co					
Clorofila A	mg/L	0.008	-	-	-	-
Conductividad	μS/cm	1000	1000	1000	-	-
Demanda						
Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2.56	2.56	2.56	5.8	5.8
Fosforo total	mg/L	0.035	0.05	0.05	0.124	0.062
Nitratos (NO3-)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH3)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno total	mg/L	0.315	-	-	-	-
Oxígeno disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6.5 a 9.0	6.5 a 9.0	6.5 a 9.0	6.8 a 8.5	6.8 a 8.5
Sólidos						
suspendidos totales	mg/L	≤25	≤ 100	≤ 400	≤100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Temperatura	°C	▲3	▲3	▲3	▲2	▲2
INORGANICOS						
Antimonio	mg/L	0.64	0.64	0.64	-	-
Arsénico	mg/L	0.15	0.15	0.15	0.036	0.036

Bario	mg/L	0.7	0.7	1	1	-
Cadmio disuelto	mg/L	0.00025	0.00025	0.00025	0.0088	0.0088
Cobre	mg/L	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05
Cromo VI	mg/L	0.011	0.011	0.011	0.05	0.05
Mercurio	mg/L	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Níquel	mg/L	0.052	0.052	0.052	0.0082	0.0082
Plomo	mg/L	0.0025	0.0025	0.0025	0.0081	0.0081
Selenio	mg/L	0.005	0.005	0.005	0.071	0.071
Talio	mg/L	0.0008	0.0008	0.0008	-	-
Zinc	mg/L	0.12	0.12	0.12	0.081	0.081
ORGANICOS						
Compuestos						
Orgánicos						
Volátiles						
Hidrocarburos						
totales de petróleo	mg/L	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Hexaclorobutadie	mg/L	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
no						
BTEX						
Benceno	mg/L	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Hidrocarburos						
aromáticos						
benzo(a) pireno	mg/L	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Antraceno	mg/L	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004

Fluoranteno	mg/L	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Bifenilos policlorados						
Befenilos policlorados (PCB)	mg/L	0.000014	0.000014	0.000014	0.00003	0.00003
PLAGUICIDAS						
Organofosforados						
Malatión	mg/L	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Paratión	mg/L	0.000013	0.000013	0.000013	-	-
Organoclorados						
Aldrin	mg/L	0.000004	0.000004	0.000004	-	-
Clordano	mg/L	0.000004 3	0.000004 3	0.000004 3	0.000004	0.000004
DDT (suma de 4,4-DDD y 4,4-DDE)						
4,4-DDD y 4,4-DDE)	mg/L	0.000001	0.000001	0.000001	0.000001	0.000001
Dieldrin	mg/L	0.000056	0.000056	0.000056	0.000019	0.000019
Endosulfan	mg/L	0.000056	0.000056	0.000056	0.000087	0.000087
Endrin	mg/L	0.000036	0.000036	0.000036	0.000023	0.000023
Heptacloro	mg/L	0.000003 8	0.000003 8	0.000003 8	0.000003 6	0.000003 6
Heptacloro epóxido	mg/L	0.000003 8	0.000003 8	0.000003 8	0.000003 6	0.000003 6
Lindano	mg/L	0.00095	0.00095	0.00095	-	-

Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Carbamato						
Aldicarb	mg/L	0.001	0.001	0.001	0.00015	0.00015
MICROBIOLOGICO						
Coliformes termotolerables	NMP/100 ml	1000	2000	2000	1000	2000

NOTA: Autoridad Nacional del Agua

3.2.13. Límites Máximos Permisibles – LMP

Los Límites Máximos Permisibles (LMP) constituyen valores normativos que establecen la concentración máxima de contaminantes permitida en los efluentes líquidos antes de ser vertidos a cuerpos naturales de agua. En el caso del componente hídrico, estos límites se encuentran organizados en categorías vinculadas a los subsectores de pesca, como consumo humano, actividades minero-metalúrgicas, tratamiento de aguas residuales, así como generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. (MINAM, Límites Máximos Permisibles, 2010)

- **Aplicación**

Los Límites Máximos Permisibles a los titulares que disponen sus efluentes en cuerpos de agua marinos o continentales (loticos o lenticos), con excepción de aquellos que vierten en redes de alcantarillado o que destinan sus descargas a proceso de reusó, siempre que se realicen de acuerdo con la normativa vigente. La regulación exige la implementación de sistemas de tratamiento físico, químico, biológico o combinados

- **Plantas de tratamientos de aguas residuales domésticas o municipales Normativa Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM**

La normativa específica para este ámbito se encuentra regulada en el Decreto Supremo N°003-2010-MINAM, el cual establece los LMP aplicables a los efluentes de las plantas de tratamiento

de aguas residuales domesticas o municipales. Estos valores se aplican exclusivamente a las infraestructuras y procesos destinados a la depuración de aguas residuales, excluyendo a aquellas plantas que emplean tratamiento preliminar avanzado o primario con disposición final a través de emisarios submarinos.

Asimismo, la normativa dispone que los operadores deben identificar con precisión la ubicación de los puntos de control, emplear métodos analíticos adecuados y cumplir con los parámetros y frecuencias de muestreo establecidos. El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento es la entidad responsable de supervisar el monitoreo de parámetros adicionales no regulados, en caso de existir indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente, además de administrar la base de datos oficial del monitoreo de efluentes. (MINAM, Límites Máximos Permisibles, 2010)

Tabla 4

Cuadro de Límites Máximos Permisibles

PARAMETROS	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes termo tolerables	NMP/100mL	10.000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH		6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Nota: Ministerio del Ambiente

3.2.14. Planta de tratamientos de aguas residuales (PTAR)

Una planta de tratamiento de aguas residuales es una instalación destinada a la depuración del agua residual proveniente de actividades domésticas, industriales o municipales. En estos sistemas, el agua es sometida a una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos, cuyo objetivo principal es la remoción de materia en suspensión, sustancias coloidales y contaminantes disueltos, hasta alcanzar niveles compatibles con la normativa ambiental vigente.

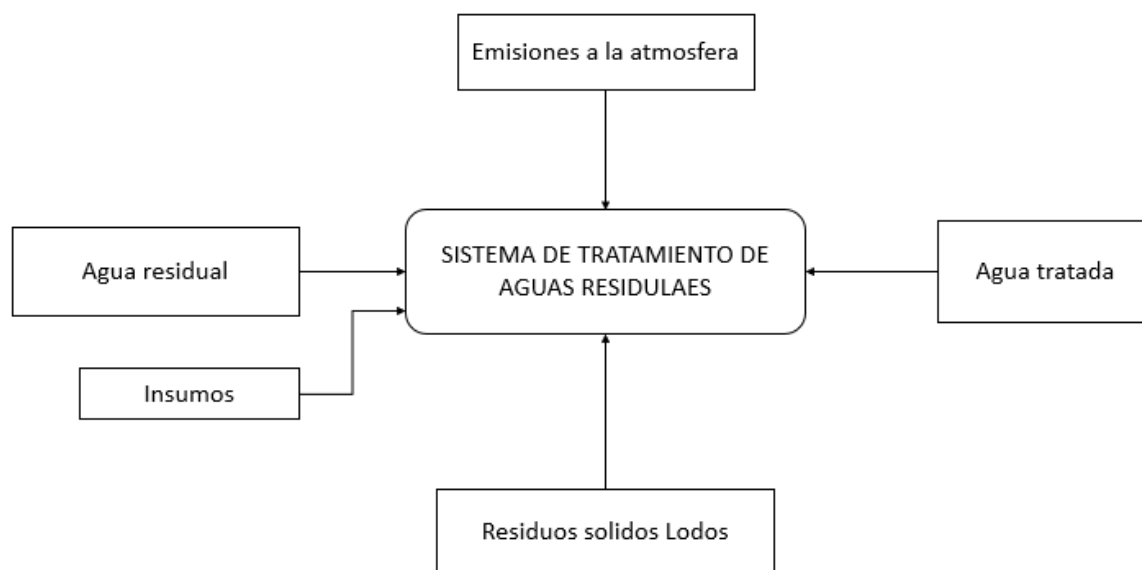
El tratamiento de aguas residuales busca no solo proteger la salud pública y los ecosistemas, sino también garantizar la adecuada reincorporación del agua al ambiente y fomentar su reuso en actividades agrícolas, industriales o de recarga hídrica. Asimismo, el diseño y eficiencia de una PTAR depende de factores como la carga contaminante, el caudal de agua a tratar y la tecnología empleada, lo que determina los niveles de eficiencia alcanzados en términos de calidad del efluente final. (Adalberto Noyola, 2013)

3.2.15. Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales tiene como finalidad eliminar las sustancias contaminantes de origen orgánico e inorgánico, presentes tanto en forma de partículas en suspensión como disueltas. En el caso de las lagunas residuales generadas por comunidades y municipales, estas deben ser conducidas hacia cuerpos receptores para su depuración mediante procesos físicos, químicos y biológicos, con el propósito de reducir su carga contaminante y cumplir con la normativa ambiental vigente. De acuerdo con el principio de conservación de la materia, los contaminantes presentes en las aguas residuales no desaparecen, sino que se transforman o transfieren a través de los diferentes procesos de tratamiento, permitiendo así minimizar su impacto en la salud pública y en los ecosistemas. (Irina Alfaro Ccarhuarupay, 2021).

Figura 1

Esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales



Nota: <https://acortar.link/zxcMHM>

3.2.16. Procesos para el tratamiento de aguas residuales

Los contaminantes presentes en las aguas residuales pueden ser removidos mediante la aplicación de procesos físicos, químicos y biológicos. Estos métodos se clasifican en tres categorías principales: (BLOGSPOT, 2017)

a. Tratamiento físico

El tratamiento físico se basa en la acción de fuerzas naturales y mecánicas para la remoción de contaminantes presentes en el agua. Estos métodos, inspirados en las primeras observaciones del ser humano sobre los procesos naturales de depuración, incluyen operaciones como el desbaste el mezclado, la floculación, la sedimentación, la flotación, la transferencia de gases y la filtración. Su finalidad es separar solidos grandes, partículas en suspensión y otras impurezas sin modificar la composición química del agua.(BLOGSPOT, 2017).

b. Tratamiento químico

El tratamiento químico consiste en la incorporación de sustancias químicas que generan reacciones capaces de eliminar o transformar contaminantes presentes en las aguas residuales. Entre los procesos más comunes se encuentran la precipitación, que facilita la separación de compuestos insolubles; la adsorción, que concentra contaminantes en superficies sólidas; y la desinfección, cuyo objetivo es reducir o eliminar microorganismos patógenos, garantizando la seguridad sanitaria del agua tratada. (BLOGSPOT, 2017)

c. Tratamiento biológico

El tratamiento biológico tiene como propósito la degradación y transformación de la materia orgánica disuelta en el agua mediante la acción de microorganismo. Este proceso permite la formación de flóculos biológicos o biopelículas que sedimentan. Gracias a este método, se reduce la carga contaminante del agua residual, contribuyendo a su reintegración en el ambiente con menores riesgos para la salud y los ecosistemas. (BLOGSPOT, 2017)

3.2.17. Etapas de tratamiento de aguas residuales**a. Pre tratamiento**

El pretratamiento constituye la primera fase dentro de un sistema de depuración de aguas residuales, cuyo propósito principal es separar los sólidos de mayor tamaño (piedras, plásticos, ramas, arena, entre otros), así como grasas y aceites que podrían dañar los equipos o interferir en las siguientes etapas del proceso. Esta fase garantiza la protección de las instalaciones y el adecuado funcionamiento de los tratamientos posteriores. (Garcia, 2017)

• Aliviadero de entrada

Se trata de una estructura fundamental cuya función es evitar la sobrecarga del caudal que ingresa a la planta. Generalmente presenta forma rectangular y establece un límite de altura para el paso del líquido; cuando el caudal supera dicho nivel, el exceso es derivado hacia el canal de desbaste, evitando afectaciones al sistema.

- **Desbaste.**

Es el primer proceso operación propiamente dicha del pretratamiento y consiste en la retención de residuos sólidos de tamaño grande y mediano mediante rejillas o cribas. Esta etapa evita obstrucciones y bloqueos en la infraestructura y equipos de tratamientos, asegurando la continuidad del proceso.

- **Desarenador**

Su objetivo es remover partículas minerales como arena, grava o solidos pesados en suspensión que, de no ser eliminados, podrían causar abrasión, sedimentación y obstrucción en las unidades de tratamiento posteriores. Para optimizar este proceso, en algunos sistemas se emplean trituradoras que reducen el tamaño de ciertos residuos, facilitando su incorporación al tratamiento posterior.

- **Desengrasante**

Se encarga de la remoción de aceites, grasas y otros flotantes de menor densidad que el agua. Esta etapa es esencial, ya que la acumulación de grasas puede generar incrustaciones, malos olores y dificultades en las operaciones biológicas posteriores.

b. Tratamiento primario

El tratamiento primario tiene como objetivo la remoción y reducción de la materia en suspensión presente en el agua residual, mediante procesos físicos o mecánicos, tales como la sedimentación, floculación y coagulación. En sistemas de saneamiento autónomo, se emplean fosas sépticas, mientras que en poblaciones de entre 200 y 500 habitantes se utilizan tanques Imhoff. A través de este tratamiento es posible eliminar una fracción considerable de la carga orgánica, equivalente aproximadamente al 25-30% de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y al 50-65% de los sólidos suspendido totales (SST). Los procesos principales, que conforman este tratamiento son:

- **Sedimentación**

Es un proceso físico en el que la densidad juega un papel fundamental, ya que permite la separación de partículas sólidas por acción de la gravedad. El objetivo es separar y otros sólidos suspendidos en el agua, de manera que las partículas más densas se depositen en el fondo, siguiendo una trayectoria descendente. El tamaño de las partículas influye directamente en la eficiencia de este proceso.

- **Flotación**

Este proceso se basa en la diferencia de densidades. Permite separar sólidos o líquidos de menor densidad que el agua, los cuales ascienden a la superficie. Para facilitar la flotación, se inyectan pequeñas burbujas de gas (generalmente aire) que se adhieren a las partículas, elevándolas hacia la superficie, donde son retiradas.

- **Coagulación – floculación**

La coagulación se produce al añadir un reactivo químico (coagulante), el cual desestabiliza las partículas coloides mediante la neutralización de sus cargas eléctricas. Posteriormente, en la floculación, dichas partículas se agrupan en flóculos más grandes gracias al transporte y choque entre ellas, lo que facilita su sedimentación. La inclusión de ciertos reactivos químicos incrementa la eficiencia global del proceso de remoción de sólidos en suspensión.

- **Filtración**

Consiste en hacer pasar el agua residual a través de un medio poroso, con el fin de retener la mayor cantidad posible de partículas en suspensión. El soporte filtrante más común es una capa de arena de altura variable, que permite remover sólidos finos no sedimentables en las etapas previas.

c. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario tiene como objetivo reducir la materia orgánica disuelta y coloidal que permanece en las aguas residuales después del pre tratamiento y tratamiento primario. En esta etapa se elimina la fracción biodegradable de la carga contaminante principalmente mediante procesos biológicos, los cuales resultan eficientes y de bajo costo en comparación con otros métodos de depuración.

Este tratamiento combina distintos procesos, entre los más utilizados se encuentran: lodos activados, reactores biológicos de lecho fijo, lagunas de estabilización y sistemas de sedimentación secundaria.

La base del proceso radica en la acción de los microorganismos, que cumplen una función de autodepuración biológica en ambientes aerobios o en condiciones controladas. Durante la depuración, los microorganismos utilizando la materia orgánica y los nutrientes presentes en el agua residual, principalmente nitrógeno y fosforo, como fuente de alimento y energía, lo que permite una significativa reducción de la carga contaminante. (Garcia, 2017)

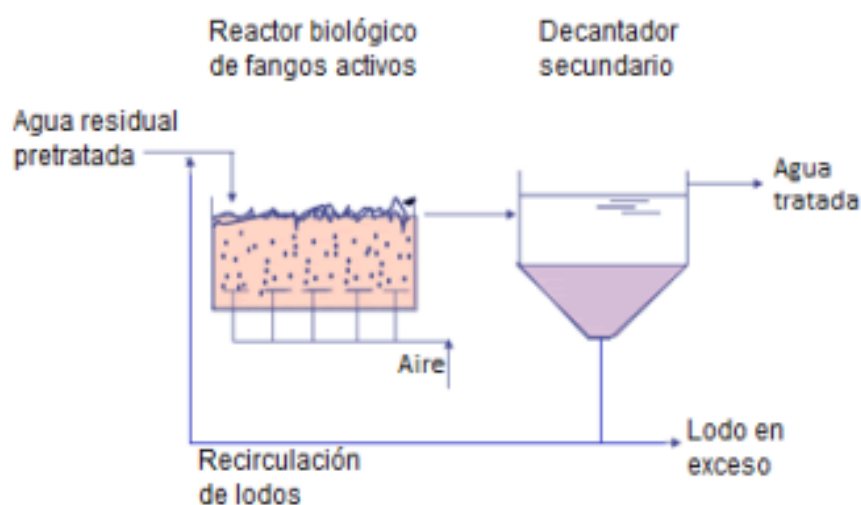
Existen dos modalidades principales:

- **El proceso biológico anaerobio (ausencia de oxígeno):** se caracteriza por presentar bajas tasas de crecimiento bacteriano, lo que implica una menor producción de lodos residuales.
- **Procesos aeróbicos (presencia de oxígeno):** requieren un mayor consumo de energía y oxígeno disuelto ya que gran parte del sustrato es empleado en la síntesis celular, generando una mayor cantidad de biomasa en forma de lodos biológicos, los cuales suelen ser inestables y conllevan mayores costos de operación y tratamiento posterior

De esta manera, el mantenimiento secundario constituye una frase esencial en la depuración de aguas residuales, al permitir la remoción de la mayor parte de la materia orgánica biodegradable y de los nutrientes que generan eutrofización en los cuerpos receptores.

Figura 2

Esquema funcionamiento Biorreactor fangos activos + decantador secundario



Nota: [https://www.gedar.com/residuales/tratamiento-biologico-aerobio/fangos activos.htm](https://www.gedar.com/residuales/tratamiento-biologico-aerobio/fangos%20activos.htm)

d. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario constituye la fase más avanzada en la depuración de aguas residuales. Su propósito es eliminar la carga orgánica residual, los nutrientes inorgánicos (principalmente nitrógeno y fosforo), así como otros contaminantes que persisten tras el tratamiento secundario. Además, permite la eliminación de microorganismos patógenos, compuestos que generan color, colores indeseables, detergentes y otros agentes que pueden ocasionar fenómenos de eutrofización en los cuerpos receptores.

Se trata de un conjunto de procesos de carácter físico, químico y biológico más complejos, que buscan obtener un agua de mayor calidad para su reusó en actividades como la agricultura, la industria o incluso, en casos avanzados, con fines potables. (Garcia, 2017)

Entre los procesos más empleados destacan:

- **Filtros de arena en el tratamiento terciario**

Los filtros de arena se utilizan en la depuración de aguas con cargas de contaminación bajas o moderadas, desempeñando un papel fundamental para el reusó posterior del agua tratada. Estos sistemas permiten retener partículas en suspensión a través de un lecho filtrante compuesto principalmente por arena, lo que favorece la eliminación de

contaminantes orgánicos de difícil biodegradación, microorganismos patógenos y nutrientes inorgánicos como nitrógeno y fosforo.

- **Tratamiento y disposición del lodo.**

Uno de los subproductos más relevantes del tratamiento de aguas residuales son los lodos, constituidos por una mezcla semisólida con alto contenido de sólidos. Estos se generan en diferentes etapas del proceso y deben ser sometidos a procedimientos de estabilización, espesamiento y desinfección antes de su deposición final. Una vez tratados adecuadamente, los lodos pueden ser aprovechados como enmiendas orgánicas o fertilizantes agrícolas, contribuyendo a la mejora de la fertilidad del suelo y promoviendo un enfoque de economía circular.

3.2.18. Tratamiento por lagunas de estabilización

La laguna de estabilización son sistemas de tratamiento biológicos natural en los que interactúan bacterias, algas, protozoarios y otros organismos con la materia orgánica presente en el agua residual. Se consideran una alternativa adecuada cuando los nutrientes, además de ser eficaces en la reducción de organismos patógenos. Sin embargo, antes de descargar a lagos o embalses debe evaluarse el riesgo de eutrofización, pudiendo requerirse procesos de postratamiento. (OS.90, 2006)

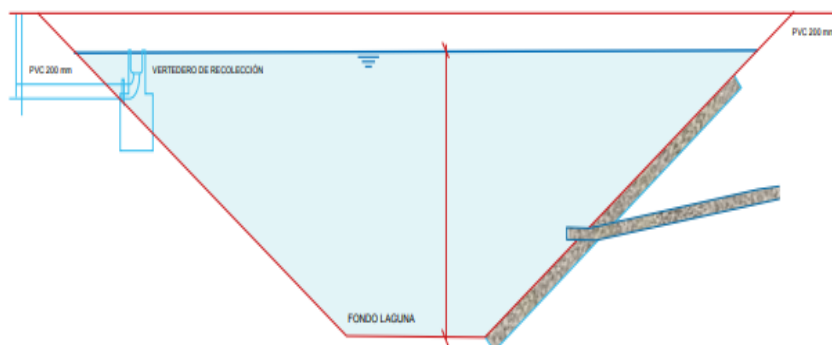
- **Lagunas anaerobias**

Las lagunas anaerobias se emplean generalmente como primera etapa de un sistema de tratamiento, especialmente cuando el espacio disponible es reducido o cuando las aguas residuales presentan altas concentraciones de materia orgánica. Estas unidades trabajan con cargas volumétricas elevadas ($100-300\text{g DBO/m}^3 \cdot \text{dl}$) y tiempos de retención cortos (1-5 días), alcanzando eficiencias aproximadas del 50% en la remoción de DBO. Su profundidad varía entre 2.5 y 5m y requieren un mínimo de dos unidades en paralelo para facilitar la remoción periódica

de lodos. Cabe resaltar que no presentan reducción significativa de bacterias patógenas. (OS.90, 2006)

Figura 3

Corte transversal de una laguna anaeróbica



Nota: Servicio Nacional para la sostenibilidad de servicios en saneamiento básico – Bolivia

- **Laguna aeradas**

Las lagunas aeradas se utilizan también como unidades primarias, sobre todo en espacios limitados o cuando se requiere tratar desechos domésticos e industriales con alta carga orgánica. Existen tres tipos principales: (OS.90, 2006)

- ❖ **Lagunas aeradas de mezcla completa**, similares a un sistema de lodos activados sin recirculación, con profundidades de 3-5m y tiempos de retención de 2-7 días.
- ❖ **Lagunas aeradas facultativas**, que mantienen parte de la biomasa en suspensión, con tiempos de retención de 7-20 días y mayor crecimiento de algas en climas cálidos.
- ❖ **Lagunas facultativas con agitación mecánica**, usadas para evitar estratificación en unidades sobrecargadas en climas cálidos.

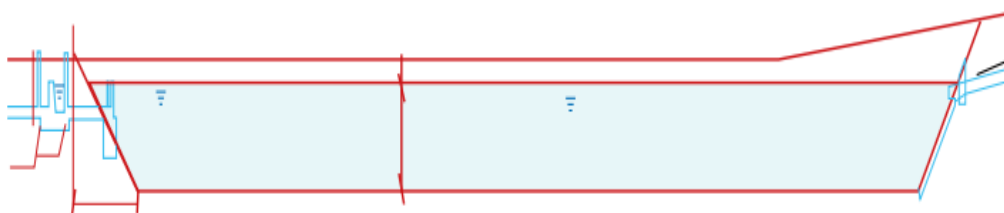
En el diseño, se debe garantizar un balance positivo de oxígeno, dimensionar adecuadamente los aeradores y considerar la eficacia de remoción de DBO y coliformes en las condiciones climáticas más desfavorables.

- **Lagunas facultativas**

las lagunas facultativas pueden emplearse como única unidad de tratamiento (en climas fríos con bajas cargas), como secundarias después de lagunas anaerobias o aeradas, o combinadas con lagunas de maduración. Su diseño depende principalmente de la temperatura del agua, pues esta influye en la mortalidad bacteriana. La carga superficial de diseño se calcula considerando la temperatura promedio del mes más frío. Su profundidad debe ser superior a 1.5m para evitar el crecimiento de plantas acuáticas, y deben prever capacidad para acumulación de lodos con periodos de limpieza entre 5 y 10 años. En estas unidades ocurre la mayor remoción de materia orgánica, aunque la concentración final de DBO en sistemas en serie se ve influenciada por las poblaciones aledañas. (OS.90, 2006)

Figura 4

Corte transversal de una laguna facultativa



Nota: Servicio Nacional para la sostenibilidad de servicios en saneamiento básico – Bolivia

3.2.19. Remoción de patógenos.

La eliminación de patógenos ocurre en todas las unidades del sistema, aunque suele reforzarse en las lagunas de maduración. Los nematodos intestinales se consideran indicadores de remoción de parásitos requiriéndose un tiempo de retención mínimo de 10 días para asegurar su reducción. Para bacterias, se emplean modelos de flujo disperso con coeficientes de mortalidad ajustados a la temperatura del agua. (OS.90, 2006)

3.2.20. Normas generales de diseño de la laguna de estabilización

El diseño de un sistema de lagunas de estabilización debe proyectarse para un periodo de 20 a 30 años, incorporando etapas de implementación. Se recomienda construir al menos dos

unidades en paralelo para facilitar la operación y limpieza, definir adecuadamente la geometría y los diques según la topografía y garantizar medidas de impermeabilización para proteger las aguas subterráneas. Asimismo, se deben considerar instalaciones complementarias como laboratorios, casetas de operación, estaciones meteorológicas y cercos de seguridad. (OS.90, 2006)

3.3. Definición de términos

- **Afluente:** agua u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento. (OS.90, 2006)
- **Agua residual:** agua que ha sido usada por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión. (OS.90, 2006)
- **Anaerobio:** condición en la cual no hay presencia de aire u oxígeno libre. (OS.90, 2006)
- **Análisis:** el examen de una sustancia para identificar sus componentes. (OS.90, 2006)
- **Coliformes termotolerables:** bacterias Gram negativas no esporuladas de forma alargadas capaces de fermentar lactosa con producción de gas a $35 \pm 0.5^\circ\text{C}$ (coliformes torales). (OS.90, 2006)
- **conservación acuática:** es un cuerpo natural de agua superficial que forma parte de ecosistemas frágiles. (OS.90, 2006)
- **Calidad de agua:** esta referida a las características físicas, químicas y biológicas en un estado natural. (OMS, 2022)
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** cantidad de oxígeno que requiere los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicas. (OS.90, 2006)
- **Demanda química de oxígeno (DQO):** medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidante sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio. (OS.90, 2006)

- **Efluente:** líquido que sale de un proceso de tratamiento (OS.90, 2006)
- **Muestreo:** toma de muestras de volumen predeterminado y con la técnica de preservación correspondiente para el parámetro que se va a analizar. (ANA, 2018)
- **Riego:** consiste en aportar agua a los cultivos por medio del suelo para satisfacer sus necesidades hídricas que no fueron cubierta mediante la precipitación pluvial. (ANA, 2018)
- **Potencial de hidrogeno (pH):** logaritmo con signo negativo de la concentración de iones hidrogeno, expresado en moles por litros. (OEFA, 2014)
- **Planta de tratamiento:** infraestructura y procesos que permiten la depuración de aguas residuales (OS.90, 2006)
- **Contaminación:** es la introducción por el hombre de agente extraños al medio que alteran las características físicas, químicas o biológicas del medio.
- **Estándares de calidad ambiental (ECA):** es la medida del nivel de contaminación de los parámetros físicos, químicos y biológicos en los cuerpos receptores como es el agua, suelo y aire. (MINAM, Estandares de Calidad Ambiental (ECA) agua , 2017)
- **Muestreo de agua:** consiste en obtener una cantidad representativa del cuerpo de agua para su posterior análisis y determinar su situación actual.
- **Laguna:** son depósitos naturales de agua por lo general agua dulce, de baja profundidad considerado cuerpos lenticos, los cuales no presentan corriente continua.
- **Agua:** sustancia que está compuesta por dos átomos de hidrogeno y uno de los componentes más abundantes de la superficie terrestre.
- **Calidad:** es un conjunto de propiedades y virtudes los cuales permiten valorar y caracterizando e indican las condiciones en las que se encuentra.
- **Ambiente:** es el medio en el que se desarrolla la actividad entre los factores bióticos, abióticos y los elementos artificiales, que permiten determinar las condiciones para desarrollar la vida.

- **Agente:** es cualquier sustancia física, química o biológica que en su conjunto o de manera independiente originan daños adversos.
- **Biota:** son todos los órganos vivos, plantas, animales o microorganismos.
- **Contaminación ambiental:** es la introducción de un elemento o agente (físico, químico o biológico) a un ambiente, cuyas concentraciones se modifican, afectan y alteran el equilibrio del ecosistema y características del medio, ocasionando daños nocivos del medio ambiente o la salud de los seres vivos.
- **Efluente:** es el líquido que fluye de un recipiente u otro sistema.
- **Eutrofización:** es el resultado del excesivo aumento de los nutrientes (fosforo y nitrógeno) en los ecosistemas acuáticos a consecuencia de los efectos naturales o antropogénicos mediante la cual se produce un crecimiento excesivo de plantas acuáticas, las cuales al morir se depositan en el fondo de los cuerpos de agua generando residuos que al descomponerse consume todo el oxígeno disuelto, afectando a la flora y fauna.

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

4.1.1. Tipo de investigación

El presente estudio corresponde a una investigación cuantitativa, dado que se fundamenta en la recolección y el análisis de datos numéricos con el propósito de describir, comparar y determinar la influencia de los vertimientos de efluentes de las plantas de tratamientos de Aguas Residuales (PTAR) en la calidad del agua de la Laguna Lagui – Layo.

De acuerdo con (Bernal, 2010), la investigación cuantitativa “se caracteriza por la medición numérica y el análisis estadístico para establecer patrones de comportamientos y probar teorías”. En este sentido, el estudio busca generar evidencia empírica que contribuya a la comprensión y manejo de los efectos ambientales derivados de los vertimientos de efluentes domésticos hacia los cuerpos de agua naturales.

4.1.2. Nivel de investigación

El presente estudio es de nivel descriptivo, ya que tiene como propósito caracterizar las condiciones actuales de la calidad del agua de la laguna Langui -Layo mediante el análisis de parámetros físico, químico y microbiológico. Los resultados obtenidos se contrastan con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, establecidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) agua , 2017).

4.1.3. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es no experimental de tipo transeccional o transversal, debido a que no se manipularán deliberadamente las variables de estudio; por el contrario, se recolectarán los datos en un solo momento con el propósito de describir y analizar la relación

existente entre los vertimientos de efluentes y la calidad del agua. Según (Hernandez J. , 2014) , en este tipo de diseño “se observan los fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para posteriormente analizarlos.

4.2. Ámbito temporal y espacial

Ámbito temporal

El presente trabajo de investigación se desarrolló durante el periodo comprendido entre los meses de setiembre y diciembre del año 2024, etapa en la cual se realizó la recolección de datos, el análisis de los parámetros de calidad del agua y la interpretación de los resultados en función de los Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECA-Agua).

Ámbito social

El desarrollo del presente trabajo de investigación beneficiara a los pobladores de los distritos de Langui y Layo, dado que se trata de un estudio de gran relevancia social. La laguna de Langui – Layo, además de ser un atractivo turístico, constituye una de las principales fuentes de ingreso económico de la zona gracias a la actividad piscícola. En este sentido, los resultados obtenidos permitirán contribuir a la identificación y solución de los problemas asociados a la calidad del agua, favoreciendo así la salud de la población, la preservación del ecosistema y el fortalecimiento de las actividades productivas locales

Ámbito conceptual

La presente investigación se desarrolla en el marco del estudio de la calidad del agua y su afectación por el vertimiento de efluentes provenientes de la Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). El propósito central es determinar en qué medida dichos vertimientos inciden en las condiciones físico, químicas y microbiológicas de la laguna Langui – Layo, a fin de generar información científica relevante sobre el estado del cuerpo acuático. Este enfoque conceptual se sustenta en la necesidad de comprender las interacciones entre las descargas de

origen antrópico y los ecosistemas acuáticos, con miras a aportar criterios técnicos que respalden la gestión sostenible del recurso hídrico y la protección del ambiente en la región.

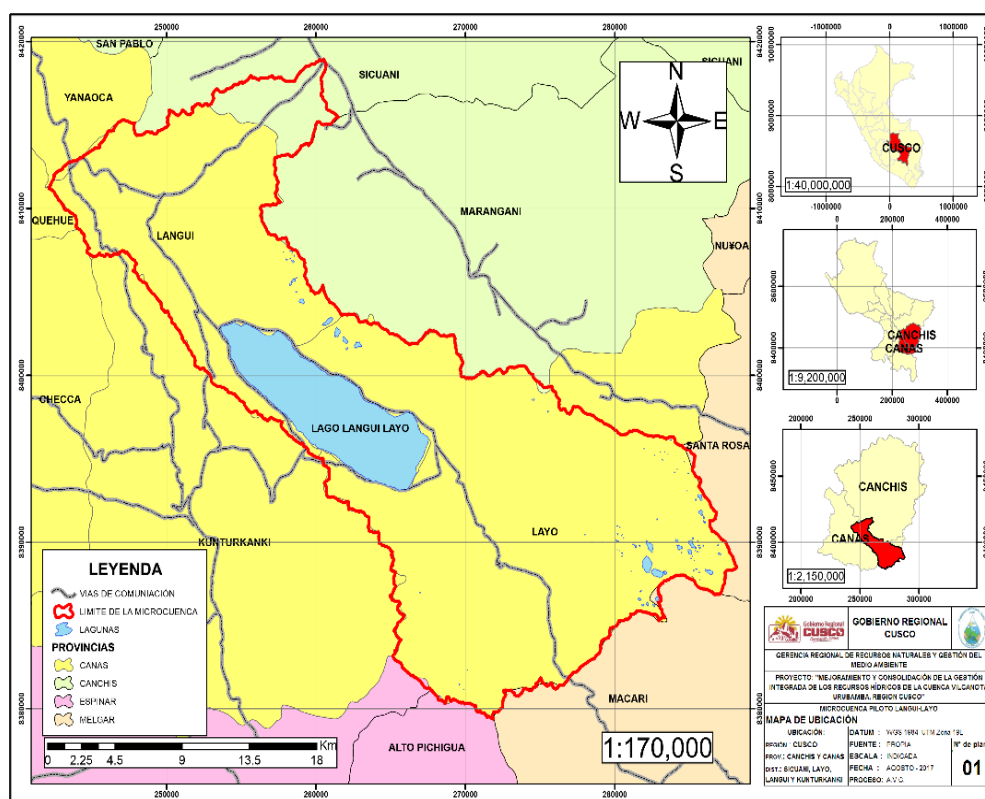
Ámbito espacial

La presente investigación se desarrolló en la laguna de Langui – Layo, la cual se encuentra ubicada en los distritos de Langui y Layo, provincia de Canas, región Cusco, a una altitud de 3,955 m.s.n.m. Sus coordenadas geográficas corresponden a $14^{\circ}29'33.35''S$ y $71^{\circ}10'56.74''O$, de acuerdo con el estándar geodésico WGS84.

Este cuerpo de agua constituye un ecosistema de gran relevancia ecológica, social y económica, ya que es fuente de recursos hídricos para el consumo humano, la actividad piscícola y el turismo local. Por lo tanto, la delimitación espacial de la laguna resulta fundamental para analizar los efectos de los vertimientos de efluentes de las plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en su calidad ambiental.

Figura 5

Mapa geográfico de la Laguna Langui-Layo



Nota: Gobierno Regional del Cusco

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

La población en estudio está conformada por la totalidad del cuerpo de agua de la laguna de Langui – Layo, incluyendo sus diferentes zonas de influencia donde confluyen los vertimientos de efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de los distritos de Langui y Layo. Asimismo, se consideran las fuentes de descarga y los puntos críticos que presentan riesgo de contaminación.

4.3.2. Muestra

Las muestras fueron recolectadas siguiendo los lineamientos del Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N°010-2016-ANA). Asimismo, se consideraron los criterios establecidos en el Decreto Supremo N°003-2010-MINAM, que aprueba los Límites Máximos Permisibles (LMP) para descargas de efluentes.

Para el análisis de los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, se efectuó la toma de muestras a una distancia aproximada de 200 metros de los puntos de vertimiento, establecido un total de ocho (8) puntos de monitoreo: cuatro en el distrito de Langui y cuatro en el distrito de Layo.

En cuanto al análisis de los Límites Máximos Permisibles (LMP) de las descargas de los efluentes, se realizaron muestreos en los puntos de salida de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de ambos distritos, con el fin de evaluar la calidad del efluente vertido directamente al cuerpo receptor.

4.4. Instrumentos

Los principales instrumentos que fueron empleados en el desarrollo de la presente investigación fueron:

- **Cadena de custodia:** Documento oficial utilizado para registrar y controlar la trazabilidad de las muestras desde el momento de su recolección hasta sus análisis en laboratorio, garantizando la integridad y transparencia del proceso. (Ambiente, 2016)
- **Metodología para la determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-PE aplicado a los cuerpos de agua continentales Superficiales:** se empleó la metodología oficial del Índice de Calidad del Agua Peruano (ICA-PE) establecida por el Ministerio del Ambiente, la cual permite evaluar el estado general ponderada de parámetro físico, químico y microbiológicos. (Ministerio de Agricultura y Riego, 2018)

4.4.1. Técnica

Las principales técnicas utilizadas fueron:

- Aplicación del Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N°010-2016-ANA).
- Cumplimiento del Decreto Supremo N.° 003-2010-MINAN, sobre Límites Máximos Permisibles (LMP) para descargas de efluentes.
- **Observación directa:** Permitió identificar de manera preliminar el estado actual de la laguna Langui – Layo y las condiciones de los puntos de vertimientos de efluentes.
- **Toma de muestras de aguas:** realizada conforme al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N.° 010-2016-ANA)

4.5. Procedimientos

4.5.1. Establecimiento de número de la red de puntos de monitoreo

Se establecieron un total de 10 puntos de monitoreo distribuidos en los distritos de Langui y Layo. En cada distrito se definieron 4 puntos destinados al análisis de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y 1 punto correspondiente a los Límites Máximos Permisibles

(LMP) en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). En conjunto, se obtuvo una red conformada por 8 puntos para ECA y 2 puntos para LMP.

4.5.2. Codificación de puntos de muestreo

La codificación de los puntos de muestreo se realizó de acuerdo con el Protocolo Nacional Para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. Según esta normativa, el código de cada punto de muestreo se compone de los siguientes elementos:

- **Sigla del tipo de cuerpo de agua:** en el caso de laguna naturales artificiales o lagos corresponde la letra **L**.
- **Sigla del nombre del cuerpo de agua:** formada por las primeras cuatro letras del nombre del cuerpo receptor. Para la laguna Langui corresponde **LANG** y para la laguna Layo corresponde **LAYO**.
- **Numeración continua:** los puntos se numeran de manera ascendente según el orden de establecimiento en el monitoreo.

De esta forma, los puntos de monitoreo fueron identificados de manera clara y sistemática, asegurando la trazabilidad y la correcta gestión de los datos obtenidos en la investigación.

a. Puntos de monitoreo -ECA

Tabla 5

Cuadro de puntos de monitoreo ECA Langui - codificado

Puntos de muestreo codificado- Langui
LLang1 (14°26'05"S 71°16'14"W.)
LLang2 (14°26'08"S 71°16'11"W)
LLang3 (14°26'09"S 71°16'06"W)
LLang4 (14°26'06"S 71°16'02"W)

Tabla 6*Cuadro de puntos de monitoreo ECA Layo – codificado*

Puntos de muestreo codificado- Layo
LLayo1 (14°29'48"S 71°09'28"W)
LLayo2 (14°29'51"S 71°09'31"W)
LLayo3 (14°29'55"S 71°09'32"W)
LLayo4 (14°29'59"S 71°09'29"W)

b. Punto de monitoreo – LMP**Tabla 7***Cuadro de puntos de monitoreo LMP Langui - codificado*

Puntos de muestreo codificado- Langui
LLang(LMP) 14°26'03"S 71°16'07"W.

Tabla 8*Cuadro de puntos de monitoreo LMP Layo - codificado*

Puntos de muestreo codificado- Layo
LLayo(LMP) 14°29'54"S 71°09'24"W

4.5.3. Preparación de material y equipos

Para la ejecución del monitoreo se llevó a cabo la preparación previa de los materiales y equipos necesarios con el fin de garantizar la correcta toma de muestras y el cumplimiento de los protocolos establecidos.

En primer, se dispuso de los formatos oficiales correspondientes, tales como la cadena de custodia, que asegura la trazabilidad y validez de las muestras recolectadas.

Adicionalmente, se realizó la revisión de los frascos de muestreo estériles, coolers, microgeles y demás insumos necesarios para la conservación adecuada de las muestras, manteniendo la

integridad de los parámetros físico, químico y microbiológicos que serían analizados posteriormente en laboratorio.

De esta manera, la preparación de los materiales y equipos constituyo una etapa fundamental para garantizar la confiabilidad y representatividad de los resultados obtenidos en la investigación.

Tabla 9

Cuadro de materiales para la toma de muestreo

PREPARACION DE MATERIALES PARA EL MUESTREO DE AGUA	
Medio de transporte	<ul style="list-style-type: none"> • Camioneta
Logística	<ul style="list-style-type: none"> • Mapa de localización de la red de puntos de monitoreo. • Marcadores de tinta indeleble • Cinta de embalaje • Cámara digital • Cadena de custodia • GPS
Muestreo	<ul style="list-style-type: none"> • Coolers grandes y pequeños • Ice pack • Preservantes • Frascos de vidrio transparente o ámbar • Frascos de plástico
Limpieza y eliminación de impurezas	<ul style="list-style-type: none"> • Papel absorbente • Bolsas rojas para eliminación de epps
Equipo de protección personal	<ul style="list-style-type: none"> • Guantes descartables • Mascarillas descartables • Cofia

4.5.4. Fecha de trabajo de campo

El monitoreo de la calidad del agua se realizó el día 15 de diciembre del 2024, en cumplimiento del cronograma establecido. Esta actividad fue ejecutada en coordinación con el

Laboratorio Louis Pasteur, garantizando el respaldo técnico y la adecuada gestión de las muestras para su análisis posterior.

- **Recipientes utilizados para el muestreo**

Los frascos empleados para el monitoreo fueron proporcionados por el Laboratorio Louis Pasteur S.R.L. Dichos recipientes se encontraban debidamente estandarizados, esterilizados y etiquetados para asegurar su correcta identificación y trazabilidad durante todo el proceso de recolección, conservación y transporte de las muestras.

Tabla 10

Cuadro de tipos de recipientes para el muestreo

PARAMETROS	ENVASE
Aceite y grasas	plástico - polipropileno de 500ml
Demanda Bioquímica de Oxígeno	plástico - polipropileno de 500ml
Demandad Química de Oxígeno	Vidrio ámbar de 1000ml
Solidos totales suspendidos	plástico - polipropileno de 250ml
pH	plástico - polipropileno de 500ml
Oxígeno disuelto	plástico - polipropileno de 500ml
Conductividad	plástico - polipropileno de 500ml
color	plástico - polipropileno de 250ml
temperatura	plástico - polipropileno de 500ml
Coliformes termotolerables	plástico - polipropileno de 250ml

4.5.5. Método de muestreo

a) Etapa de pre-campo

Esta etapa tuvo como propósito la planificación y coordinación previa al trabajo de campo, con el fin de garantizar la correcta ejecución del muestreo y la representatividad de los puntos de estudio. Las actividades realizadas fueron:

- Revisión cartográfica y georreferenciación mediante GPS.

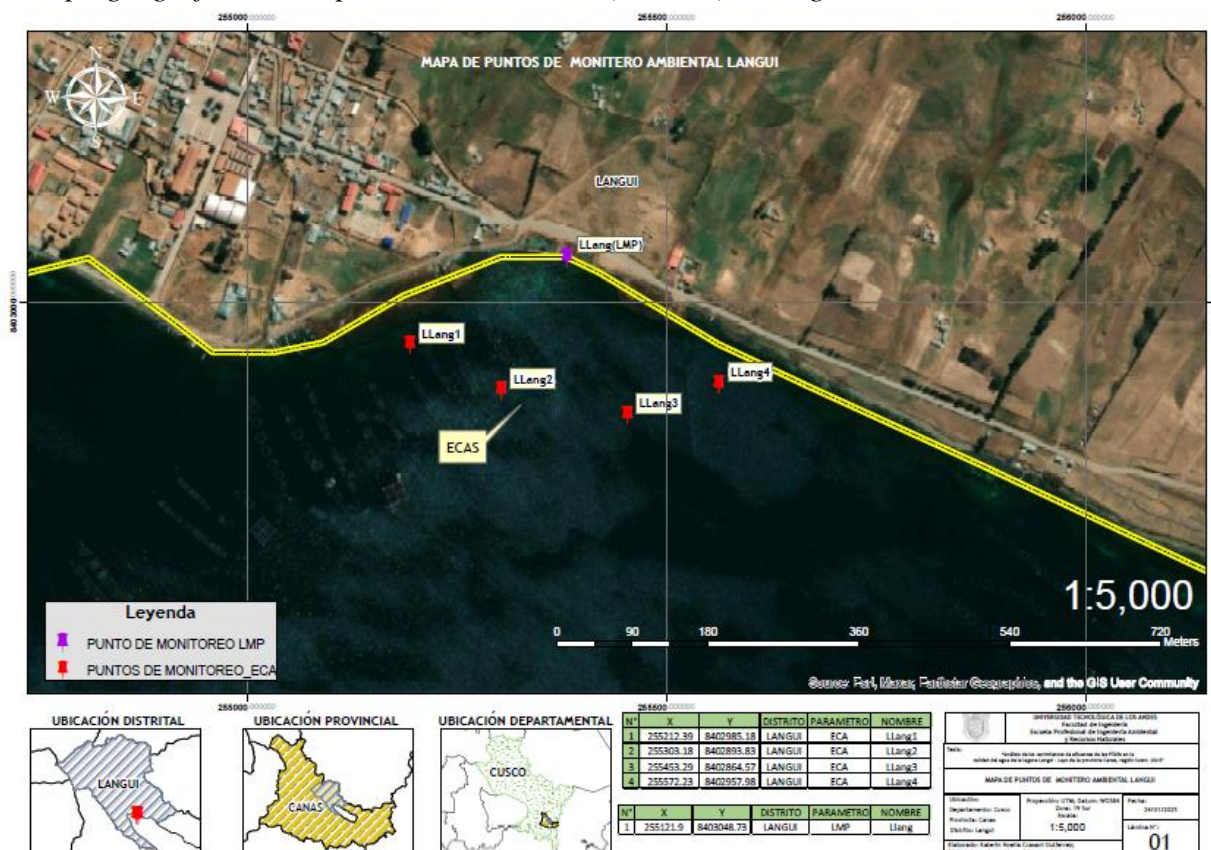
- Punto de monitoreo de agua de Langui:** en el distrito de Langui se establecieron un total de cinco puntos de monitoreo, 04 putos destinados a la evaluación de la calidad del agua en la laguna, en concordancia con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y un (01) punto ubicado en la descarga de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), correspondientes a la evaluación de los Límites Máximos Permisibles (LMP).

La ubicación de los puntos de ECA fue definida estratégicamente a una distancia aproximada de 200 metros del área de influencia de los vertimientos, con el fin de obtener información representativa sobre el impacto en el cuerpo de agua. En tanto, el punto de LMP se localizó en el punto de salida del efluente tratado por la PTAR.

Todos los puntos fueron georreferenciados mediante GPS y codificados siguiendo los lineamientos del Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, asegurando la correcta identificación, trazabilidad y fiabilidad de los obtenidos

Figura 6

Mapa geográfico de los puntos de monitoreo (WGS84) – Langui



- Punto de monitoreo de agua de Layo:** en el distrito de Layo se establecieron un total de cinco puntos de monitoreo, 04 puntos destinados a la evaluación de la calidad del agua en la laguna, en concordancia con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y un (01) punto ubicado en la descarga de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), correspondiente a la verificación de los Límites Máximos Permisibles (LMP).

Los puntos de monitoreo de ECA fueron ubicados estratégicamente a una distancia aproximada de 200 metros del área de descarga de efluentes, con le propósito de evaluar la representatividad de las condiciones ambientales del cuerpo de agua. Por su parte, el punto de LMP se localizó en la salida del efluente tratado de la PTAR de Layo.

Todos los puntos fueron georreferenciados con GPS y codificados de acuerdo con el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, garantizando la correcta identificación, trazabilidad y calidad de los datos obtenidos.

Figura 7

Mapa geográfico de los puntos de monitoreo (WGS84) - Layo



- Definición y establecimiento de los puntos de muestreo
- Verificación de los materiales de toma de muestra.
- Elaboración de fichas de campo y cadena de custodia
- Inspección ocular preliminar del área de estudio.
- **Rotulado de los frascos de muestras:** Los frascos destinados al muestreo fueron rotulados previamente con plumón indeleble, a fin de garantizar la permanencia de la información durante todo el proceso de recolección, transporte y análisis. Asimismo, se utilizaron etiquetas autoadhesivas resistentes a la humedad y a bajas temperaturas. Cada frasco fue identificado con los siguientes

- Datos:

Tabla 11

Cuadro de rotulado de los frascos

DATOS DEL ROTULADO
Código de la muestra
Nombre del punto de monitoreo
Fecha y hora de recolección
Nombre del responsable del muestreo
Parámetro o análisis correspondiente

b) Etapa de campo

En esta fase se ejecutó el muestreo in situ de los parámetros físico, químicos y microbiológicos de la laguna Langui - Layo. Las principales acciones desarrolladas fueron:

- Desplazamiento hacia el área de estudio de acuerdo al cronograma establecido y la ruta planificada.
- Georreferenciación de los puntos de muestreo mediante GPS, según lo definido en la etapa de pre – campo.

- Recolección de muestras de agua en botellas estériles, debidamente etiquetadas, conservadas en un coolers con microgeles a 4°C, y registradas en la ficha de campo correspondiente.
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), aceites y grasas:** se emplearon frascos de polipropileno de 500ml, opacos, con tapa rosca blanca, llenados completamente para evitar la presencia de burbujas de aire, y posteriormente conservados en cooler.
- **Sólidos suspendidos totales (SST), coliformes termotolerables y pH:** Se utilizaron frascos de polipropileno de 250ml con tapa rosca blanca. Las muestras se llenaron dejando un espacio del 10% y fueron preservadas en cooler.
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO) y temperatura:** se emplearon frascos de vidrio ámbar de 1000ml con tapa rosca. Las muestras se llenaron dejando un espacio del 10% y fueron preservadas en cooler.
- **Oxígeno disuelto (OD), color y conductividad:** Se recolectaron en frascos de polipropileno de 500ml, opacos, con tapa rosca blanca, dejando un espacio del 10% y manteniéndose en refrigeración en cooler.

c) Etapa de pos-campo

Posterior a la recolección, se realizaron las siguientes actividades para asegurar la calidad y trazabilidad de las muestras:

- Transporte inmediato de las muestras al laboratorio acreditado, manteniendo la temperatura de conservación en 4 °C.
- Entrega oficial de las muestras junto con la respectiva cadena de custodia firmada por el responsable del muestreo
- Registro de recepción en el laboratorio, verificando la integridad de los frascos y las condiciones de conservación
- Almacenamiento temporal bajo condiciones controladas hasta su procesamiento analítico, de acuerdo con los protocolos establecidos.

Este procedimiento de muestreo garantizo la confiabilidad y representatividad de las muestras, cumpliendo con lo establecido en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA)

4.5.6. Determinación de los parámetros a ser evaluados

Las muestras recolectadas fueron entregadas al Laboratorio Louis Pasteur S.R.L. acreditado y certificado por el INACAL, para su respectivo análisis.

En total se procesaron ocho (08) puntos de monitoreo correspondientes a los Entandares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, con setenta y dos (72) muestras, destinadas a la evaluación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Asimismo, se analizaron de dos (02) puntos de monitoreo correspondientes a los Límites Máximos Permisibles (LMP) para descarga de efluentes, con catorce (14) muestras.

En conjunto, se efectuaron ochenta y seis (86) análisis, enmarcados dentro de la Categoría 4: conservación del ambiente acuático en lagos y lagunas de acuerdo con la normativa vigente.

4.6. Análisis de datos

El análisis de datos se realizó a partir de la información obtenida en el monitoreo efectuado en la laguna Langui -Layo, complementada con registros proporcionados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Los resultados fueron organizados y procesados en función de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de la calidad del agua. Posteriormente, estos valores fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para descargas de efluentes, establecidos en la normativa nacional vigente, a fin de evaluar el grado de cumplimiento y determinar la influencia de los vertimientos en la conservación del recurso hídrico.

Asimismo, los datos fueron sistematizados en cuadros y gráficos estadísticos lo que permitió realizar un análisis comparativo, identificar tendencias y establecer conclusiones técnicas respecto al estado de la calidad del agua de la laguna.

Tabla 12

Cuadro de análisis de datos

PARÁMETROS	UNIDAD	TESISTA								ANA Autoridad Nacional del Agua		
		Periodo de la toma de muestra 16/12/2024								Periodo de toma de muestra 20/10/2020		
Punto de muestreo		LLang1	LLang2	LLang3	LLang4	LLay01	LLay02	LLay03	LLay04	LLang1	LLang2	LLang3
Temperatura	°C	20.7	20.4	20.5	20.6	20.5	20.5	20.4	20.1	13.72	14.44	15.67
pH	Unid	7.71	7.30	7.55	7.10	7.26	7.30	7.56	7.90	8.32	8.45	8.26
DBO	mg/L	37.75	25.83	22.85	17.22	7.60	9.20	9.04	7.32	2	<2	<2

Solidos suspendidos totales	mg/L	39.00	51.00	52.00	47.00	8.00	14.00	5.00	1.00	<3	<3	<3
Aceites y grasas	mg/L	0	0	2.11	7.04	0	0	0	0	<0.100	<0.100	<0.100
Oxígeno disuelto	mg/L	4.1	4.1	4.0	4.0	1.7	4.7	4.3	4.0	3.71	3.66	2.87
color	Pt/Co	35	35	35	30	5	5	5	5	-	-	-
conductividad	(μS/cm)	235.4	226.9	229.3	220.3	558.9	575.1	570	564.4	518.8	516.3	521.2
Cianuro libre	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.0006	<0.0006	<0.0006
Fenoles	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.0008	<0.0008	<0.0008
Fosforo total	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.010	<0.010	<0.010
amoniac	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	0.035	0.025	0.118
Nitrógeno total	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	0.047	0.043	0.107

Sulfuros	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.0010	<0.0010	<0.0010
Nitratos, NO3-	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.009	<0.009	<0.009
Nitratos	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.002	<0.002	<0.002
Plata	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.00008	<0.00008	<0.00008
Aluminio	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.003	<0.003	<0.003
oro	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	0.101	0.090	0.095
Bario	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0388	0.0395	0.0379
Berilio	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Bismuto	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Calcio	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	83.70	82.52	80.76

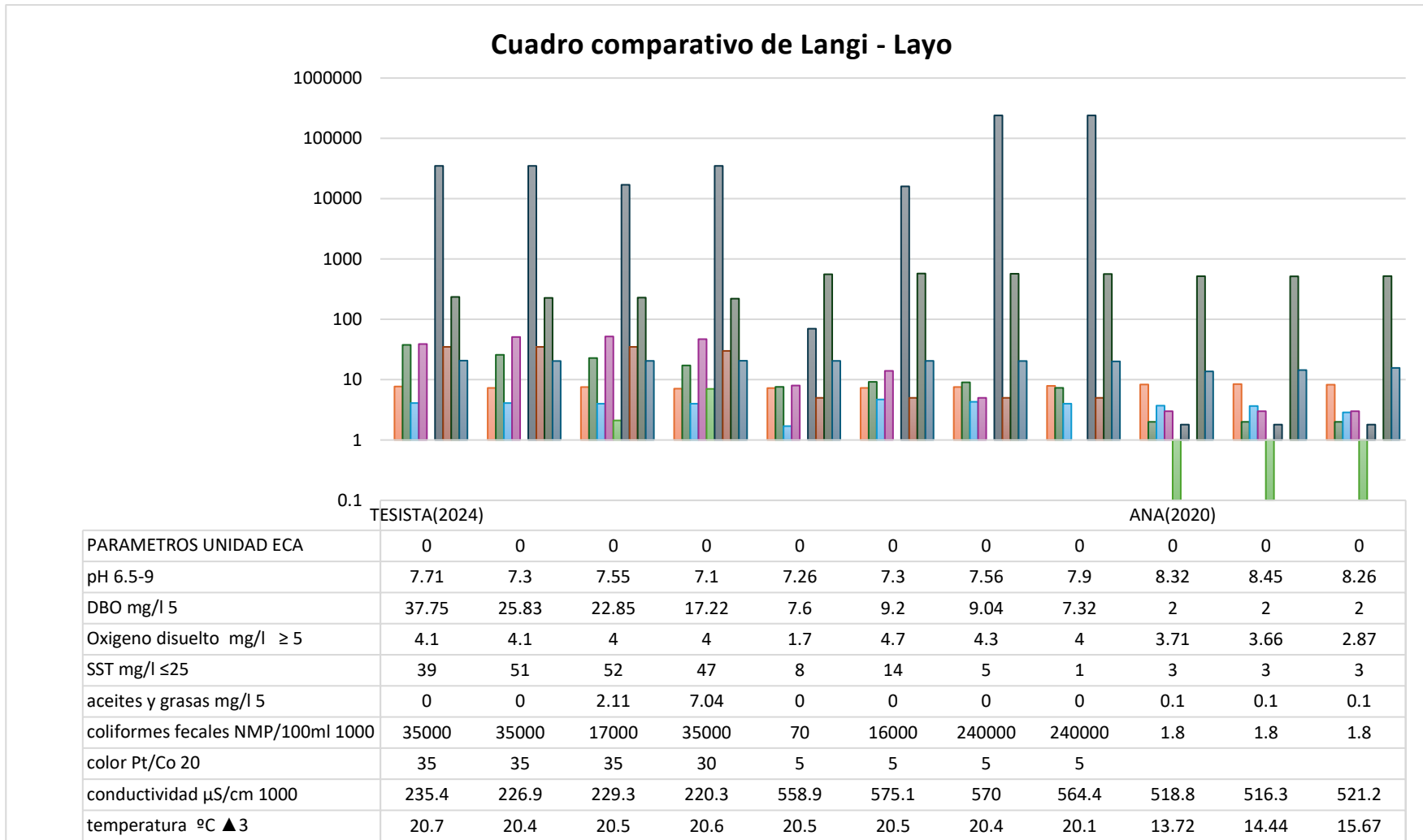
Cadmio	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.00010	<0.00010	<0.00010
Cobalto	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Cromo	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.0007	<0.0007	<0.0007
cobre	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Hierro	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.016	<0.016	<0.016
Mercurio	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.00005	<0.00005	<0.00005
Potasio	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	1.58	1.55	1.51
Litio	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0546	0.0527	0.0510
magnesio	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	11.64	11.55	11.52
Manganeso	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0009	0.0006	0.0017

Molibdeno	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0004	0.0004	0.0005
Sodio	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	29.17	28.55	29.22
Níquel	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.0002	<0.0002	<0.0002
fosforo	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.05	<0.05	<0.05
Plomo	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Antimonio	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Selenio	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.0006	<0.0006	<0.0006
Silicio	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	3.00	2.70	2.50
Estaño	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Estroncio	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	1.118	1.072	1.086

Titanio	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Talio	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Uranio	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Vanadio	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0008	<0.0002	<0.0002
zinc	mg/ L	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.008	<0.008	<0.008
Coliformes termo tolerables	NM P/10 0ml	35000	35000	17000	35000	70	16000	24000 0	240000	<1.8	<1.8	<1.8

Figura 8

Cuadro de análisis de datos



4.7. Consideraciones Éticas

El presente trabajo de investigación se desarrolló en estricto cumplimiento de los principios éticos que rigen la investigación científica. Dado que no se involucró la participación directa de seres humanos, no fue necesario solicitar consentimientos informados por escrito.

Asimismo, garantizo el respeto a la normativa ambiental vigente durante la ejecución del monitoreo, el cual se llevó a cabo en la laguna Langui – Layo sin ocasionar alteraciones al ecosistema ni a la dinámica social de las comunidades aledañas.

Los datos obtenidos fueron tratados con absoluta responsabilidad, empleándose exclusivamente con fines académicos, con el propósito de contribuir a la generación de nuevos conocimientos y de servir como base para futuros estudios relacionados.

Del mismo modo, todas las fuentes bibliográficas y documentales utilizadas fueron correctamente citadas, en observancia de los derechos de autor y de la propiedad intelectual.

V. Resultados y Discusión

5.1. Resultados

5.1.2. Resultados de los parámetros de Límites Máximos Permisibles (LMP) de la PTAR del distrito de Langui.

Los resultados obtenidos en el monitoreo de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del distrito de Langui fueron procesados en el laboratorio acreditado Louis Pasteur S.R.L. Dichos resultados corresponden a los parámetros físico, químicos y microbiológicos establecidos en el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM, que aprueba los Límites Máximos Permisibles para descargas de efluentes de PTAR domésticas.

a. Potencial de hidrogeno (pH)

De acuerdo con la normativa vigente, para la Categoría 4: conservación del ambiente acuático, el Límite Máximo Permissible (LMP) establecido en el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM para el parámetro de potencial de hidrogeno (pH) es de 6.5 – 8.5

En el punto de muestreo de **LLang-LMP**, correspondiente a la descarga de la PTAR del distrito de Langui, los resultados de laboratorio evidencian que el valor de pH obtenido se encuentra dentro del rango establecido por la normativa. Esto indica que efluente, en lo que respecta a este parámetro, cumple con las condiciones exigidas para la preservación del ambiente acuático.

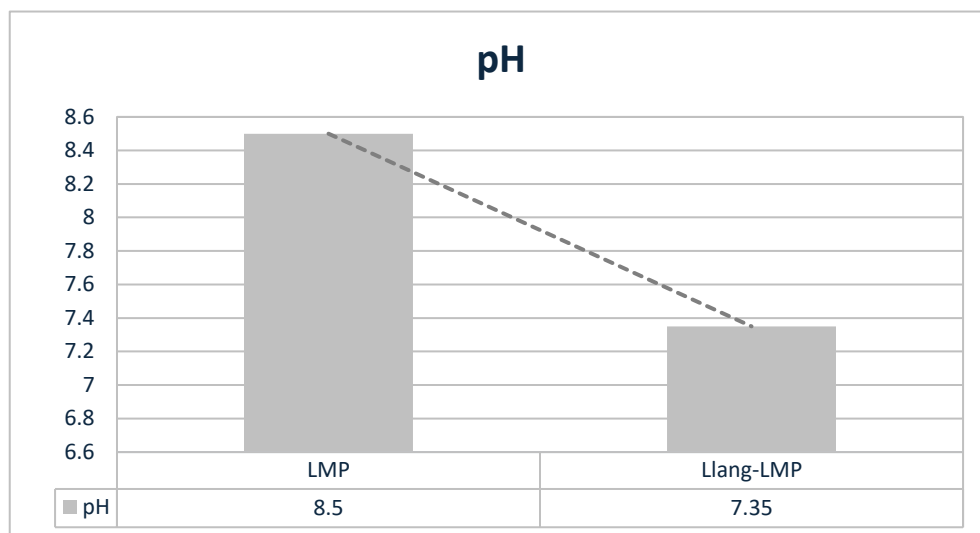
Tabla 13

Cuadro de resultado de potencial de hidrogeno (pH) – Langui

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible	Resultado de muestras
pH	Unidades de pH	6.5 – 8,5	7.35

Figura 9

Cuadro comparativo de los valores de pH - LMP - Langui



b. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

De acuerdo con el D.S. N.º 003-2010-MINAM, para la Categoría 4 (conservación del ambiente acuático), el LMP de la DBO₅ es de 100 mg/L. En el punto de muestreo LLang-LMP, correspondiente a la descarga de la PTAR del distrito de Langui, el valor de DBO₅ determinado se encuentra dentro del límite normativo, evidenciando el cumplimiento del efluente y una carga orgánica compatible con la protección de la laguna Langui-Layo.

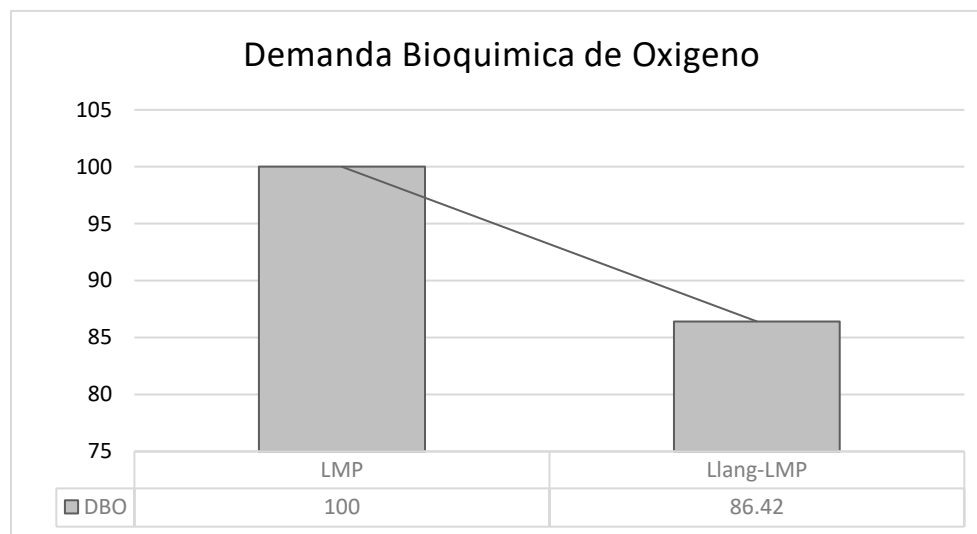
Tabla 14

Cuadro de resultado de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) – Langui

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible	Resultado de muestras
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	100	86.42

Figura 10

Cuadro comparativo de los valores de DBO₅ - LMP - Langui



c. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Conforme al D.S. N.º 003-2010-MINAM, para la Categoría 4 (conservación del ambiente acuático), el Límite Máximo Permissible (LMP) para la Demanda Química de Oxígeno (DQO) es de 200 mg/L. En el punto de muestreo LLang-LMP, correspondiente a la descarga de la PTAR del distrito de Langui, el valor de DQO determinado se encuentra dentro del límite normativo, evidenciando el cumplimiento del efluente y un bajo riesgo de aporte de carga orgánica que pueda afectar el equilibrio ecológico de la laguna Langui-Layo.

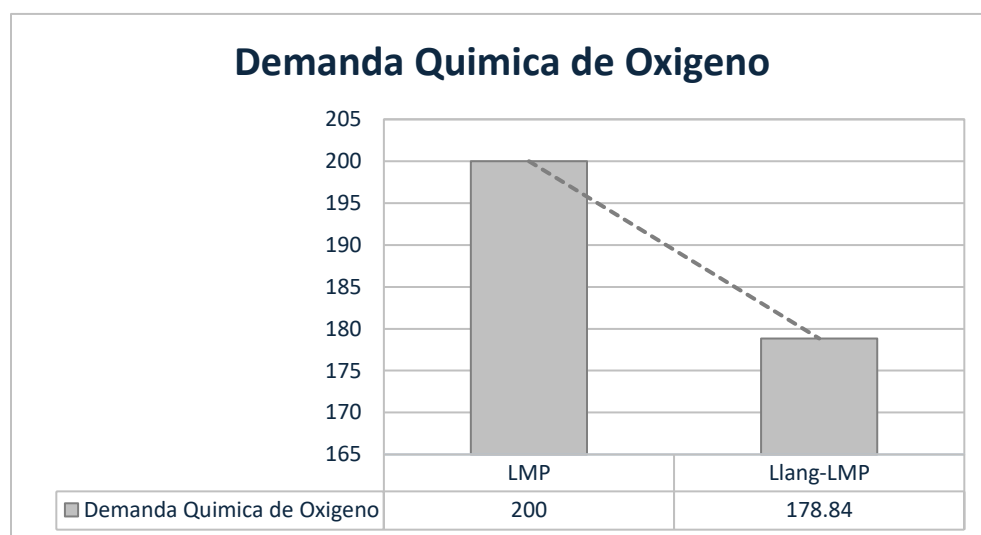
Tabla 15

Cuadro de resultado de Demanda Química de Oxígeno (DQO) – Langui

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible	Resultado de muestras
Demanda química de oxígeno	mg/L	200	178.84

Figura 11

Cuadro comparativo de los valores de DQO - LMP - Langui



d. Solidos Totales en suspensión

Según lo establecido en el D.S. N.º 003-2010-MINAM, el Límite Máximo Permissible (LMP) de Solidos Suspendidos Totales es de 150mg/L. En el punto de muestreo **Llang-LMP**, correspondiente a la descarga de la PTAR de Langui, los análisis evidencian valores dentro del rango normativo, lo que refleja cumplimiento ambiental y menor riesgo de afectación a la transparencia y a los procesos ecológicos de la laguna Langui-Layo.

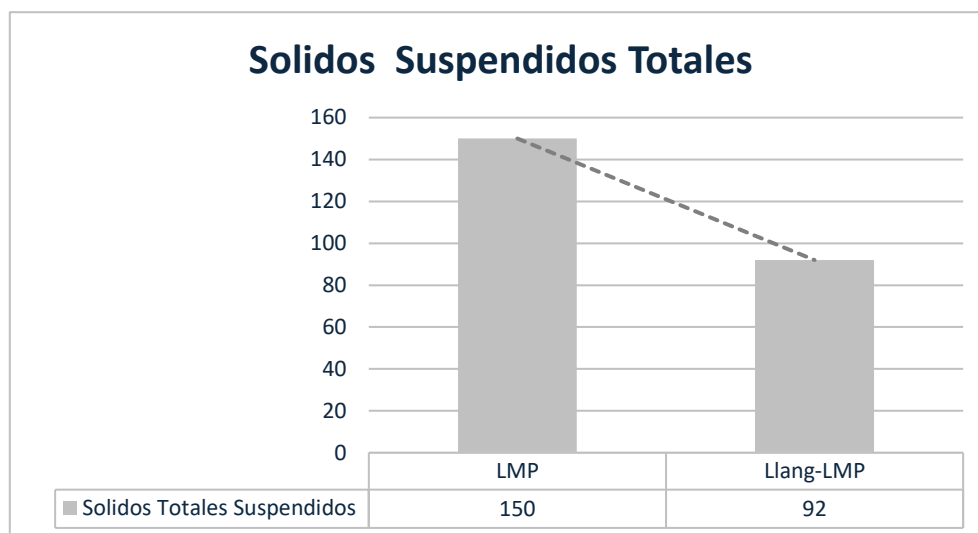
Tabla 16

Cuadro de resultado de Solidos Suspendidos Totales (SST)- LMP- Langui

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible	Resultado de muestras
Solidos suspendidos totales	mg/L	150	92

Figura 12

Cuadro comparativo de los valores de Sólidos Suspendidos Totales - LMP - Langui



e. Aceites y grasas

Según el D.S. N.º 003-2010-MINAM, el Límite Máximo Permissible (LMP) para aceites y grasas en la Categoría 4 es de 20mg/L. En el punto de muestreo de **Llang-LMP**, descarga de la PTAR del distrito de Langui, los análisis muestran una concentración superior al límite, evidenciando deficiencias en tratamiento y un riesgo para la oxigenación y equilibrio ecológico de la laguna Langui – Layo.

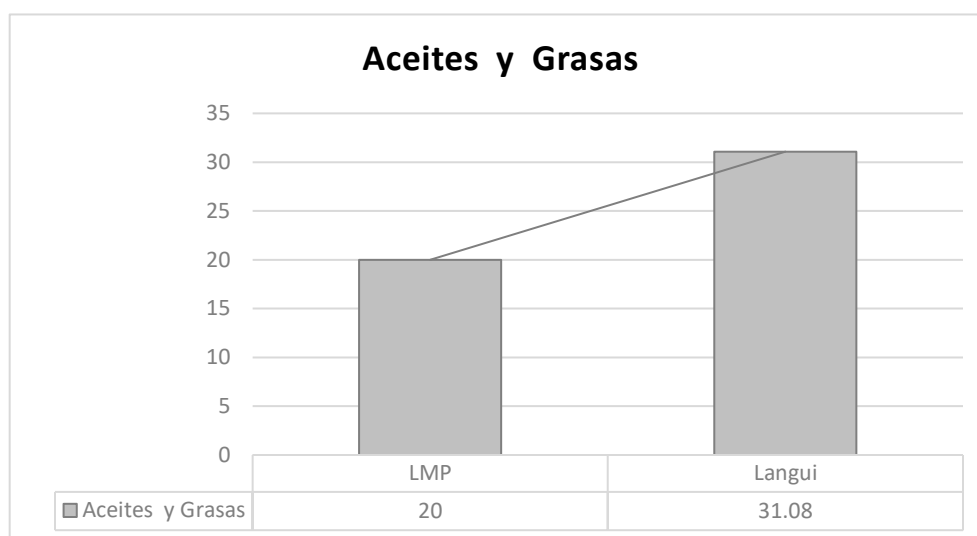
Tabla 17

Cuadro de resultado de aceites y grasas - LMP – Langui

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible	Resultado de muestras
Aceites y grasas	mg/L	20	31.08

Figura 13

Cuadro comparativo de los valores de aceites y grasas - LMP - Langui



f. Coliformes termo tolerables o fecales

De acuerdo con el D.S. N.º 003-2010-MINAM, el Límite Máximo Permissible (LMP) para coliformes termo tolerables o fecales en la Categoría 4 es de 10 000 NMP/100mL. En el punto de muestreo de **LLang-LMP**, los resultados superan dicho límite, lo que evidencia deficiencias en la PTAR de Langui y un riesgo sanitario y ambiental por contaminación de origen doméstico en la laguna Langui -Layo.

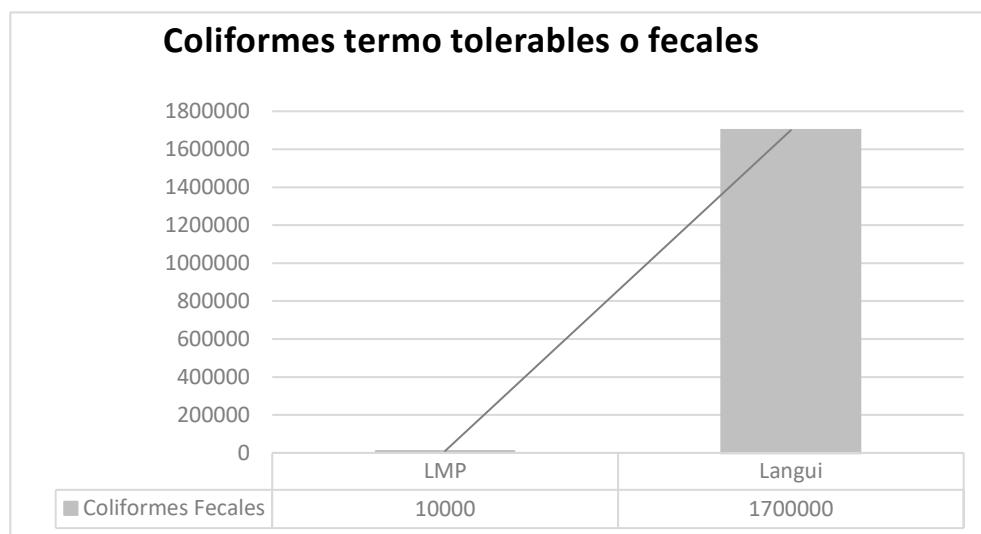
Tabla 18

Cuadro de resultado de coliformes termo tolerables o fecales - LMP – Langui

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible	Resultado de muestras
Coliformes termo tolerables o fecales	NMP/100ml	10 000	1 700 000 17x10 ⁵

Figura 14

Cuadro comparativo de los valores de coliformes termo tolerables o fecales - LMP – Langui



g. Temperatura

De acuerdo con el D.S. N.º 003-2010-MINAM, para la Categoría 4 la temperatura de los efluentes no debe superar los <35 °C respecto al cuerpo receptor. En el punto de muestreo LLang – LMP, los resultados se encuentran dentro de los rangos permitidos, lo que indica que el vertimiento de la PTAR de Langui no genera un impacto significativo en la laguna Langui – Layo.

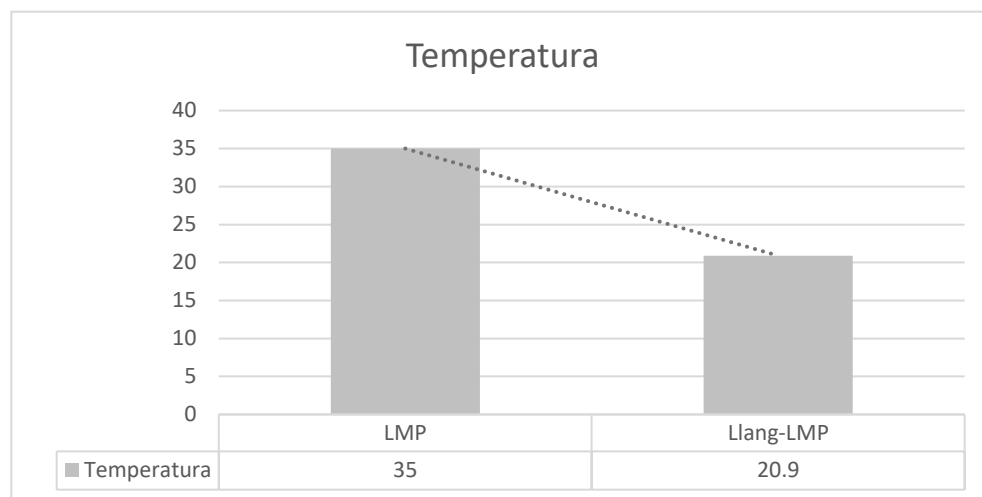
Tabla 19

Cuadro de resultado de temperatura - LMP – Langui

	Unidad de medida	Límite máximo permisible	Resultado de muestras
Temperatura	°C	<35	20.9

Figura 15

Cuadro comparativo de los valores de temperatura - LMP – Langui



5.1.2. Resultados de los parámetros evaluados en la PTAR del distrito de Langui

se presentan los valores obtenidos en los puntos de muestreo correspondiente a la descarga de la PTAR de Langui, los cuales han sido contrastados con los valores normativos de referencia.

Tabla 20

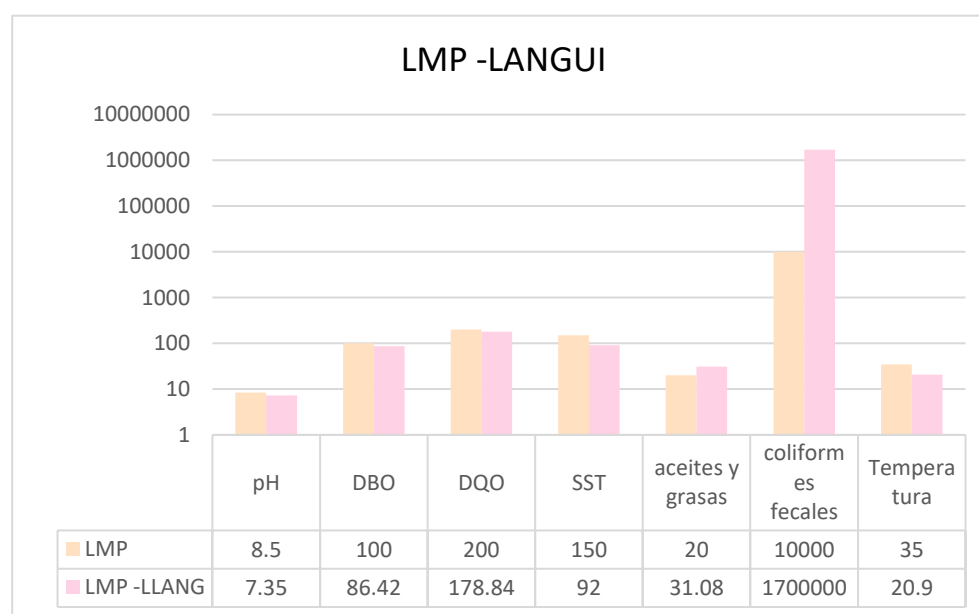
Cuadro de los parámetros evaluados LMP-Langui

PARAMETRO	UNIDAD	LMP (D.S.N. °003-2010- MINAM)	RESULTADOS OBTENIDOS	CUMPLIMIENTO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	100	86.42	SI
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	200	178.84	SI
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	150	92.00	SI

pH	-	6.5 – 8.5	7.35	SI
Coliformes Termo tolerantes	NMP/100ml	10000	1 700 000	NO
Aceites y grasas	mg/L	20	31.05	NO
temperatura	°C	<35	20.9	SI

Figura 16

Cuadro comparativo de los valores de LMP – Langui



Los resultados evidencian que algunos parámetros cumplen con los valores máximos permitidos, mientras que otros superan los límites establecidos, lo que indica deficiencias en el tratamiento de las aguas residuales en la PTAR del distrito de Langui

5.2. Resultados de los parámetros de Límites Máximos Permisibles de la PTAR del distrito de Layo

Los resultados obtenidos en el monitoreo de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del distrito de Layo fueron procesados en el laboratorio acreditado Louis Pasteur S.R.L. Dichos resultados corresponden a los parámetros físico, químicos y microbiológicos establecidos en el

Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM, que aprueba los Límites Máximos Permisibles para descargas de efluentes de PTAR domésticas.

a. Potencial de hidrogeno (pH)

Según el D.S.N. °003-2010-MINAM, el LMP para pH en la categoría 4 es de 6.5 – 8.5. En el punto de muestreo de **LLayo-LMP**, los resultados se encuentran ligeramente por debajo del rango, lo que evidencia una tendencia hacia la acidez y un funcionamiento no óptimo del proceso de neutralización en la PTAR de Layo, con posible impacto en el equilibrio químico del cuerpo receptor.

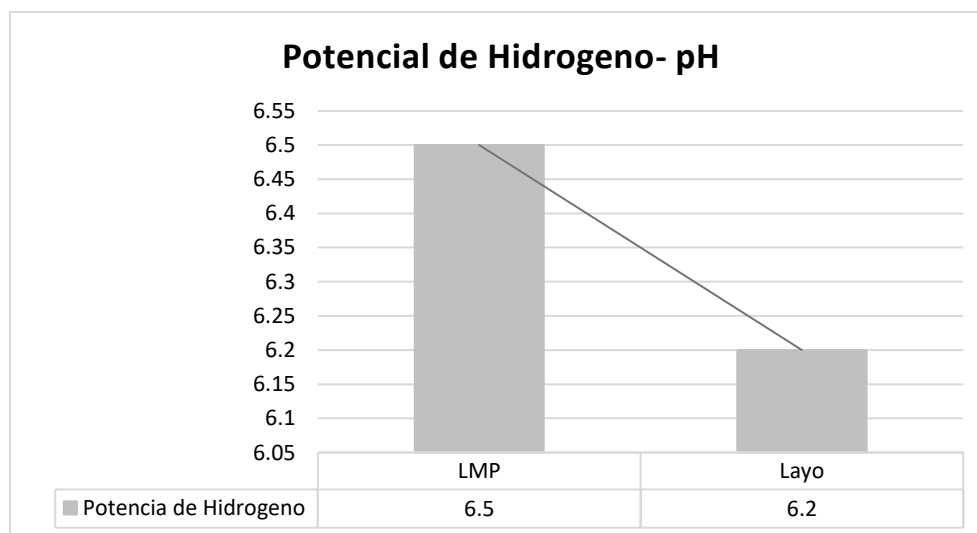
Tabla 21

Cuadro de resultados de potencial de hidrogeno (pH) - LMP – Layo

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible	Resultado de muestras
pH	Unidades de pH	6.5 – 8,5	6.20

Figura 17

Cuadro comparativo de los valores de potencial de hidrogeno (pH) - LMP – Layo



b. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Según el D.S. N°003-2010-MINAM, el LMP para DBO en la categoría 4 es de 100mg/L. En el punto de muestreo de LLayo-LMP, los resultados se encuentran dentro del límite establecido, lo que indica que la carga orgánica biodegradable del efluente no supera los niveles permitidos ni representa un riesgo inmediato de redacción del oxígeno disuelto en el agua.

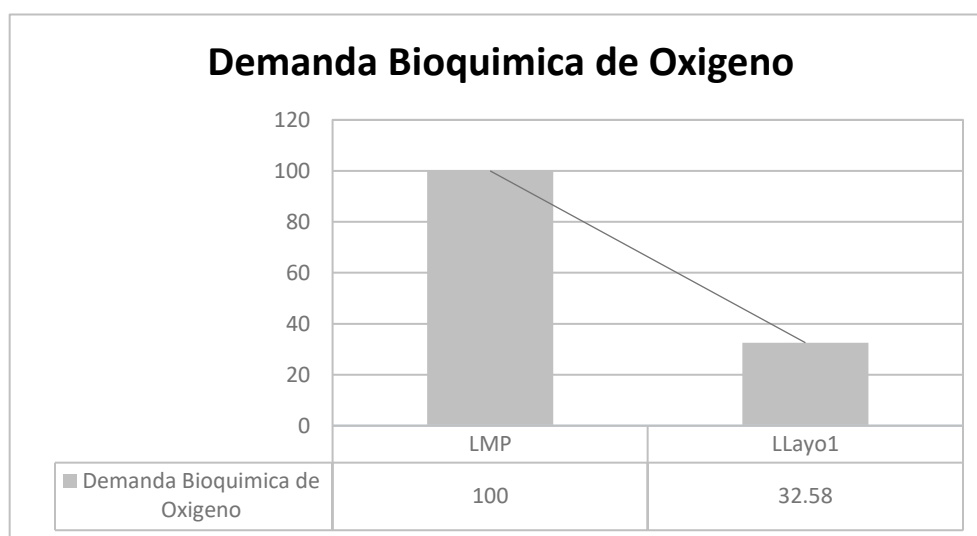
Tabla 22

Cuadro de resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) - LMP – Layo

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible	Resultado de muestras
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	100	32.58

Figura 18

Cuadro comparativo de los valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) - LMP – Layo



c. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Según el D.S. N°003-2010-MINAM, el LMP para DBO en la categoría 4 es de 200mg/L. En el punto de muestreo de LLayo-LMP, los resultados se encuentran dentro del límites establecido, lo que indica que la carga orgánica y sustancias químicas presentes en el efluente no exceden los valores permitidos, reduciendo el riesgo de contaminación y agotamiento del oxígeno en la laguna.

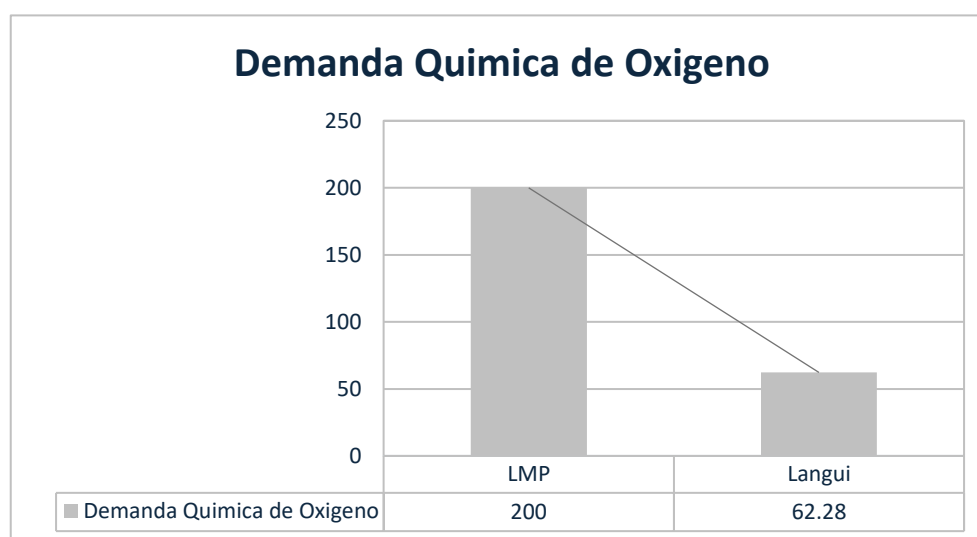
Tabla 23

Cuadro de resultados de Demanda Química de Oxígeno (DQO) - LMP – Layo

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible	Resultado de muestras
Demanda química de oxígeno	mg/L	200	62.28

Figura 19

Cuadro comparativo de los valores de Demanda Química de Oxígeno (DQO) - LMP – Layo



d. Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Según el D.S. N°003-2010-MINAM, el LMP para SST en la categoría 4 es de 150mg/L

En el punto de muestreo de L Layo-LMP, los resultados se encuentran dentro del límite permitido, lo que demuestra que la concentración de partículas suspendidas no excede lo regulado y contribuye a mantener la transparencia del agua y el equilibrio del ecosistema acuático.

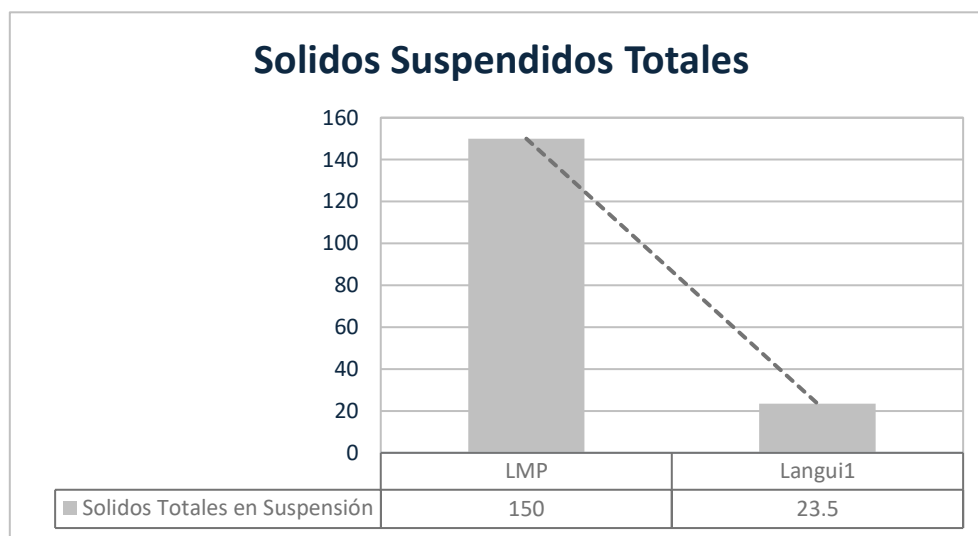
Tabla 24

Cuadro de resultados de Sólidos Suspendidos totales (SST) - LMP – Layo

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible	Resultado de muestras
Sólidos Suspendidos totales	mg/L	150	23.50

Figura 20

Cuadro comparativo de los valores de Sólidos Suspendidos Totales (SST) - LMP – Layo



e. Aceites y grasas

Según el D.S. N°003-2010-MINAM, el LMP para aceites y grasas en la categoría 4 es de 20mg/L. En el punto LLayo-LMP, los resultados se encuentran dentro de rango permitido, lo que evidencia que el efluente no aporta la oxigenación o el equilibrio del ecosistema acuático.

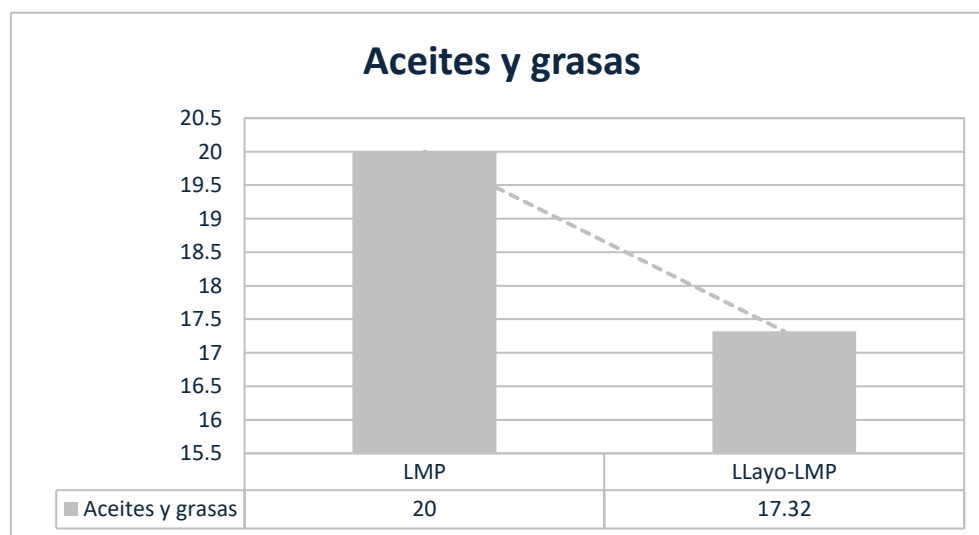
Tabla 25

Cuadro de resultados de aceites y grasas - LMP – Layo

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible	Resultado de muestras
Aceites y grasas	mg/L	20	17.32

Figura 21

Cuadro comparativo de los valores de aceites y grasas - LMP – Layo



f. Coliformes termo tolerables o fecales

Categoría 4: LMP = 10 000 NMP/100mL.

En el punto de muestreo de LLayo-LMP, los resultados de laboratorio para coliformes termo tolerantes encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles del D.S. N.º003-2010-MINAM.ello evidencia que el efluente tratado por la PTAR de Layo cumple con la normativa, sin representar riesgo significativo de contaminación fecal en la laguna Langui-Layo.

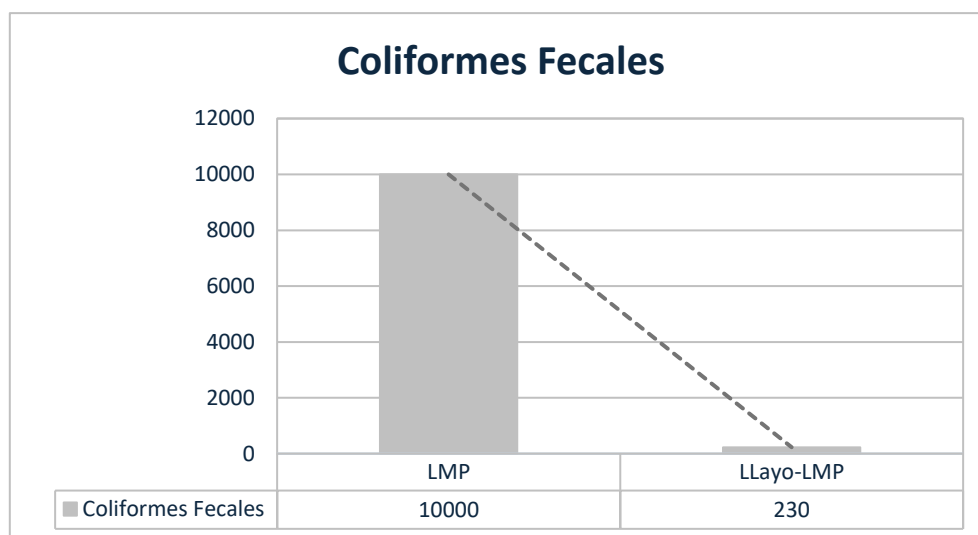
Tabla 26

Cuadro de resultados de coliformes termo tolerables o fecales - LMP – Layo

Parámetro	Unidad de medida	Límite máximo permisible	Resultado de muestras
Coliformes termo tolerables o fecales	NMP/100ml	10 000	230
			23x10

Figura 22

Cuadro comparativo de los valores de coliformes termo tolerables o fecales - LMP – Layo



g. Temperatura

Categoría 4: LMP = <35 °C respecto al cuerpo receptor.

En el punto de muestreo LLang – LMP, los análisis de laboratorio muestran que la temperatura del efluente se mantiene dentro de los límites establecidos por el D.S. N. °003-2010-MINAM.

Este cumplimiento indica que la descarga de la PTAR de Layo no ocasiona alteraciones térmicas en el cuerpo receptor, preservando la estabilidad del ecosistema acuático.

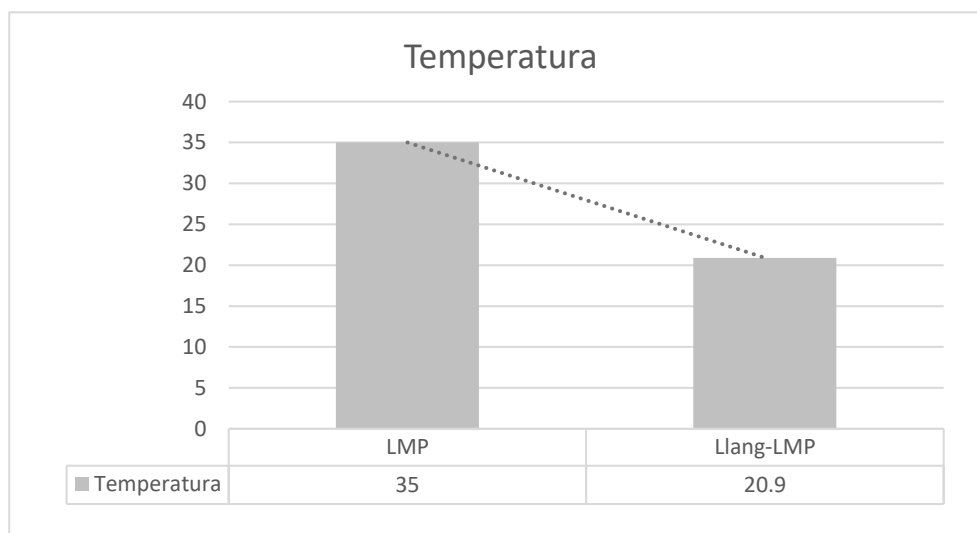
Tabla 27

Cuadro de resultado de temperatura - LMP – Langui

	Unidad de medida	Límite máximo permisible	Resultado de muestras
Temperatura	°C	<35	20.5

Figura 23

Cuadro comparativo de los valores de temperatura - LMP – Langui



5.1.2. Resultados de los parámetros evaluados en la PTAR del distrito de Layo

Se presentan los valores obtenidos en los puntos de muestreo correspondiente a la descarga de la PTAR de Layo, los cuales han sido contrastados con los valores normativos de referencia.

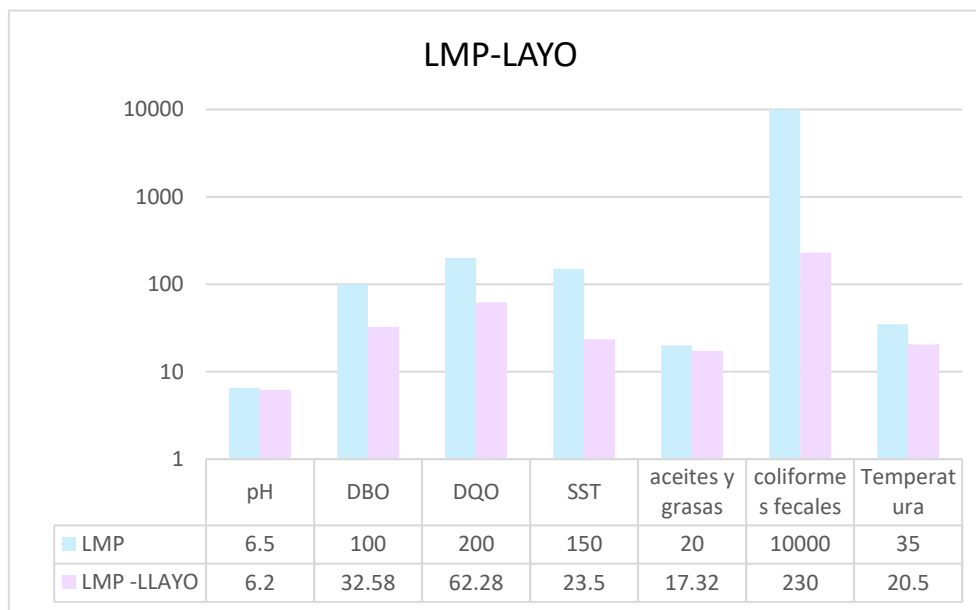
Tabla 28

Cuadro de resultados de los parámetros evaluados - LMP – Layo

PARAMETRO	UNIDAD	LMP (D.S.N. °003-2010- MINAM)	RESULTADOS OBTENIDOS	CUMPLIMIENTO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	100	32.58	SI
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	200	62.28	SI
Solidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	150	23.50	SI
pH	-	6.5 – 8.5	6.20	NO
Coliformes Termo tolerantes	NMP/100ml	10000	230	SI
Aceites y grasas	mg/L	20	17.32	SI
Temperatura	°C	<35	20.5	SI

Figura 24

Cuadro comparativo de los valores de LMP – Layo



5.2. Resultados de los parámetros de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del agua – Langui

Los análisis realizados en los puntos de monitoreo de la laguna Langui correspondientes a la categoría 4: conservación del ambiente acuático y de acuerdo con el D.S. N. °004-2017-MINAM, arrojaron los siguientes:

a. Aceites y grasas

Categoría 4: ECA =5mg/L

En los puntos de muestreo LLang1, LLang2 y LLang3, los valores de aceite y grasas se encuentran dentro de los rangos establecidos por el D.S.N. °004-2017-MINAM.

No obstante, en LLang4, se registraron concentraciones superiores al valor permitido, evidenciando un incumplimiento normativo y la presencia de contaminación por hidrocarburos u otras sustancias oleosas en este sector de la laguna Langui.

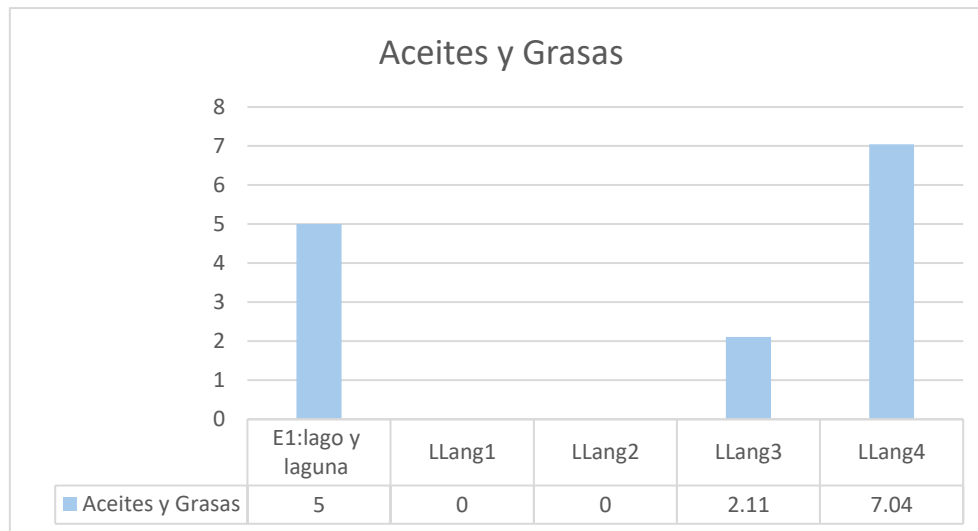
Tabla 29

Cuadro de resultado de aceites y grasas - ECA – Langui

ECA						
CATEGORIA 4						
Parámetro	Unidad de medida	Conservación del ambiente acuático	Resultado de muestras			
			E1: lago y lagunas	LLang1	LLang2	LLang3
Aceite y grasa	mg/L	5	0	0	2.11	7.04

Figura 25

Cuadro comparativo de los valores de aceites y grasas - ECA – Langui



b. Potencial de hidrogeno (pH)

Categoría 4: ECA= 6.5 – 9. En los puntos de muestreo LLang1, LLang2, LLang3, LLang4 correspondiente a la categoría 4: conservación del ambiente acuático, los valores de pH,

determinados en el laboratorio se encuentran dentro del rango establecido por los Estándares de Calidad Ambiental para agua, conforme al D.S.N.°004-2017-MINAM.

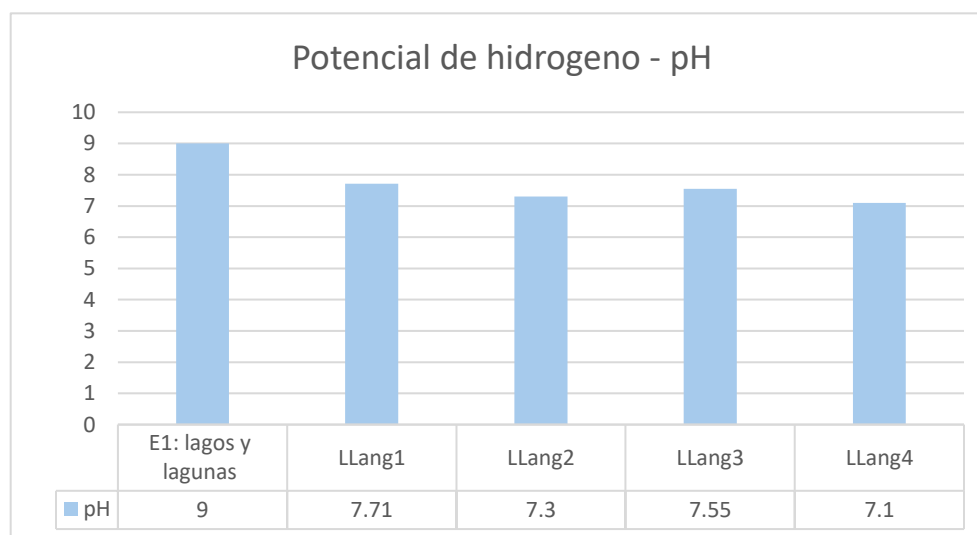
Tabla 30

Cuadro de resultado de potencial de hidrogeno (pH) - ECA – Langui

Parámetro	Unidad de medida	ECA	Resultado de muestras			
		CATEGORIA 4	LLang1	LLang2	LLang3	LLang4
		E1: lagos y lagunas				
pH	Unidad de pH	6.5 a 9	7.71	7.30	7.55	7.10

Figura 26

Cuadro comparativo de los valores de potencial de hidrogeno (pH) - ECA – Langui



c. Demanda Bioquímica de Oxígeno

Categoría 4: ECA= 5

En los puntos de muestreo LLang1, LLang2, LLang3, LLang4 correspondiente a la categoría 4: conservación del ambiente acuático, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

evidencian valores que superan el límite establecido en los Estándares de Calidad Ambiental para agua, conforme al D.S. N.°004-2017-MINAM.

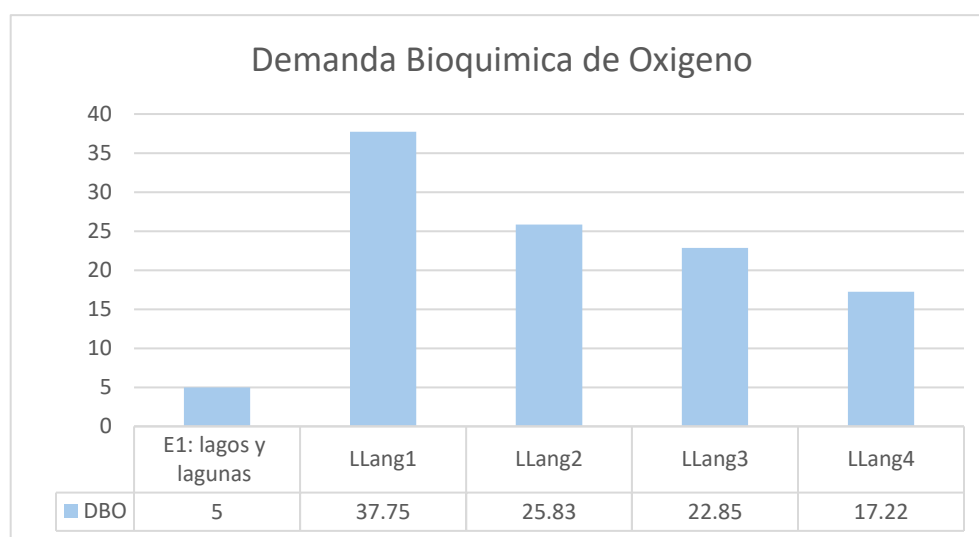
Tabla 31

Cuadro de resultado de potencial de hidrogeno (pH) - ECA – Langui

Parámetro	Unidad de medida	ECA				
		CATEGORIA 4	Resultado de muestras			
			E1: lagos y lagunas	LLang1	LLang2	LLang3
DBO ₅	mg/L	5	37.75	25.83	22.85	17.22

Figura 27

Cuadro comparativo de los valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) - ECA – Langui



d. Sólidos Suspendidos Totales

Categoría 4: ECA = ≤ 25

En los puntos de muestreo LLang1, LLang2, LLang3, LLang4, correspondientes a la categoría 4: conservación del ambiente acuático, los resultados de laboratorio obtenidos para el parámetro de sólidos suspendidos totales evidencian valores superiores al límite establecido en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, según lo dispuesto en el D.S. N°004-2017-MINAM.

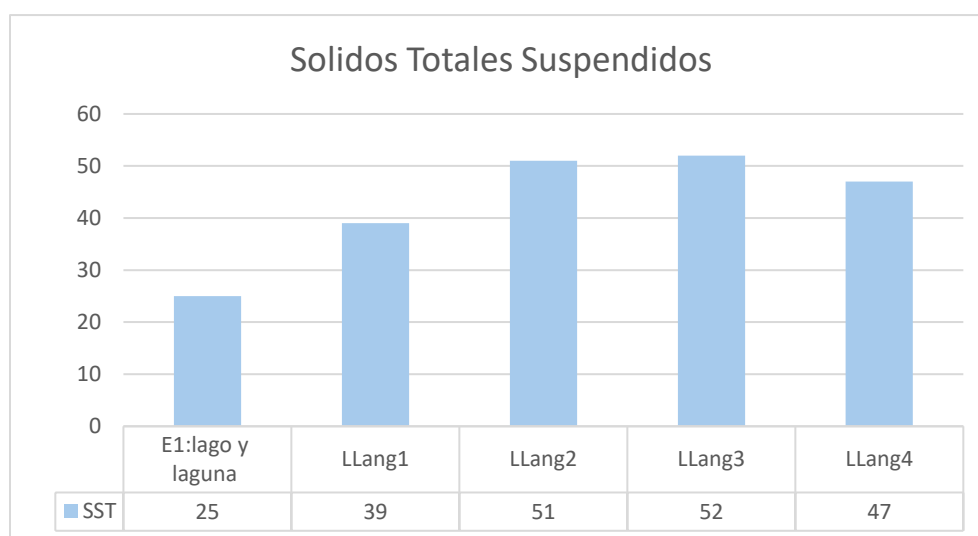
Tabla 32

Cuadro de resultado de Sólidos Suspendidos Totales (SST) - ECA – Langui

Parámetro	Unidad de medida	ECA	Resultado de muestras			
		CATEGORIA 4	LLang1	LLang2	LLang3	LLang4
		E1: lago y lagunas				
SST	mg/L	≤ 25	39.00	51.00	52.00	47.00

Figura 28

Cuadro comparativo de los valores de Sólidos Suspendidos Totales (SST) - ECA – Langui



e. Oxígeno disuelto

Categoría 4: ECA= ≥ 5

En los puntos de muestreo LLang1, LLang2, LLang3, LLang4 correspondiente a la categoría 4: conservación del ambiente acuático, los resultados de laboratorio obtenidos para el parámetro de oxígeno disuelto, muestran valores por debajo del mínimo establecido en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, conforme a lo estipulado en el D.S. N.°004-2017-MINAM

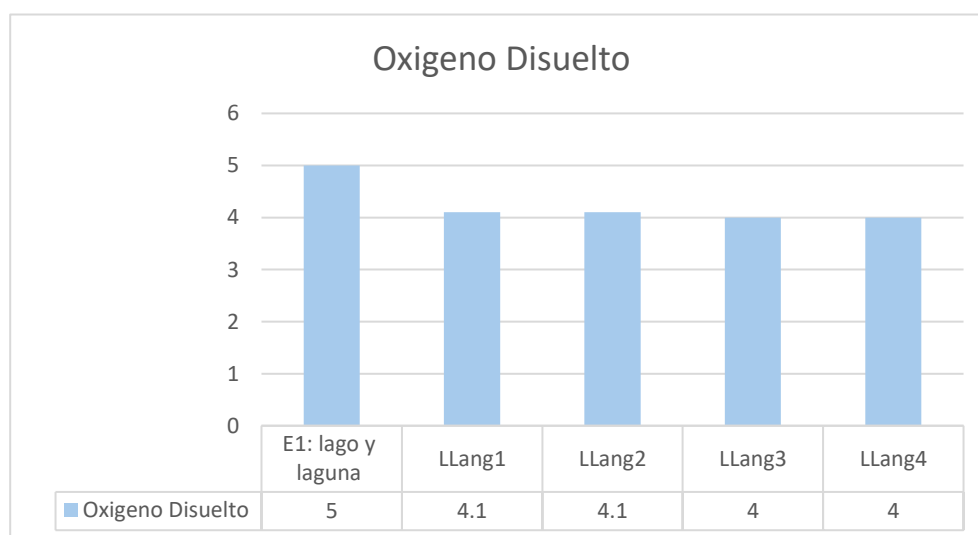
Tabla 33

Cuadro de resultado de Oxígeno Disuelto - ECA – Langui

Parámetro	Unidad de medida	ECA	Resultado de muestras			
		CATEGORIA 4	LLang1	LLang2	LLang3	LLang4
Oxígeno disuelto	mg/L	E1: lagos y lagunas ≥ 5	4.1	4.1	4.0	4.0

Figura 29

Cuadro comparativo de los valores de Oxígeno disuelto - ECA – Langui



f. Color

Categoría 4: ECA= 20(a)

En los puntos de muestreo LLang1, LLang2, LLang3, LLang4, correspondientes a la categoría 4: conservación el ambiente acuático, los resultados de laboratorio obtenidos para el parámetro de color se encuentran dentro de los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, conforme a lo estipulado en el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM.

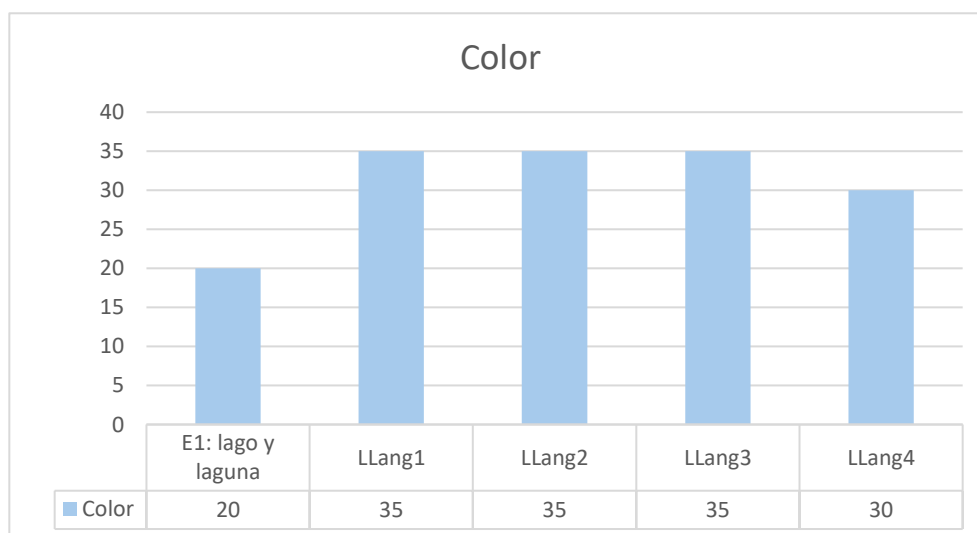
Tabla 34

Cuadro de resultado de Color - ECA – Langui

Parámetro	Unidad de medida	ECA		Resultado de muestras			
		CATEGORIA 4		LLang1	LLang2	LLang3	LLang4
		E1: lagos y lagunas					
Color	Pt/Co	20(a)		35	35	35	30

Figura 30

Cuadro comparativo de los valores de color - ECA – Langui



g. Conductividad

Categoría 4: ECA= 1000

En los puntos de muestreo LLang1, LLang2, LLang3, LLang4 correspondiente a la categoría 4: conservación del ambiente acuático, los resultados de laboratorio obtenidos para el parámetro de conductividad se encuentran dentro de los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, según lo dispuesto en el D.S. N°004-2017-MINAM.

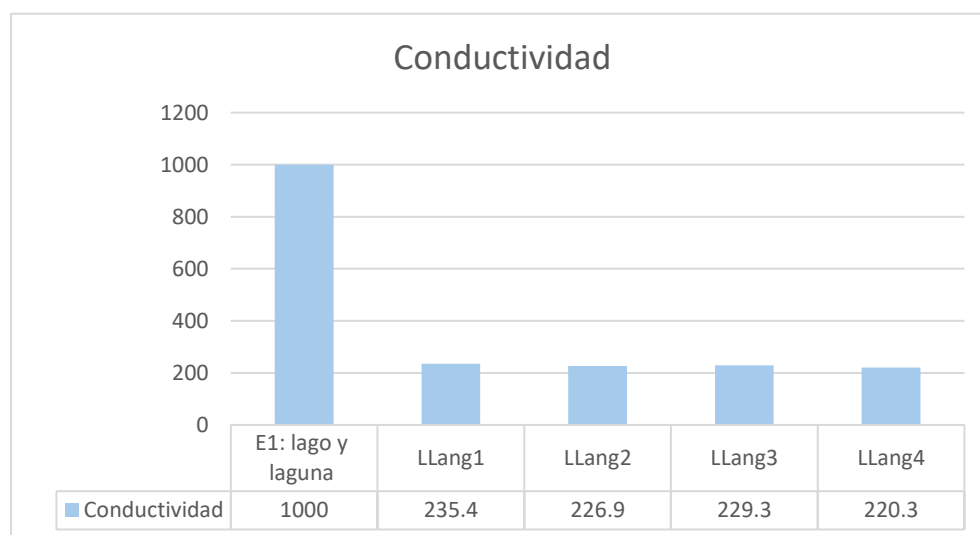
Tabla 35

Cuadro de resultado de Conductividad - ECA – Langui

Parámetro	Unidad de medida	ECA	Resultado de muestras			
		CATEGORIA 4	LLang1	LLang2	LLang3	LLang4
Conductividad	µS/cm	1000	235.4	226.9	229.3	220.3

Figura 31

Cuadro comparativo de los valores de conductividad - ECA – Langui



h. Temperatura

Categoría 4: ECA= $\Delta 3$

En los puntos de muestreo LLang1, LLang2, LLang3, LLang4 correspondiente a la categoría 4: conservación del ambiente acuático, los resultados de laboratorio obtenidos para el parámetro de temperatura se encuentran dentro de los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, conforme a lo dispuesto en el D.S. N.°004-2017-MINAM

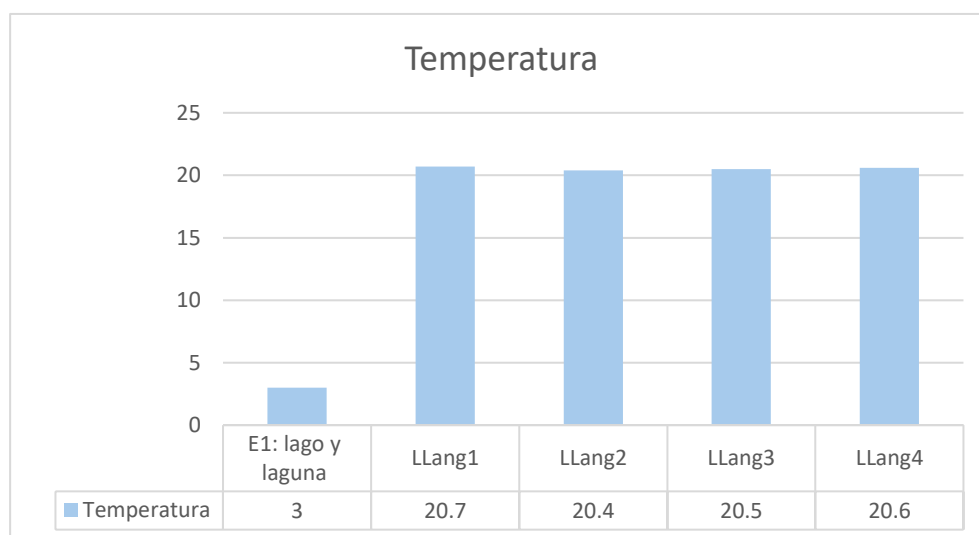
Tabla 36

Cuadro de resultado de Temperatura - ECA – Langui

Parámetro	Unidad de medida	ECA	Resultado de muestras			
		CATEGORIA 4	LLang1	LLang2	LLang3	LLang4
Temperatura	°C	E1: lagos y lagunas $\Delta 3$	20.7	20.4	20.5	20.6

Figura 32

Cuadro comparativo de los valores de temperatura - ECA – Langui



i. Coliformes termo tolerables o fecales

Categoría 4: ECA =5

En los puntos de muestreo LLang1, LLang2, LLang3, LLang4 correspondiente a la categoría 4: conservación del ambiente acuático, los resultados de laboratorio obtenidos para el parámetro de coliformes termo tolerables demuestran que se encuentran por encima de los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, según lo dispuesto en el D.S. N.º004-2017-MINAM.

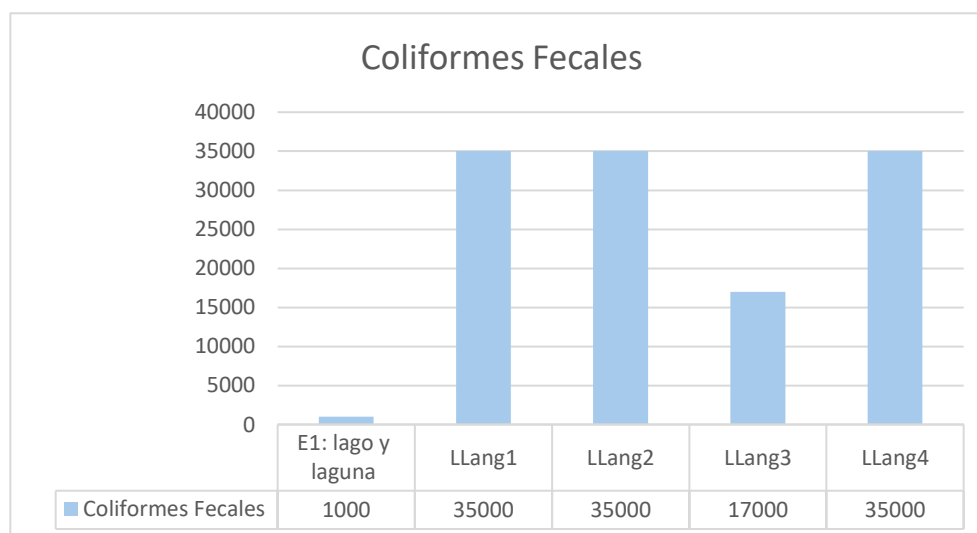
Tabla 37

Cuadro de resultado de coliformes termo tolerables o fecales - ECA – Langui

Parámetro	Unidad de medida	ECA	Resultado de muestras			
		CATEGORIA	LLang1	LLang2	LLang3	LLang4
coliformes termo tolerables	NMP/100ml	E1: lagos y lagunas 1000	35 000	35 000	17.000	35 000

Figura 33

Cuadro comparativo de los valores de coliformes termo tolerables - ECA – Langui



2.5.1. Resultados de los parámetros evaluados en la PTAR del distrito de Langui-ECA

Se presentan los valores obtenidos en los puntos de muestreo correspondiente a la descarga de la PTAR de Langui, los cuales han sido contrastados con los valores normativos de referencia.

Tabla 38

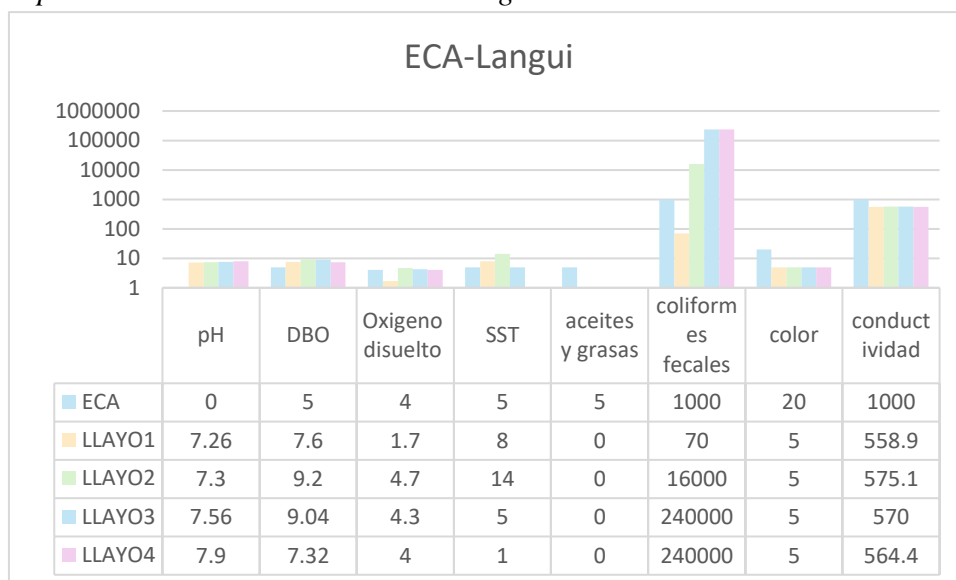
Cuadro de resultados de los parámetros evaluados - ECA – Langui

PARAMETRO	UNIDAD	LMP (D.S.N. °003- 2010- MINA M)	RESULTADOS OBTENIDOS				CUMPLIMIENTO
			Llang1	Llang2	Llang3	Llang4	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	37.75	25.83	22.85	17.22	SI
Solidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	≤25	39	51	52	47	NO
pH	-	6.5 – 9	7.71	7.30	7.5	7.10	SI
Coliformes Termo tolerantes	NMP/100 ml	1000	3500 0	3500 0	1700 0	3500 0	NO
Aceites y grasas	mg/L	5	0	0	2.11	7.4	NO
Temperatura	°C	▲3	20.7	20.4	20.5	20.6	SI
Color	ucv	20	35	35	35	30	NO

Conductividad	μS/cm	1000	235.4	226.9	229.3	220.3	SI
Oxígeno disuelto	mg/L	≥5	4.1	4.1	4	4	NO

Figura 34

Cuadro comparativo de los valores de ECA-Langui



2.6. Resultados de los parámetros de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua – Layo

Los análisis realizados en los puntos de monitoreo de la laguna Layo correspondientes a la categoría 4: conservación del ambiente acuático y de acuerdo con el D.S. N. °004-2017-MINAM, arrojaron los siguientes:

a. Aceite y grasas

Categoría 4: ECA = 5

En los puntos de muestreo LLayo1, LLayo2, LLayo3, LLayo4 correspondiente a la categoría 4: conservación del ambiente acuático, los resultados de laboratorio obtenidos para el parámetro de aceites y grasas demuestran que se encuentran dentro de los valores establecidos

en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, según lo dispuesto en el D.S. N.°004-2017-MINAM.

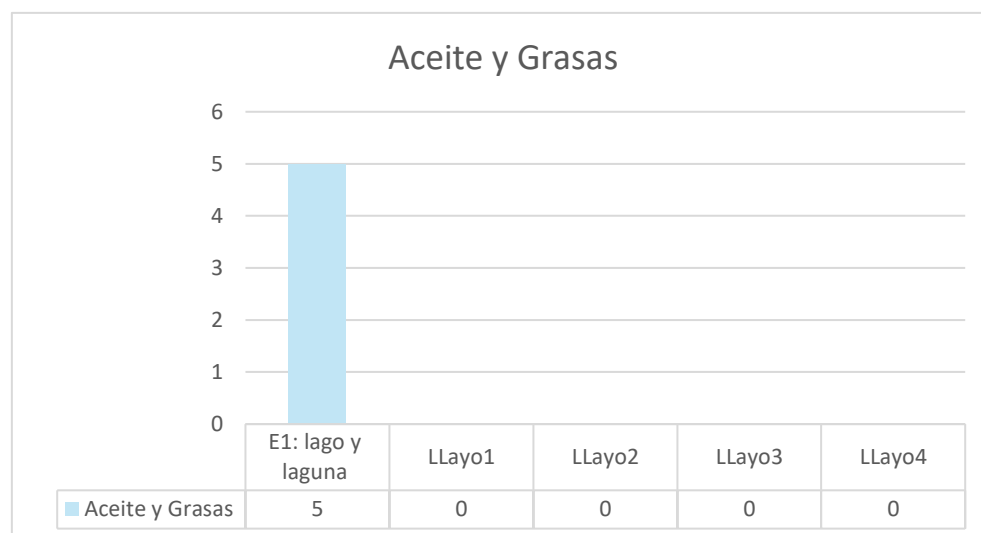
Tabla 39

Cuadro de resultado de aceite y grasa - ECA – Layo

Parámetro	Unidad de medida	ECA	Resultado de muestras			
		CATEGORIA 4	LLayo1	LLayo2	LLayo3	LLayo4
Aceite y grasas	mg/L	5	0	0	0	0

Figura 35

Cuadro comparativo de los valores de aceites y grasas - ECA – Layo



b. Potencial de hidrogeno (pH)

Categoría 4: ECA = 6.5 a 9

En los puntos de muestreo LLAYo1, LLAYo2, LLAYo3, LLAYo4 correspondiente a la categoría 4: conservación del ambiente acuático, los resultados de laboratorio obtenidos para el parámetro

potencial de hidrogeno (pH) demuestran que se encuentran dentro de los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aguas, según lo dispuesto en el D.S. N.º004-2017-MINAM.

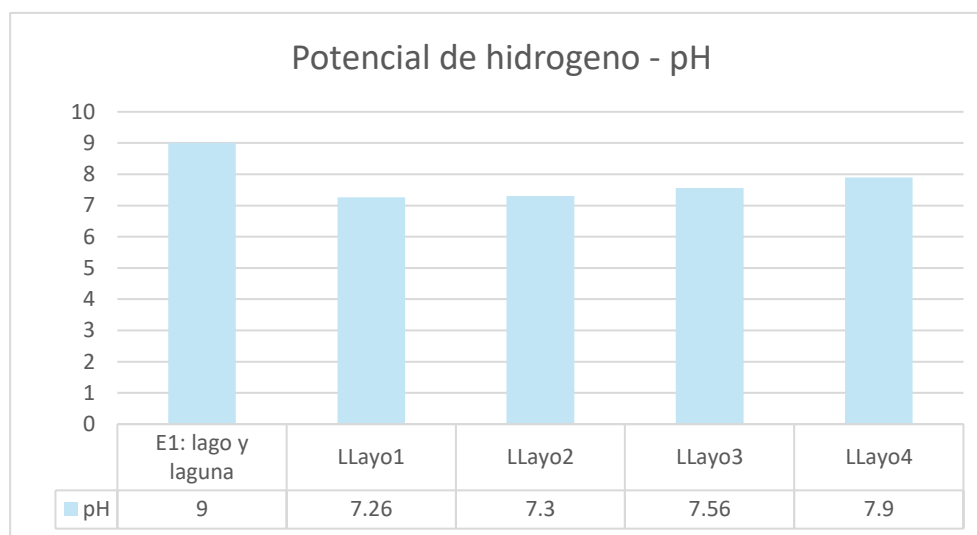
Tabla 40

Cuadro de resultado de potencial de hidrogeno (pH) - ECA – Layo

Parámetro	Unidad de medida	ECA		Resultado de muestras			
		CATEGORIA	E1: lagos y lagunas	LLayo1	LLayo2	LLayo3	LLayo4
		4					
pH	Unidad de pH	6.5 a 9		7.26	7.30	7.56	7.90

Figura 36

Cuadro comparativo de los valores potencial de hidrogeno (pH) - ECA – Layo



c. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)

Categoría 4: ECA =5

En los puntos de muestreo LLayo1, LLayo2, LLayo3, LLayo4 correspondiente a la categoría 4: conservación del ambiente acuático, los resultados de laboratorio obtenidos para el parámetro de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) demuestran que se encuentran por encima de los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, según lo dispuesto en el D.S. N.°004-2017-MINAM.

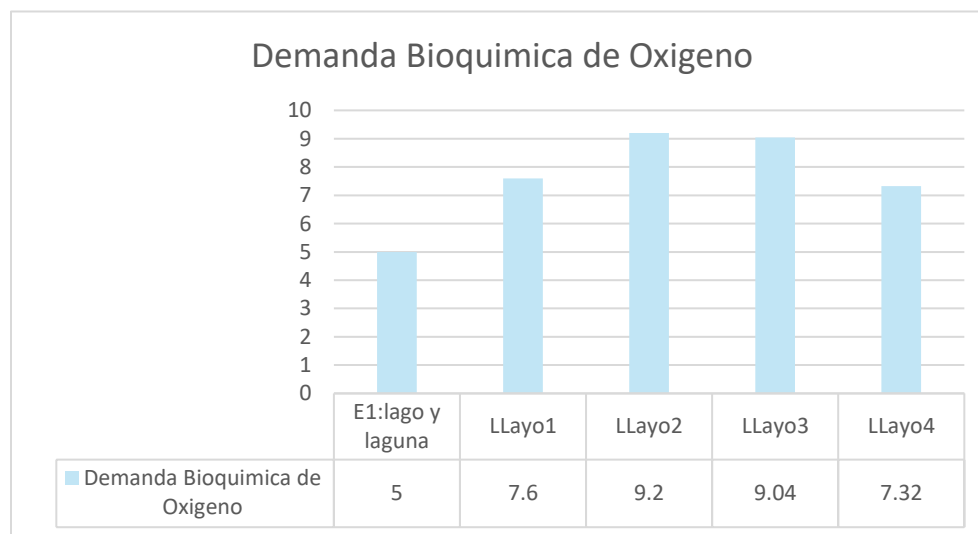
Tabla 41

Cuadro de resultado de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) - ECA – Layo

Parámetro	Unidad de medida	ECA	Resultado de muestras			
		CATEGORIA 4	LLayo1	LLayo2	LLayo3	LLayo4
		E1: lagos y lagunas				
DBO ₅	mg/L	5	7.60	9.20	9.04	7.32

Figura 37

Cuadro comparativo de los valores Demanda Bioquímica de Oxígeno - ECA – Layo



d. Sólidos Suspendido Totales (SST)

Categoría 4: ECA = ≤ 25

En los puntos de muestreo LLayo1, LLayo2, LLayo3, LLayo4 correspondiente a la categoría 4: conservación del ambiente acuático, los resultados de laboratorio obtenidos para el parámetro sólidos suspendidos totales demuestran que se encuentran dentro de los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, según lo dispuesto en el D.S.N.°004-2017-MINAM.

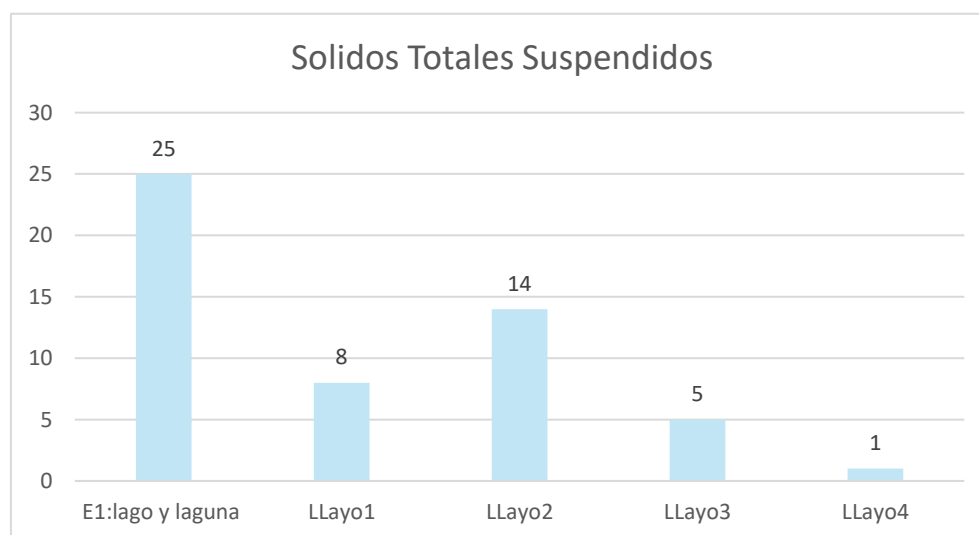
Tabla 42

Cuadro de resultado de Sólidos Suspendidos Totales (SST) - ECA – Layo

Parámetro	Unidad de medida	ECA	Resultado de muestras			
		CATEGORIA 4	LLayo1	LLayo2	LLayo3	LLayo4
		E1: lagos y lagunas				
SST	mg/L	≤25	8	14	5	1

Figura 38

Cuadro comparativo de los valores Sólidos Suspendido Totales (SST) - ECA – Layo



e. Oxígeno disuelto

Categoría 4: ECA = ≥ 5

En los puntos de muestreo LLayo1, LLayo2, LLayo3, LLayo4 correspondiente a la categoría 4: conservación del ambiente acuático, los resultados de laboratorio obtenidos para el parámetro de oxígeno disuelto demuestran que se encuentran por debajo de los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, según lo dispuesto en el Decreto Supremo N.º004-2017-MINAM.

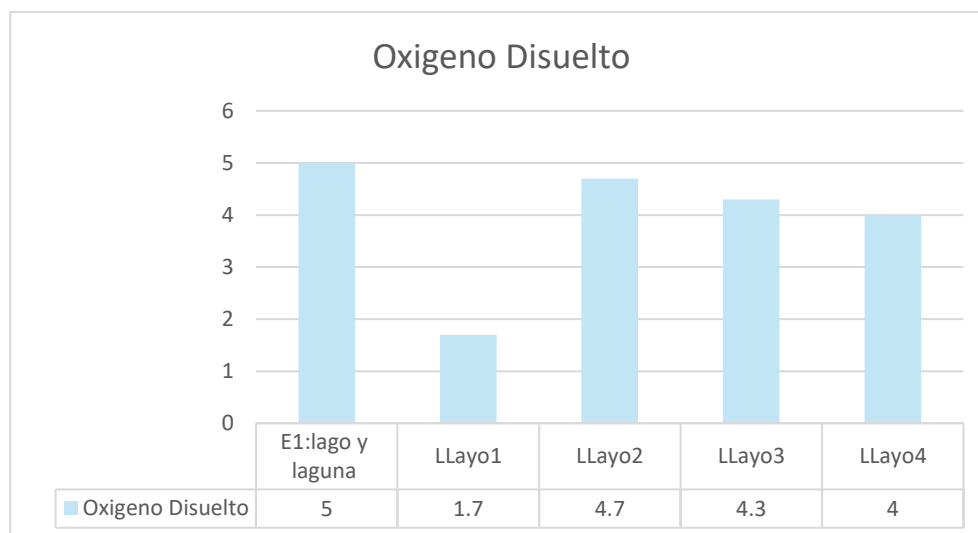
Tabla 43

Cuadro de resultado de Oxígeno disuelto - ECA – Layo

Parámetro	Unidad de medida	ECA		Resultado de muestras		
		CATEGORIA 4		LLayo1	LLayo2	LLayo3
		E1: lagos y lagunas				
Oxígeno disuelto	mg/L	≥5	1.7	4.7	4.3	4.0

Figura 39

Cuadro comparativo de los valores Oxígeno disuelto - ECA – Layo



f. Color

Categoría 4: ECA = 20 (a)

En los puntos de muestreo LLayo1, LLayo2, LLayo3, LLayo4 correspondiente a la categoría 4: conservación del ambiente acuático, los resultados de laboratorio obtenidos para el parámetro color demuestran que se encuentran dentro de los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, según lo dispuesto en el D.S. N.º004-2017-MINAM.

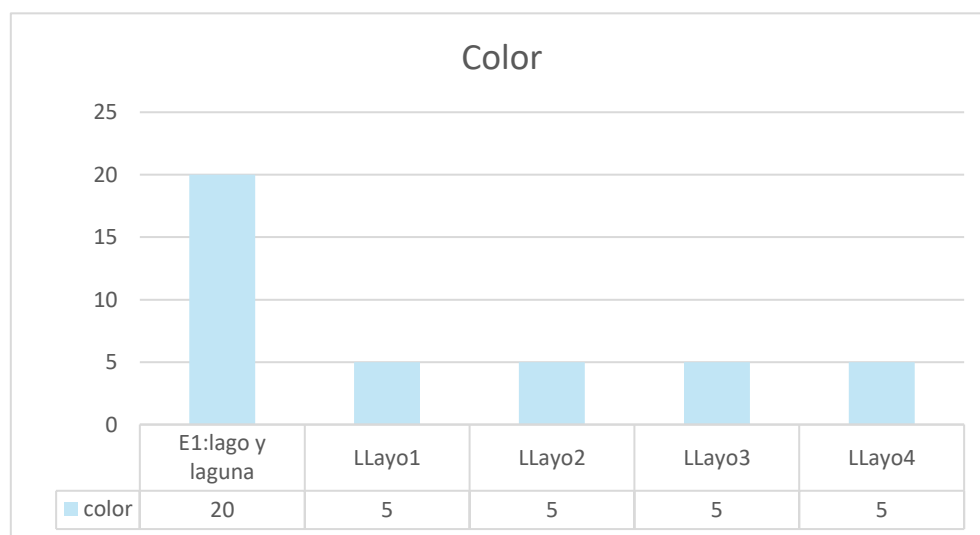
Tabla 44

Cuadro de resultado de Color - ECA – Layo

Parámetro	Unidad de medida	ECA				
		CATEGORIA 4				
		E1: lagos y lagunas	LLayo1	LLayo2	LLayo3	LLayo4
Color	Pt/Co	20(a)	5	5	5	5

Figura 40

Cuadro comparativo de los valores color - ECA – Layo



g. Conductividad

Categoría 4: ECA = 1000

En los puntos de muestreo LLayo1, LLayo2, LLayo3, LLayo4 correspondiente a la categoría 4: conservación del ambiente acuático, los resultados de laboratorio obtenidos para el parámetro de conductividad demuestran que se encuentran dentro de los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, según lo dispuesto en el D.S. N.°004-2017-MINAM.

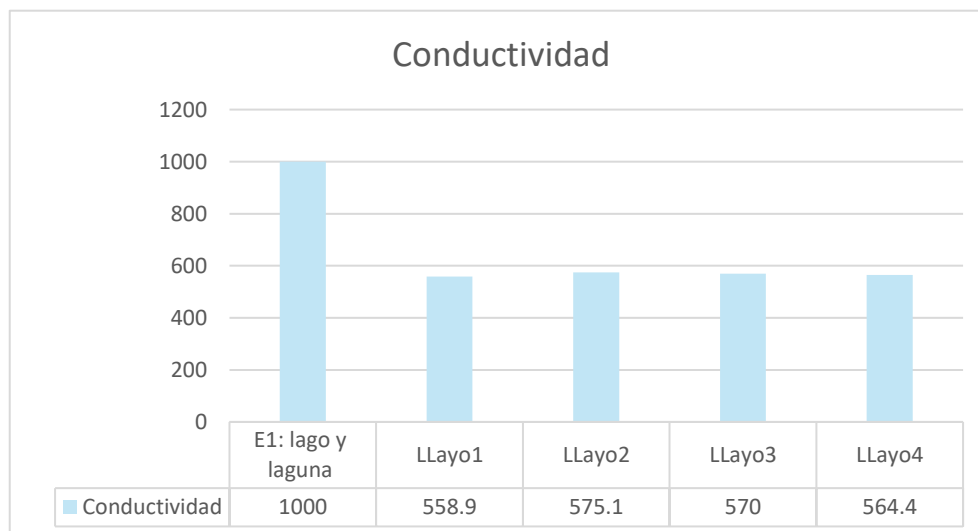
Tabla 45

Cuadro de resultado de Conductividad - ECA – Layo

Parámetro	Unidad de medida	ECA	Resultado de muestras			
		CATEGORIA 4 E1: lagos y lagunas	LLayo1	LLayo2	LLayo3	LLayo4
conductividad	μS/cm	1000	558,9	575.1	570.0	564.4

Figura 41

Cuadro comparativo de los valores conductividad - ECA – Layo



h. Temperatura

Categoría 4: ECA = $\Delta 3$

En los puntos de muestreo LLayo1, LLayo2, LLayo3, LLayo4 correspondiente a la categoría 4: conservación del ambiente acuático, los resultados de laboratorio obtenidos para el parámetro de temperatura demuestran que se encuentran dentro de los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, según lo dispuesto en el D.S.N.°004-2017-MINAM.

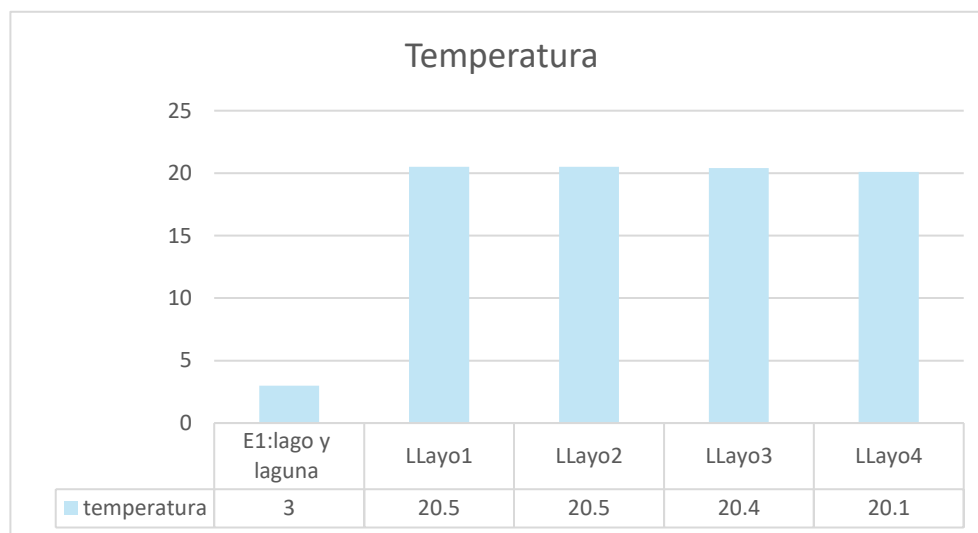
Tabla 46

Cuadro de resultado de temperatura - ECA – Layo

Parámetro	Unidad de medida	ECA		Resultado de muestras			
		CATEGORIA 4		LLayo1	LLayo2	LLayo3	LLayo4
		E1: lagos y lagunas					
Temperatura	°C	Δ3		20.5	20.5	20.4	20.1

Figura 42

Cuadro comparativo de los valores temperatura - ECA – Layo



i. Coliformes termo tolerables o fecales

Categoría 4: ECA = 10 000 NMP/100ml

En los puntos de muestreo LLayo1, LLayo2, LLayo3 y LLayo4, correspondientes a la categoría4: conservación del ambiente acuático, los resultados de laboratorio obtenidos para el parámetro de coliformes termo tolerables o fecales demuestran que se encuentran por encima de los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, según lo dispuesto en el Decreto Supremo N. °004-2017-MINAM.

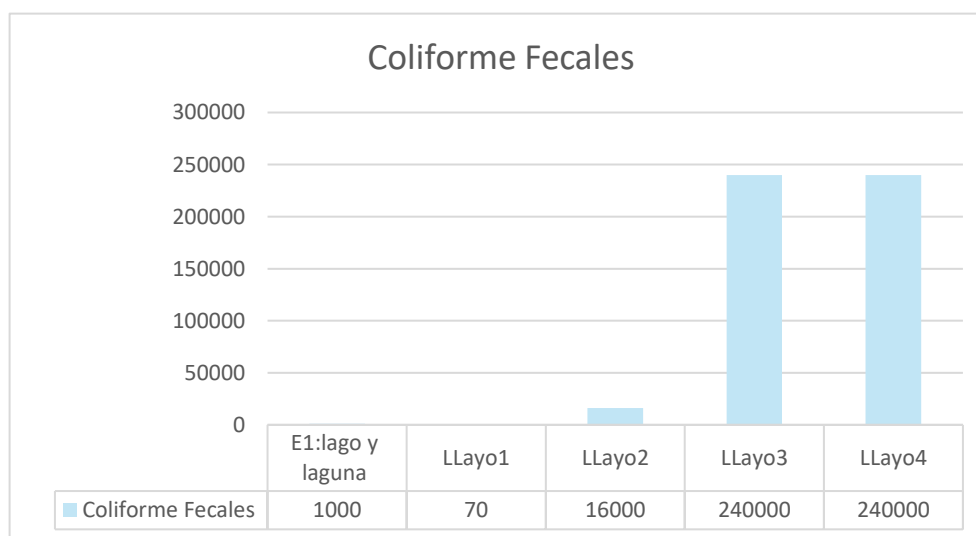
Tabla 47

Cuadro de resultado de Coliformes termo tolerables o fecales - ECA – Layo

Parámetro	Unidad de medida	ECA		Resultado de muestras			
		CATEGORIA 4		LLayo1	LLayo2	LLayo3	LLayo4
		E1: lagos y lagunas					
coliformes termo tolerables	NMP/100ml	10000	70	16 000	240 000	240 000	240 000

Figura 43

Cuadro comparativo de los valores de coliformes termo tolerables - ECA – Layo



5.3. Cuadro Resultados de los parámetros evaluados en la PTAR del distrito de Layo-ECA

Se presentan los valores obtenidos en los puntos de muestreo correspondiente a la descarga de la PTAR de Layo, los cuales han sido contrastados con los valores normativos de referencia.

Tabla 48

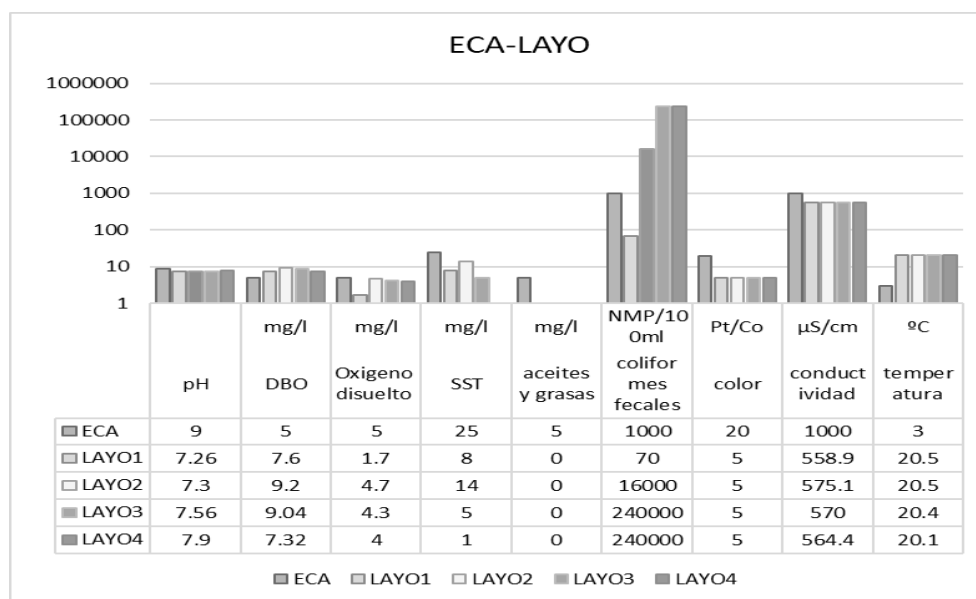
Cuadro de resultados de los parámetros evaluados - ECA – Layo

PARAMETRO	UNIDAD	LMP (D.S.N. °003- 2010- MINA M)	RESULTADOS OBTENIDOS				CUMPLIMIEN TO
			LLayo1	LLayo2	LLayo3	LLayo4	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	7.6	9.20	9.04	7.32	NO
Solidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	≤25	8	14	5	1	SI
pH	-	6.5 – 9	7.26	7.30	7.56	7.9	SI
Coliformes Termo tolerantes	NMP/100 ml	1000	70	1600 0	24000 0	24000 0	NO
Aceites y grasas	mg/L	5	0	0	0	0	SI
Temperatura	°C	▲3	20.5	20.5	20.4	20.1	SI
Color	ucv	20	5	5	5	5	SI
Conductivida d	μS/cm	1000	558. 9	575. 1	570	264.4	SI

Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 5	1.7	4.7	4.3	4	NO
------------------	------	----------	-----	-----	-----	---	----

Figura 44

Cuadro comparativo de los valores de ECA-Layo



5.4.1. Aplicación de la metodología para la determinación del índice de calidad de agua (ICA.PE).

En la investigación se aplicó la metodología ICA-PE, la cual permite representar y describir el estado de la calidad del agua a través del cálculo del Índice de calidad del agua, utilizando la fórmula canadiense. Esta metodología se sustenta en la comparación de los resultados de monitoreo con los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), proporcionando un valor numérico que sintetiza el grado de cumplimiento o desviación respecto a la normativa ambiental vigente.

El índice de calidad de agua (ICA-PE) facilita la interpretación integral de los parámetros físico, químicos y microbiológicos evaluados, permitiendo categorizar el agua en rangos de calidad

que van desde excelente hasta muy mala, en función de la cercanía o alejamiento de los valores normativos de referencia.

2.6.1. Cálculo del índice de calidad del agua (ICA-PE)

Para la determinación del índice de calidad de agua se aplicó la fórmula canadiense, la cual permite integrar múltiples parámetros en un solo valor que sintetiza el estado de la calidad del agua. Este método considera tres factores principales:

- **Alcance (F1):** porcentaje de parámetros que no cumplen con los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA).
- **Frecuencia (F2):** porcentaje de veces que los resultados de monitoreo exceden los límites permisibles.
- **Amplitud (F3):** magnitud en la que los resultados exceden los valores normativos, expresando la desviación de cada parámetro fuera de los rangos aceptables.

La combinación de estos tres factores mediante el cálculo matemático genera un valor único entre 0 y 100, el cual representa y describe el estado de la calidad del agua en cada punto de monitoreo.

Este valor obtenido permite clasificar el agua en diferentes categorías de calidad (excelente, buena, regular o mala o muy mala), facilitando la interpretación de los resultados del monitoreo y su relación con la normativa vigente. (ANA, 2018).

2.6.2. Parámetros a evaluar en el ICA-PE

de acuerdo con el análisis de la información proveniente de los monitoreos de la calidad de los cuerpos de agua superficial realizados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), se identificaron los parámetros recurrentes de evaluación en concordancia con el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales.

Estos parámetros fueron seleccionados considerando la posible alteración del recurso hídrico y el eventual riesgo de la salud humana y al ambiente. Asimismo, se tomó en cuenta la categoría asignada al cuerpo de agua, en concordancia con la clasificación de los cuerpos de aguas continentales superficiales y con los Estándares de Calidad Ambiental para el Agua (ECA-agua).

De esta manera, los parámetros seleccionados para la aplicación de la metodología ICA-PE permiten obtener un diagnóstico integral y representativo del estado de la calidad del agua en la laguna Langui-Layo, asegurando su pertinencia con la normativa nacional vigente. (Ministerio de Agricultura y Riego, 2018)

Parámetros considerados en la categoría 4: conservación del ambiente acuático (ICA-PE)

Tabla 49

Cuadro de parámetros considerados en la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

N.º	PARAMETROS	UNIDADES
1	Aceites y grasas	mg/L
2	Clorofila A	mg/L
3	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L
4	Fósforo Total	mg/L
5	Amoníaco – N	mg/L
6	Nitrógeno Total	mg/L
7	Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L
8	Potencial de hidrógeno (pH)	Unid. de pH
9	Arsénico	mg/L
10	Cadmio	mg/L

11	Mercurio	mg/L
12	Plomo	mg/L
13	Zinc	mg/L
14	Hidrocarburos de petróleo HTTP	mg/L
15	Coliformes Termo tolerantes (44.5 °C)	NMP/100ml
16	Solidos Suspendidos Totales	mg/L
17	Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (benzopireno, antraceno, fluoranteno)	mg/L

NOTA: Metodología para la determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-PE, aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales

Tabla 50

Cuadro de parámetros considerados en la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático para Langui

PARAMETROS	ECA	LLANG1	LLANG2	LLANG3	LLANG4	UNIDADES
Aceite y grasas	5	0	0	2.11	7.04	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	5	37.75	25.83	22.85	17.22	mg/L
Oxígeno Disuelto	≥5	4.1	4.1	4	4	mg/L
Potencial de hidrogeno (pH)	6.5 – 9	7.71	7.30	7.55	7.10	Unid. de pH
Coliformes Termo tolerantes	1000	35000	35000	17000	35000	NMP/100ml
Solidos Suspendidos Totales	≤25	39	51	52	47	mg/L

Tabla 51

Cuadro de parámetros considerados en la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático para Layo

PARAMETROS	ECA	LLAYO1	LLAYO2	LLAYO3	LLAYO4	UNIDADES
Aceite y grasas	5	0	0	0	0	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	5	7.60	9.20	9.04	7.32	mg/L
Oxígeno Disuelto	≥5	1.7	4.7	4.3	4	mg/L
Potencial de hidrogeno (pH)	6.5 – 9	7.26	7.30	7.56	7.9	Unid. de pH
Coliformes Termotolerantes	1000	70	16000	240000	240000	NMP/100ml
Solidos Suspendidos Totales	≤25	8	14	5	1	mg/L

d. F1-ALCANCE: representa la cantidad de parámetros de calidad que no cumplen los valores establecidos en la normativa de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua) vigente, respecto al total de parámetros a evaluar. (ANA, 2018)

- **LANGUI**

$$F_1 = \frac{\text{Numero de parametros que no cumplen los ECA - Agua}}{\text{Numero total de parametros a evaluar}}$$

$$F_1 = \frac{4}{6}$$

$$F_1 = 0.66$$

- **LAYO**

$$F_1 = \frac{\text{Numero de parametros que no cumplen los ECA – Agua}}{\text{Numero total de parametros a evaluar}}$$

$$F_1 = \frac{3}{6}$$

$$F_1 = 0.5$$

- e. **F2- FRECUENCIA:** representa la cantidad de datos que no cumplen la normativa ambiental respecto al total de datos de los parámetros a evaluar. (ANA, 2018)

- **LANGUI**

F_2

$$= \frac{\text{Numero de parametros que no cumplen los ECA – Agua de los datos evaluados}}{\text{Numero total de parametros a evaluar}}$$

$$F_2 = \frac{14}{24}$$

$$F_2 = 0.58$$

- **LAYO**

F_2

$$= \frac{\text{Numero de parametros que no cumplen los ECA – Agua de los datos evaluados}}{\text{Numero total de parametros a evaluar}}$$

$$F_2 = \frac{11}{24}$$

$$F_2 = 0.45$$

- f. **F3-AMPLITUD:** es una medida de la desviación que existe en los datos, determinada por la suma normalizada de excedentes, es decir los excesos de todos los datos respecto al número total de datos. (ANA, 2018)

$$F_3 = \frac{\text{suma normalizada de excedentes}}{\text{suma normalizada de excedente} + 1} * 100$$

$$NSE = \text{suma normalizada de excedentes} = \frac{\sum = \text{Excedente}}{\text{total de datos}}$$

- LANGUI

CASO 1

$$\text{Excedente}_i = \frac{\text{valor del parametro que no cumbre el ECA} - \text{Agua}}{\text{valor establecido del parametro en ECA} - \text{agua}} - 1$$

EXCEDENTES DE DBO5

$$\text{Excedente}_i = \frac{37.75}{5} - 1 = 6.55$$

$$\text{Excedente}_i = \frac{25.83}{5} - 1 = 4.16$$

$$\text{Excedente}_i = \frac{22.85}{5} - 1 = 3.57$$

$$\text{Excedente}_i = \frac{17.22}{5} - 1 = 2.44$$

EXCEDENTES DE COLIFORME TERMOTOLERABLES

$$\text{Excedente}_i = \frac{35000}{1000} - 1 = 34$$

$$\text{Excedente}_i = \frac{35000}{1000} - 1 = 34$$

$$\text{Excedente}_i = \frac{17000}{1000} - 1 = 16$$

$$\text{Excedente}_i = \frac{35000}{1000} - 1 = 34$$

EXCEDENTES DE SOLIDOS TOTALES SUSPENDIDOS

$$\text{Excedente}_i = \frac{39}{25} - 1 = 0.56$$

$$\text{Excedente}_i = \frac{51}{25} - 1 = 1.04$$

$$\text{Excedente}_i = \frac{52}{25} - 1 = 1.08$$

$$\text{Excedente}_i = \frac{47}{25} - 1 = 0.88$$

EXCEDENTES DE OXIGENO DISUELTO

$$\text{Excedente}_i = \frac{5}{4.1} - 1 = 0.21$$

$$\text{Excedente}_i = \frac{5}{4.1} - 1 = 0.21$$

$$\text{Excedente}_i = \frac{5}{4} - 1 = 0.25$$

$$\text{Excedente}_i = \frac{5}{4} - 1 = 0.25$$

En donde la suma normalizada de excedentes (nse)

$$NSE = \text{suma normalizada de excedentes} = \frac{\sum = \text{Excedente}}{\text{total de datos}}$$

$$\sum = \text{Excedente} = 16.72 + 118 + 3.56 + 0.92 = 139.2$$

$$NSE = \text{suma normalizada de excedentes} = \frac{139.2}{24} = 5.8$$

F3- Amplitud

$$F_3 = \frac{\text{suma normalizada de excedentes}}{\text{suma normalizada de excedente} + 1} * 100$$

$$F_3 = \frac{5.8}{5.8 + 1} * 100$$

$$F_3 = \frac{5.8}{6.8} * 100$$

$$F_3 = 0.85 * 100 = 85.29$$

- LAYO

CASO 1

$$\text{Excedente}_i = \frac{\text{valor del parametro que no cumbre el ECA - Agua}}{\text{valor establecido del parametro en ECA - agua}} - 1$$

EXCEDENTES DE DBO5

$$\text{Excedente}_i = \frac{7.60}{5} - 1 = 0.52$$

$$\text{Excedente}_i = \frac{9.20}{5} - 1 = 0.84$$

$$\text{Excedente}_i = \frac{9.04}{5} - 1 = 0.80$$

$$\text{Excedente}_i = \frac{7.32}{5} - 1 = 0.46$$

EXCEDENTES DE COLIFORME TERMOTOLERABLES

$$\text{Excedente}_i = \frac{16000}{1000} - 1 = 15$$

$$\text{Excedente}_i = \frac{240000}{1000} - 1 = 239$$

$$\text{Excedente}_i = \frac{240000}{1000} - 1 = 239$$

EXCEDENTES DE OXIGENO DISUELTO

$$\text{Excedente}_i = \frac{5}{1.7} - 1 = 1.94$$

$$\text{Excedente}_i = \frac{5}{4.7} - 1 = 0.06$$

$$\text{Excedente}_i = \frac{5}{4.3} - 1 = 0.16$$

$$\text{Excedente}_i = \frac{5}{4} - 1 = 0.25$$

En donde la suma normalizada de excedentes (nse)

$$NSE = \text{suma normalizada de excedentes} = \frac{\sum = \text{Excedente}}{\text{total de datos}}$$

$$\sum = \text{Excedente} = 2.62 + 493 + 2.41 = 498.03$$

$$NSE = \text{suma normalizada de excedentes} = \frac{498.03}{24} = 20.75$$

F3- Amplitud

$$F_3 = \frac{\text{suma normalizada de excedentes}}{\text{suma normalizada de excedente} + 1} * 100$$

$$F_3 = \frac{20.75}{20.75 + 1} * 100$$

$$F_3 = \frac{20.75}{21.75} * 100$$

$$F_3 = 0.95 * 100 = 95.40$$

- g. **Índice de calidad:** Una vez realizada los valores de los factores F1, F2 y F3 se procederá a realizar el cálculo del índice de Calidad de Agua

- **LANGUI**

$$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{3}}$$

$$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{0.66^2 + 0.66^2 + 85.29^2}{3}}$$

$$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{0.43 + 0.43 + 7274.38}{3}}$$

$$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{7275.24}{3}}$$

$$ICA - PE = 100 - \sqrt{2425.08}$$

$$ICA - PE = 100 - 49.24$$

$$ICA - PE = 50.76$$

- LAYO

$$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{3}}$$

$$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{0.5^2 + 0.45^2 + 95.40^2}{3}}$$

$$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{0.25 + 0.2025 + 9101.16}{3}}$$

$$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{9101.61}{3}}$$

$$ICA - PE = 100 - \sqrt{3033.87}$$

$$ICA - PE = 100 - 55.08$$

$$ICA - PE = 44.92$$

h. INTERPRETACIÓN

Según (Ministerio de Agricultura y Riego, 2018), la interpretación de los valores del ICA-PE se realiza con el siguiente rango:

Tabla 52

Cuadro de interpretación del Índice de Calidad Ambiental del Perú (ICA-PE)

ICA-PE	CALIFICACIÓN	INTERPRETACIÓN
90-100	Excelente	La calidad del agua está protegida con ausencia de amenazas o daños. Las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados.
75-89	Bueno	La calidad del agua se aleja un poco de la calidad natural del agua. Sin embargo, las condiciones deseables pueden estar con algunas amenazas o daños de poca magnitud
45-74	Regular	La calidad del agua natural ocasionalmente es amenazada o dañada. La calidad del agua a menudo se aleja de los valores deseables. Muchos de los usos necesitan tratamiento.
30-44	Malo	La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Muchos de los usos necesitan tratamiento.
0-29	Pésimo	La calidad de agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada. Todos los usos necesitan previo tratamiento.

Nota: Metodología para la determinación de Índice de Calidad del Agua ICA-PE aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales. Dirección General de Calidad Ambiental

Se observa una tendencia al deterioro de la calidad del agua en los puntos donde el ICA-PE disminuye de 50.76 a 44.92, lo que podría estar asociado a mayor influencia de los efluentes de

las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) o a condiciones de autodepuración insuficientes del ecosistema lacustre.

5.4. Discusiones

La comparación de los resultados obtenidos en la presente investigación con los antecedentes internacionales, nacionales, regionales y locales permite establecer una línea de análisis que evidencia la persistencia de problemáticas asociadas a los vertimientos de aguas residuales en cuerpos de agua superficiales.

A nivel internacional, Navas – Gallo et al. (2024) identificaron que parámetros como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), grasas y aceites, sólidos sedimentables y sólidos suspendidos totales superaran los límites permisibles en cuerpos receptores de Colombia. Este hallazgo es concordante con nuestros resultados en la laguna Langui – layo, donde la DBO y los coliformes termo tolerables superan los valores establecidos en el DS. N°004-2017-MINAM, evidenciando la ineficiencia de las PTAR locales. De manera similar, Rivera Castro et al. (2020) reportaron que el estero. El Sauce en Chile presentaba condiciones hipertróficas y elevados niveles de contaminación fecal, situación comparable a la encontrada en los puntos de monitoreo de Langui-layo, donde los coliformes termo tolerables se mantienen por encima de los valores normativos. Asimismo, Sanches y Viveros (2020) y Morales Holguín (2019) coinciden en señalar la deficiente gestión y tratamiento de aguas residuales en municipios colombianos, lo cual guarda estrecha relación con la situación de las PTAR de Langui y Layo, caracterizadas por fallas operativas y estructurales que limitan su eficiencia. Por su parte, Tenemaza Solorzano (2024) enfatizó que la ausencia de mantenimiento y protocolos adecuados en las PTAR compromete su efectividad, hallazgo plenamente consistente con los resultados de esta investigación. Finalmente, Moyano et al. (2021) advirtieron que los vertimientos sin tratamiento incrementan la materia orgánica y alteran la

biodiversidad acuática, fenómeno que se refleja también en nuestro caso mediante los elevados valores de DBO.

En el ámbito nacional, Peña Diaz (2018) demostró que el contacto con aguas contaminadas incrementa el riesgo sanitario en poblaciones ribereñas, lo cual puede extrapolarse al contexto de Langui – layo, donde los elevados coliformes termo tolerables suponen una amenaza para la salud de los habitantes que utilizan el recurso hídrico en actividades domésticas. Tocre Fracchia (2023) resalto que, aunque algunos parámetros físicos, químicos de los efluentes tarados cumplen con los estándares, los microbiológicos representan un problema persistente. Este hallazgo coincide con nuestros resultados, en los que parámetros como pH, conductividad y temperatura se mantienen dentro de los establecido, mientras que los coliformes termo tolerables exceden los límites normativos. Por su parte, Lima Huacho (2022) reporto alteraciones significativas en parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el río Sicra-Lircay, concluyendo que la descarga notablemente la calidad del recurso hídrico. Este planteamiento se refleja en la laguna Langui-Layo, donde la aplicación de la metodología ICA-PE confirma una calidad de agua deficiente. De igual forma, Alcatara et al. (2023) y Domínguez (2023) identificaron que, aun que ciertos parámetros físico y químico cumplen con la normativa, los indicadores microbiológicos, especialmente coliformes, demostrando diferencias notorias en la eficiencia de operaciones de las plantas de tratamiento dentro de la misma región.

Finalmente, en el nivel local, Chura (2017) señalo que la infraestructura de tratamiento de aguas residuales en Langui-Layo presenta un deterioro estructural que limita su capacidad de depuración. Nuestros resultados ratifican esta situación, ya que, a pesar del tiempo transcurrido, la problemática persiste y se refleja en los altos valores de DBO y coliformes en el sistema de tratamiento.

En síntesis, la discusión con los antecedentes confirma que los vertimientos de aguas residuales sin un tratamiento eficiente constituyen una problemática recurrente en diversos contextos, tanto internacionales como nacionales. En caso específico de la laguna Langui – Layo, esta situación se traduce en la superación de los parámetros críticos como DBO y coliformes termo tolerables, lo cual representa un riesgo para la salud pública, biodiversidad acuática y la sostenibilidad del recurso hídrico.

5.5. Prueba de hipótesis

La presente investigación analiza los vertimientos de las PTAR de Langui y Layo sobre la calidad del agua de la laguna Langui – Layo, en función de los objetivos específicos del estudio. Se aplicaron análisis estadísticos descriptivos mediante el software R o MINITAB y Microsoft Excel, calculando medidas como media, mediana y desviación estándar lo que permitió caracterizar la variabilidad de los parámetros físico, químico y microbiológicos. Además, se realizaron comparaciones directas entre los valores observados y los límites establecidos por el D.S.N. °003-2010-MINAM (LMP) y D.S.N. °004-2017-MINAM (ECA). No se emplearon pruebas inferenciales (como ANOVA o T de STUDENT) dado que el enfoque del estudio fue descriptivo, y no experimental. Asimismo, el número reducido de muestras por punto impidió cumplir con los supuestos estadísticos requeridos para aplicar pruebas paramétricas.

5.6. Discusión de resultados estadísticos

Se planteo que los vertimientos de efluentes provenientes de las PTARs generan degradación en la calidad del agua de la laguna Langui – Layo. Los resultados confirmaron esta hipótesis, ya que parámetros como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), los coliformes termo tolerables y sólidos suspendidos totales (SST) superaron los valores normativos del D.S.N.° 004-2017-MINAM. Asimismo, el cálculo del Índice de Calidad del Agua Peruano (ICA-

PE) evidencio una calidad “regular” en Langui (50.76) y “mala” en Layo (44.92), reflejando un deterioro del ecosistema acuático.

Alteración de parámetros físico, químicos y microbiológicos de LMP

se comprobó que los efluentes de las PTAR contienen parámetros que alteran la composición natural del cuerpo de agua. Si bien valores como pH, conductividad y temperatura se mantuvieron dentro de lo establecido, la DBO y los coliformes termo tolerables excedieron los límites confirmando la hipótesis.

Los análisis evidenciaron que parámetros críticos como la DBO y los coliformes termo tolerables superaron ampliamente los valores permitidos. Por ejemplo, en Langui se registraron 1,700,000 NMP/ml de coliformes termo tolerables frente a un máximo de 10,000 NMP/ml. Esta evidencia estadísticamente significativa respalda la hipótesis de incumplimiento frente a los estándares ambientales.

El cálculo del ICA-PE permitió sintetizar el estado de la laguna, mostrando resultados que validan la hipótesis: la calidad del agua se encuentra comprometida debido a la descarga de efluentes sin tratamiento adecuada. Los valores obtenidos evidencian que los sistemas de depuración no cumplen con garantizar una calidad ambiental mínima.

Relación entre la calidad de efluentes y la calidad del agua receptora

El análisis comparativo de los datos evidencia una relación directa entre la calidad de los efluentes vertidos por las PTAR y el deterioro de la calidad del agua en los puntos receptos de la laguna Langui – Layo. Se identificó una tendencia clara: a mayores concentraciones de contaminantes de los efluentes, mayores niveles de afectación en el cuerpo receptor. Este comportamiento se observó de manera particular en parámetros críticos como los coliformes termo tolerables, que alcanzaron valores de hasta 240,000 NMP/100ml en zonas receptoras del distrito de Layo. Estos resultados permiten afirmar que las deficiencias en los procesos de

tratamiento de las aguas residuales se reflejan directamente en el incremento de la carga contaminante en laguna, reforzando el diagnóstico de que las PTAR, en su estado actual, constituyen fuentes activas de contaminación.

Implicancias ambientales y sanitarias

El vertimiento continuo de aguas residuales sin un tratamiento adecuado representa un riesgo ambiental y sanitario considerable. La reducción de las concentraciones de oxígeno disuelto, junto con la elevada carga orgánica, afecta de manera directa a la fauna acuática, pudiendo generar condiciones anóxicas que favorecen la formación de “zonas de muertas” en el ecosistema. De igual forma, los elevados niveles de coliformes termo tolerables implican un riesgo sanitario significativo, especialmente para las comunidades locales que utilizan la laguna como recurso para actividades de recreación, consumo indirecto y riego.

Estos hallazgos confirman que la ineficiencia de la PTAR no solo impacta en la calidad ecológica del cuerpo de agua, sino que también genera un problema de salud pública y amenaza la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos que ofrece la laguna Langui-Layo.

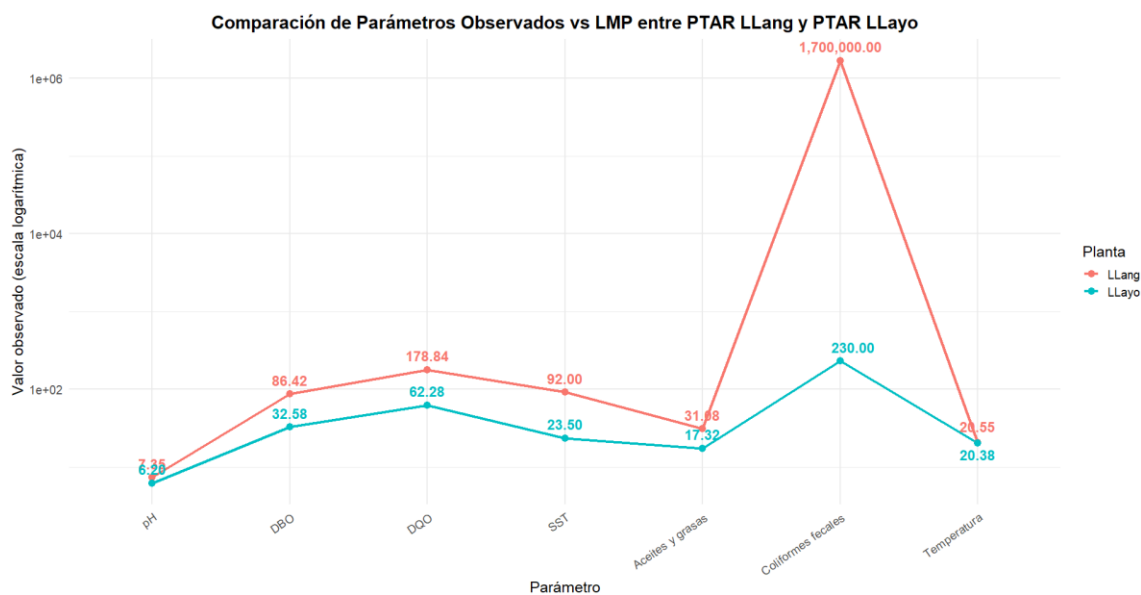
Tabla 53

Cuadro de comparación de parámetros observados vs LMP en PTAR Langui y Layo

Parámetro	Unidad	LMP	LLang	Cumple LMP (Langui)	LLayo	Cumple LMP (Layo)
pH	-	6.5 – 8.5	7.35	Sí	6.2	No
DBO	mg/L	100	86.42	Sí	32.58	Sí
DQO	mg/L	200	178.84	Sí	62.28	Sí
SST	mg/L	150	92	Sí	23.5	Sí
Aceites y grasas	mg/L	20	31.08	No	17.32	Sí
coliformes termo tolerables	NMP/100ml	10,000	1,700,000	No	230	Sí
Temperatura	°C	≤3 (Δ)	20.55	si	20.38	SI

Figura 45

Comparación de PTAR Langui y PTAR Layo



Según los datos presentados en la tabla 55, se realizó una comparación entre los valores observados de seis parámetros de calidad del agua en dos Plantas de Tratamiento de Aguas residuales (PTAR): Langui y Layo, en relación con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos para cada uno. Estos parámetros incluyen: pH, DBO (demanda bioquímica de oxígeno), DQO (demanda química de oxígeno), SST (sólidos suspendidos totales) temperatura, coliformes termo tolerables, aceites y grasas. En la PTAR Langui, se evidencia que 4 de los 7 parámetros evaluados cumplen con los límites normativos: pH, DBO, DQO y SST. Sin embargo, los parámetros de aceites y grasas (31.08mg/L frente a un LMP de 20mg/L) y coliformes termo tolerables (1,700,000 NMP/100ml frente a un LMP de 10,000NMP/100ml) presentan incumplimientos significativos. Especial atención merece el valor extremadamente elevado de coliformes termo tolerables, el cual supera por más de 170 veces el límite permitido, lo que representa un riesgo crítico de contaminación microbiológica. En contraste, la PTAR Layo muestra un mejor desempeño, ya que solo presenta incumplimiento en el parámetro pH,

con un valor de 6.2, ligeramente por debajo del rango permisible (6.5 – 8.5). el resto de parámetros cumplen adecuadamente, mostrando una operación más eficiente y dentro de los estándares ambientales establecido

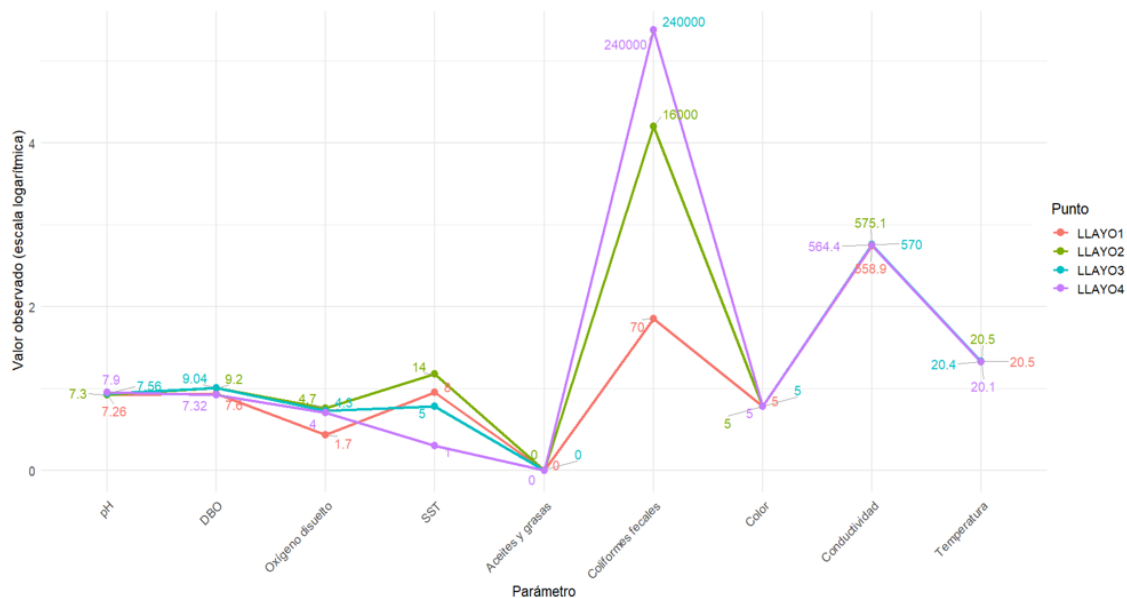
Tabla 54

Cuadro de evaluación del cumplimiento de los estándares de Calidad Ambiental (ECA) en los puntos de Monitoreo de la Laguna Layo

Parámetro	Unidad	ECA	LLAYO1	LLAYO2	LLAYO3	LLAYO4	Cumple ECA (por punto)
pH	–	6.5 – 9	7.26	7.30	7.56	7.90	Todos cumplen
DBO	mg/L	≤5	7.60	9.20	9.04	7.32	Ninguno cumple
Oxígeno disuelto	mg/L	≥5	1.70	4.70	4.30	4.00	Ninguno cumple
SST	mg/L	≤25	8	14	5	1	Todos cumplen
Aceites y grasas	mg/L	≤5	0	0	0	0	Todos cumplen
coliformes termo tolerables	NMP/100ml	≤1000	70	16000	240000	240000	Solo LAYO1 cumple
Color	Pt/Co	≤20	5	5	5	5	Todos cumplen
Conductividad	μS/cm	≤1000	558.9	575.1	570	564.4	Todos cumplen
Temperatura	°C	≤3	20.5	20.5	20.4	20.1	Todos cumplen

Figura 46

Comparación de parámetros observados en PTAR Layo con los límites del ECA



La tabla 56 y la figura 46 presentan la evaluación del cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) en la laguna Layo para el año 2024. Se observa que parámetros como el pH (rango: 7.26 – 7.90), SST (1-14 mg/L), aceites y grasas (0 mg/L), color (5 Pt/Co), conductividad (558.9 – 575.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y temperatura (20.1 – 20.5 $^{\circ}\text{C}$) cumplen en todos los puntos monitoreados con los valores de referencia establecidos por el ECA. Sin embargo, se detectan incumplimientos sistemáticos en los niveles de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y oxígeno disuelto (OD). La DBO presenta valores entre 7.32 y 9.20 mg/L, superando el límite máximo permitido de 5 mg/L en todos los puntos, lo que refleja una carga orgánica elevada. A su vez, el oxígeno disuelto presenta valores por debajo del mínimo requerido de 5 mg/L, con concentraciones entre 1.70 y 4.70 mg/L, indicando condiciones anóxicas en varios puntos, especialmente en LLAYO1 (1.70 mg/L). Asimismo, el parámetro coliforme fecales supera significativamente el valor permitido de 1,000 NMP/100 ml en LLAYO2 (16,000), LLAYO3 y LLAYO4 (240,000 NMP/100 ml), cumpliendo únicamente en LLAYO1 (70 NMP/100 ml). Este

comportamiento sugiere una contaminación microbiológica severa posiblemente asociada a descargas domesticas no tratadas o filtraciones agrícolas.

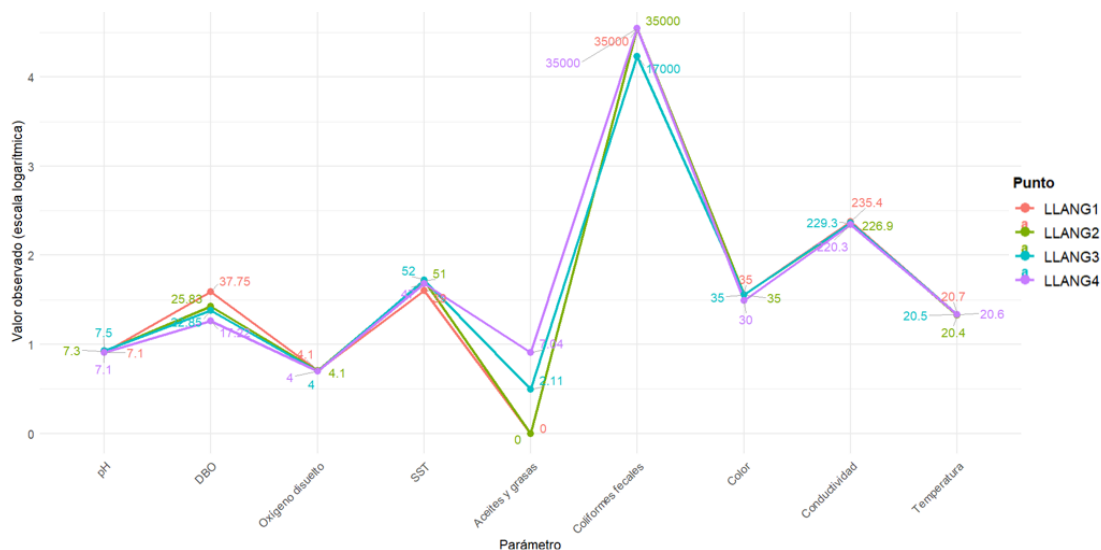
Tabla 55

Cuadro de evaluación del cumplimiento de los estándares de Calidad Ambiental (ECA) en los puntos de Monitoreo de la Laguna Langui

Parámetro	Unidad	ECA	LLANG1	LLANG2	LLANG3	LLANG4	Cumple ECA (por punto)
pH	–	6.5 – 9	7.1	7.3	7.5	7.1	Todos cumplen
DBO	mg/L	≤5	37.75	25.83	22.85	17.22	Ninguno cumple
Oxígeno disuelto	mg/L	≥5	4.1	4.1	4.0	4.0	Ninguno cumple
SST	mg/L	≤25	39	51	52	47	Ninguno cumple
Aceites y grasas	mg/L	≤5	0	0	2.11	7.04	LLANG1, LLANG2 y LLANG3 cumplen
coliformes termo tolerables	NMP/100ml	≤1000	35000	35000	17000	35000	Ninguno cumple
Color	Pt/Co	≤20	35	35	35	30	Ninguno cumple
Conductividad	μS/cm	≤1000	235.4	226.9	229.3	220.3	Todos cumplen
Temperatura	°C	≤3	20.7	20.4	20.5	20.6	Todos cumplen

Figura 47

Comparación de parámetros observados en PTAR Langui con los límites del ECA



La tabla 57 y la figura 47 presenta el análisis del cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) en los puntos de monitoreo de la laguna Langui durante el año 2024. Los resultados evidencian que, si bien parámetros como el pH (rango entre 7.1 y 7.5), temperatura (20.4°C-20.7°C) y conductividad eléctrica (220.3-235.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$) se mantienen dentro de los límites establecidos, existe un incumplimiento significativo en los indicadores clave de calidad del agua. Todos los puntos monitoreados superan los valores máximos permitidos para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), con valores que alcanzan hasta 37.75mg/L frente al límite de 5mg/L, lo que refleja una carga orgánica elevada. Asimismo, se reportan niveles insuficientes de oxígeno disuelto (4.0-4.1 mg/L), por debajo del estándar mínimo de 5mg/L, indicando condiciones de estrés para la biota acuática. También se observa un exceso de sólidos suspendidos totales (SST) en todos los puntos (39-52mg/L), así como altos niveles de coliformes termo tolerables, que alcanzan hasta 35.000 NMP/100ml, superando ampliamente el límite de 1.000 NMP/100ml. El parámetro de color también excede los límites en los cuatro puntos (30-35Pt/Co). Aunque aceites y grasas cumple en tres puntos, en LLANG4 se observa un valor de 7.04mg/L, que supera el límite permitido. En conjunto, estos resultados muestran que la laguna

Langui presenta un deterioro notable en su calidad ambiental, con incumplimiento en seis de los nueve parámetros evaluados, lo cual pone en riesgo tanto el ecosistema acuático como los posibles usos del recurso.

Tabla 56

Cuadro estadístico descriptivo de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en la laguna Layo

Parámetro	Unidad	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Estándar
pH	-	7.26	7.90	7.51	7.43	0.28
DBO	mg/L	7.32	9.20	8.29	8.32	0.83
Oxígeno disuelto	mg/L	1.70	4.70	3.43	4.15	1.38
SST	mg/L	1.00	14.00	7.00	6.50	5.57
Aceites y grasas	mg/L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
coliformes termo tolerables	NMP/100 ml	70.00	240000.00	124017.5	12800.0	122436.69
Color	Pt/Co	5.00	5.00	5.00	5.00	0.00
Conductividad	μS/cm	558.90	575.10	567.10	567.20	7.24
Temperatura	°C	20.10	20.50	20.38	20.45	0.19

La table 58 presenta los estadísticos descriptivos de los parámetros físico, químicos y microbiológicos registrados en la laguna Layo durante el año 2024. Los resultados revelan una relativa estabilidad en algunos parámetros, pero también evidencian foco de contaminación importantes. El pH mostro un comportamiento ligeramente alcalino con valores entre 7.26 y 7.90 (media 7.51), dentro del rango permitido. Sin embargo, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) evidencio valores superiores al límite normative (5mg/L), con una media de 8.29mg/L y una desviación estándar moderada (0.83), lo cual sugiere una carga orgánica considerable en el agua. Mas criticó aun, los niveles de oxígeno disuelto oscilaron entre 1.70 y 4.70 mg/L, con una media de 3.43mg/L, lo que indica condiciones de hipoxia perjudiciales para organismos acuáticos, la concentración de solidos suspendidos total (SST) también fue

heterogénea, con un rango de 1.00 a 14.00 mg/L, y una media de 7.00mg/L, reflejando una calidad visual aceptable, aunque variable. Destaca la presencia extrema de coliformes termo tolerables, con un valor máximo de 240.000 NMP/100ml y una media alarmante de 124,017.5, lo que representa un riesgo sanitario severo. En contraste, parámetros como aceites y grasas, color, conductividad y temperatura se mantuvieron dentro de los rangos normales, con muy baja variabilidad.

Tabla 57

Cuadro estadístico descriptivo de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en la laguna Langui

Parámetro	Unidad	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Estándar
pH	-	7.10	7.50	7.25	7.20	0.17
DBO	mg/L	17.22	37.75	25.91	24.34	9.20
Oxígeno disuelto	mg/L	4.00	4.10	4.05	4.05	0.06
SST	mg/L	39.00	52.00	47.25	49.00	5.50
Aceites y grasas	mg/L	0.00	7.04	2.79	1.06	3.08
coliformes termo tolerables	NMP/100 ml	17000.00	35000.00	30500.00	35000.00	8660.25
Color	Pt/Co	30.00	35.00	33.75	35.00	2.50
Conductividad	μS/cm	220.30	235.40	228.00	228.10	6.70
Temperatura	°C	20.40	20.70	20.55	20.55	0.13

La tabla 59 muestra los estadísticos descriptivos de los parámetros físicos, químicos y biológicos obtenidos en la laguna Langui durante el año 2024. En general, los resultados reflejan una condición de alta presión ambiental, con varios parámetros que superan los estándares de calidad ambiental recomendados. El pH presenta un rango entre 7.10 y 7.50 con una media de 7.25 dentro de los límites permisibles y con baja variabilidad (desviación estándar: 0.17), indicando aguas ligeramente alcalinas. Sin embargo, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) revela valores extremadamente elevados, con una media de 25.91 mg/L y un máximo de 37.75mg/L,

muy por encima del valor guía de 5mg/L, lo que evidencia una carga orgánica muy alta y potenciales procesos de eutrofización. El oxígeno disuelto, a pesar de su baja variación (± 0.06 mg/L), se mantiene sistemáticamente por debajo del umbral ecológico mínimo de 5mg/L, con una media de 4.05 mg/L, lo cual representa un riesgo directo para la fauna acuática. Los sólidos suspendidos totales (SST) también superan el límite permitido de 25mg/L, con valores que alcanzan hasta 52mg/L, y una media de 47.25mg/L, indicando una alta turbidez del cuerpo de agua. Los niveles de aceites y grasas muestran una media de 2.79mg/L, con un máximo de 7.04mg/L, superando en al menos un punto el límite normativo, lo que refleja posibles vertimientos de origen doméstico o industrial. En cuanto a la contaminación microbiológica, los coliformes termo tolerables alcanzaron niveles preocupantes (media: 30.500 NMP/100ml), muy por encima del valor permitido de 1.000 reflejando un riesgo significativo para la salud pública. El color presentó una media de 33.75 Pt/Co, también por encima del valor de referencia (20Pt/Co), lo cual refuerza la evidencia de contaminación orgánica o presencia de materia en descomposición. Los valores de conductividad (media: 228 μ S/cm) se mantienen dentro de lo esperado para un ecosistema acuático sin contaminación salina relevante. Finalmente, la temperatura fue constante y dentro de un rango adecuado (20.40 – 20.70°C), con mínima variabilidad.

Tabla 58

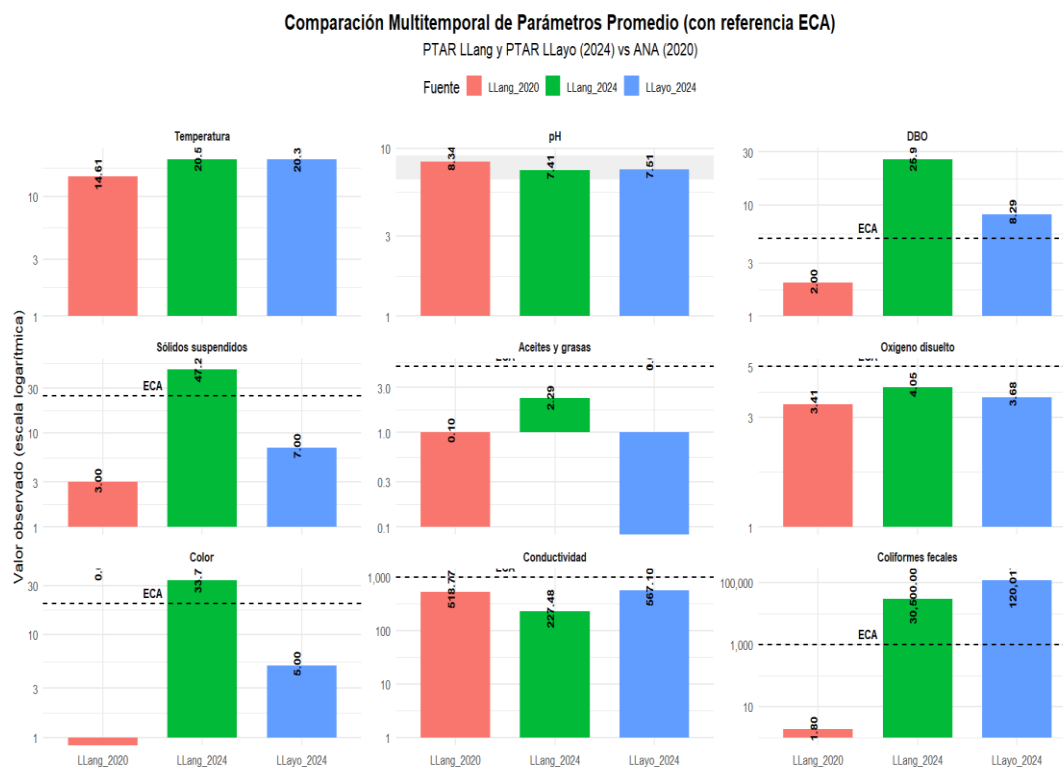
Cuadro de comparación de parámetros promedio observados en PTAR Llang y PTAR LLayo (2024) con datos históricos de ANA (2020)

Parámetro	Unidad	ECA	LLang (2024) Tesista	LLayo (2024) Tesista	LLang (2020) ANA
Temperatura	°C	≤ 3 (Δ)	20.55	20.38	14.61
pH	–	6.5 – 9	7.41	7.51	8.34

Parámetro	Unidad	ECA	LLang (2024) Tesista	LLayo (2024) Tesista	LLang (2020) ANA
DBO	mg/L	≤ 5	25.91	8.29	2.00
Sólidos suspendidos	mg/L	≤ 25	47.25	7.00	3.00
Aceites y grasas	mg/L	≤ 5	2.29	0.00	0.10
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 5	4.05	3.68	3.41
Color	Pt/Co	≤ 20	33.75	5.00	0.00
Conductividad	μS/cm	≤ 1000	227.48	567.10	518.77
coliformes termo tolerables	NMP/100 ml	≤ 1000	30,500.00	120,017.50	1.80

Figura 48

Comparación multitemporal de parámetros promedio en la laguna LLang y LLayo entre 2020 y 2024



La tabla 60 y la figura 48 muestran de manera comparativa la evaluación de los parámetros promedio observados en la laguna LLang y LLayo (2024) frente a los históricos de la Autoridad Nacional de Agua (ANA,2020). Esta comparación multitemporal permite identificar tendencias

de deterioro ambiental asociadas a los vertimientos de las PTAR y a posibles factores externos. En primer lugar, se observa un aumento generalizado de la temperatura en ambas lagunas, pasando de 14.61 °C en 2020 (LLang) a valores superiores a 20 °C en 2024. Este incremento puede estar relacionada con procesos de cambio climático y pérdida de cobertura vegetal, lo cual genera un impacto negativo en la solubilidad del oxígeno y, por ende, en la capacidad de autorregulación del ecosistema. Respecto al oxígeno disuelto (OD), los resultados de 2024 (4.05mg/L en LLang y 3.68mg/L en LLayo) permanecen por debajo del valor mínimo establecido por los ECA (≥ 5 mg/L), evidenciando condiciones de hipoxia que limitan la supervivencia de organismos acuáticos sensibles y reducen la calidad ecológica del cuerpo de agua. En cuanto al pH, se aprecia una disminución en LLang (de 8.34 a 7.41), lo que indica una tendencia hacia condiciones más neutras. Aunque este cambio aún se mantiene dentro de los límites normativos (6.5 – 9), la variación puede estar asociada a un mayor ingreso de materia orgánica y procesos de descomposición. Los resultados de DBO y SST evidencian un claro deterioro. En LLang, la DBO se incrementó de 2.00mg/L a 25.91 mg/L, mientras que los sólidos suspendidos aumentaron de 3.00 a 47.25 mg/L, valores que sobre pasan ampliamente los ECA (≤ 5 y ≤ 25 , respectivamente). Esto refleja un ingreso masivo de carga orgánica y partículas en suspensión que afectan la turbidez y reducen la penetración de luz, favoreciendo procesos de eutrofización. En contraste, LLayo presenta valores más bajos (DBO=8.29 mg/L; SST=7.00mg/L), lo que indica una condición menos crítica, aunque igualmente fuera de norma en el caso de la Dosel análisis de la contaminación microbiológica es particularmente alarmante. Los coliformes termo tolerables pasaron de valores prácticamente inocuos en 2020 (1.8 NMP/100ml) a niveles extremadamente elevados en 2024:30,500 NMP/100ml en LLang y 120,017.5 NMP/100ml en LLayo. Estas concentraciones superan por más de 100 veces el límite establecido (≤ 1000 NMP/100ml), confirmando la presencia de descargas domiciliarias sin

tratamiento eficiente y generando un alto riesgo sanitario para la población y el ecosistema. Por último, el color (33.75 Pt/Co en LLang) y la conductividad (567.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en LLayo) muestran incrementos significativos frente a los valores históricos, lo que refuerza la evidencia de una mayor carga de contaminantes y de sales disueltas en el agua.

VI. Conclusiones

- Realizando el análisis de los vertimientos de efluentes provenientes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de los distritos de Langui y Layo demostró que existe degradación en la calidad del agua de la laguna evidenciada en la tabla 60 mostrándose en la figura 48. Así mismo en el anexo 3 mediante los informes de laboratorio se concluye y valida la hipótesis general demostrando que existe degradación en la calidad del cuerpo receptor.
- Se determinó que los efluentes descargados por las Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de los distritos de Langui y Layo presentan concentraciones elevadas en determinados parámetros físicos, químicos y microbiológicos, como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y los coliformes termo tolerables, los cuales superan los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el D.S.N. °003-2010-MINAM. Este hallazgo se evidencia en la tabla 55 así mismo en el anexo 3 mediante los informes de laboratorio se concluye y valida la hipótesis específica N°1, lo que contribuye a la alteración de las condiciones naturales del cuerpo receptor.
- El análisis de las muestras tomadas en los puntos de monitoreo de la laguna muestra que algunos parámetros, como oxígeno disuelto (OD), color, coliformes termo tolerables y Sólidos Suspendidos Totales no cumplen con los valores establecidos en los Estándares de Calidad del agua (ECA) para la categoría 4: Conservación del ambiente acuático (D.S.N. °004-2017-MINAM). Estos resultados se muestran en las tablas 56 y 57 indican una afectación directa en la calidad del agua del ecosistema lacustre, atribuida principalmente a los vertimientos de efluentes provenientes de las PTAR y a las actividades antrópicas en la zona de influencia concluyendo y validando la hipótesis específica N°2 con el anexo 3

mediante los informes de laboratorio y el anexo 4 con las fotografías demostrando que los parámetros superan los valores establecidos por los estándares de calidad.

- Los valores obtenidos del ICA-PE (50.76 y 44.92) siendo comparada en la tabla 54 donde reflejan una calidad del agua clasificada entre “regular” y “mala”, conforme a la metodología establecida por el Ministerio del Ambiente. Así mismo se concluye y valida la hipótesis específica N°3 aplicando el instrumento ICA-PE donde los valores obtenidos se encuentra en el rango 30 a 70 generando un desequilibrio ecológico de la laguna Langui – Layo.

VII. Recomendaciones

En función de los resultados obtenidos y de las conclusiones alcanzadas en la presente investigación, se plantean las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda fortalecer la operación, mantenimiento y supervisión técnica de la PTAR de los distritos de Langui y Layo, garantizando que los procesos de tratamiento cumplan con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el D.S.N. °003-2010-MINAM.
- Se sugiere realizar monitoreos periódicos de los parámetros físico, químico y microbiológicos de la laguna Langui -Layo, siguiendo la metodología del Índice de Calidad del Agua (ICA-PE) y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos por el D.S.N. °004-2017-MINAM. Esto permitirá identificar variaciones temporales en la calidad del agua, establecer alertas tempranas y diseñar estrategias de mitigación oportunas
- Además de los vertimientos de las PTAR, se recomienda implementar programas de control de contaminación difusa asociados a actividades agrícolas, ganaderas y domésticas en el entorno de la laguna. Estas acciones deben incluir campañas de educación ambiental dirigidas a la población local sobre la importancia del manejo adecuado de residuos sólidos y aguas servidas.
- Se recomienda que las autoridades competentes, como la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y los gobiernos locales, coordinen la aplicación efectiva de la normativa ambiental vigente y promuevan la actualización de los valores de referencia microbiológicas en los cuerpos de agua, dado que aún existen vacíos normativos en determinadas categorías, especialmente en la Categoría 4: conservación del ambiente acuático.
- Se recomienda desarrollar proyectos de remediación ambiental, tales como la revegetación de zonas riverseñas, el control de erosión y la creación de barreras biológicas naturales, con

el fin de recuperar la capacidad de autodepuración del cuerpo de agua y preservar la biodiversidad del ecosistema de la laguna Langui-Layo.

VIII. Referencia

- A., V. O. (1994). *Introduccion a la quimica industrial* .
- Abreu, J. L. (2014). El metodo de la Investigacion. *International Journal of Good Conscience*.
- Alvaro Javier Moyano Slacedo, F. D. (2021). Impacto ambiental del vertimiento de aguas servidas en aglomerados urbanos ilegales del municipio de Villavicencio . *Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas*.
- Amarildo, F. E. (2011). *Aguas residuales en el Peru, problematica y uso en la agricultura*. ANA y Ministerio de Agricultura.
- ANA. (2018). *Metodologia para la determinacion del indice de calidad de agua de los recursos superficiales en el Peru*. Peru.
- Barba. (2002). *Concepto basicos de la contaminacion del agua y parametros de medicion tesis de pregrado*. Colombia: Universidad del Valle, Santiago de Cali.
- Barriga, D. E.-J. (2020). Analisis documental del efecto de vertimiento domesticos y mineros. *Gestion y Ambiente*.
- Bernal, C. A. (2010). *Metodologia de la investigacion administracion, economia, humanidad y ciencia sociales. (tercera edicion)*.
- Boakye, R. (2012). *Impacto de los residuos en la superficie urbana recurso hidricos, estudio de caso de Aboabo*. Kumasi.
- C., B. A. (2000). *Ecologia del Peru* . Lima: Asociacion Editorial Bruño .
- Caceres, N. C. (2022). *Evaluacion de la PTAR Sicuani y su impacto en la calidad del agua del rio Vilcanota* . Cusco.
- Carlos Alberto Alcantara Alfaro, D. d. (2023). Calidad de los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas de Piura. *Inst.Investig.Fac.Minas Meta.Cienc.Geogr vol N°26*.

- Cecilia Andrea Rivera Castro, J. A. (2020). Calidad del agua del estero El Sauce, Valparaiso, Chile Central . *Rev.Int.Contam.Ambie* 36(2) 261-273, 271.
- Cuenca, M. (2016). *Los problemas de eutrofización de las aguas superficiales en relación con la agricultura*.
- Díaz, D. M. (2019). *Efectos de la Contaminación de Aguas Residuales del Lago de Morona Cocha en la Salud de la Población Ribereña*. Iquitos.
- E., N. (2018). *tipos de investigación*. Universidad Santo Domingo Guzman.
- Elizabeth Díaz Cuenca, A. R. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía en San Miguel Almaya. *Quivera (Universidad Autónoma del Estado de México)*.
- Espinoza, P. A. (2017). *Calidad de Aguas en el Perú, Retos y aportes para una gestión sostenible en aguas residuales* . Lima: Derecho, Ambiente y Recursos Naturales .
- Gonzales, H. H. (2012). *Vertimiento de aguas residuales urbanas y sus efectos en la condición ambiental de la Ensenada La Salada, Sonora, México*. Guaymas.
- Griffith J. Weisberg S, y. M. (2003). *Evaluation of microbial Source tracking methods using mixed fecal sources in aqueous test samples* .
- Guzman, A. J. (2011). *ingeniería ambiental ed.1*. México.
- H., H. (2005). *Manual de tratamiento de aguas negras* . México.
- Hernández, & Torres, M. (2018).
- Hernández, J. (2014). *Comparación de costos entre una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas prefabricada y una construida en sitio* . Guatemala .

- Holguin, Y. Y. (2019). *Diagnostico y seguimiento de vertimientos de aguas residuales somesticas al alcantarillado urbano de Duitama* . Tunja, Colombia : Universidad Pedagógica y Teconológica de Colombia .
- Huacho, L. M. (2020). *Efecto del vertimiento de aguas residuales domiciliarias en la calidad del agua en el rio Sicra Lircay* . Huancavelica.
- Irina Alfaro Ccarhuarupay, D. N. (2021). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales en la comunidad campesina de Llaspay, distrito de Huanoquite, provincia de Paruro, region Cusco-2021* .
- Isabel, T. F. (2023). *Evaluacion Ambiental del Efecto del Vertimiento de las Aguas Residuales Domesticas Tratadas provenientes de la unidad minera San Rafael en la calidad del agua de la Quebrada Caquene ubicada en la Region de Puno, periodo 2018-2022*. Lima.
- Kathia Soto Torres, R. V. (2010). Manual tecnico de difusion sistema de tratamiento de aguas residuales para albergues en zonas rurales . *Ministerio de Comercio Exterior y Turismo* .
- Larios-Meño, C. G. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Peru. *Facultad de Ingenieria de la USIL*.
- Luis Ernesto Alferez Rivas, N. N. (2019). Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR):Impacto ambiental esperado e impacto ambiental provocado. *Caribeña de Ciencias Sociales*.
- M., R. (1999). *Tratamiento de aguas industriales* .
- Miller Alejandro Cachaya Rodriguez, M. A. (2023). *Evaluacion de Impacto ambiental para la implementacion de una planta de tratamiento de aguas residuales en el conjunto residencia Quinta de Morelia III, municipio de Villa Vicencio* . Colombia: Universidad Cooperativa de Colombia - Facultad de Ingenieria Civil .

- Ministerio de Agricultura y Riego, A. N. (2018). *Metodología para la Determinación del Índice de calidad de agua ICA-PE, aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales* . Peru: Ministerio de agricultura y Riego, ANA .
- Miriam, S. D. (2023). *Vertimiento de guas residuales domesticas y su efecto en la contaminacion ambiental de la fuente hidrica del rio Higueras*. Huanuco.
- Muñoz, D. M. (2020). Impacto Ambiental de la lagunas de tratamiento de aguas residuales del sector colina San Jose. *ciencia y tecnicas aplicadas polo del conocimiento* .
- Navas-Gallo, N. A.-D. (2024). Alteracion de la calidad del agua por el vertido de aguas residuales en el Municipio de San Benito, Colombia. *Rev.Amaz.Cienc.Ambient.Ecol* 3(1), Universidad Nacional de San Martin , 6.
- OEFA. (2014). *Fiscalizacion ambiental en aguas residuales* . Peru: MINAM.
- Ordoñez, J. (2011). *Foro peruano para el agua* . Lima.
- Salazar, W. S. (2020). *Diagnostico del maenjo de las aguas residuales y contaminacion de estas en el area urbana del municipio de Puerto Santander, Norte de Santander* . San Jose de Cucuta, Colombia : Universidad Francisco de Paula Santander .
- Salud, O. M. (1995). *Guias para la calidad del aguas potable* .
- Sierra, C. (2011). *Calidad de agua evaluacion y diagnostico* . Colombia : primera edicion .
- Soto, V. C. (2017). *Impacto ambiental por aguas residuales en la laguna de Langui - Layo* . Cusco.
- Tenemaza Solorzano, H. F. (2024). *Planta de Tratamiento de agua residuales (ptar): impacto ambiental esperado e impacto ambiental provocado en la ptar el Tambo*. Ecuador : Vol.8 No.2 (2024): Journal Scientific Investigar ISSN: 2588-0659 .

Toxicologia, D. d. (2010). Efecto del vertedero de aguas residuales sin tratar en la calidad de las aguas subterráneas en la comunidad Iddo. *Ciencia Agrícola y Medio Ambiente (UNAAB)*.

Tsunao Matsumoto, I. A. (2010). Eficicnecia del tratamiento de aguas residuales por lagunas facultativas e implicaciones en la salud pública. *Univ. Salud vol.12 no1 pasto Jan* .

/RV DQH[RV SDQHO IRWRJUiILFR \ RWURV GRFXPHQWRV †
GLJLWDO LQVWLWXFLRQDO HQ OD %LEOLRWHFD &HQWUDC