

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



Tesis

**Efecto de las actividades antrópicas en la calidad del agua de la laguna de Pacucha,
Andahuaylas-2023**

Asesor (a):

Dra. Soto Carrión, Carolina

Autor (a):

Aparco del Pozo, Wendy Maloney

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Abancay - Apurímac – Perú

2025

Acta de sustentación



FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE ING. AMBIENTAL Y RR.NN

Acta N°: 026

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Abancay, a los 22 días del mes de agosto del 2025, siendo las 10:00 a.m. horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 180-2025-UTEA-FI-EPIARN de fecha 18 de agosto del 2025 de la Escuela Profesional de Ing. Ambiental y Recursos Naturales, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mg. Salas Peña, Vanesa
Dictaminante :	Mg. Sierra Puga, Javier
Replicante :	Mg. Guzmán Gamarra, Jesús Aurelio

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada: Efecto de las actividades antrópicas en la calidad del agua de la laguna de Pacucha, Andahuayas-2023.

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: Aparco del Pozo, Wendy Maloney
(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental
(Denominación del Título)

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

Por: **Unanimidad**
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Aparco del Pozo, Wendy Maloney	Aprobado Notable

Siendo las 12:00 p.m. horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: **MG. Salas Peña, Vanesa**
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)

Dictaminante: **Mg. Sierra Puga, Javier**
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

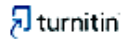
(Firma)

Replicante: **Mg. Guzmán Gamarra, Jesús Aurelio**
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)

(*) : 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.

Reporte de similitud






19% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 9 palabras)

Fuentes principales

- 15%  Fuentes de Internet
- 5%  Publicaciones
- 14%  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 permitan 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	:	Aparco Del Pozo Wendy Maloney
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	70220838
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0000-4123-8726
Datos del Asesor		
Apellidos y nombres	:	Dra. Carolina Soto Carrión
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	31011917
URL ORCID	:	https://orcid.org/0000-0001-5200-5768
Datos de la investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ingeniería ambiental
Línea de Investigación	:	Calidad Ambiental
Rango de años en que se realizó la investigación	:	Del 2023 a 2024
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	19%
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford# 2.07.01

Dedicatoria

A dios, mi guía en cada paso, por darme la fuerza en los días difíciles y la luz cuando más lo necesitaba.

A mi mamá Felicitas, por su amor sin medida y por ser mi ejemplo de lucha y entrega. Esta tesis también es tuya, porque sin ti nada de esto habría sido posible.

A mi querida hija Adeline, gracias por enseñarme que el amor verdadero puede con todo, esta tesis es un regalo para ti, como un símbolo de mi amor y dedicación.

A José Luis, mi compañero de vida, gracias por caminar a mi lado en este viaje, por tus palabras de aliento cuando sentía rendirme, y por recordarme siempre lo lejos que puedo llegar.

A mi hermano Erick, gracias infinitas por estar ahí en los momentos que más te necesite, tu ayuda, tu apoyo incondicional y tu fe en mí han sido fundamentales para lograr este sueño. No hay palabras suficientes para agradecerte.

A mis suegros, Hilda y Roger, gracias por acogerme con tanto cariño, por sus consejos y por estar presentes en mi vida de forma muy especial.

A la memoria de mi abuelita Gregoria, que desde el cielo me acompaña. Siempre llevare en mi corazón tus enseñanzas y ese amor tan grande que me diste.

Agradecimientos

Con el corazón lleno de gratitud, quiero agradecer profundamente a todas las personas que hicieron posible la realización de esta tesis.

A mi asesora de tesis, Dra. Carolina Soto Carrión, gracias por su guía, paciencia y confianza a lo largo de este proceso. Su dedicación, experiencia y valioso acompañamiento fueron claves para dar forma a este trabajo. Siempre recordaré con aprecio su compromiso y disposición.

A mi madre, por ser mi fuerza en los momentos difíciles, por su amor infinito y por enseñarme a nunca rendirme. A mis hermanos, especialmente a Erick, por su apoyo incondicional, por estar siempre presente cuando más lo necesitaba y por creer en mí incluso en los días más duros. Esta meta también es suya.

A mi familia en general, por el cariño, las palabras de aliento y la energía que me acompañaron durante todo el camino.

Y a la Universidad Tecnológica de los Andes, por abrirme las puertas, brindarme las herramientas necesarias y por el respaldo académico y económico que hicieron posible esta investigación

A todos ustedes, gracias por ser parte de este logro. Nunca olvidaré lo importante que fueron en este capítulo de mi vida

Resumen

El presente estudio evalúa el impacto de las actividades antrópicas en la calidad del agua de la laguna de Pacucha, ubicada en Andahuaylas, Perú. Las actividades humanas, especialmente la agricultura intensiva, la ganadería y la urbanización en las zonas circundantes, se han convertido en factores clave que alteran las propiedades físico-químicas y microbiológicas del agua. El objetivo general fue analizar cómo estas actividades afectan la calidad del agua utilizando índices de calidad como ICOMO, ICOpH, ICOTRO, y parámetros microbiológicos. La metodología empleada consistió en el análisis cuantitativo de diversas muestras de agua tomadas de diferentes puntos de la laguna. Se evaluaron parámetros como el pH, conductividad eléctrica, turbidez, sólidos suspendidos, coliformes termo tolerantes, entre otros. Los datos fueron analizados utilizando índices específicos para determinar el grado de afectación. Los resultados mostraron que las actividades antrópicas aumentaron significativamente la concentración de nutrientes, el índice de contaminación por materia orgánica alcanzó un valor promedio de 0.391 mg/l, mientras que en la temporada de avenida se redujo a 0.266 mg/l. La mayor acumulación se registró en la orilla, con un promedio de 0.396 mg/l, lo que indica una menor dilución y mayor impacto de residuos orgánicos provenientes de actividades humana. En conclusión, las actividades humanas han deteriorado significativamente la calidad del agua de la laguna de Pacucha, lo que exige la implementación de estrategias de gestión sostenible para restaurar la salud del ecosistema acuático y garantizar la calidad del agua.

Palabras clave: Laguna Pacucha, Calidad del agua, Actividades antrópicas, contaminación.

Abstract

This study evaluates the impact of anthropogenic activities on the water quality of Pacucha Lagoon, located in Andahuaylas, Peru. Human activities, especially intensive agriculture, livestock farming, and urbanization in the surrounding areas, have become key factors altering the physicochemical and microbiological properties of the water. The general objective was to analyze how these activities affect water quality using quality indices such as ICOMO, ICOpH, ICOTRO, and microbiological parameters.

The methodology employed consisted of a quantitative analysis of various water samples collected from different points of the lagoon. Parameters such as pH, electrical conductivity, turbidity, suspended solids, and thermotolerant coliforms, among others, were evaluated. The data were analyzed using specific indices to determine the degree of impact. The results showed that anthropogenic activities significantly increased nutrient concentrations, with the organic matter contamination index reaching an average value of 0.391 mg/L, while during the flood season, it decreased to 0.266 mg/L. The highest accumulation was recorded at the shore, with an average of 0.396 mg/L, indicating lower dilution and a greater impact of organic waste from human activities.

In conclusion, human activities have significantly deteriorated the water quality of Pacucha Lagoon, necessitating the implementation of sustainable management strategies to restore the health of the aquatic ecosystem and ensure water quality.

Keywords: Pacucha lagoon; water quality; anthropic activities, contamination.

Índice

Portada.....	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimientos.....	vi
Resumen y palabras clave.....	vii
Abstract and keywords.....	viii
Índice general	ix
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xiv
I. Introducción.....	17
II. Planteamiento del problema.....	19
2.1. descripción y formulación del problema.....	19
2.2. Objetivos.....	22
2.1.1. Objetivo General.....	22
2.1.2. Objetivos Específicos	22
2.3. Justificación e importancia.....	22
2.4. Hipótesis	24
2.5. Variables.....	25
III. Marco Teórico.....	29
3.1. Antecedentes.....	29
3.2 Bases teóricas	36
3.3. Definición de términos	45
IV. Metodología.....	48
4.1 Tipo y nivel de investigación.....	48
4.2. Ámbito Temporal y espacial.....	48
4.3. Población y muestra	48

4.4. Instrumentos	50
4.5. Procedimiento.....	52
4.6. Análisis de datos.....	68
4.7. Consideraciones éticas.....	69
V. Resultados y discusiones.....	71
VI. Conclusiones	156
VII. Recomendaciones.....	158
VIII. Referencias	159
XI. Anexos.....	¡Error! Marcador no definido.

Índice de tablas

Tabla 1 Calificación de calidad de agua según valores que tomen índices de contaminación.....	43
Tabla 2 Concentraciones de fosforo	45
Tabla 3 Temporadas de recolección de muestra.....	49
Tabla 4 Técnicas e instrumentos utilizados en la investigación.....	52
Tabla 5 Ubicación de puntos de monitoreo situados dentro de la laguna de Pacucha en la temporada de avenidas y estiaje	55
Tabla 6 Ubicación de puntos de monitoreo situados en el borde (orilla) de la laguna de Pacucha en la temporada de avenidas y estiaje	56
Tabla 7 Tipo de envase para las muestras evaluadas.....	61
Tabla 8 Métodos usados para la medición de los parámetros Microbiológicos.....	63
Tabla 9 Métodos usados para la medición de los parámetros Fisicoquímicos.....	64
Tabla 10 Ecuaciones para determinar los índices de contaminación.....	65
Tabla 11 Tabla de calificación de la magnitud e importancia de del impacto de las actividades en la matriz de Leopold	67
Tabla 12 Tabla de calificación de la magnitud e importancia de del impacto de las actividades en la matriz de lepold.....	68
Tabla 13 Valoración del Impacto de las actividades antrópicas.....	68
Tabla 14 Promedios del índice de saturación de oxígeno (%) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.....	71
Tabla 15 Promedios del Nivel de demanda bioquímica (DBO) (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estio), Localización (dentro y orilla) y la subarea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.	74
Tabla 16 Promedios del Nivel de Coliformes Fecales de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.	77
Tabla 17 Promedios del Índice de contaminación por Materia Orgánica (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.....	80

Tabla 18 _Promedios del Índice de contaminación de pH (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.....	83
Tabla 19 _Promedios del Índice de contaminación Trófica (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.....	86
Tabla 20 _Promedios del Potencial de Hidrogeno (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.	89
Tabla 21 _Promedios del Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.....	92
Tabla 22 _Promedios de Oxígeno Disuelto (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subarea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.	96
Tabla 23 _Promedios de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subarea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.	99
Tabla 24 _Promedios de Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.....	102
Tabla 25 _Promedios de Amoniaco total (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subarea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.	106
Tabla 26 _Promedios de Nitratos (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subarea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.	109
Tabla 27 _Promedios de Nitrógeno total (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.	112
Tabla 28 _Promedios del Nivel de Fosforo (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.	115

Tabla 29 _Promedios de Solidos suspendidos totales de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.	119
Tabla 30 _Promedios de Clorofila A (mg/l) la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.	122
Tabla 31 _Promedios de Coliformes termo tolerantes (NMP) la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.....	125
Tabla 32 _Matriz de correlación del índice de contaminación	129
Tabla 33 _Matriz de correlación de componentes principales de parámetros físicos químicos y microbiológicos	133
Tabla 34 _Matriz de correlación entre los factores biofisicos (Biótico y Físico).....	138
Tabla 35 _Matriz de correlación de las actividades antrópicas, índices de contaminación y parámetros físico químicos.....	143

Índice de figuras

Figura 1 Operacionalización de Variables	27
Figura 2 Vías de movimiento de plaguicidas.....	38
Figura 3 Esquema metodológico	53
Figura 4 Puntos de monitoreo en la laguna de Pacucha situados dentro y en la orilla de la laguna en la temporada de avenida y estío.	55
Figura 5 Distribución espacial de las actividades antrópicas de la laguna de Pacucha...	56
Figura 6 Diagrama de flujo del Procedimiento de toma de muestras en los puntos de monitoreo.....	59
Figura 7 Rotulo de las muestras de agua para parámetros físico químicos.....	60
Figura 8 Procesamiento de datos de las Actividades Antrópicas	66
Figura 9 Proceso de evaluación de actividades antrópicas.....	67
Figura 10 Promedios del índice de saturación de oxígeno (%) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), ubicación (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.....	71
Figura 11 Promedios del Nivel de demanda bioquímica (DBO) (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.	74
Figura 12 Promedios del Nivel de Coliformes Fecales de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.	77
Figura 13 Promedios del Índice de contaminación por Materia Orgánica (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.....	80
Figura 14 Promedios del Índice de contaminación de pH (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha. Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas. Año 2023	83
Figura 15 Promedios del Índice de contaminación Trófica (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.....	87

Figura 16 _Promedios del Potencial de Hidrogeno (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.	90
Figura 17 _Promedios del Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subarea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.....	93
Figura 18 _Promedios de Oxígeno Disuelto (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.	96
Figura 19 _Promedios de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.	100
Figura 20 _Promedios de Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subarea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.	103
Figura 21 _Promedios de Amoniaco total (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.	106
Figura 22 _Promedios de Nitratos (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.	109
Figura 23 _Promedios de Nitrógeno total (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.	113
Figura 24 _Promedios del Nivel de Fosforo (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.	116
Figura 25 _Promedios de Solidos suspendidos totales de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.	119
Figura 26 _Promedios de Clorofila A (mg/l) la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.	123

Figura 27 Promedios de Coliformes termo tolerantes (NMP) la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.....	126
Figura 28 Análisis de componentes principales del índice de contaminación.....	129
Figura 29 Análisis de componentes principales de parámetros físicos químicos y microbiológicos	134
Figura 30 Análisis de componentes principales de las actividades antrópicas y los factores biofísicos (Biótico y Físico)	139
Figura 31 Análisis de componentes principales de las actividades antrópicas, índices de contaminación y parámetros físico químicos	144

I. Introducción

El estudio de la calidad del agua ha sido un tema de interés en la investigación ambiental debido a la creciente contaminación de los cuerpos hídricos por actividades humanas. La Laguna de Pacucha, ubicada en Andahuaylas, Perú, constituye un ecosistema de vital importancia para las comunidades locales, ya que abastece de agua para diversas actividades, como la agricultura, la pesca y el consumo humano. No obstante, la expansión de actividades antrópicas en sus alrededores, incluyendo la agricultura intensiva, la ganadería, la urbanización y la acuicultura, generó impactos negativos en la calidad del agua, comprometiendo la estabilidad del ecosistema y afectando su biodiversidad.

En el contexto de la contaminación del agua, estudios previos evidenciaron que las actividades humanas promovieron procesos de eutrofización, aumento de turbidez y acumulación de contaminantes químicos y microbiológicos. En diversas investigaciones nacionales e internacionales, se documentaron cambios significativos en la calidad del agua de lagos y ríos expuestos a intervenciones humanas. Sin embargo, a pesar de la existencia de estos estudios, se identificó una carencia de información actualizada y detallada sobre la calidad del agua en la Laguna de Pacucha, lo que dificultaba la implementación de estrategias efectivas para su conservación.

Ante esta problemática, esta investigación tuvo como propósito evaluar el efecto de las actividades antrópicas en la calidad del agua de la Laguna de Pacucha. Para ello, se planteó como objetivo general analizar cómo las distintas actividades humanas influyeron en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua. Específicamente, se buscó determinar la influencia de la actividad agrícola en los niveles de nutrientes como nitratos y fosfatos, analizar el impacto de las actividades pecuarias y domésticas en la presencia de coliformes termotolerantes y evaluar las variaciones en la acidez del agua mediante el índice ICOpH. Asimismo, se midieron los niveles de contaminación trófica a través del índice

ICOTRO y se compararon los parámetros de calidad en diferentes puntos de la laguna y en distintas temporadas climáticas.

Se formuló la hipótesis donde las actividades antrópicas deterioraban significativamente la calidad del agua de la Laguna de Pacucha, alterando sus propiedades fisicoquímicas y microbiológicas. Se propuso, además, que la actividad agrícola incrementaba la concentración de nitratos y fosfatos en el agua, favoreciendo la eutrofización, mientras que la actividad pecuaria y doméstica aumentaban los niveles de contaminación microbiológica, afectando su potabilidad. Los parámetros de calidad del agua presentan variaciones significativas en función de la proximidad a las fuentes de contaminación.

Esta investigación presenta relevancia debido a que proporcionó datos científicos que permitieron comprender el impacto real de las actividades humanas en la laguna, lo que servirá de base para la formulación de estrategias de mitigación y políticas ambientales orientadas a la protección del recurso hídrico. Los hallazgos obtenidos pueden contribuir al desarrollo de investigaciones futuras y a la toma de decisiones informadas sobre la conservación de ecosistemas acuáticos similares.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

El deterioro de la calidad del agua a nivel mundial ha sido ampliamente documentado como una consecuencia directa de las actividades humanas. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), aproximadamente 2,000 millones de personas consumen agua contaminada con materia fecal, lo que provoca enfermedades diarreicas y afecta la salud pública global (OMS, 2022). Además, se estima que el 80% de las aguas residuales en el mundo son vertidas en el ambiente sin tratamiento adecuado, contribuyendo a la contaminación de los ecosistemas acuáticos y la reducción de recursos hídricos seguros (ONU-Agua, 2021).

En América Latina, la problemática se agrava debido a la deforestación, la expansión agrícola y la urbanización sin planificación adecuada. La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) reportó que alrededor del 70% de las aguas superficiales en la región están contaminadas debido a descargas industriales, residuos domésticos y agroquímicos (CEPAL, 2023). La contaminación del agua en ríos y lagunas de la región ha causado la proliferación de bacterias patógenas, la pérdida de biodiversidad y la alteración de los ecosistemas acuáticos, afectando a comunidades que dependen de estos recursos hídricos para su supervivencia.

En Perú, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) identificó 4,147 fuentes de contaminación que afectan la calidad del agua en las principales cuencas hidrográficas del país, siendo las descargas de aguas residuales domésticas y agroindustriales las más significativas (ANA, 2023). En la vertiente del Pacífico, que abarca gran parte del país, la contaminación del agua alcanza niveles críticos debido al crecimiento urbano descontrolado y el uso intensivo de agroquímicos. Asimismo, estudios del Ministerio del Ambiente (MINAM) han revelado que el 90% de los cuerpos de agua monitoreados

en Perú presentan algún grado de contaminación, lo que limita su uso para el consumo humano y actividades económicas como la agricultura y la pesca (MINAM, 2022).

A nivel regional, en el departamento de Apurímac, la situación no es diferente. La ANA ha reportado que la mayoría de los cuerpos de agua en la región presentan altos niveles de turbidez, contaminación por coliformes fecales y presencia de metales pesados derivados de la actividad minera y agrícola. En la provincia de Andahuaylas, donde se encuentra la Laguna de Pacucha, la falta de una gestión eficiente de los recursos hídricos ha contribuido a la contaminación progresiva de este ecosistema. La Laguna de Pacucha es una de las lagunas más grandes del país y un recurso esencial para la biodiversidad local y el sustento de la población, sin embargo, su calidad de agua se ha visto afectada por el vertimiento de aguas residuales domésticas, residuos sólidos, fertilizantes y pesticidas utilizados en las actividades agrícolas cercanas.

La contaminación del agua en la Laguna de Pacucha impacta no solo en la biodiversidad del ecosistema acuático, sino también en la salud de la población que depende de ella para el consumo y la actividad económica. Según el Congreso de la República (2017), la laguna ha sido objeto de múltiples intentos de conservación debido a su importancia ambiental y económica. Sin embargo, el crecimiento de la población, la expansión de la agricultura y la ganadería, así como la ausencia de políticas de control ambiental efectivas, han intensificado la degradación del recurso hídrico.

En este contexto, se hace necesario un análisis científico de la calidad del agua en la Laguna de Pacucha, con el fin de identificar el impacto real de las actividades antrópicas y proporcionar información que sirva de base para la implementación de estrategias de mitigación y conservación. La presente investigación se centra en evaluar los efectos de la actividad agrícola, acuícola, pecuaria y doméstica en la calidad del agua

de la laguna, considerando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos clave para determinar su estado de conservación y sostenibilidad.

2.1.1. Problema General

¿Cuál es el efecto de las actividades antrópicas en la calidad del agua de la laguna de Pacucha, Andahuaylas - 2023?

2.1.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es el efecto de las actividades antrópicas según las propiedades químicas del agua (Índice de contaminación por materia orgánica) en la laguna de Pacucha, Andahuaylas - 2023?
- ¿Cuál es el efecto de las actividades antrópicas según las propiedades microbiológicas del agua (Índice de contaminación por materia orgánica) en la laguna de Pacucha, Andahuaylas - 2023?
- ¿Cuál es el efecto de las actividades antrópicas según las propiedades químicas del agua (El índice de contaminación para pH) en la laguna de Pacucha, Andahuaylas - 2023?
- ¿Cuál es el efecto de las actividades antrópicas según las propiedades químicas del agua (Índice contaminación Trófico) en la laguna de Pacucha, Andahuaylas - 2023?
- ¿Cuál es el efecto de las actividades antrópicas según los parámetros físicos del agua en la laguna de Pacucha, Andahuaylas - 2023?
- ¿Cuál es el efecto de las actividades antrópicas según los parámetros químicos del agua en la laguna de Pacucha, Andahuaylas - 2023?
- ¿Cuál es el efecto de las actividades antrópicas según los parámetros Microbiológicos del agua en la laguna de Pacucha, Andahuaylas - 2023?

2.2.Objetivos

2.1.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de las actividades antrópicas en la calidad del agua de la laguna Pacucha Andahuaylas – 2023.

2.1.2. Objetivos Específicos

- Determinar el efecto de las actividades antrópicas según las propiedades químicas del agua (Índice de contaminación por materia orgánica) en la laguna de Pacucha, Andahuaylas - 2023
- Comprobar el efecto de las actividades antrópicas según las propiedades microbiológicas del agua (Índice de contaminación por materia orgánica) en la laguna de Pacucha, Andahuaylas - 2023
- Precisar el efecto de las actividades antrópicas según las propiedades químicas del agua (El índice de contaminación para pH) en la laguna de Pacucha, Andahuaylas - 2023
- Identificar el efecto de las actividades antrópicas según las propiedades químicas del agua (Índice contaminación Trófico) en la laguna de Pacucha, Andahuaylas - 2023
- Precisar el efecto de las actividades antrópicas según los parámetros físicos del agua en la laguna de Pacucha, Andahuaylas – 2023
- Establecer el efecto de las actividades antrópicas según los parámetros químicos del agua en la laguna de Pacucha, Andahuaylas - 2023
- Medir el efecto de las actividades antrópicas según los parámetros Microbiológicos del agua en la laguna de Pacucha, Andahuaylas – 2023

2.3.Justificación e importancia

2.3.1. Justificación

Sabaj y Landea (2012) señalan a la justificación como operación racional que fundamenta actos, creencias y conocimientos; en ese sentido, se pueden señalar diversas justificaciones desde distintos puntos de vista, a continuación, se presentan la justificación teórica, práctica, social y metodológica de la investigación.

Justificación Teóricamente

El estudio aportara conocimiento del uso de indicadores de contaminación en calidad de agua, de las actividades antrópicas, evaluando parámetros físicos, químicos y microbiológicos, de manera que pueda aportar a una mejor comprensión de estos parámetros en análisis y evaluación de calidad de agua en posteriores estudios.

Justificación práctica

Hace énfasis en que este estudio ayudará a determinar la calidad del agua, mediante comparación con Estándar de Calidad de Agua (ECA) e índice de contaminación lo que nos dará un resultado más preciso de su estado en que se encuentra, como justificación metodológica, han aplicado indicadores de contaminación del agua, como herramienta para mejorar los recursos hídricos.

Justificación social

Contribuirá a resaltar importancia del agua de la Laguna de Pacucha y promover su conservación a través de estrategias de prevención y enfoques que eviten la contaminación y la alteración de calidad del agua, aportando al desarrollo del territorio, a través de actividades en torno a ella y que como consecuencia beneficien a la población aledaña.

Justificación metodológica

Radica en el hecho de que en el presente estudio se aplican métodos de evaluación previamente empleados en cuerpos de agua a nivel nacional por las autoridades competentes, adaptados a condiciones de zona de estudio, facilite la tarea de futuras investigaciones en la búsqueda de evaluación de calidad de agua de una manera precisa como se buscó en este estudio.

2.3.2. Importancia

Es importante estudiar el efecto de las actividades antrópicas en la calidad del agua de la Laguna de Pacucha radica en la necesidad de comprender cómo las intervenciones humanas impactan un ecosistema acuático vital para la provincia de Andahuaylas. La Laguna de Pacucha es un recurso natural que no solo tiene un valor ambiental, sino también económico y social, ya que es empleada para actividades como la agricultura, el turismo y la pesca.

El crecimiento urbano, la actividad agrícola, la actividad pecuaria y la actividad acuícola en las áreas circundantes alteran la composición química y física del agua, afectando su calidad, biodiversidad y funcionalidad ecológica. Además, estos cambios pueden tener repercusiones en la salud de la población local, especialmente en comunidades que dependen directamente del agua de la laguna para su consumo y actividades cotidianas

El estudio permitió identificar las fuentes principales de contaminación, evaluar su magnitud y proponer estrategias de mitigación basadas en los hallazgos. Además, contribuirá al diseño de políticas públicas que promuevan la sostenibilidad de este cuerpo de agua, garantizando su conservación para futuras generaciones.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

Las actividades antrópicas tienen un efecto negativo en la calidad del agua de la laguna de Pacucha, Andahuaylas – 2023

2.4.2. Hipótesis específicas

- Los niveles químicos del agua (Índice de contaminación por materia orgánica) son altos producto de las actividades antrópicas en la laguna de Pacucha Andahuaylas -2023
- Los niveles microbiológicos del agua (Índice de contaminación por materia orgánica) son altos producto de las actividades antrópicas en la laguna de Pacucha Andahuaylas -2023
- Los niveles químicos del agua (El índice de contaminación para pH) son altos producto de las actividades antrópicas en la laguna de Pacucha Andahuaylas - 2023
- Los niveles químicos del agua (Índice contaminación Trófico) son altos producto de las actividades antrópicas en la laguna de Pacucha Andahuaylas - 2023
- Los parámetros físicos del agua son altos producto de las actividades antrópicas en la laguna de Pacucha Andahuaylas -2023
- Los parámetros químicos del agua son altos producto de las actividades antrópicas en la laguna de Pacucha Andahuaylas -2023
- Los parámetros microbiológicos del agua son altos producto de las actividades antrópicas en la laguna de Pacucha Andahuaylas -2023

2.5. Variables

Se estudiaron 2 variables, independiente y dependiente, descritas con dimensiones e indicadores, definición conceptual y operacional, matriz de operacionalización representada en la figura 1.

- **Variable Independiente: Actividades antrópicas**

De acuerdo a Ansari y Matondkar (2014), el término antropogénico indica un efecto u objeto resultante de actividad humana, los cuales, según Bogan et ál. (2014) Provocan cambios topográficos que tienen fuertes repercusiones sobre el medio ambiente, algunas positivas pero otras negativas.

Dimensiones:

- ✓ Actividad agrícola
- ✓ Actividad acuícola
- ✓ Actividad pecuaria
- ✓ Actividad doméstica

• **Variable Dependiente: Calidad del agua**

En el libro *Water in Spain*, se señala de manera funcional, a “calidad de agua” como capacidad intrínseca del agua para el uso que se le da, y desde punto de vista ambiental, condición que debe tener el agua para que este equilibrado con su ecosistema y cumpla objetivos de calidad (calidad ecológica) (Ministerio del Medio Ambiente, 2004).

Dimensiones:

- ✓ Propiedad química del agua para ICOMO
- ✓ Propiedad microbiológica del agua para ICOMO
- ✓ Propiedad química del agua para ICOPh
- ✓ Propiedad química del agua para ICOTRO
- ✓ Parámetros físicos
- ✓ Parámetros químicos
- ✓ Parámetros microbiológicos

Tabla 1*Operacionalización de Variables*

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
ACTIVIDADES ANTRÓPICAS	Se refieren a todas aquellas acciones realizadas por el ser humano que tienen un impacto directo o indirecto en el medio ambiente y los ecosistemas. Estas actividades pueden ser de diversas índoles, incluyendo la agricultura, la ganadería, la urbanización, la industria y la explotación de recursos naturales. Dependiendo de su magnitud e intensidad, las actividades antrópicas pueden generar alteraciones en la calidad del aire, el suelo y el agua, afectando la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (IPCC, 2021).	Es el tipo de actividad antrópica que genera contaminación en agua identificada en cada punto de muestreo	Actividad agrícola	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación de pesticidas • Aplicación de fertilizantes • Labranza del suelo • Siembra • Manejo de residuos agrícolas • Quema de residuos • Cosecha • monocultivo • Uso de maquinaria agrícola 	Magnitud e intensidad del impactó (1-10)
			Actividad acuícola	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentación de peces • Manejo de desechos de peces • Uso de antibiótico • Introducción de peces • Limpieza de estanques • Generación de amonio 	Magnitud e intensidad del impactó (1-10)
			Actividad pecuaria	<ul style="list-style-type: none"> • Crianza de ganado • Ubicación del área de pastoreo • Disposición de purines en las zonas de pastoreo • Pastoreo 	Magnitud e intensidad del impactó (1-10)
			Actividad domestica	<ul style="list-style-type: none"> • Vertimiento de aguas residuales • Disposición de residuos sólidos domiciliarios • Uso de detergentes y productos químicos • Lavado de ropa 	Magnitud e intensidad del impactó (1-10)
			Índice de contaminación	Propiedad química del agua para ICOMO	Nivel de saturación del oxigeno Nivel del DBO

<p>CALIDAD DEL AGUA</p> <p>Se define como el conjunto de características físicas, químicas y biológicas que determinan su aptitud para diferentes usos, incluyendo el consumo humano, la agricultura, la recreación y la conservación de ecosistemas acuáticos. Esta calidad puede verse afectada por factores naturales, como la geología de la cuenca hidrográfica y el clima, así como por actividades antrópicas que generan contaminación a través del vertimiento de residuos industriales, domésticos y agrícolas (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2023).</p>	<p>por Materia Orgánica- ICOMO</p> <p>expresado en variables fisicoquímicas, y se seleccionaron demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno, en conjunto brindan datos de contaminación orgánica</p>	<p>Propiedad microbiológica del agua para ICOMO (INDICE DE COLIFORMES TOTALES)</p>	<p>Nivel de coliformes totales Nivel de contaminación por materia orgánica</p>	<p>NMP/100L</p>
	<p>Índice de contaminación para pH – ICOpH</p> <p>Aguas con pH ácidos producto de CO2 de la atmosfera o proveniente de seres vivos, por ácidos húmicos disueltos del matillo del suelo</p>	<p>Propiedad química del agua para ICOpH</p>	<p>Nivel de pH</p>	<p>[H⁺ +]</p>
	<p>Índice de Contaminación Trófica-ICOTRO</p> <p>Parte de estudio de concentración de fosforo total medido en mg/l</p>	<p>Propiedad química del agua para ICOTRO</p>	<p>Nivel de contaminación trófica Nivel de Fosforo</p>	<p>mg p/l</p>
	<p>Estándar de calidad Ambiental- categoría 4, Sub categoría E1.</p> <p>Estándar Ambiental regula e indica niveles de concentración de sustancias presentes del ambiente.</p>	<p>Parámetros físicos</p>	<p>Potencial de Hidrogeno Conductividad eléctrica Oxígeno Disuelto Temperatura</p>	<p>Unidad de pH µS/cm mg/l °c</p>
		<p>Parámetros químicos</p>	<p>Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) Amoniac total Nitratos Nitrógeno total Fosforo total Solidos Suspendido Totales Clorofila A</p>	<p>mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l</p>
		<p>Parámetros microbiológicos</p>	<p>Coliformes termo tolerantes</p>	<p>NMP/100ML</p>

III. Marco Teórico

3.1. Antecedentes

A nivel internacional

Urrutia y Herrera (2022) llevaron a cabo un estudio titulado “Evaluar calidad de agua de 2 cuerpos lacustres con diferentes usos de suelo en Ñuble”. El objetivo fue conocer diferencias de calidad de agua lagunas que conforman humedal Laguna Santa Elena de Bulnes, Ñuble. La metodología es cuantitativa, no experimental descriptivo y prospectivo. Los resultados evidenciaron laguna pequeña con mala calidad de agua, pH alcalino, estado mesotrófico con eutrofización, más concentración de nutrientes, cationes y clorofila y con cianobacterias.

En la Laguna Santa Elena 2 se encontraron un total de 54 especies de microalgas pertenecientes a los filos Charophyta (carofitas), Bacillariophyta (diatomeas), Chlorophyta (clorofilas), Miozoa (miozoos), Cyanobacteria (cianobacterias), Cryptophyta (criptófitas) y Euglenophyta (euglenófitas), teniendo 23 especies más que la Laguna Santa Elena 1. Las microalgas más representativas durante la época de muestreo fueron las cianobacterias (0,2% - 71 %), seguido de diatomeas (9% - 68%) y clorófitas (10% - 58%), criptófitas (4% - 7%) y por último se encuentran las euglenófitas (0,1% - 0,8%) y miozoos con un 0,4%. La predominancia de especies de cianobacterias es un indicador de lagos con tendencia hacia la eutrofia. (Quiroz et al., 2004). Respecto a diversidad de especies, el grupo con mayor número de especies son las diatomeas. La laguna grande tiene buena calidad de agua, mesotrófica y oligotrofia. Se concluyó que las 2 lagunas tienen diferencias en su calidad del agua.

Pinzón (2021) desarrolló un estudio titulado “Evaluar efectos antrópicos en parámetros de calidad de agua de valle Samacá, Boyacá”. El objetivo fue estudiar calidad de agua superficiales de Samacá-Boyacá, evaluando efectos antrópicos de actividades en río Gachaneca. La metodología es aplicada. Los resultados mostraron que, respecto a calidad de agua, en puntos de intersección de Puente, Carpintería y Represa Gachaneca tienen un valor

de 0.80 (buena calidad), en puntos de Germán Franco Carbón S.A.S. y salida de empresa Acerías Paz de Rio tienen un valor de 0.64 y 0.51 respectivamente (calidad media), y en intersección de vía principal el valor es 0.30 (baja calidad) conclusión sirvió para evidenciar que las principales actividades económicas que se desarrollan en los puntos establecidos son la agricultura, la minería y en parte la ganadería, con lo cual definir puntos de muestreo fue más sencillo

Gómez et ál. (2020) en su estudio titulado “Análisis de perfiles espacio temporales de parámetros físico-químicos de calidad de agua en laguna Fúquene, Cundinamarca. El objetivo fue analizar la acumulación de nutrientes y condiciones hipóxicas que alteraron la dinámica. La metodología es cuantitativa, prospectivo, no experimental-transversal con muestra de 9 puntos de evaluación de la laguna. Los resultados arrojaron que respecto al potencial de óxido de reducción, los valores oscilaron entre 70 y 310 mV; el oxígeno disuelto tuvo condiciones aceptables solo el punto 4, con valores de entre 4.1 y 5.4 mg/L, el resto de puntos presentó zonas hipóxicas (entre 1.4 y 2.5 mg/L); perfil de conductividad eléctrica fue mayor en el segundo muestreo cuyo valor aumentó con la profundidad; los sólidos disueltos tuvieron un comportamiento similar al del perfil de conductividad, su mayor presencia se dio en los puntos de desembocadura del río Ubate; los valores de pH mostraron valores de entre 5.99 y 7.68, los nitratos estuvieron por debajo de 0.1 mg/L; los valores del hierro total fueron menores a 5mg/L; el sulfato arrojó valores de 24mg/L; el DQO registró 120mg/L y el fosfato mayor concentración en el punto 7 (2.2mg/L). Se concluyó que, pese a que en octubre la profundidad era menor, las condiciones eran reductoras, con bajos niveles de aireación el aporte principal de laguna.

Montero y Ramírez (2018) en su estudio “Análisis de variabilidad en calidad de agua, empleando índices de contaminación (ICO's) como aporte POMCA el río Guayuriba”, objetivo fue estudiar variabilidad de ICO's con parámetros físico-químicos y

microbiológicos, comparando índices POMCA del 2010 y actuales en cuenca de río Guayuriba. La metodología es no experimental cuantitativo, mediante utilización indicadores ICOMI, ICOMO, ICOSUS e ICOTRO para estudiar variabilidad en calidad de agua, con análisis estadístico descriptivo de carácter retrospectivo; Los resultados mostraron que el índice ICOMO incrementó del 2010 al 2018 en 14.4%, 61.32%, 33.81%, 31.77%, 44.55% y 44.44% en estaciones E1, E2, E3, E4, E5 y E6 respectivamente; el índice ICOMI, incrementó en 111.24%, 91.38%, 42.62%, 75.85%, 102% y 88.75% en el mismo orden al anterior; el índice ICOTRO fluctuó en 0.40%, 114.34%, -55.03%, 42.48%, 3.70% y -10.74% en el mismo orden previo y finalmente el índice ICOSUS no tuvo variación en ninguna estación entre los años 2010 y 2018. Se concluyó que la contaminación del río Guayuriba incremento el 2018 debido a intromisiones antrópicas tales como descarga de aguas residuales directas, vertido de agroquímicos y residuos de procesamiento agrícola.

Yumbo et ál. (2018) en trabajo titulado “Establecer calidad de agua empleando indicadores biológicos y físico-químicos en río Paján, Manabí, Ecuador”. El objetivo fue conocer calidad de agua del río Paján, Manabí costa ecuatoriana. La metodología es cuantitativa, carácter prospectivo y no experimental con un total de 9 muestras. Los resultados muestran que respecto a los insectos bioindicadores, los índices IBF tuvieron valores de 6.50 a, 6.75 a y 7.00 a; mientras que los índices BMWP tuvieron valores de 59.0 a, 58.0 a y 48.3 a en los puntos 1, 2 y 3 respectivamente; en los estudios físico-químicos, oxígeno disuelto resulto bajo en todos los puntos (<3.75 mg/L), mientras que niveles de sólidos disueltos tuvo 1429 a 1528 mg/L. Se concluyó que aguas mostraron calidad de regular a mala.

Vargas et ál. (2017) desarrollaron un estudio titulado “Calidad de sedimento asociado a actividades antrópicas en lagunas de las costas semiáridas subtropicales del golfo de California”. El objetivo es conocer calidad de sedimentos en las lagunas a estudiar asociadas

a actividades entrópicas. La metodología es cuantitativo, no experimental-transversal y prospectivo. Los resultados mostraron que laguna Lobos tiene media de concentración más alta de zinc (70.1 $\mu\text{g/g}$) y cobre (16.3 $\mu\text{g/g}$), Tóbari la más alta de manganeso (747 $\mu\text{g/g}$) y El Soldado la más baja de hierro (1.05 %). Se concluyó que índices ICM y Igeo indican sitios moderadamente y fuertemente contaminados por Mn en laguna Lobos y Tóbari, principalmente cerca a zonas agrícolas. El índice FE muestra sedimentos superficiales en Lobos y Tóbari son moderadamente contaminados con Zn, Cu y Pb, y gravemente con Mn; Respecto a Ni solo hubo una descarga agrícola. De Cd no hubo asociación con actividad antrópica.

A nivel nacional

Chevarria del Pino (2023) en su investigación: Índice de la calidad de agua y estado trófico de la laguna Huaypo Cusco con el objetivo de conocer si la alteración y/o incremento de los diferentes factores físicos, químicos y biológicos, generados por las actividades antrópicas, que inciden en el proceso afectan la calidad del agua. En la metodología se determinó el Índice de Calidad de Agua – ICA, se utilizaron dos métodos, el primero es el Método Grafico propuesto por Brown (1970) y el otro es el Método Analítico, propuesto por Ott (1978), de las cuales se evaluaron nueve parámetros: Oxígeno disuelto, coliformes termotolerantes, pH, Demanda bioquímica (DBO), nitratos (NO_3), fosfatos (PO_4), turbidez, sólidos disueltos totales (STD) y el cambio de temperatura. Para determinar el Índice del Estado trófico de Carlson (TSI) se consideraron tres indicadores con determinación de los índices de Fósforo total (PT), clorofila α ($\text{Cl } \alpha$) y Transparencia del disco Sechhi (DS). Dando como resultado, al respecto al índice de calidad del agua (ICA) propuesto por Brown, las aguas de la laguna de Huaypo son consideradas como aguas buenas o aceptables, para todas las épocas de muestreo y estaciones. A excepción de la estación de muestreo 4 que en la época de secas presenta un valor bajo y es considerada como regular o mediana. Se sugiere

realizar monitoreos continuos en los estudios de la Calidad del agua y del proceso de Eutrofización, para brindar información con el fin de generar bases para una adecuada gestión de los recursos hídricos.

Huamán (2020) en su estudio: Evaluación de la calidad del agua de la laguna Marvilla en los Pantanos de Villa (Lima, Perú), Por ello, el objetivo de la investigación es evaluar la calidad del agua de la laguna Marvilla, a través de la comparación con los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y la determinación del índice de calidad de agua del Perú (ICA-PE) propuestos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA). En la metodología se analizó la data anual de 2019-2020 y se obtuvieron promedios en los parámetros de pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales de 8,8, 4644,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 3413,9 ppm, respectivamente. Además, se realizó un muestreo puntual de nueve parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, de los cuales cinco no cumplen con lo establecido en la categoría 4 del ECA para agua (nitratos, fósforo total, amoniacos total, demanda bioquímica de oxígeno y coliformes termotolerantes). Asimismo, con los datos del muestreo se obtuvo un valor de 46,3 en el ICA-PE. Se concluye que la calidad de agua de la laguna Marvilla es regular, es decir, se encuentra ocasionalmente amenazada o dañada.

Celi (2021) en su estudio titulado “Impacto de actividades antrópicas en calidad de agua de manantial El Buitre, Chirinos, distrito Suyo-Ayabaca, 2020” tuvo objetivo evaluar impacto de actividades antrópicas en calidad de agua de manantial. La metodología es cuantitativa, no experimental-transversal, en 27 muestras de agua. Los resultados que respecto al ICA; en el periodo de verano, los puntos 2, 4 y 6 tuvieron valores por encima del 0.80, siendo este de una calidad buena; en los puntos 3 y 5 los valores fueron de 0.64 y 0.51 respectivamente, que significa una calidad media; en el punto 1 el valor fue de 0.30, resultando en una calidad mala; para invierno, el ICA dio valores de calidad buena con 0.91 al punto 6; de valor medio en los puntos 2, 3 y 5, con 0.59, 0.44 y 0.66 respectivamente; y

de valor de ICA bajo en los puntos 1 y 4. Para índice de riesgo de calidad de agua (IRCA), en verano calidad de agua presentó valores de alto riesgo de contaminación en todos los afluentes analizados, con valores del índice IRCA por encima de 0.84, principalmente por los parámetros de *Escherichia Coli* y coliformes; este índice IRCA, para invierno, se redujo a un promedio de 67%; sin embargo, aún con niveles de riesgo alto. Se concluyó que no todos los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos estaban dentro de ECA-agua y tienen impacto antrópico elevado.

Calla (2019) en su investigación titulada “Actividades antrópicas y calidad de agua de río Mashcón” tuvo objetivo de conocer hechos antrópicos y calidad del agua del río Mashcón. La metodología es cuantitativa, no experimental, con observación directa como herramienta y protocolo de muestreo como instrumento, con una muestra de 40 locaciones y como base el estudio ZEE. Los resultados mostraron que acorde al índice PRATI, 82.5% de zonas de muestreo tienen calidad de agua excelente. Así mismo, el parámetro biológico BMWP presentó 43% de puntos con calidad aceptable y 45% regular; las actividades antrópicas relevantes fueron: letrinas, desagües, derrumbe y construcción de puente, actividades agropecuarias, lavaderos, actividad forestal, canteras, urbanización, criadero de animales y acumulación de basura. Se concluyó que calidad de agua de río Mashcón, mayormente es buena, con una cantidad de 11 actividades antrópicas en total.

Roque (2017) su investigación “Impacto de actividades antrópicas en aguas de río Timarini - Satipo”. El objetivo conocer efectos ambientales de los hechos antrópicos, afectando directa o indirectamente calidad. La metodología fue analítico descriptivo, no experimental y de enfoque cuantitativo. Los resultados mostraron que agricultura tiene más impacto negativo -527, seguido por hechos cotidianos -361; por último, pecuaria -318; por otro lado, componente abiótico fue más afectado -811, seguido por el medio biótico (-453), mientras que el componente sociocultural se vio afectado con -170; la temperatura presentó valor de 21.5 °C, turbidez de 89.47 UNT, potasio con 21.09 mg/L, aluminio con 2.25 mg/L,

el DQO se valuó en 416 mg O/L; el análisis biológico demostró 100 UFC/100 ml y 28 UFC/100 ml. Se concluyó que los parámetros físico-químicos están dentro de límites aceptables, excepto temperatura, turbidez, potasio, aluminio y DQO; además, el análisis biológico demostró que sobrepasan límites permisibles, si no se tratan no serían aptas para consumo, determinando el impacto ambiental negativo sobre el río Timari – Satipo.

Por otra parte, Custodio et ál. (2017) en su estudio titulado “Evaluar calidad de agua de río Cunas empleando índices físicoquímicos y biológicos, Junín Perú, el objetivo es estudiar calidad de agua de río Cunas mediante índices físicoquímicos y biológicos para conocer zonas de buen nivel de conservación en enero a diciembre 2013. La metodología fue de diseño no experimental-longitudinal, de enfoque cuantitativo, con 3 zonas de muestreo: Angasmayo, Huarisca y Pilcomayo. Resultados mostraron que la calidad de agua en Angasmayo fue buena (75,14 en época de lluvia; 74.23 en estiaje), Huarisca de calidad media (67.96 lluvia; 65,22 estiaje) y Pilcomayo con calidad media (61,39 lluvia; 55,82 estiaje). Se concluyó que En Angasmayo, las agua durante *las* lluvias y estiajes, son aguas buenas; Huarisca agua media o regular y Pilcomayo agua media (según INSF) y mala (según EPT).

A nivel regional y local

Quispe et ál. (2021) desarrollaron una investigación titulada “Índice calidad de agua en río Chumbao, Andahuaylas, Apurímac, Perú. El objetivo es conocer ICA en río Chumbao, Andahuaylas, Perú. La metodología a fue no experimental, el muestreo se dio en temporada de avenidas en base al ICA Dinius, se evaluó con ANOVA, test de *Tukey* correlación Pearson 5% de significancia. Los resultados mostraron que se usa agua de río para agricultura, pastura y urbanización; ICA se distribuyó Excelente (M1, M2, M3, M4 y M5). Se concluyó que agua en lugares de baja densidad poblacional es buena.

Choque et ál. (2019) en su investigación titulada “Cafeína y barrido UV-Vis e índice de calidad de agua en microcuenca altoandina de río Chumbao, Andahuaylas, Apurímac, Perú “, tuvieron como objetivo estudiar nivel de cafeína e ICA, en micro cuenca altoandina

de río Chumbao, entre 73°38' - 73°11'O y 13°49' - 13°34'S, 4 800 a 2 000 msnm y área 767,4 km². La metodología es cuantitativa, no experimental. Los resultados demostraron que uso de agua en agricultura, pastura y urbanización; parámetros indican correlación Rs positiva (p-value < 0,05); no hubo niveles de cafeína (n.d.>1,09 µg/L), e ICA según NSF y Dinius muestran categorías Buena y Muy mala para zonas lóaticas; y excelente para lagunas de cabecera de cuenca, con barrido UV-Vis de 200 a 700 nm. Se concluyó que uso de agua se orienta más para agricultura y pastura limitada, ICA distribuido entre Buena y Muy mala o Excelente y Excesivamente contaminado.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Calidad del agua y su importancia

El agua ocupa 3/4 partes de superficie terrestre, donde el 98% es salada y está en mares y océanos, 69% en glaciares y 30% ríos y lagos (apta para consumir) (Cava, y otros, 2016).

Su calidad, desde distintos puntos de vista, depende de su capacidad intrínseca que es el uso que se le da, así como a condiciones que deben tener el agua para estar en equilibrio con el ecosistema y cumpla objetivos de calidad, también evaluada respecto a parámetros físicos, químicos y microbiológicos (Ministerio del Medio Ambiente, 2004).

Disipación de recurso hídrico depende de cantidad y calidad, pero si es agua contaminada se limita su empleo. (Jiménez, 1998). Calidad de agua se relaciona con proceso salud-enfermedad, por ende, se debe monitorear continuamente agua natural y sistema de agua potable. (Fajardo, 2005).

Johnson et ál. (1995) Sostienen que la calidad de agua se latera por contaminación con factores antrópicos y naturales, esto limita el uso de agua. Contaminación se da en fuentes puntuales y no puntuales.

- **Contaminación puntual:** Contaminación en zonas específicas por alcantarillas, causadas en su mayoría por industrias y aguas municipales (Johnson, 1995)

- **Contaminación difusa:** Fuentes no ubicadas en misma zona de descarga. (Johnson, 1995)

3.2.2 Impacto Antropogénico y el agua

Usuarios de recursos hídricos son personas y actividades como agricultura, vida doméstica, industria, silvicultura, etc.; provocando deterioro de la calidad de este recurso.

En ese sentido, los ríos en Perú son contaminados, por rápido crecimiento de comunidades humanas y desarrollo social (Impactos antropogénicos en la calidad del agua del río Cunas., 2012).

3.2.2.1. Fuentes de contaminación Antropogénicas.

Esta puede ser sólida o líquida, directa o indirectamente que llega a cuerpo natural de agua y altera condiciones de calidad natural (Autoridad Nacional del Agua, 2018).

Fuentes contaminadas son producto de la mano del hombre que crea aguas residuales de tipo industrial, doméstico o hospitalaria que afectan calidad de fuente receptora (Autoridad Nacional del Agua, 2018)

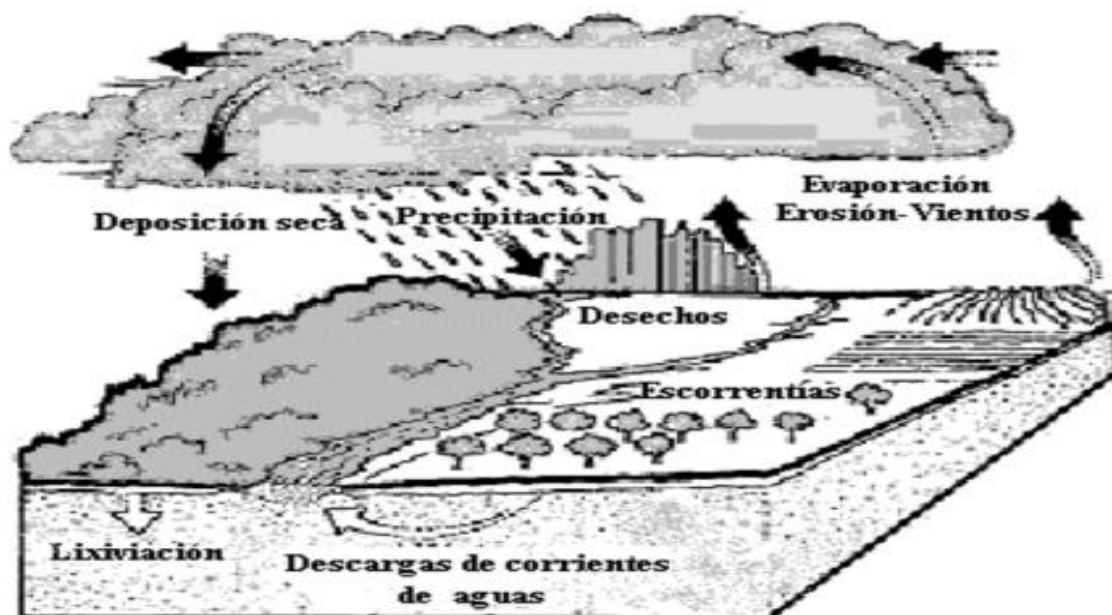
A) Actividad Agrícola. En muchos países, la agricultura es principal contaminante del agua, y el contaminante químico más común de aguas subterráneas son nitratos que vienen de la agricultura, según informa *Más gente, más alimentos, ¿peor agua?*

Un examen mundial de la contaminación del agua de la agricultura (FAO, 2018)

De acuerdo a Orta (2002) Las áreas donde se cultiva son llanuras costeras y valles cruzados por ríos, aquí llegan restos de plaguicidas por muchas vías; para luego llegar a aguas subterráneas, tierras húmedas, ríos, lagos y finalmente océanos como sedimentos y cargas químicas transportadas por ríos.

Figura 1

Vías de movimiento de plaguicidas



Nota. Tomado de Orta (2002)

Calla (2019) citando a (Scarlet, 2017), señala que la agricultura daña calidad de agua, por emplear fertilizantes y pesticidas que filtran al suelo y llegan a ríos, contaminándolos en grandes proporciones.

B) Actividad ganadera. En diversos lugares, la ganadería contamina suelos (El lado oscuro de la ganadería, 2008). De Acuerdo a Luzardo et ál. (2014) Se demostró que aguas cercanas a zonas ganaderas con frecuencia son contaminadas con N, P, Cl, patógenos microbianos, productos farmacéuticos, hormonas, metales pesados, desinfectantes, y otros.

C) Actividad acuícola. Aunque el incremento de la acuicultura ha significado un crecimiento económico y social; sin embargo, la práctica acuícola destinada al comercio a gran escala ha ocasionado impactos asociados a aspectos ambientales negativos, afectando calidad de aguas y ecosistemas tanto de ríos como de mares, alterados por los desechos de las granjas; además el peligro que representa para la biodiversidad se traduce en el intercambio de genes de especies híbridas con especies

del entorno natural. En conjunto afectando sobre todo a los cuerpos de agua receptores, particularmente donde la producción sea mayor a 10 toneladas (La acuicultura y sus efectos en el medio ambiente, 2013). De acuerdo a Buschman (2001) la acuicultura daña el medio ambiente por 3 procesos: consumir recursos, transformación y generar producto final; esta actividad causa alta presión en el banco de peces en producción de alimento para las especies carnívoras; degrada el medio ambiente a través de uso de agua que recibe muchos desechos, lo que incrementa probabilidad de expansión de enfermedades en medio.

D) Otras fuentes. Además de las fuentes ya mencionadas; la ANA señala que las fuentes de contaminación antropogénicas se pueden subdividir por su naturaleza en: a) aguas residuales, b) residuos sólidos y c) sustancias descargadas “in situ”

a) Vertimiento de aguas residuales. Como generadoras de este tipo de aguas están la agroindustria, la industria agropecuaria, energética, hospitalaria, minera, metalúrgica, de limpieza, las actividades domésticas, la actividad industrial, municipal y de rechazo (salmuera) (Autoridad Nacional del Agua, 2018)

b) Los Residuos sólidos.

Sustancias o productos sólidos o semisólidos que según normatividad nacional (Ministerio del Ambiente, 2016); la ANA (2018) considera a residuos de gestión municipal y no municipal peligroso y de gestión no municipal no peligroso.

c) Sustancias descargadas “in situ”. Vienen de lavado de ropa, vehículos, agregados, plásticos, alimentos; etc. (derrames) (Autoridad Nacional del Agua, 2018).

3.2.3 Parámetros de la calidad de aguas

Son físicos, químicos y bacteriológicos y sirven para conocer grado de contaminación de agua. (Cava, y otros, 2016)

3.2.3.1 Parámetros físicos. Se pueden observar con los sentidos, relevante para consumidores. (Cava, y otros, 2016).

a. Temperatura. Según Barreto (2010) este parámetro resulta relevante en solubilidad de gases, conductividad eléctrica y conocer el pH; ya que verter agua en temperaturas elevadas dañan la fauna y flora de aguas receptoras afectando reproducción de especies, incrementando crecimiento bacteriano y algunos organismos y acelerando reacciones químicas lo que reduce el nivel de oxígeno.

b. Potencial de hidrogeno (pH). Barreto (2010) es nivel de concentración de hidrogeniones agua, con rango 6 a 9 como dañino para vida acuática; por generar daño celular, de vegetación y fauna acuática.

3.2.3.2 Parámetros químicos.

Se determinan según tipo específico de sustancias que posee el agua; con esto se comprueba cantidad de materia mineral y orgánica del agua que puede afectar la calidad (Cava, y otros, 2016).

a) Oxígeno disuelto. Nivel de oxígeno en agua, vital para especies y organismo de vida acuática, donde su concentración depende de temperatura, presión y la salinidad (Barreto, 2010)

b) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Consumo de oxígeno disuelto en degradación de materia orgánica contenida; puede variar según temperatura. (Sáenz, 2010)

c) Amonio (NH₄). Deriva de procesos metabólicos, agropecuarios e industriales y desinfección con cloramina, normalmente debe estar por debajo de 0,2 mg/l, aguas subterráneas anaerobias tienen 3 mg/l y ganadería genera valores mucho mayores en aguas superficiales. (Organización Mundial de la Salud, 2018)

d) Nitrógeno Total (NT). Sardinas y Peña (2004) se encuentra como nitrógeno amoniacal más nitrógeno orgánico, así como nitrato, nitrito y amonio.

e) Nitritos (NO₂)

- **Fuentes naturales:** La presencia natural del nitrito puede deberse a oxidación de NH₃ o por reducción microbiana o no de nitratos; su presencia indica contaminación reciente o que es potable el agua. Su estándar por nitrito es 1 mg/L (Origen de los nitratos (NO₃) y nitritos (NO₂) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas., 2006)
- **Fuentes antropogénicas:** Actividades industriales, ganadería, agrónomo o urbano, que generan aguas residuales urbanas o de afluentes orgánicos (Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica)., 2017). Pudiendo ocasionar concentraciones inesperadamente altas de nitritos.

f. Fósforo Total (FT). Teixeira et ál. (2013) mide la cantidad de fósforo orgánica e inorgánica disponible, disuelta y particulada en sistemas acuáticos. El Valor normal en aguas de hogares es de 5-15 mg/L.

3.2.3.3 Parámetros Microbiológicos

Muchas de las bacterias, virus y protozoarios son un peligro para salud de las personas debido a que son causantes de enfermedades infecciosas. El agua que se consume debe estar libre de patógenos o microbios; sin embargo, muchas veces no fue tratada previamente antes de consumirse, generando enfermedades diarreicas en las personas (Cava, y otros, 2016).

a. Coliformes totales.

Son bacilos anaerobios facultativos, Gram negativos, que no forman esporas, fermentan lactosa con producción de ácido y gas en 48 horas de incubación a $35 \pm 0.2^\circ\text{C}$ (Glyn H., y otros, 1999). (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, 2004).

b. Coliforme termo tolerantes. Organismos que fermentan lactosa a $44-45^\circ\text{C}$. Aquí se encuentran el género *Escherichia* y, y en menor cantidad *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*. (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, 2004).

3.2.4 Estándares de calidad ambiental (ECA)

Según Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, (Aprueban Estándares de Calidad Ambiental” ECA” para Agua y establecen Disposiciones Complementarias). Son útiles para estudios donde se quiere comparar datos obtenidos en campo.

- **Categoría 4: Conservación de ambiente Acuático** Son organismos naturales de agua superficiales y son parte protegidas.
- **Subcategoría E1: Lagunas y lagos** Organismos naturales de agua lénticas, sin corriente continua, incluyendo humedales.

3.2.5. Contaminación del Agua

Es introducir material químico, físico o biológico en ríos, lagos, u océanos, que degradan calidad de agua y dañan organismos vivos. (Chapman, 1996).

3.2.5.1. Índices de Contaminación de Agua (ICO). Desarrollado por Ramírez et ál. (1999) En Colombia, analizaron componentes Principales con parámetros físicos, químicos y microbiológicos de análisis limnológicos, y definen ICO’s como criterios de estudio de nivel de contaminación del agua, con valores de 0 y 1, nivel muy bajo y muy alto de contaminación, así se señala en Tabla 1 (Restrepo, 2015).

Tabla 2

Calificación de calidad de agua según valores que tomen índices de contaminación

Categorías de valores que puede tomar el índice	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0.8-1.0	MUY ALTO	ROJO
0.8-0.6	ALTO	NARANJA
0.6-0.4	MEDIO	AMARILLO
0.4-0.2	BAJO	VERDE
0.2-0.0	NINGUNO	AZUL

Nota. Ramírez, Restrepo y Cardeñosa. Índices de Contaminación para Caracterización de Aguas Continentales y Vertimientos. Formulaciones. Ciencias Tecnologías y futuro (1999).

3.2.5.1.1. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO). Expresado en variables fisicoquímicas, tomando en cuenta principalmente demanda de oxígeno (DBO5), coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno. ICOMO es valor promedio de índices de cada variable elegida y se calcula con:

Ecuación 1:

$$ICOMO = \frac{1}{3} I_{DBO} + I_{Coliformes\ totales} + I_{Oxigeno\ \%}$$

Donde:

I_{DBO} : Se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$I_{DBO} = -0.05 + 0.70 \text{Log}_{10} \times DBO \left(\frac{mg}{L} \right)$$

- Demanda bioquímica de oxígeno > a 30 mg/L, tiene $I_{DBO} = 1$
- Demanda bioquímica de oxígeno < a 2mg/L, tiene $I_{DBO} = 0$

$I_{col.Tot.}$: Se determina con la siguiente expresión:

$$I_{col.Tot.} = -1.44 + 0.56 \text{Log}_{10} \times Col.Tot. \left(\frac{NMP}{100ml} \right)$$

- Coliformes totales > a 20000 NMP/100ml, tiene $I_{col.Tot.} = 1$

- Coliformes totales < a 500NMP/100ml, tiene $I_{col.Tot.} = 0$

$I_{oxigeno\%}$: Se determina con la siguiente expresion:

$$I_{oxigeno\%} = 1 - 0.01 \times oxigeno\%$$

- Oxígenos (%) mayor a 100% tiene $I_{oxigeno\%} = 0$

Recomendado para sistemas lenticos que están en eutrofización y con porcentaje de saturación de más de 100% reemplazar expresión por:

$$I_{oxigeno\%} = 0.01 \times oxigeno\% - 1$$

3.2.5.1.2. El índice de contaminación para pH (ICOpH). Johnston et ál. (1990)

Acides de agua producto de CO2 disuelto de atmosfera o seres vivos; ácido sulfúrico de minerales, ácidos húmicos disueltos de mantillo de suelo.

Calcular índice ICOpH con:

Ecuación 3:

$$ICOpH = \frac{e^{-31.08+3.45pH}}{1 + e^{-31.08+3.45pH}}$$

Si PH tomado < a 7, pH=14-pH tomado, si pH está por encima de 7 tomar valor de análisis y calcula índice ICOpH.

3.2.5.1.4. Índice de contaminación trófico (ICOTRO). Es la concentración total de fósforo, con valores de:

- ✓ Oligotrófico < 0,01 (mg/l)
- ✓ Mesotrófico 0,01 - 0,02 (mg/l)
- ✓ Eutrófico 0,02 - 1 (mg/l)
- ✓ Hipertrófico >1 (mg/l).

Tabla 3*Concentraciones de fosforo*

FOSFORO TOTAL (mg/l)		
Concentración	Fuente	Calidad
0.17	RD	Deseable potable
< 0.01	USEPA	Oligotrófica
0.01 – 0.02	USEPA	Mesotrófica
> 0.02	USEPA	Eutrófica

Nota. Ramírez et ál. (1999)**3.3. Definición de términos**

Actividad antrópica (AA). Fuentes contaminadas son producto de la mano del hombre que crea aguas residuales de tipo industrial, doméstico o hospitalaria que afectan calidad de fuente receptora (Autoridad Nacional del Agua, 2018).

Actividad pecuaria (AP). se refiere a la cría y explotación de animales para obtener productos derivados de ellos, como carne, leche, huevos, cuero, lana y otros. Esta actividad se lleva a cabo en granjas, ranchos, establos y otros establecimientos dedicados a la producción animal. Luzardo et ál. (2014)

Actividad agrícola (AA). Las áreas donde se cultiva son llanuras costeras y valles cruzados por ríos, aquí llegan restos de plaguicidas por muchas vías (Bogan,2014)

Actividad doméstica (AD). se refiere a las tareas y responsabilidades que se llevan a cabo en el hogar para mantenerlo limpio, ordenado y funcional. Estas actividades pueden incluir la limpieza de la casa, la preparación de comidas, el lavado de la ropa, la organización de los espacios, el cuidado de los niños y otras labores relacionadas con la administración del hogar. (Bogan,2014)

Actividades acuícolas (AA). Es cultivo de especies hidrobiológicas organizadamente y con una buena técnica. (Congreso de la República, 2001).

Amonio(A). Según Carrillo et ál. (2008) Deriva de metabolismo nitrogenado, muy tóxico y lo conforman el nitrógeno e hidrógeno. (Orta, 2002)

Aguas residuales (AR). Aguas modificadas por alguna actividad del hombre y por ende necesitan tratamiento antes de ser reusadas. (Organismo de Evaluación y Fiscalización ambiental, 2014).

Calidad del agua (CA). Conejeros et ál. (2021) Parámetros microbiológicos, físicos, químicos, entre otros, que debe tener el agua potable.

Conductividad eléctrica. Capacidad para conducir corriente eléctrica; es medida en siemens/cm (S/cm), microsiemens/cm ($\mu\text{S/cm}$) o milisiemens/cm (mS/cm) (Parámetros fisicoquímicos del agua, 2013).

Estándar De Calidad Ambiental (ECA). Herramienta de gestión ambiental para medir calidad de ambiente (Ministerio del Ambiente, 2019)

Índices de Contaminación de Agua (ICO). El grado de contaminación existente en el agua a la fecha de un muestreo, expresado como un porcentaje de agua pura. (Restrepo, 2015).

Metales pesados (MP). Son parte de naturaleza, peso molecular elevado; dañan la salud y órganos (Contaminación por metales pesados, 2009).

Nitritos(N). De acuerdo a Bolaños et ál. (2017) Compuestos solubles que tienen nitrógeno y oxígeno

Parámetros de calidad de agua (PCA) Variables a medir con valores con sistema de características; como PH, oxígeno disuelto, T°, dureza, etc. (Barreto, 2010)

Parámetros Microbiológicos (PM). Microorganismos que indican contaminación y/o microorganismos patógenos para el humano que se analizan en agua que consume la persona (Ministerio de Salud, 2010).

Parámetros físico-químicos del agua (PFQA). Samboni et ál. (2007) brinda información de propiedades físicas, aportando información de los contaminantes responsables, mas no de su influencia.

Sólidos disueltos (SD). Son todas las sales disueltas expresadas en mg/l, g/m³ o ppm (mg/l) e indica calidad de agua (Parámetros fisicoquímicos del agua, 2013).

IV. Metodología

4.1 Tipo y nivel de investigación

Según Arispe et ál. (2020), el tipo de investigación es aplicada, por basarse en conocimiento teórico acerca de variación de contaminación con materia orgánica, pH, y trófica en agua de laguna de Pacucha en diferentes puntos de muestro, también se investigará como índices de contaminación (ICO's) cualifican calidad de agua de laguna de Pacucha, de igual manera los estándares de calidad ambiental.

El alcance será explicativo, pues explicará cómo hechos antrópicos influyen en índice de contaminación evaluado y en estándares de calidad ambiental.

4.2. Ámbito Temporal y espacial

Temporal

Esta investigación está delimitada por un tiempo no mayor a un año de investigación, dentro del cual, la etapa de obtener datos en campo se dio en las temporadas de avenidas comprendidas en los meses de octubre a abril y estiaje comprendido en el mes de mayo a noviembre; finalmente culmino en noviembre de 2024 con el informe final.

Espacial

Delimitado solo a laguna Pacucha, distrito Pacucha, provincia Andahuaylas, departamento Apurímac, con longitud de 13,205 km que inicia en las coordenadas UTM-WGS-84-Zona 18 S; 679 914 Me-8 494 847 Nm, y culmina en las coordenadas UTM-WGS-84-Zona 18 S; 683 312 mE-8495023 Mn, altura 3,125 m.s.n.m. y superficie 7,28 Km²

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

Arias y Covinos (2021) indica que es grupo finito o infinito de personas con características parecidas. En el caso, la población de estudio corresponde a la laguna de Pacucha en su totalidad, considerando tanto el área de la orilla como el interior de la laguna.

4.3.2. Muestra

De acuerdo a Hernández (2014), subgrupo de población que se estudia y donde se obtendrán los datos para el estudio. Dicho ello, la muestra consiste en un total de 140 muestras recolectadas en 14 puntos de muestreo distribuidos en dos ubicaciones: 7 puntos en la orilla de la laguna y 7 puntos dentro de la laguna. En cada punto de muestreo, se tomaron 5 muestras independientes para garantizar la representatividad y confiabilidad de los resultados.

Las muestras fueron recolectadas durante dos temporadas diferentes:

Tabla 4

Temporadas de recolección de muestra

Temporada de avenidas		Temporada de estío	
Orilla de la laguna	Dentro de la laguna	Orilla de la laguna	Dentro de la laguna

Nota. Elaboración propia

Las muestras fueron divididas de la siguiente manera:

- 4 muestras para análisis físico-químicos: con un volumen de 1000ml cada una aproximadamente.
- 1 muestra para análisis microbiológico con un volumen 240 ml aproximadamente

4.3.3. Muestreo

Teniendo en cuenta que de acuerdo a Arias et ál. (2022). (directo) El muestreo es una técnica para establecer la muestra y se determina según el tamaño de la población. El muestreo se realizó de manera estructurada para garantizar que los datos fueran representativos y confiables, siguiendo el protocolo Protocolo Nacional para Monitoreo de Calidad de recursos Hídricos Superficiales (R.J. N° 010-2016-ANA). Se tomaron muestras simples, una cantidad de agua de un lugar para análisis individual (Autoridad Nacional del

Agua, 2016). En dos ubicaciones: la orilla y dentro de la laguna, en 14 puntos específicos. en cada punto, se recolectaron 5 muestras independientes.

Además, se consideró la proximidad a focos de contaminación por actividades antrópicas, asegurando que los puntos seleccionados reflejaran posibles impactos antrópicos en la calidad del agua.

Loa muestreos se llevaron a cabo en dos temporadas del año: una en temporada de lluvias (avenidas) y otra en temporada estío (secas), para analizar como varia el agua en diferentes condiciones ambientales.

Las muestras se dividieron según el tipo de análisis: cuatros se destinaron a estudios físico- químicos (de 1000 ml cada una) y una para análisis microbiológico (de 240 ml aproximadamente). Esto permitió una evaluación completa y detallada de la calidad del agua.

4.4. Instrumentos

Según Arispe et ál. (2020) La técnica es un conjunto de acciones y actividades que se hacen para recolectar información con objetivo de corroborar las hipótesis de la investigación; por su lado, el instrumento hace posible la aplicación de la técnica y se elaboran considerando las variables e indicadores; a su vez que necesitan contar con una validez y confiabilidad pertinente.

Para llevar a cabo la investigación, se usó diferentes técnicas para recolectar la información necesaria:

- **Observación directa:** Se visitó la laguna de Pachucha, se observó, y se registró las actividades que ocurren en la zona, se anotó las acciones que se llevan a cabo, frecuencia y en qué puntos, para identificar fuentes de contaminación.
- **Análisis de laboratorio:** se tomó muestras de agua de diferentes puntos de la laguna y se enviaron a los laboratorios correspondientes, allí analizaron parámetros como

físico – químicos y microbiológicos lo que permitió evaluar la calidad de agua de la laguna.

- **Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales:** se siguió este protocolo oficial para asegurar de que la toma de muestras y el análisis cumplieran con los estándares establecidos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Para aplicar estas técnicas, se empleó los siguientes instrumentos que ayudaron a recopilar y organizar la información de manera confiable:

- **Ficha de campo:** Fue nuestro registro en terreno en la zona de estudio, donde anotamos, las actividades antrópicas observadas, otros datos de las muestras recolectadas para laboratorio y parámetros medidos in situ.
- **Informes de análisis de laboratorio:** Una vez analizadas las muestras, recibimos reportes detallados con los resultados de los parámetros físico-químicos y microbiológicos, lo que nos permitió evaluar la calidad del agua en cada punto de muestreo.
- **Cadenas de custodia:** Fueron documentos que garantizaron que las muestras de agua fueran manejadas de manera correcta y segura desde su recolección hasta su análisis en el laboratorio.
- **Matriz de Leopold:** se aplicó esta herramienta para evaluar los impactos ambientales de las actividades antrópicas en la laguna, lo cual sirvió para visualizar que acciones generan más daño y en qué medida.

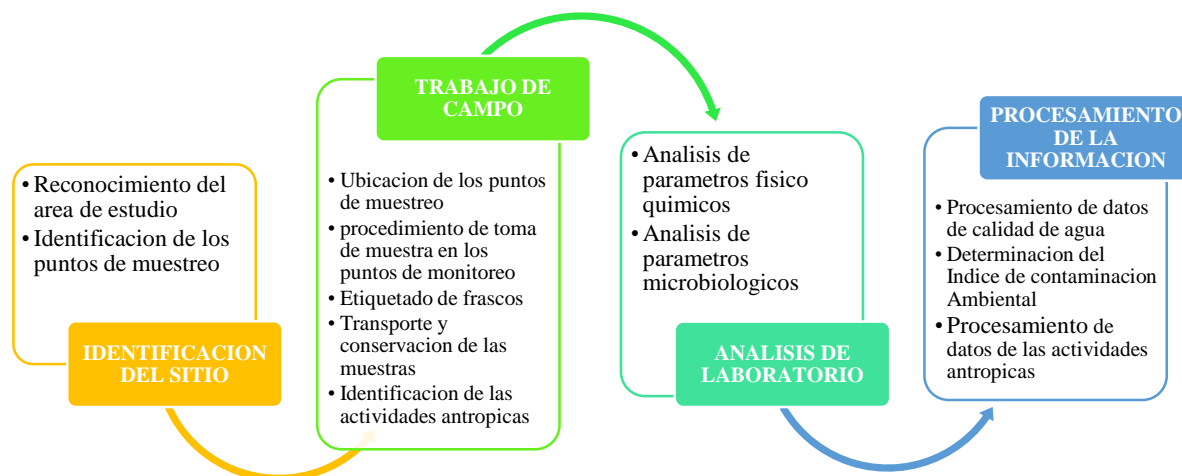
Tabla 5*Técnicas e instrumentos utilizados en la investigación*

Técnica	Descripción	Instrumento	Descripción
Observación directa	Registro en campo de actividades antrópicas en la laguna y datos de muestras	Ficha de campo	Documento estructurado para anotar observaciones in situ
Análisis de laboratorio	Evaluación de parámetros físico – químicos y microbiológico del agua	Informes de laboratorio	Reportes con resultados de calidad del agua
Protocolo nacional de monitoreo	Aplicación de normas para la toma de muestras de agua	Matriz de Leopold	Herramienta para sistematizar la evaluación de impactos ambientales
		Cadena de custodia	Documento que aseguran la correcta manipulación de las muestras

Nota. Adaptado según metodología aplicada en el estudio

4.5. Procedimiento

El trabajo de investigación sigue las etapas establecidas en el siguiente esquema metodológico:

Figura 2*Esquema metodológico*

Nota. Elaboración propia

1. Identificación del sitio

a. Reconocimiento del área de estudio:

- Antes de comenzar el estudio, primeramente, se recopiló información básica sobre la Laguna de Pacucha con el fin de comprender la problemática ambiental que la afecta.
- Se investigó sobre la categorización de la laguna según la Autoridad Nacional del Agua (ANA).
- Se revisaron estudios previos sobre el tema de estudio.
- Se revisaron los protocolos necesarios para el monitoreo de agua a seguir durante la investigación.
- Se realizó una visita al área de estudio para conocer mejor el entorno y las actividades antrópicas que podrían estar afectándola.

b. Identificación de los puntos de muestreo

- Después de conocer el área de estudio, se hizo una visita más detallada para elegir

los lugares donde se tomarían muestras de agua.

- Se seleccionaron siete puntos de muestreo, tanto dentro de la laguna como en su orilla, tomando en cuenta las actividades antrópicas en las cercanías, el acceso al punto de monitoreo y seguridad.
- Para facilitar la localización de los puntos de muestreo., se elaboró un mapa con la ubicación de los puntos.
- También se definieron los parámetros físico-químicos como microbiológicos.
- Finalmente, Se eligieron dos laboratorios que analizaron las muestras:

El Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas para realizar el análisis de las muestras físico-químicas.

Asimismo, Para el análisis de las muestras microbiológicas, se optó por el Laboratorio de Control Ambiental de la Dirección Regional de Salud de Apurímac (DIRESA).

2. Trabajo de campo

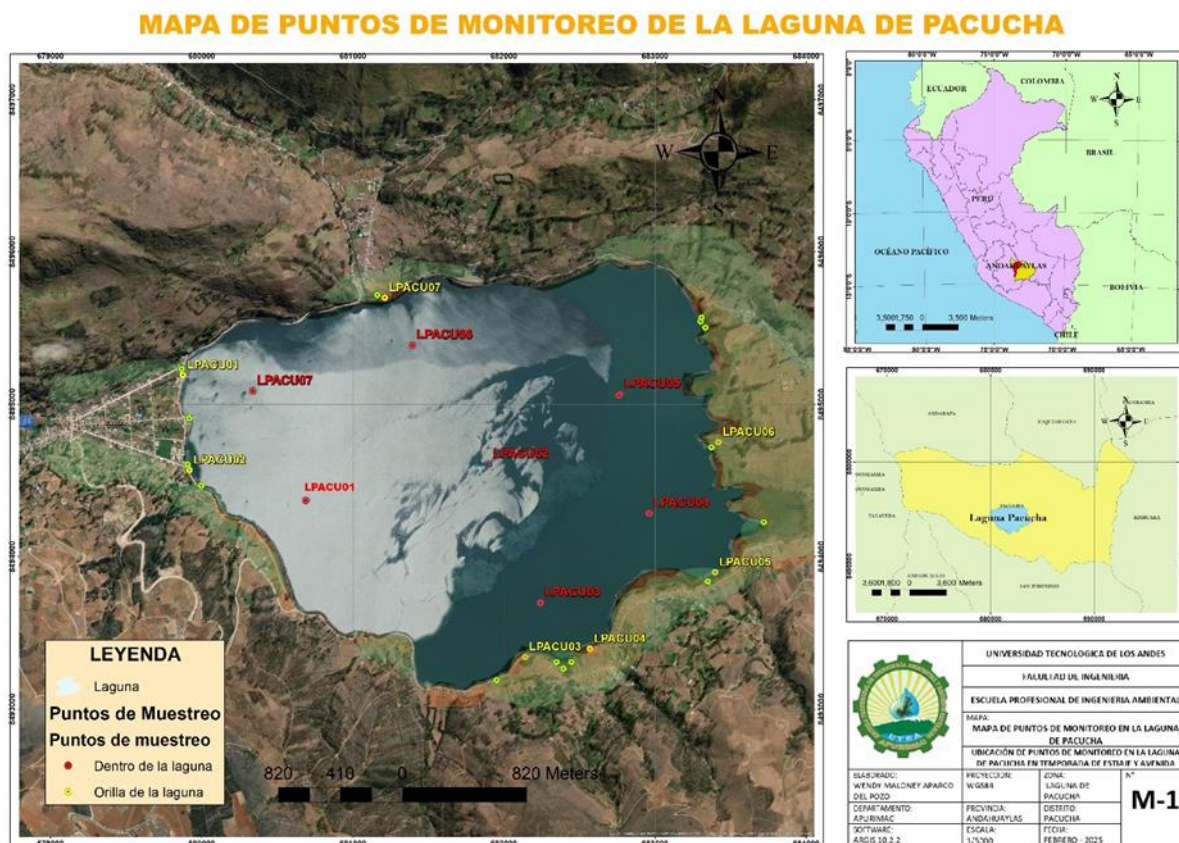
Para iniciar la toma de muestras de agua, tanto in situ como para su posterior análisis en laboratorio se siguió el 'Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales'. establecido por la Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA de la Autoridad Nacional del Agua

a. Ubicación de los puntos de muestreo

Se determinaron un total de 14 puntos, de los cuales 7 puntos se ubicaron dentro de la laguna, y 7 en la orilla. Estos puntos fueron distribuidos en las zonas nororiental, central y suroriental de la laguna, la selección se basó considerando los principales focos de contaminación y las actividades antrópicas que afectan a la Laguna.

Figura 3

Puntos de monitoreo en la laguna de Pacucha situados dentro y en la orilla de la laguna en la temporada de avenida y estío.



Nota. Elaboración propia

Tabla 6

Ubicación de puntos de monitoreo situados dentro de la laguna de Pacucha en la temporada de avenidas y estiaje

<i>Sub Área</i>	<i>Punto De Monitoreo</i>	<i>Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo (Coordenadas UTM WGS-84 Zona 18L)</i>		
		<i>Este</i>	<i>Norte</i>	<i>Altitud (m.s.n.m)</i>
Nororiental	LPACU-01	680689	8494370	3104
Centro	LPACU-02	681898	8494607	3104
Sur Occidental	LPACU-03	682241	8493696	3104
Sur Occidental	LPACU-04	682960	8494284	3104
Sur Occidental	LPACU-05	682768	8495067	3104
Nororiental	LPACU-06	681394	8495387	3104
Nororiental	LPACU-07	680338	8495087	3104

Nota. Elaboración propia

Tabla 7

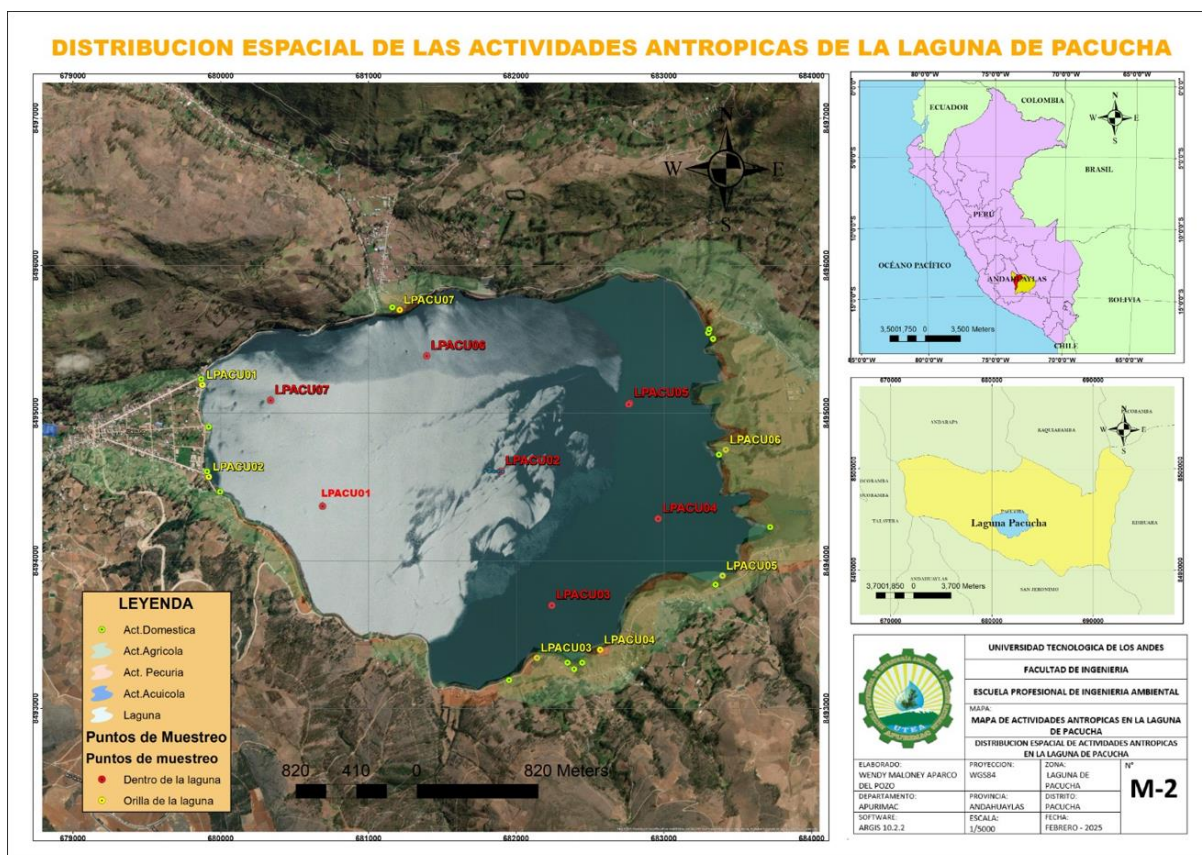
Ubicación de puntos de monitoreo situados en el borde (orilla) de la laguna de Pacucha en la temporada de avenidas y estiaje

Sub Área	Punto De Monitoreo	Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo (Coordenadas UTM WGS-84 Zona 18L)		Altitud (m.s.n.m)
		Este	Norte	
Nororiental	LPACU-01	679876	8495192	3133
Nororiental	LPACU-02	679919	8494569	3111
Sur Occidental	LPACU-03	682140	8493342	3104
Sur Occidental	LPACU-04	682568	8493396	3108
Sur Occidental	LPACU-05	683396	8493898	3106
Sur Occidental	LPACU-06	683138	8494822	3104
Nororiental	LPACU-07	681211	8495699	3117

Nota. Elaboración propia

Figura 4

Distribución espacial de las actividades antrópicas de la laguna de Pacucha



Nota. Elaboración propia

b. Procedimiento de toma de muestras en los puntos de monitoreo**1. Toma de muestra en los puntos de monitoreo en la orilla de la Laguna:**

- Se procedió a colocarse botas de jebe y guantes descartables antes de iniciar con la toma de muestras
- Se registraron las coordenadas en cada punto con GPS.
- Las muestras se tomaron en sentido contrario a la corriente evitando alterar las condiciones reales.
- Se registraron las mediciones in situ de la temperatura del agua en el formato de campo y de igual manera se registraron las actividades antrópicas identificadas que podrían influir en la calidad del agua
- Se colectaron un total de 70 muestras, en zonas con corriente homogénea y poca turbulencia

a) Recolección de muestras para parámetros físico – químicos en la orilla de la laguna

- Se utilizaron frascos de plástico
- Antes de la toma de muestras, los frascos fueron enjuagados dos veces, excepto los frascos para los análisis de parámetros microbiológicos
- Se cogió los frascos por debajo del cuello y se sumergió a 20 – 30 cm de profundidad, en dirección opuesta a la corriente, con un Angulo adecuado para el ingreso del agua
- Para el DBO5, se usó un frasco de boca ancha, llevándolo completamente sin burbujas de aire para evitar alteraciones por oxidación

b) Recolección de muestras para parámetros microbiológicos en la orilla de la laguna

- Se utilizaron frasco de vidrio previamente esterilizados y protegidos con papel karf.

- Durante la toma de muestra, el frasco se destapo el menor tiempo posible para evitar la contaminación
- Para asegurar un buen suministro de oxígeno para las bacterias, se dejó 1/3 del volumen libre en el frasco

2. Toma de Muestra en los puntos de monitoreo dentro de la laguna:

- Antes de la toma de muestras, se consideró el pronóstico climatológico.
- Se identificó la ubicación de los puntos con programa ©2024 Google LLC, Google Earth Pro 2024
- De igual manera que en la toma de muestras en la orilla, se registraron las coordenadas en cada punto con GPS.
- Se tomó un volumen de muestra en un balde en sentido contrario a la corriente para tomar las muestras de laboratorio
- De igual manera se realizó las mediciones in situ de la temperatura del agua, las cuales se registraron en la ficha de campo.

a) Procedimiento de recolección de muestras para parámetros físico – químicos dentro de la laguna

- Se utilizaron frascos de plástico
- Antes de la toma, los frascos fueron enjuagados dos veces con la misma agua de la muestra, excepto para los análisis microbiológicos
- La muestra se tomó con un Angulo adecuado para el ingreso del agua
- Para el DBO5, se usó un frasco de boca ancha, llevándolo completamente sin burbujas de aire para evitar alteraciones por oxidación

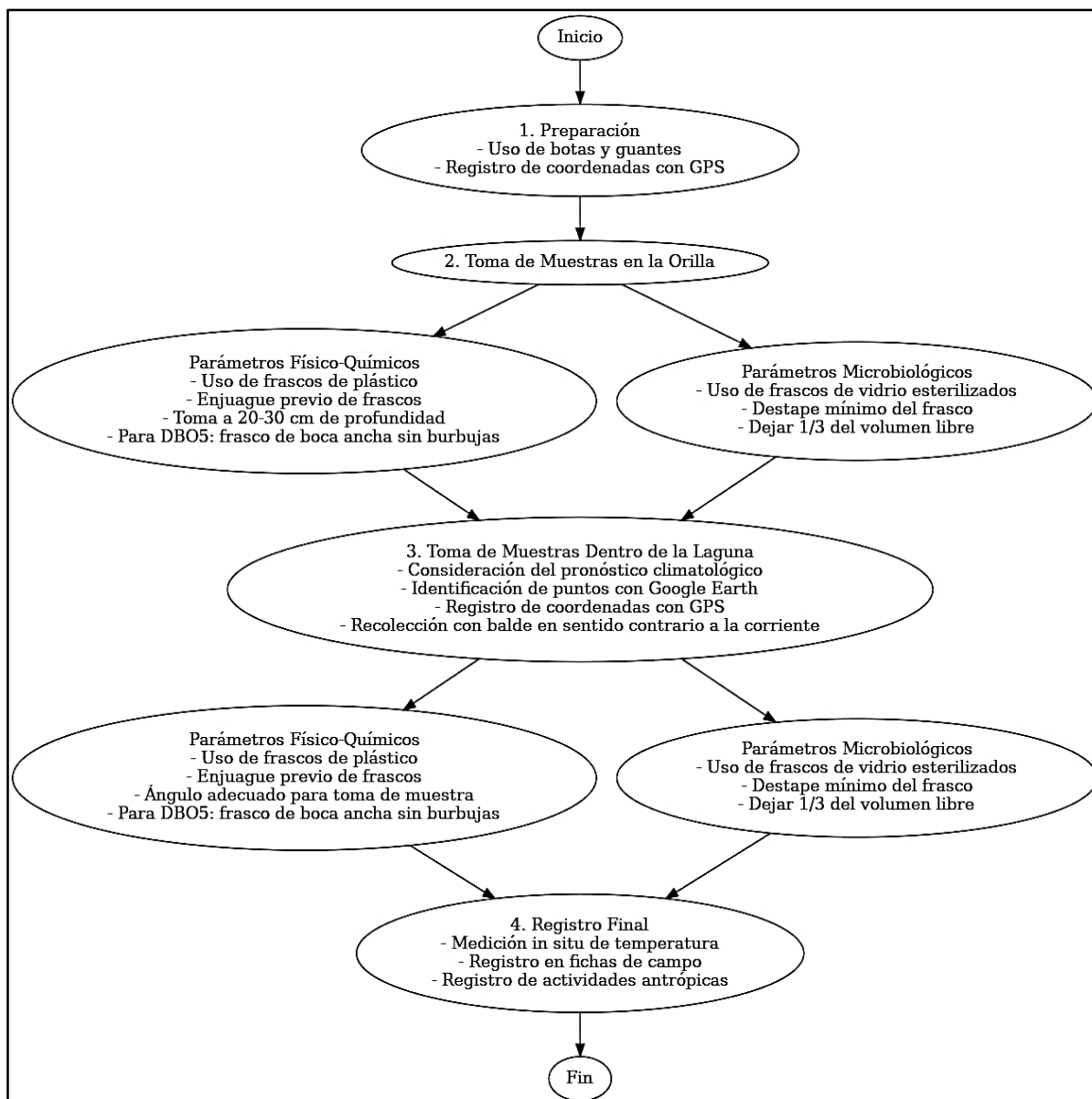
b) Procedimiento de recolección de muestras para parámetros microbiológicos:

- Se utilizaron frasco de vidrio previamente esterilizados y protegidos con papel karf.

- Durante la toma de muestra, el frasco se destapo el menor tiempo posible para evitar la contaminación
- Para una mejor conservación, se dejó 1/3 del volumen libre en el frasco.

Figura 5

Diagrama de flujo del Procedimiento de toma de muestras en los puntos de monitoreo



Nota. Elaboración propia

3. Etiquetado de frascos

Los frascos utilizados para la toma de muestra se identificaron con una etiqueta, la cual se protegió con una cinta adhesiva transparente. Los datos que se consignaron fueron:

solicitante/ cliente, nombre de laboratorio, código del punto de monitoreo, tipo de cuerpo de agua, fecha de muestreo, hora de muestreo, responsable del muestreo, parámetro requerido, preservado si/no y tipo de reactivo.

Figura 6

Rotulo de las muestras de agua para parámetros físico químicos

Solicitante/cliente:			
Nombre laboratorio:			
Código punto de monitoreo:			
Tipo de cuerpo de agua:			
Fecha de muestreo:			Hora:
Muestreado por:			
Parámetro requerido:			
Preservada:	SÍ	NO	Tipo reactivo:

Nota. tomado de Anexo II del protocolo nacional para el monitoreo de calidad de los recursos superficiales

4. Conservación y transporte de las muestras

Las muestras para los análisis físicos químico y microbiológicos se almacenaron y trasportaron en un cooler de forma vertical, tomando en consideración los frascos de vidrio se encuentren protegidos, así evitando su ruptura, donde se suministró de ice packs para el mantenimiento de la temperatura ≤ 6 °C de conservación.

Luego, las muestras fueron transportadas a los laboratorios, para el análisis de los parámetros microbiológicos fueron de 2 horas y media en camioneta al Laboratorio de Control Ambiental de la Dirección Regional de Salud de Apurímac (DIRESA) ubicado en la provincia de Abancay, del mismo modo las muestras para los análisis de los parámetros físico químicos se trasladaron en 45min aproximadamente al Laboratorio de Investigación de Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas.

Tabla 8*Tipo de envase para las muestras evaluadas*

Parámetro	Tipo de envase	Condiciones de preservación y almacenamiento	Tiempo máximo de almacenamiento
Oxígeno disuelto	Plástico	Sin preservación y conservadas a $\leq 6^{\circ}\text{C}$	Inmediatamente o en un tiempo máximo 4 días
Ph	Plástico	Sin preservación y conservadas a $\leq 6^{\circ}\text{C}$	Inmediatamente o en tiempo máximo de 24 horas
Temperatura	-	Análisis in situ	Inmediatamente
Conductividad eléctrica	Plástico	Sin preservación y conservadas a $\leq 6^{\circ}\text{C}$	24 horas
Demanda bioquímica de oxígeno en cinco días	Plástico	Sin preservación y conservadas a $\leq 6^{\circ}\text{C}$	24 horas
Solidos suspendidos totales	Plástico	Sin preservación y conservadas a $\leq 6^{\circ}\text{C}$	2 días
Fosforo Total	Plástico	Sin preservación y almacenado a $\leq 6^{\circ}\text{C}$	1 mes
Nitrógeno total	Plástico	Sin preservación y almacenado a $\leq 6^{\circ}\text{C}$	4 días
Nitratos	Plástico	Sin preservación y almacenado a $\leq 6^{\circ}\text{C}$	4 días
Amoniac Total	Plástico	Sin preservación y almacenado a $\leq 6^{\circ}\text{C}$	4 días
Clorofila A	Plástico color ámbar	Sin preservación y almacenado a $\leq 6^{\circ}\text{C}$ y en oscuras	24 horas
Coliformes Totales	Vidrio estéril	Sin preservación y almacenado a $\leq 6^{\circ}\text{C}$	24 horas
Coliformes termo tolerantes	Vidrio estéril	Sin preservación y almacenado a $\leq 6^{\circ}\text{C}$	24 horas

Nota. Elaboración propia

5. Identificación de las actividades antrópicas

Para la identificación de las actividades antrópicas, que afectan a la calidad de agua de la laguna de pacucha, se realizaron varias visitas a la zona de estudio. Durante estos recorridos, se observó directamente lo que sucedía en el área, registrando todas las actividades antrópicas predominantes durante estas visitas y en el momento de la toma de muestras de agua, con esta información obtenida en campo, se seleccionaron aquellas actividades que generan impactos negativos en el recurso agua para luego sistematizarlas y evaluarlas con la matriz de Leopoldo.

Las principales actividades identificadas son:

1) **Actividad agrícola:**

En esta categoría se encontraron varias acciones que pueden afectar el agua, como:

- Aplicación de pesticidas
- Aplicación de fertilizantes
- Labranza del suelo
- Siembra
- Manejo de residuos agrícolas
- Quema de residuos
- Cosecha
- monocultivo
- Uso de maquinaria agrícola

2) **Actividad acuícola:**

En la crianza de peces se identificaron acciones que pueden impactar el agua, entre ellas:

- Alimentación de peces
- Manejo de desechos que generan
- Uso de antibiótico
- Introducción de peces
- Limpieza de estanques
- Generación de amonio

3) **Actividad Pecuaria:**

La crianza de animales en la zona también influye en la calidad del agua, las más relevantes fueron:

- Crianza de ganado

- Ubicación del área de pastoreo
- Disposición de purines en las zonas de pastoreo
- Pastoreo

4) **Actividad Domestica:**

Las acciones cotidianas de las personas también tienen su efecto en el agua. Se encontraron actividades como:

- Vertimiento de aguas residuales
- Disposición de residuos sólidos domiciliarios
- Uso de detergentes y productos químicos
- Lavado de ropa

3. **Análisis de laboratorio**

Esta etapa consistió en el desarrollo del análisis de laboratorio de los parámetros físico- químicos y microbiológicos de las muestras, en esta etapa se realizó en el Laboratorio de Control Ambiental de la Dirección Regional de Salud de Apurímac (DIRESA) y el Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas.

- **Parámetros microbiológicos**

Los parámetros de coliformes totales y coliformes termo tolerantes fueron desarrollados por los especialistas del el Laboratorio de Control Ambiental de la Dirección Regional de Salud de Apurímac (DIRESA)

Tabla 9

Métodos usados para la medición de los parámetros Microbiológicos.

Parámetros analizados	Unidad de medida	Método de análisis
Coliformes Totales	NMP/100 ml	Método estandarizado de Tubos Múltiples – 9221 BEFC
Coliformes Termo tolerantes	NMP/100 ml	Método estandarizado de Tubos Múltiples – 9221 BEFC

Nota. Elaboración propia

- **Parámetros Fisicoquímicos**

Los parámetros físico químicos analizados, fueron: OD (oxígeno disuelto), pH, Temperatura, Conductividad eléctrica, DBO5 (Demanda Bioquímica de oxígeno), Solidos Suspendidos Totales (SST), Fosforo Total, Nitrógeno Total, Nitrato, Amoniac Total, clorofila A, en el Laboratorio De Investigación En Materiales Para El Tratamiento De Aguas Y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas.

Tabla 10

Métodos usados para la medición de los parámetros Fisicoquímicos

Parámetros analizados	Unidad de medida	Método de análisis
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/l	Electrodo selectivo
Potencial de Hidrogeno (pH)	Unidad de pH	Electrodo selectivo
Conductividad eléctrica	µS/cm	Electrodo selectivo
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	Estándar Method 5210B
Solidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	Gravimétrico
Fosforo Total	mg/l	Ácido Ascórbico
Nitrógeno Total	mg/l	Combustión – TOC
Nitratos	mg/l	Reducción por Cadmio
Amoniac Total	mg/l	Nessler
Clorofila A	mg/l	Espectrofotométrico

Nota. Informe de laboratorio

4. Procesamiento de información

c. Procesamiento de datos de calidad de agua

Los datos obtenidos en los análisis de laboratorio de los parámetros físico-químico y microbiológico se han ordenado por temporada y agrupados en zonas, de igual forma se han tabulado y procesado en las hojas de cálculo de Microsoft © Excel 2016. Para poder comparar los resultados con los estándares de calidad de agua, correspondiente a la categoría 4 – Conservación de ambiente acuático, según el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM (aprueban estándares de calidad ambiental – ECA para agua y establecen Disposiciones complementarias).

d. Determinación del Índice de contaminación Ambiental – ICO

Con los datos obtenidos de los parámetros OD (oxígeno disuelto), pH, DBO5 (Demanda bioquímica de oxígeno, coliformes totales y fosforo Total, se determinaron los ICO'S a través de las fórmulas correspondientes para: ICOMO – Índice de contaminación para Materia Orgánica, ICOpH – Índice de contaminación para pH y ICOTRO – Índice de contaminación Tráfico. Procesados en hojas de cálculo de Excel.

Tabla 11

Ecuaciones para determinar los índices de contaminación

ICO	Ecuación	Condición
	$ICOMO = \frac{1}{3}I_{DBO} + I_{Coliformes\ totales} + I_{Oxigeno\ \%}$	$I_{DBO}, I_{Coliformes\ totales}, I_{Oxigeno\ \%}$
ICOMO	$I_{DBO} = -0.05 + 0.70Log_{10} \times DBO \left(\frac{mg}{L}\right)$	Demanda bioquímica de oxígeno > a 30 mg/L, tiene $I_{DBO} = 1$ Demanda bioquímica de oxígeno < a 2mg/L, tiene $I_{DBO} = 0$
	$I_{Col.Tot.} = -1.44 + 0.56Log_{10} \times Col.Tot. \left(\frac{NMP}{100ml}\right)$	Coliformes totales > a 20000 NMP/100ml, tiene $I_{Col.Tot.} = 1$ Coliformes totales < a 500NMP/100ml, tiene $I_{Col.Tot.} = 0$
	$I_{oxigeno\%} = 1 - 0.01 \times oxigeno\%$	Oxígenos (%) mayor a 100% tiene $I_{oxigeno\%} = 0$
ICOpH	$ICOpH = \frac{e^{-31.08+3.45pH}}{1 + e^{-31.08+3.45pH}}$	Si PH tomado < a 7, pH=14-pH tomado, si pH está por encima de 7 tomar valor de análisis y calcula índice ICOpH.
ICOTRO	Es la concentración de fosforo total	

Nota. Elaboración propia

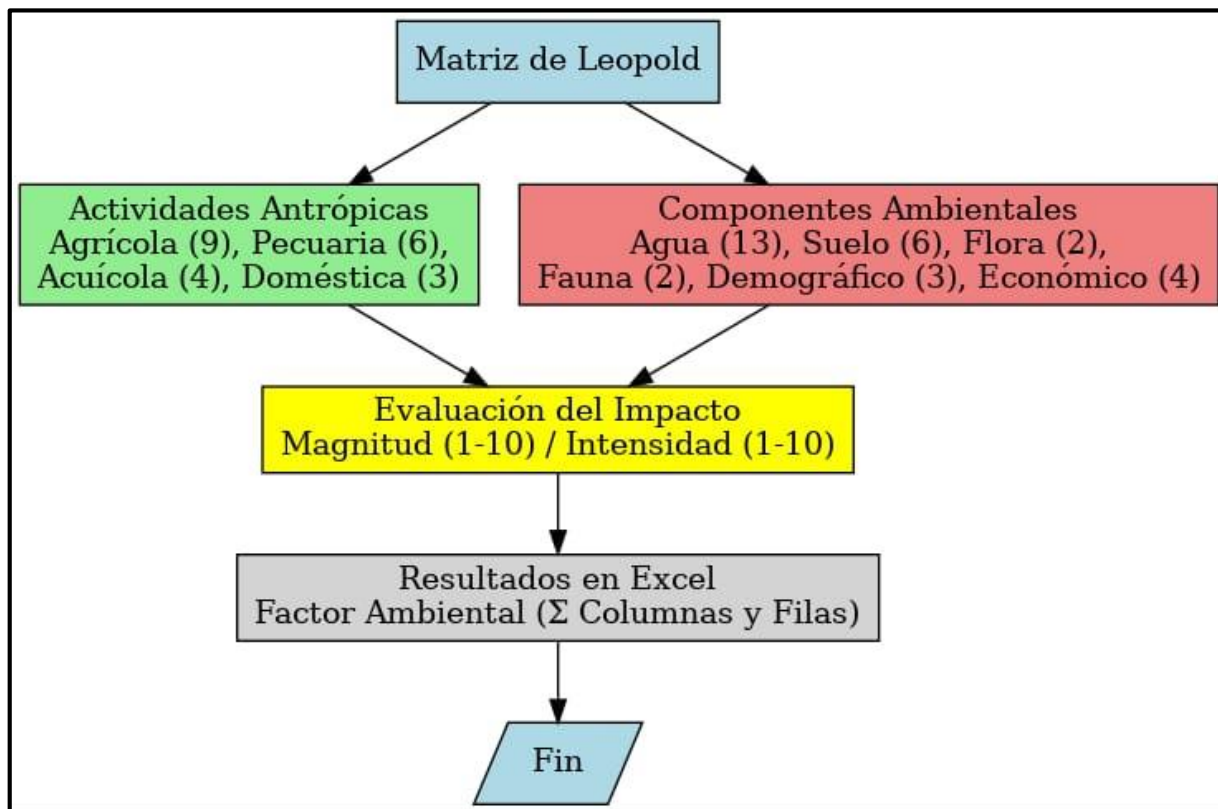
e. Procesamiento de datos de las Actividades Antrópicas

Una vez levantada la información y determinar las actividades antrópicas que se desarrollan en la laguna de Pacucha se agruparon en 9 columnas de la actividad agrícola, 6 columnas de la actividad pecuaria, 4 columnas de la actividad acuícola y 3 columnas de la actividad doméstica, y 13 filas en el componente agua, 6 filas en el componente suelo, 2 filas en el componente flora, 2 filas en el componente fauna, 3 filas en el componente demográfico y por ultimo 4 filas del componente económico, en las visitas de campo, durante la toma de muestra, se procedió a evaluarlas en la matriz de Leopold, la cual busca la interacción de las filas y columnas, como resultado de esta interacción

de componentes y actividades da como resultado un impacto ambiental. Donde en cada celda de interacción se divide con una línea diagonal, en la parte superior se determina la magnitud del impacto (M) y en la parte inferior la intensidad del impacto (I), Donde la valoración de la magnitud del impacto (M) va en una escala de 1 a 10 con signo positivo o negativo respectivamente, y la valoración de la importancia (I) es medido en una escala del 1 a 10 y finalmente se realiza una suma algebraica de las filas y columnas, que da el factor ambiental de las actividades y las acciones que origina un impacto, siendo evaluados en hojas de cálculo de Microsoft © Excel 2016.

Figura 7

Procesamiento de datos de las Actividades Antrópicas



Nota. Elaboración propia

Figura 8

Proceso de evaluación de actividades antrópicas

MATRIZ DE LEPOLD			Actividades	Agrícola (9)	Pecuaría (6)	Acuícola (4)	Doméstica (3)
SISTEMA	Medio	Componente	Factores	Acciones (9)	Acciones (6)	Acciones (4)	Acciones (3)
ISICO	Agua	Agua (13)	factores (13)	M (1-10) I (1-10)	M (1-10) I (1-10)	M (1-10) I (1-10)	M (1-10) I (1-10)
		Suelo (6)	factores (6)	M (1-10) I (1-10)	M (1-10) I (1-10)	M (1-10) I (1-10)	M (1-10) I (1-10)
	Biótico	Flora (2)	factores (2)	M (1-10) I (1-10)	M (1-10) I (1-10)	M (1-10) I (1-10)	M (1-10) I (1-10)
		Fauna (2)	factores (2)	M (1-10) I (1-10)	M (1-10) I (1-10)	M (1-10) I (1-10)	M (1-10) I (1-10)
SOCIOECONOMICO	Social	Demográfico (3)	factores (3)	M (1-10) I (1-10)	M (1-10) I (1-10)	M (1-10) I (1-10)	M (1-10) I (1-10)
	Económico	Económico (4)	factores (4)	M (1-10) I (1-10)	M (1-10) I (1-10)	M (1-10) I (1-10)	M (1-10) I (1-10)

Magnitud
Valor (1-10)

➔

M
I

Importancia
(gravedad del impacto)
Valor (1-10)

- En ambos casos se evalúan del (1-10)
- Se antepone el signo (+ o -) positivo, si el impacto es positivo y negativo, si el impacto es negativo

Nota. Elaboración propia

Tabla 12

Tabla de calificación de la magnitud e importancia del impacto de las actividades en la matriz de Leopold

Intensidad	Magnitud		Duración	Importancia	
	Afectación	Calificación		Influencia	Calificación
Baja	Baja	+1	Temporal	Puntual	+1
Baja	Media	+2	Media	Puntual	+2
Baja	Alta	+3	Permanente	Puntual	+3
Media	Baja	+4	Temporal	Local	+4
Media	Media	+5	Media	Local	+5
Media	Alta	+6	Permanente	Local	+6
Alta	Baja	+7	Temporal	Regional	+7
Alta	Media	+8	Media	Regional	+8
Alta	Alta	+9	Permanente	Regional	+9
Muy Alta	Alta	+10	Permanente	Nacional	+10

Nota. Extraído de guía metodología para la elaboración de una evaluación de impacto ambiental

Tabla 13

Tabla de calificación de la magnitud e importancia de del impacto de las actividades en la matriz de lepoll

Magnitud			Importancia		
Intensidad	Afectación	Calificación	Duración	Influencia	Calificación
Baja	Baja	-1	Temporal	Puntual	-1
Baja	Media	-2	Media	Puntual	-2
Baja	Alta	-3	Permanente	Puntual	-3
Media	Baja	-4	Temporal	Local	-4
Media	Media	-5	Media	Local	-5
Media	Alta	-6	Permanente	Local	-6
Alta	Baja	-7	Temporal	Regional	-7
Alta	Media	-8	Media	Regional	-8
Alta	Alta	-9	Permanente	Regional	-9
Muy Alta	Alta	-10	Permanente	Nacional	-10

Nota. Extraído de guía metodología para la elaboración de una evaluación de impacto ambiental

Tabla 14

valoración del Impacto de las actividades antrópicas

Calificación negativa	Rango	Calificación positiva	Rango
Irrelevantes	0 -25	Poco importante	0 25
Moderados	-25 -50	Importante	25 50
Severos	-50 -75	Muy importante	50 75
Críticos	> -75		>75

Nota. Extraído de guía metodología para la elaboración de una evaluación de impacto ambiental

4.6. Análisis de datos

Primeramente, los datos fueron tabulados, se les aplicó análisis de consistencia y graficados a través de la hoja de cálculo electrónica Microsoft © Excel 2016.

Los datos fueron analizados mediante la aplicación de INFOSTAT/P v.2020, de la Universidad Nacional de Córdoba República de la Argentina (Di Rienzo et al., 2008) Fueron utilizados, tanto para los índices como para los parámetros, el análisis descriptivo de los datos, el análisis de la varianza (ANOVA) y la prueba de la diferencia mínima significativa honesta (DMSH) de Tukey, a un nivel de $p = 0.05$ (Balzarini et al., 2008). También, El

Infostat fue empleado para el análisis de las interacciones Temporada*Subarea*Localización y para la correlación de Pearson entre las variables: índices de contaminación y parámetros de calidad del agua. Y finalmente, para el análisis integrado entre indicadores de actividades antrópicas, índices de contaminación y parámetros de calidad del agua, según la temporada y sectores de la laguna (sub área y Localización), se empleó la técnica multivariada de Análisis por Componentes Principales de la Varianza Total (ACPvt) (Balzarini et al., 2008). Los ACP's realizados fueron, primero: los índices de contaminación por sectores, segundo: los parámetros de calidad del agua por sectores, tercero: los indicadores de actividades antrópicas por sectores, y cuarto los indicadores de actividades antrópicas, índices de contaminación y parámetros de calidad del agua por sectores.

Los ACP's se construyeron con los primeros dos autovalores, que, en todos los casos, explicaron más del 70% de la variación total y con correlaciones cofenéticas superiores a 0.91. lo que indico que todos los gráficos de doble representación (Biplot) presentaron alta consistencia y muy poca distorsión con respecto a las matrices de correlaciones que les dieron origen.

4.7. Consideraciones éticas

Estudio se sustentó en lineamientos que expresamente se plantean en el código de ética de Universidad Tecnológica los Andes en su versión 6.0 basados en principios éticos de normativa nacional e internacional.

A su vez, se hace énfasis en los principios de:

Autonomía; tal que los resultados son consecuencia de un proceso libre de conflicto de intereses, sin intromisión ni influencia de ningún tipo más que llegar a resultados objetivos. Justicia: dado que el estudio se trabaja respetando la normativa y métodos previamente desarrollados, que, de manera inherente, se basan en el respeto hacia los participantes

directos e indirectos; esto también se sigue por criterio propio según las condiciones del área de investigación.

No maleficencia: buscando prever las acciones necesarias para minimizar o anular cualquier evento de riesgo resultante de los estudios realizados.

Beneficencia: al ser un estudio aplicado, se busca que con los resultados se logre el máximo beneficio para la población que resulte influenciada.

Veracidad: tanto en resultados que se tienen con las pruebas de laboratorio acreditados, como en el contenido transcrito, en el que se respeta el sentido que cada autor da originalmente a sus argumentos e ideas.

V. Resultados y discusiones

5.1. Resultados descriptivos

5.1.1. Propiedades químicas del agua para el Índice de contaminación por Materia Orgánica - ICOMO

Tabla 15

Promedios del índice de saturación de oxígeno de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.

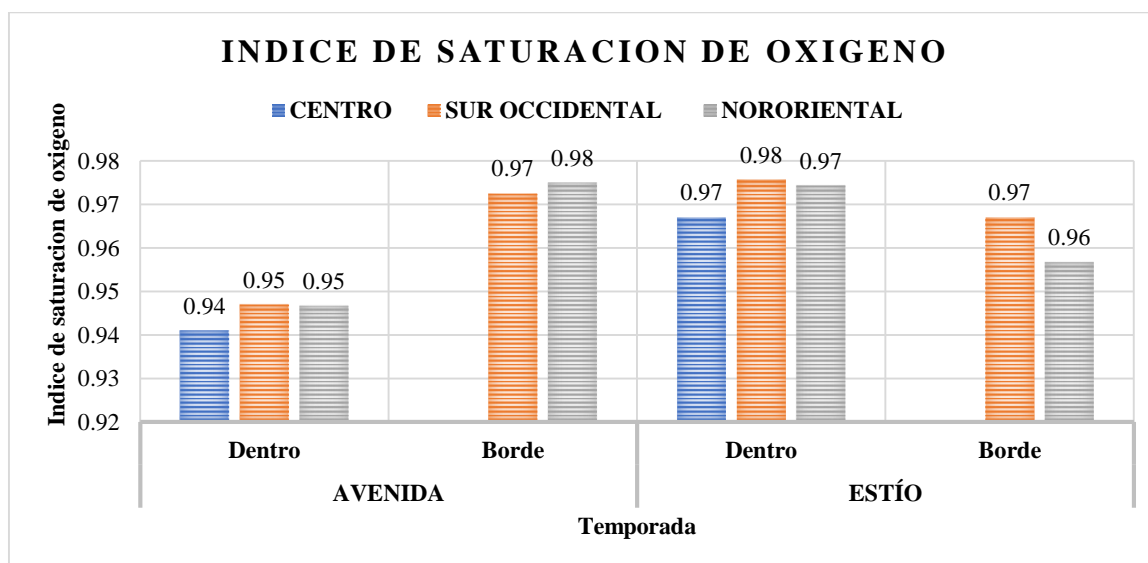
Sub área	Avenida		Estío		Medias
	Dentro	Orilla	Dentro	Orilla	
Sur occidental	0.95	0.97	0.98	0.97	0.966
Nororiental	0.95	0.98	0.97	0.96	0.963
Centro	0.94		0.97		0.954
Medias	0.945	0.974	0.972	0.962	0.961
Media Temporada	0.956		0.968		
Media Localización	0.959	0.968			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.014

Nota. Datos del Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas evaluados estadísticamente.

Figura 9

Promedios del índice de saturación de oxígeno de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), ubicación (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.



Nota. Datos del Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas evaluados estadísticamente

Interpretación:

La tabla 15 y la figura 9 presentaron los promedios del índice de saturación de oxígeno, considerando la interacción triple entre la temporada (avenida y estío), la ubicación (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.

Variación por temporada

Al comparar ambas temporadas, se observó que durante la temporada de avenida (lluvias), el índice de saturación de oxígeno presentó un promedio general de 0.956. En contraste, en la temporada de estío, estos valores experimentaron un ligero incremento, alcanzando un promedio general de 0.968. Estos resultados indicaron que, durante el estío, la laguna mostró un mayor índice de saturación de oxígeno en comparación con la temporada de avenida.

Variación por localización

En términos generales, los valores de saturación de oxígeno fueron mayores en la orilla de la laguna, con un promedio general de 0.968, en comparación con el interior de la laguna, donde se registró un promedio de 0.956. Durante la temporada de avenida (lluvias), la saturación de oxígeno dentro de la laguna alcanzó un valor de 0.945, mientras que en la orilla este índice ascendió a 0.974. Por otro lado, en la temporada de estío, la saturación de oxígeno dentro de la laguna se incrementó a 0.972, mientras que en la orilla se redujo ligeramente a 0.962.

Variación por subárea

La saturación de oxígeno varió en función de la ubicación dentro de la laguna. En este sentido, la subárea sur occidental presentó un promedio general de saturación de oxígeno de 0.966, mientras que en la subárea nororiental este valor fue de 0.963 y en el área central se registró el nivel más bajo con un promedio de 0.954.

Prueba de Tukey

El análisis estadístico mediante la prueba de Tukey permitió determinar la diferencia mínima significativa (DMS), cuyo valor de 0.01404 indicó que cualquier diferencia superior a este umbral entre los promedios analizados se consideró estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 95% (Alfa=0.05).

Análisis de los resultados

Los resultados del análisis de la saturación de oxígeno en la Laguna de Pacucha reflejaron una interacción compleja entre factores ambientales y espaciales. Se identificó una mayor oxigenación durante la temporada de estío en comparación con la temporada de avenida, lo que podría estar relacionado con una mayor estabilidad en las condiciones del agua y un menor aporte de material en suspensión. Asimismo, la mayor oxigenación en la orilla en comparación con el interior de la laguna sugiere una mayor influencia de la vegetación y la difusión gaseosa con la atmósfera en estas zonas.

Desde el punto de vista espacial, la subárea central presentó la menor saturación de oxígeno, lo que podría indicar una menor dinámica del agua y mayor acumulación de material orgánico, afectando la disponibilidad de oxígeno para los organismos acuáticos. La prueba de Tukey refuerza la necesidad de monitorear la calidad del agua en diferentes zonas de la laguna para identificar posibles impactos ambientales y establecer estrategias de conservación adecuadas.

Tabla 16

Promedios del índice de demanda bioquímica (DBO) de la interacción triple: temporada, (avenida y estío), localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la laguna de Pacucha.

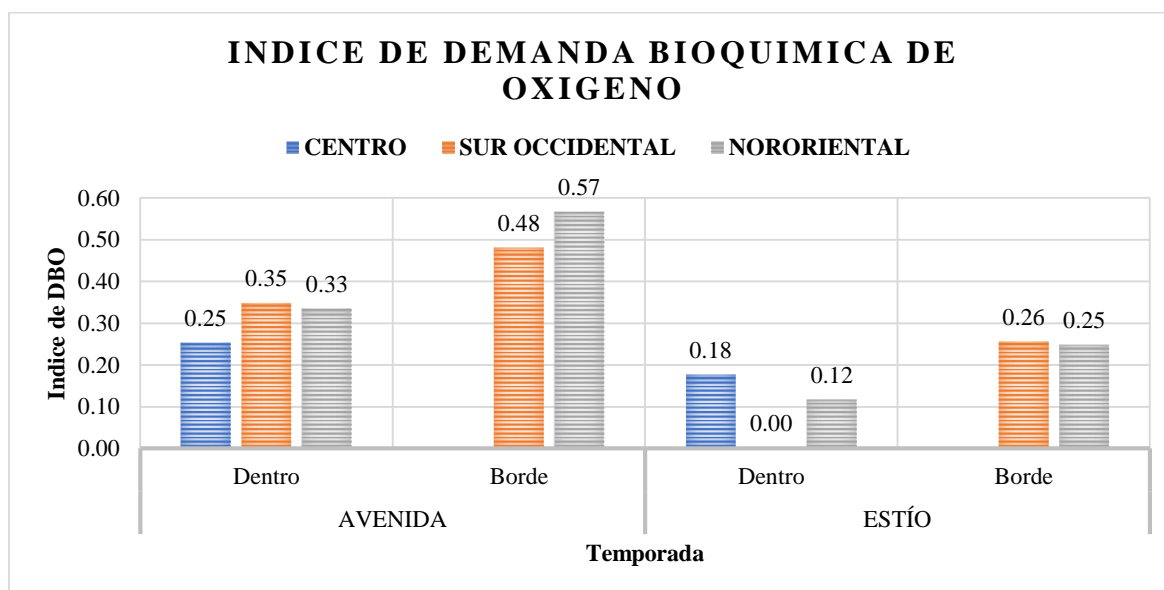
Subárea	Avenida		Estío		Medias
	Dentro	Orilla	Dentro	Borde	
Sur occidental	0.35	0.48	0.00	0.26	0.271
Nororiental	0.33	0.57	0.12	0.25	0.317
Centro	0.25		0.18		0.214
Medias	0.312	0.523	0.098	0.252	0.267
Media Temporada	0.396		0.159		
Media Localización	0.205	0.388			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.52634

Nota. Datos del Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas evaluados estadísticamente

Figura 10

Promedios del índice de demanda bioquímica (DBO) de la interacción triple: temporada, (avenida y estío), localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la laguna de Pacucha.



Nota. Datos del Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas evaluados estadísticamente

Interpretación:

La tabla 16 y la figura 10 presentaron los promedios del índice de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), considerando la interacción triple entre la temporada

(avenida y estío), la localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.

Variación por temporada

Durante la temporada de avenida (lluvias), el índice de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) presentó un promedio general de 0.386. En contraste, en la temporada de estío, estos valores disminuyeron, registrando un promedio general de 0.159. Estos resultados sugirieron que la DBO fue más alta en la temporada de avenida, posiblemente debido al arrastre de materia orgánica generado por las lluvias, mientras que en el estío se observó una menor carga de contaminantes.

Variación por localización

En términos generales, los valores de demanda bioquímica de oxígeno fueron mayores en la orilla, con un promedio general de 0.388, en comparación con el interior de la laguna, donde se registró un promedio de 0.205. Durante la temporada de avenida (lluvias), la demanda bioquímica de oxígeno dentro de la laguna alcanzó un valor de 0.312, mientras que en la orilla este índice ascendió a 0.523. Por otro lado, en la temporada de estío, la demanda bioquímica de oxígeno dentro de la laguna se redujo a 0.098, mientras que en la orilla se incrementó a 0.252. La mayor DBO en la orilla pudo deberse a la acumulación de residuos orgánicos y a una menor dilución, mientras que en el interior de la laguna se registró una menor contaminación debido a un mayor volumen de agua y mejor dispersión de la materia orgánica.

Variación por subárea

La demanda bioquímica de oxígeno varió en función de la ubicación dentro de la laguna. En este sentido, la subárea sur occidental presentó un promedio general de 0.271 mg/l, mientras que en la subárea nororiental este valor fue de 0.317 y en el área central se registró el nivel más bajo con un promedio de 0.214. La subárea nororiental resultó ser la

más contaminada, con el mayor nivel de DBO, mientras que la subárea central fue la menos contaminada, posiblemente debido a una mejor circulación del agua y menor acumulación de materia orgánica.

Prueba de Tukey

El análisis estadístico mediante la prueba de Tukey ($\text{Alfa}=0.05$, $\text{DMS}=0.52634$) indicó que las diferencias entre los promedios debían superar el umbral de 0.52634 para ser consideradas estadísticamente significativas. En este caso, las diferencias observadas no alcanzaron dicho valor, lo que indicó que no fueron estadísticamente significativas.

Análisis de los resultados

Los resultados evidenciaron que la demanda bioquímica de oxígeno fue mayor durante la temporada de avenida, lo que sugiere un incremento en la materia orgánica transportada por las lluvias, favoreciendo la actividad microbiana y el consumo de oxígeno. En contraste, la menor DBO en la temporada de estío reflejó una menor carga contaminante, probablemente debido a la ausencia de arrastre de residuos.

En términos espaciales, la DBO fue más alta en la orilla que en el interior de la laguna, lo que puede estar relacionado con la acumulación de residuos orgánicos provenientes de actividades humanas cercanas y una menor capacidad de dilución en estas zonas. Además, la subárea nororiental presentó los valores más elevados de DBO, lo que sugiere una mayor carga de materia orgánica y menor circulación del agua en comparación con otras zonas.

Por último, el análisis estadístico indicó que las diferencias observadas entre los promedios de DBO no fueron estadísticamente significativas, lo que sugiere que las variaciones detectadas pueden estar dentro del margen de error y que no hay una diferencia sustancial entre las condiciones evaluadas. Esto resalta la necesidad de estudios adicionales

para identificar con mayor precisión los factores que influyen en la distribución y variación de la DBO en la Laguna de Pacucha.

5.1.2. Propiedades microbiológicas del agua para el Índice de Contaminación por Materia Orgánica - ICOMO

Tabla 17

Promedios del índice de Coliformes Fecales de la interacción triple: temporada, (avenida y estío), localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la laguna de Pacucha.

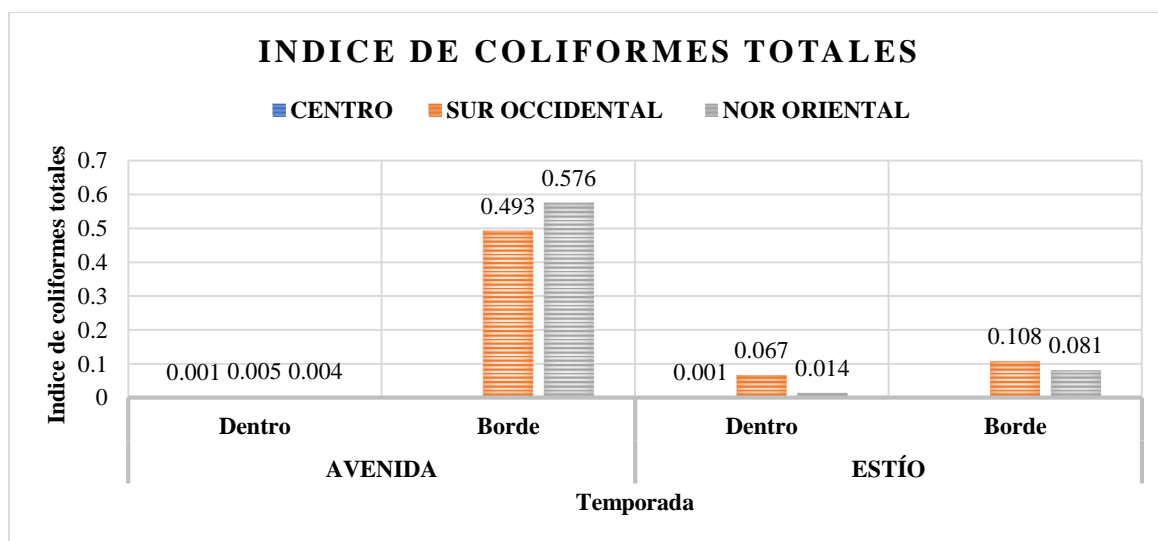
Subárea	Avenida		Estío		Medias
	Dentro	Borde	Dentro	Borde	
Sur occidental	0.005	0.493	0.067	0.108	0.168
Nororiental	0.004	0.576	0.014	0.081	0.169
Centro	0.001		0.001		0.001
Medias	0.003	0.535	0.027	0.095	0.113
Media Temporada	0.216		0.054		
Media Localización	0.015	0.315			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.23653

Nota. Datos del laboratorio de Control Ambiental de la Dirección Regional de Salud de Apurímac (DIRESA). Año 2023

Figura 11

Promedios del índice de Coliformes Fecales de la interacción triple: temporada, (avenida y estío), localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la laguna de Pacucha.



Nota. Datos del laboratorio de Control Ambiental de la Dirección Regional de Salud de Apurímac (DIRESA). Año 2023

Interpretación:

La tabla 17 y la figura 11 presentaron los promedios del índice de coliformes fecales, considerando la interacción triple entre la temporada (avenida y estío), la localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.

Variación por temporada

Durante la temporada de avenida (lluvias), el índice de coliformes fecales presentó un promedio general de 0.216. En contraste, en la temporada de estío, este valor se redujo a un promedio general de 0.095. Estos resultados indicaron que la contaminación fecal fue mayor en la temporada de avenida, probablemente debido al arrastre de residuos sólidos hacia la laguna por efecto de las lluvias. En cambio, en la temporada de estío, la menor afluencia de agua contaminada contribuyó a la reducción de los niveles de coliformes fecales.

Variación por localización

En términos generales, dentro de la laguna se registró una menor presencia de coliformes fecales, con un promedio de 0.015, mientras que en la orilla este valor ascendió a 0.315. Durante la temporada de avenida, el índice de coliformes fecales dentro de la laguna fue de 0.003, mientras que en la orilla alcanzó 0.535. Por otro lado, en la temporada de estío, los niveles dentro de la laguna aumentaron ligeramente a 0.027, en comparación con la orilla, donde se registró un valor de 0.095. Estos datos evidenciaron que la mayor concentración de coliformes fecales se encontró en la orilla de la laguna, lo que puede estar asociado a la acumulación de desechos orgánicos provenientes de fuentes externas y la menor capacidad de dilución en esta zona.

Variación por subárea

La presencia de coliformes fecales varió en función de la ubicación dentro de la laguna. La subárea sur occidental presentó un promedio general de 0.168, mientras que en la subárea nororiental este valor fue ligeramente superior con 0.169. En contraste, el área

central mostró el nivel más bajo de contaminación fecal, con un promedio de 0.001. La subárea nororiental resultó ser la más afectada por coliformes fecales, mientras que la subárea central presentó la menor concentración de estos microorganismos, lo que sugiere una mejor circulación del agua en esta zona y menor impacto de fuentes contaminantes externas.

Prueba de Tukey

El análisis estadístico mediante la prueba de Tukey (Alfa=0.05, DMS=0.23653) indicó que las diferencias entre los promedios debían superar el umbral de 0.23653 para ser consideradas estadísticamente significativas. En este caso, la diferencia entre los valores de coliformes fecales en la orilla y dentro de la laguna durante la temporada de avenida superó este umbral, lo que confirmó la significancia estadística de esta variación.

Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos reflejaron que la contaminación fecal en la Laguna de Pacucha estuvo influenciada por factores estacionales y espaciales. Durante la temporada de avenida, el aumento en la carga de coliformes fecales se atribuyó al arrastre de residuos sólidos y aguas contaminadas hacia la laguna debido a las lluvias. En contraste, la reducción de estos microorganismos en la temporada de estío se debió a una menor afluencia de contaminantes, favoreciendo la depuración natural del ecosistema acuático.

Desde el punto de vista espacial, la mayor concentración de coliformes fecales en la orilla en comparación con el interior de la laguna sugiere una mayor exposición a fuentes de contaminación cercanas, posiblemente derivadas de asentamientos humanos y actividades agrícolas. Además, la subárea nororiental presentó los niveles más elevados de coliformes fecales, lo que podría indicar un mayor impacto de fuentes contaminantes específicas en esta zona. Por otro lado, la subárea central mostró los valores más bajos, lo que sugiere una mejor circulación del agua y menor acumulación de contaminantes.

La prueba de Tukey confirmó que la diferencia entre los valores de coliformes fecales en la orilla y dentro de la laguna durante la temporada de avenida fue estadísticamente significativa.

Tabla 18

Promedios del índice de contaminación por materia orgánica de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la laguna de Pacucha.

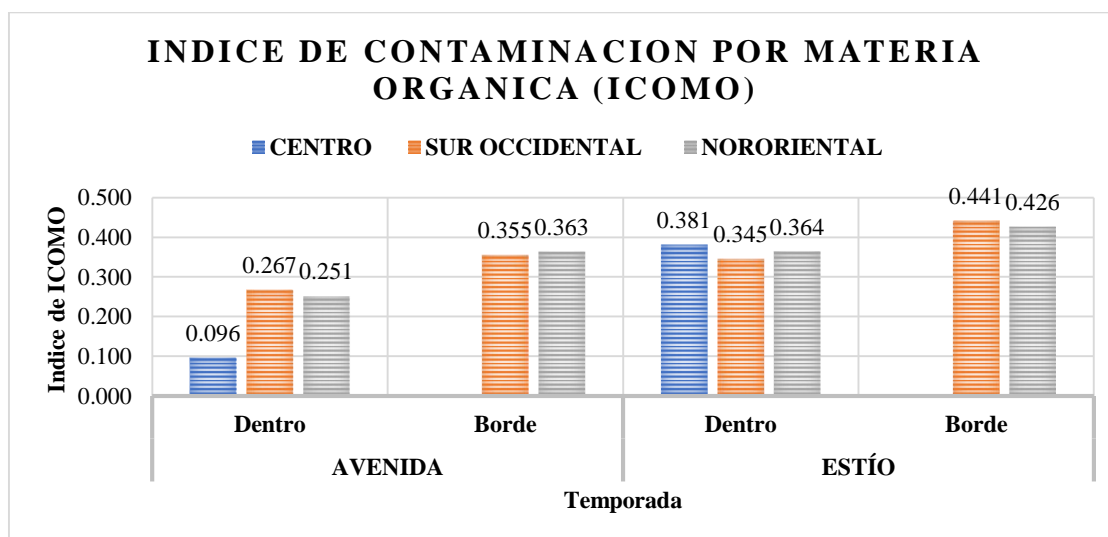
Subárea	Avenida		Estío		Medias
	Dentro	Orilla	Dentro	Orilla	
Sur occidental	0.267	0.355	0.345	0.441	0.352
Nororiental	0.251	0.363	0.364	0.426	0.351
Centro	0.096		0.381		0.239
Medias	0.204	0.359	0.363	0.433	0.314
Media Temporada	0.266		0.391		
Media Localización	0.284	0.396			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.15649

Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas, Año 2023

Figura 12

Promedios del índice de contaminación por materia orgánica de la interacción triple: temporada, (avenida y estío), localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la laguna de Pacucha.



Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas, Año 2023

Interpretación:

La tabla 18 y la figura 12 presentaron los promedios del Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO), considerando la interacción triple entre la temporada (avenida y estío), la localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.

Variación por temporada

Durante la temporada de estío, el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) presentó un valor promedio de 0.391. En contraste, durante la temporada de avenida, este índice disminuyó, registrando un promedio general de 0.266. Estos resultados indicaron que en la temporada de estío se acumuló una mayor cantidad de materia orgánica en la laguna, posiblemente debido a la menor renovación del agua y la mayor permanencia de residuos orgánicos, mientras que, en la temporada de avenida, el arrastre de materiales y la mayor circulación del agua favorecieron la reducción de este índice.

Variación por localización

En términos generales, los valores del ICOMO fueron menores dentro de la laguna, donde se registró un promedio de 0.284, en comparación con la orilla, que presentó un valor promedio de 0.396. Durante la temporada de avenida, el índice de materia orgánica en el interior de la laguna alcanzó un valor de 0.204, mientras que en la orilla ascendió a 0.359. En la temporada de estío, el índice de materia orgánica dentro de la laguna se incrementó a 0.363, mientras que en la orilla aumentó hasta 0.433. Estos resultados sugirieron que la mayor acumulación de materia orgánica ocurrió en la orilla, posiblemente debido a la menor dilución y la acumulación de residuos provenientes de fuentes externas.

Variación por subárea

La concentración de materia orgánica varió según la ubicación dentro de la laguna. La subárea sur occidental presentó un promedio general de 0.352, seguida de la subárea nororiental con 0.351. En contraste, la subárea central registró el nivel más bajo de materia

orgánica, con un promedio de 0.239. Estos datos evidenciaron que las zonas periféricas presentaron una mayor acumulación de materia orgánica en comparación con el área central, lo que puede estar asociado a diferencias en la circulación del agua y la deposición de residuos.

Prueba de Tukey

El análisis estadístico mediante la prueba de Tukey ($\text{Alfa}=0.05$, $\text{DMS}=0.15649$) indicó que las diferencias entre los promedios debían superar el umbral de 0.15649 para ser consideradas estadísticamente significativas. En este caso, la diferencia entre los valores de materia orgánica en la orilla entre la temporada de avenida y la temporada de estío superó este umbral, lo que confirmó la significancia estadística de esta variación.

Análisis de los resultados

Los resultados mostraron que la contaminación por materia orgánica en la Laguna de Pacucha presentó variaciones significativas en función de la temporada y la localización. La mayor concentración de materia orgánica en la temporada de estío puede explicarse por la reducción del caudal de agua y la acumulación progresiva de residuos, mientras que, en la temporada de avenida, el mayor flujo de agua favoreció la dispersión y disminución de la materia orgánica.

Desde un punto de vista espacial, los valores más altos en la orilla en comparación con el interior de la laguna sugieren que las zonas periféricas son más vulnerables a la acumulación de contaminantes orgánicos, posiblemente debido a la menor renovación del agua y la mayor proximidad a fuentes de contaminación externas. Asimismo, la subárea central presentó los valores más bajos de materia orgánica, lo que podría atribuirse a una mejor dinámica de circulación del agua y una menor acumulación de residuos.

La prueba de Tukey confirmó que las diferencias en la acumulación de materia orgánica en la orilla entre la temporada de avenida y la temporada de estío fueron

estadísticamente significativas. Esto resalta la importancia de implementar estrategias de monitoreo y gestión ambiental que permitan mitigar la acumulación de materia orgánica en las zonas más afectadas de la laguna y mejorar la calidad del agua en función de las variaciones estacionales.

5.1.3. Propiedades químicas del agua para Índice de contaminación por pH- ICO pH

Tabla 19

Promedios del índice de contaminación de pH de la interacción triple: temporada, (avenida y estío), localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la laguna de Pacucha.

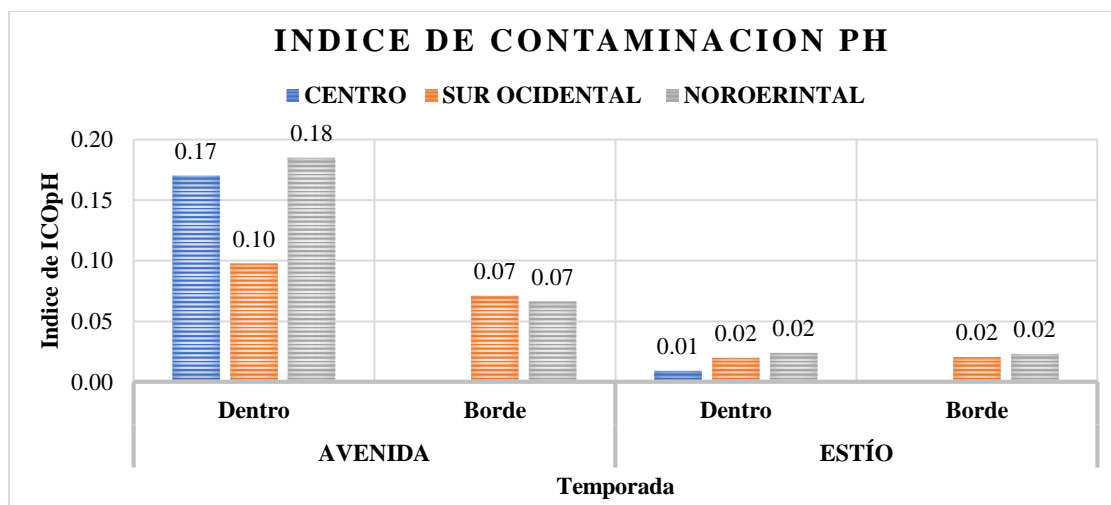
Subárea	Avenida		Estío		Medias
	Dentro	Orilla	Dentro	Orilla	
Sur occidental	0.10	0.07	0.02	0.02	0.052
Nororiental	0.18	0.07	0.02	0.02	0.074
Centro	0.17		0.01		0.090
Medias	0.151	0.069	0.017	0.022	0.072
Media Temporada	0.118		0.019		
Media Localización	0.084	0.045			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.03103

Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas, Año 2023

Figura 13

Promedios del índice de contaminación de pH de la interacción triple: temporada, (avenida y estío), localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la laguna de Pacucha.



Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas, Año 2023

Interpretación:

La tabla 19 y la figura 13 presentaron los promedios del Índice de Contaminación de pH, considerando la interacción triple entre la temporada (avenida y estío), la localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.

Variación por temporada

Durante la temporada de avenida, el índice de pH presentó un promedio general de 0.118. En contraste, en la temporada de estío, este valor se redujo a un promedio general de 0.019. Estos resultados indicaron que en la temporada de avenida se registraron niveles más elevados de pH, lo que podría estar relacionado con el arrastre de sedimentos y sustancias alcalinas provenientes del entorno, mientras que, en la temporada de estío, la menor afluencia de agua y la evaporación podrían haber contribuido a la disminución de los niveles de pH.

Variación por localización

En términos generales, dentro de la laguna se registró un menor valor promedio del índice de pH, con 0.084, en comparación con la orilla, donde el promedio general alcanzó 0.045. Durante la temporada de avenida, el índice de pH en la orilla fue de 0.069, mientras que en el interior de la laguna ascendió a 0.151. En la temporada de estío, el índice de pH dentro de la laguna se redujo a 0.017, mientras que en la orilla alcanzó un valor de 0.022. Estos resultados sugirieron que la mayor variación del pH ocurrió en la orilla, posiblemente debido a la influencia de descargas superficiales y la interacción con materiales del entorno inmediato.

Variación por subárea

El índice de pH mostró variaciones según la ubicación dentro de la laguna. La subárea sur occidental presentó un promedio general de 0.052, mientras que en la subárea nororiental este valor fue de 0.074. En contraste, la subárea central registró el nivel más alto

de pH con un promedio de 0.090. Estos datos evidenciaron que las diferencias en el índice de pH podrían estar asociadas a la variabilidad en la composición del agua y las condiciones de cada subárea, con la subárea central presentando los valores más elevados, posiblemente debido a una menor circulación del agua y acumulación de compuestos alcalinos.

Prueba de Tukey

El análisis estadístico mediante la prueba de Tukey ($\text{Alfa}=0.05$, $\text{DMS}=0.03103$) indicó que las diferencias entre los promedios debían superar el umbral de 0.03103 para ser consideradas estadísticamente significativas. En este caso, la diferencia entre los valores del índice de pH en la temporada de avenida y la temporada de estío en la categoría "Dentro" superó este umbral, lo que confirmó la significancia estadística de esta variación.

Análisis de los resultados

Los resultados evidenciaron que el índice de pH en la Laguna de Pacucha presentó variaciones significativas en función de la temporada, la localización y la subárea. La mayor concentración de pH en la temporada de avenida podría estar vinculada a la mayor afluencia de agua cargada de sedimentos y sustancias alcalinas provenientes del entorno. En contraste, la reducción del pH en la temporada de estío podría deberse a la menor entrada de agua y a procesos químicos naturales de estabilización.

Desde el punto de vista espacial, la mayor concentración de pH en la orilla en comparación con el interior de la laguna sugiere que las zonas periféricas están más expuestas a influencias externas, como el ingreso de materiales alcalinos o residuos de actividades humanas. Asimismo, la subárea central presentó los valores más elevados de pH, lo que podría estar asociado a la acumulación de compuestos químicos y la menor circulación del agua en esta zona.

La prueba de Tukey confirmó que las diferencias en los valores del índice de pH en la temporada de avenida y la temporada de estío en la categoría "Dentro" fueron

estadísticamente significativas. Esto resalta la necesidad de monitorear los niveles de pH en diferentes condiciones ambientales y adoptar estrategias para mitigar posibles impactos en la calidad del agua.

5.1.4. Propiedad química del agua para el Índice contaminación Trófico -ICOTRO

Tabla 20

Promedios del Índice de contaminación Trófica de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.

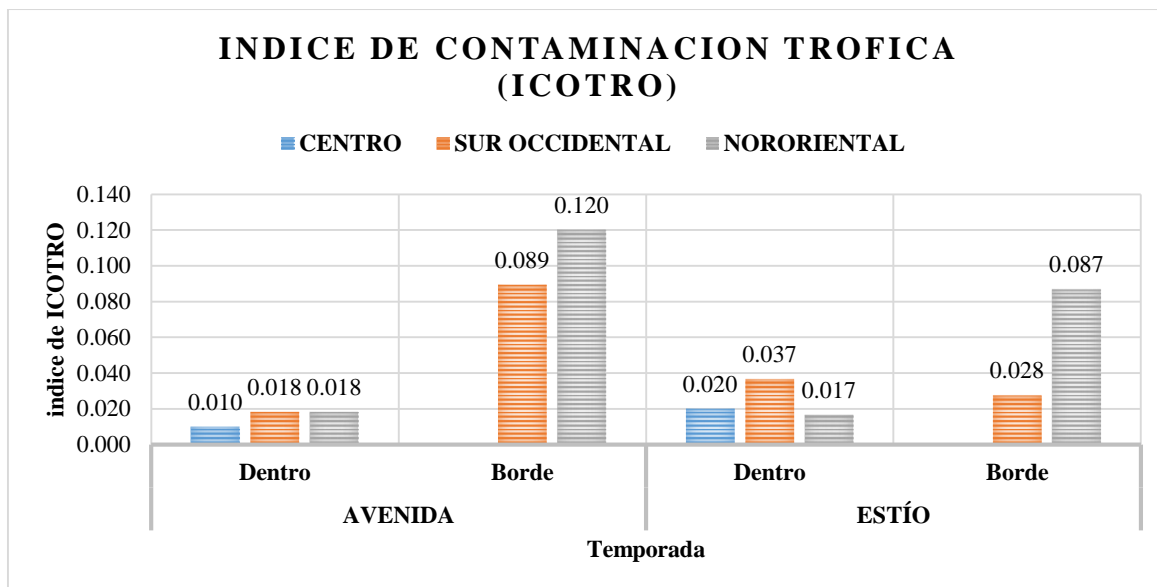
Subárea	Avenida		Estío		Medias
	Dentro	Orilla	Dentro	Orilla	
Sur occidental	0.018	0.089	0.037	0.028	0.043
Nororiental	0.018	0.120	0.017	0.087	0.060
Centro	0.010		0.020		0.015
Medias	0.016	0.105	0.024	0.057	0.039
Media Temporada	0.051		0.038		
Media Localización	0.020	0.081			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.15989

Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas, Año 2023

Figura 14

Promedios del Índice de contaminación Trófica de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.



Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas, Año 2023

Interpretación:

La tabla 20 y la figura 14 mostraron los promedios del Índice de Contaminación Trófica (ICOTRO), considerando la interacción triple entre la temporada (avenida y estío), la localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.

Variación por temporada

Durante la temporada de avenida, el índice de contaminación trófica presentó un promedio general de 0.051. En contraste, en la temporada de estío, este valor disminuyó a un promedio general de 0.038, lo que indicó una menor contaminación trófica en esta temporada. Estos resultados sugirieron que el incremento del ICOTRO durante la avenida podría estar relacionado con el arrastre de nutrientes y materia orgánica por el aumento del caudal de agua, favoreciendo el crecimiento de organismos tróficos.

Variación por localización

En términos generales, dentro de la laguna se registró un menor valor promedio de ICOTRO, con 0.020, en comparación con la orilla, donde el promedio general alcanzó 0.081. Durante la temporada de avenida, el índice de contaminación trófica en la orilla fue de 0.105, mientras que en el interior de la laguna se incrementó a 0.016. En la temporada de estío, el ICOTRO dentro de la laguna presentó un valor de 0.024, en comparación con la orilla, donde se registró un valor de 0.057. Estos resultados indicaron que la mayor acumulación de nutrientes y materia orgánica ocurrió en la orilla, posiblemente debido a la menor circulación del agua y la acumulación de residuos provenientes del entorno.

Variación por subárea

El índice de contaminación trófica mostró variaciones según la ubicación dentro de la laguna. La subárea sur occidental presentó un promedio general de 0.043, mientras que en la subárea nororiental este valor fue de 0.060. En contraste, la subárea central registró el nivel más bajo de contaminación trófica, con un promedio de 0.015. Estos resultados evidenciaron que las zonas periféricas presentaron una mayor acumulación de nutrientes y materia orgánica en comparación con el área central, lo que podría estar asociado a diferencias en la circulación del agua y la deposición de residuos.

Prueba de Tukey

El análisis estadístico mediante la prueba de Tukey ($\text{Alfa}=0.05$, $\text{DMS}=0.15989$) indicó que las diferencias entre los promedios debían superar el umbral de 0.15989 para ser consideradas estadísticamente significativas. En este caso, ninguna de las diferencias observadas superó dicho umbral, lo que indicó que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre las temporadas analizadas.

Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos sugirieron que la contaminación trófica en la Laguna de Pacucha presentó variaciones estacionales y espaciales, aunque estas diferencias no fueron

estadísticamente significativas. La mayor concentración de ICOTRO durante la temporada de avenida pudo estar relacionada con el aumento en el transporte de materia orgánica y nutrientes hacia la laguna debido a las lluvias, mientras que la reducción en la temporada de estío reflejó una menor afluencia de contaminantes, favoreciendo la depuración natural del ecosistema.

Desde el punto de vista espacial, los valores más elevados en la orilla en comparación con el interior de la laguna indicaron una mayor acumulación de nutrientes en las zonas periféricas, posiblemente debido a una menor capacidad de dilución del agua y la acumulación de residuos provenientes de fuentes externas. Asimismo, la subárea nororiental presentó los valores más elevados de ICOTRO, lo que sugiere que esta zona recibió una mayor carga de materia orgánica y nutrientes en comparación con las otras áreas de la laguna.

La prueba de Tukey confirmó que las diferencias observadas entre los promedios de las temporadas no fueron estadísticamente significativas. Esto resalta la importancia de realizar estudios adicionales para evaluar los factores que influyen en la variabilidad del Índice de contaminación trófica - ICOTRO en la Laguna de Pacucha.

5.1.5. Parámetros físicos

Tabla 21

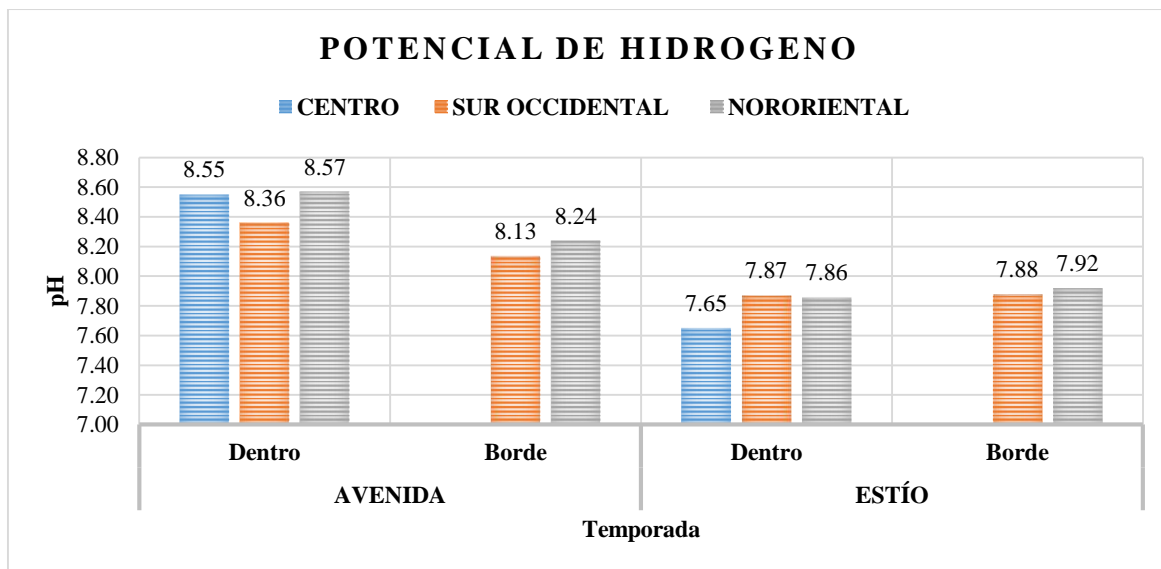
Promedios del Potencial de Hidrogeno (pH) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.

Subárea	Avenida		Estío		Medias
	Dentro	Orilla	Dentro	Orilla	
Sur occidental	8.36	8.13	7.87	7.88	8.06
Nororiental	8.57	8.24	7.86	7.92	8.15
Centro	8.55		7.65		8.10
Medias	8.49	8.19	7.79	7.90	8.10
Media Temporada	8.37		7.83		
Media Localización	8.14	8.04			
ECA= 6.5 a 9.0					
Test:TukeyAlfa=0.05DMS=0.35992					

Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas, Año 2023

Figura 15

Promedios del Potencial de Hidrogeno de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.



Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas, Año 2023

Interpretación

La tabla 21 y la figura 15 presentaron los promedios del Potencial de Hidrógeno (pH) considerando la interacción triple entre la temporada (avenida y estío), la localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha. Además, se incluyeron los valores promedio generales y un análisis estadístico basado en el Test de Tukey. De acuerdo con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA), el pH debe encontrarse en un rango de 6.5 a 9.0.

Variación por temporada

Durante la temporada de avenida, el nivel de pH presentó un promedio general de 8.37. En contraste, en la temporada de estío, este valor disminuyó a un promedio general de 7.83. Estos resultados indicaron que la mayor alcalinidad en la temporada de avenida podría estar relacionada con el arrastre de sedimentos y la disolución de compuestos minerales,

mientras que en la temporada de estío la estabilidad del agua y la menor afluencia de agentes externos podrían haber favorecido una ligera disminución en los valores de pH.

Variación por localización

En términos generales, el promedio de pH dentro de la laguna fue de 8.14, mientras que en la orilla se registró un valor ligeramente menor de 8.04. Durante la temporada de estío, dentro de la laguna, el pH presentó un promedio de 7.79, en comparación con la orilla, donde alcanzó un valor promedio de 7.90. En la temporada de avenida, el nivel de pH en la orilla fue de 8.19, mientras que dentro de la laguna se registró un valor de 8.49. Estos resultados sugirieron que las variaciones en el pH entre la orilla y el interior de la laguna fueron mínimas, lo que podría estar relacionado con la dinámica de mezcla y dispersión de los compuestos alcalinos en la masa de agua.

Variación por subárea

El nivel de pH también varió en función de la ubicación dentro de la laguna. La subárea sur occidental presentó un promedio general de 8.06, mientras que en la subárea nororiental este valor fue de 8.15. En contraste, el área central registró un nivel de pH de 8.10. Estas variaciones mínimas indicaron que la composición química del agua era relativamente homogénea en las distintas subáreas, sin evidenciar grandes fluctuaciones en la alcalinidad.

Prueba de Tukey

El análisis estadístico mediante la prueba de Tukey ($\text{Alfa}=0.05$, $\text{DMS}=0.35992$) indicó que las diferencias entre los promedios debían superar el umbral de 0.35992 para ser consideradas estadísticamente significativas. En este caso, las diferencias observadas entre la temporada de avenida y la temporada de estío no superaron este valor, lo que sugiere que las variaciones en el pH entre temporadas no fueron estadísticamente significativas.

Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos reflejaron que los valores de pH en la Laguna de Pacucha se mantuvieron dentro del rango permitido por el ECA, lo que sugiere que la calidad del agua en términos de alcalinidad no presentó riesgos críticos. La mayor alcalinidad registrada en la temporada de avenida pudo estar influenciada por el arrastre de sedimentos y el aporte de minerales provenientes del entorno, mientras que, en la temporada de estío, la menor afluencia de agua y la mayor estabilidad en la composición del agua favorecieron una ligera disminución en los niveles de pH.

En cuanto a la distribución espacial, las diferencias entre el interior de la laguna y la orilla fueron mínimas, lo que sugiere una relativa estabilidad en la composición química del agua en ambas zonas. Asimismo, la variación del pH entre las subáreas fue leve, lo que indica que no existieron condiciones particulares que favorecieran un incremento significativo de la alcalinidad en alguna zona específica.

La prueba de Tukey confirmó que las diferencias en el pH entre las temporadas de avenida y estío no fueron estadísticamente significativas, lo que indica que, a pesar de las fluctuaciones observadas, estos cambios no representaron variaciones sustanciales en la calidad del agua. Siendo de necesidad continuar con el monitoreo de los niveles de pH para evaluar su evolución a largo plazo y garantizar la estabilidad química del ecosistema acuático.

Tabla 22

Promedios del Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.

Subárea	Avenida		Estío		Medias
	Dentro	Orilla	Dentro	Orilla	
Sur occidental	249.53	258.18	346.53	403.18	314.35
Nororiental	261.47	274.67	349.03	344.43	307.40
Centro	262.00		326.60		294.30
Medias	257.67	266.42	340.72	373.80	305.35
Media Temporada	261.17		353.95		
Media localización	299.19	320.11			

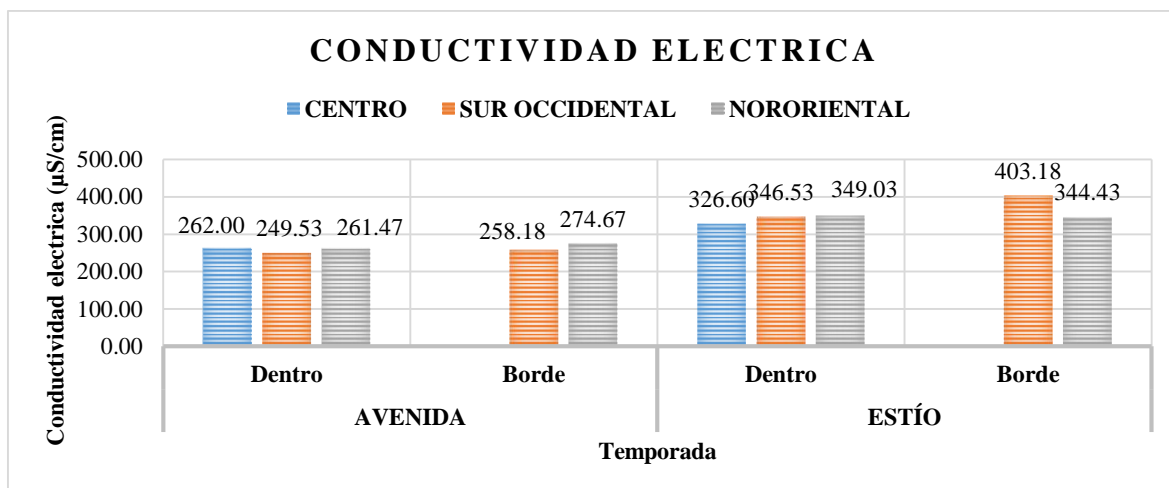
ECA= 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=46.78927

Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas, Año 2023

Figura 16

Promedios del Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.



Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas). Año 2023

Interpretación:

La tabla 22 y la figura 16 presentaron los promedios de la Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), considerando la interacción triple entre la temporada (avenida y estío), la localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.

Variación por temporada

Durante la temporada de avenida, el nivel de conductividad eléctrica presentó un promedio general de 261.17 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En contraste, en la temporada de estío, este valor se incrementó hasta alcanzar un promedio general de 353.95 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos resultados indicaron que la conductividad eléctrica fue mayor en la temporada de estío, lo que podría estar relacionado con la evaporación del agua y la concentración de sales y minerales disueltos,

mientras que, en la temporada de avenida, la mayor afluencia de agua de lluvia contribuyó a una reducción en la concentración de iones disueltos.

Variación por localización

En términos generales, dentro de la laguna se registró un valor promedio de conductividad eléctrica de 299.19 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que en la orilla este valor fue ligeramente superior, con un promedio de 320.11 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Durante la temporada de estío, dentro de la laguna la conductividad presentó un valor promedio de 340.72 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que en la orilla ascendió a 373.80 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En la temporada de avenida, el nivel de conductividad eléctrica en la orilla fue de 266.92 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que dentro de la laguna alcanzó un valor de 257.67 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos resultados sugirieron que la conductividad eléctrica fue mayor en la orilla, posiblemente debido a la acumulación de minerales y otros compuestos provenientes de fuentes externas, mientras que dentro de la laguna los valores fueron más bajos debido a una mayor dilución del agua.

Variación por subárea

El nivel de conductividad eléctrica también varió según la ubicación en la laguna. La subárea sur occidental presentó un promedio general de 314.35 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que en la subárea nororiental este valor fue de 307.48 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En contraste, la subárea central registró el nivel más bajo de conductividad, con un promedio de 262.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos datos evidenciaron que la distribución de los iones disueltos no fue homogénea en la laguna y que ciertas áreas, especialmente las más periféricas, presentaron una mayor acumulación de sales y minerales.

Prueba de Tukey

El análisis estadístico mediante la prueba de Tukey (Alfa=0.05, DMS=46.73927) indicó que las diferencias entre los promedios debían superar el umbral de 46.73927 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para ser consideradas estadísticamente significativas. En este caso, las diferencias entre la

temporada de avenida y la temporada de estío superaron este valor, especialmente en la orilla, lo que confirmó la significancia estadística de esta variación.

Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos reflejaron que la conductividad eléctrica en la Laguna de Pacucha presentó variaciones significativas entre temporadas, siendo mayor en la temporada de estío. Este incremento en la conductividad eléctrica en estío podría atribuirse a la mayor concentración de sales y minerales disueltos debido a la evaporación del agua, mientras que, en la temporada de avenida, la conductividad disminuyó por efecto de la dilución causada por la mayor entrada de agua de lluvia.

Desde un punto de vista espacial, la mayor conductividad eléctrica en la orilla en comparación con el interior de la laguna sugiere que las zonas periféricas pueden estar más expuestas a fuentes externas de minerales y contaminantes, posiblemente debido a la escorrentía superficial y el ingreso de aguas con una mayor carga iónica. Además, la subárea central presentó los valores más bajos de conductividad, lo que podría indicar una menor acumulación de minerales en esta zona y una mayor renovación del agua.

La prueba de Tukey confirmó que las diferencias en la conductividad eléctrica entre las temporadas de avenida y estío fueron estadísticamente significativas, especialmente en la orilla. Esto resalta la importancia de continuar con el monitoreo de la conductividad eléctrica para evaluar la evolución de la calidad del agua y detectar posibles cambios en la composición química de la laguna.

Tabla 23

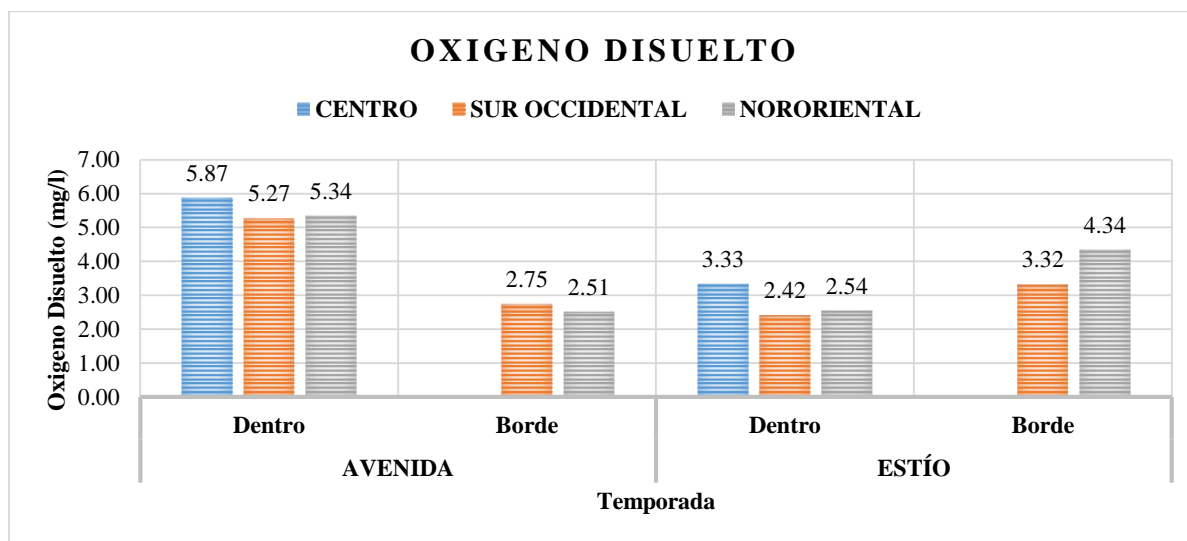
Promedios de Oxígeno Disuelto (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.

Subárea	Avenida		Estío		Medias
	Dentro	Orilla	Dentro	Orilla	
Sur occidental	5.27	2.75	2.42	3.32	3.44
Nororiental	5.34	2.51	2.54	4.34	3.68
Centro	5.87		3.33		4.60
Medias	5.49	2.63	2.76	3.83	3.91
Media Temporada	4.35		3.19		
Media Localización	4.13	3.23			
ECA= ≥ 5					
Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.42551					

Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas, Año 2023

Figura 17

Promedios de Oxígeno Disuelto (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.



Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas, Año 2023

Interpretación:

La tabla 23 y la figura 17 presentaron los promedios de Oxígeno Disuelto (mg/l), considerando la interacción triple entre la temporada (avenida y estío), la localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.

Variación por temporada

Durante la temporada de avenida, el nivel de oxígeno disuelto presentó un promedio general de 4.35 mg/l. En contraste, en la temporada de estío, este valor disminuyó a un promedio general de 3.19 mg/l. Estos resultados indicaron que la mayor disponibilidad de oxígeno en la temporada de avenida podría estar relacionada con una mayor renovación del agua y una mayor capacidad de disolución del oxígeno atmosférico debido a la turbulencia generada por el aumento del caudal. En cambio, en la temporada de estío, la menor cantidad de oxígeno disuelto podría deberse a una reducción en la dinámica de circulación del agua y a un incremento en la temperatura, lo que disminuyó la solubilidad del oxígeno.

Variación por localización

En términos generales, dentro de la laguna se registró un promedio general de oxígeno disuelto de 4.13 mg/l, mientras que en la orilla este valor fue menor, con un promedio general de 3.23 mg/l. Durante la temporada de estío, dentro de la laguna el oxígeno disuelto presentó un valor promedio de 2.76 mg/l, en comparación con la orilla, donde alcanzó un promedio de 3.83 mg/l. En la temporada de avenida, el oxígeno disuelto en la dentro fue de 5.49 mg/l, mientras que orilla de la laguna se registró un valor de 2.63 mg/l. Estos resultados sugirieron que, durante la avenida, la orilla experimentó una mayor oxigenación, posiblemente debido a la mayor interacción del agua con la atmósfera y la turbulencia generada por la afluencia de agua de lluvia, mientras que dentro de la laguna los valores fueron menores, probablemente por la mayor profundidad y menor contacto con la superficie.

Variación por subárea

El nivel de oxígeno disuelto varió según la ubicación dentro de la laguna. La subárea sur occidental presentó un promedio general de 3.44 mg/l, mientras que en la subárea nororiental este valor fue de 3.68 mg/l. En contraste, el área central registró el nivel más alto

de oxígeno disuelto, con un promedio de 4.60 mg/l. Estos datos evidenciaron que la distribución del oxígeno no fue homogénea en la laguna y que la zona central presentó condiciones más favorables para la oxigenación, posiblemente debido a una mejor circulación del agua y menor acumulación de materia orgánica en descomposición.

Prueba de Tukey

El análisis estadístico mediante la prueba de Tukey (Alfa=0.05, DMS=1.42551) indicó que las diferencias entre los promedios debían superar el umbral de 1.42551 mg/l para ser consideradas estadísticamente significativas. En este caso, las diferencias observadas entre el interior y la orilla de la laguna, así como entre las temporadas de avenida y estío, superaron este valor en varios casos, lo que confirmó la significancia estadística de estas variaciones.

Análisis de los resultados

Los resultados reflejaron que el oxígeno disuelto en la Laguna de Pacucha presentó variaciones significativas en función de la temporada y la ubicación dentro del cuerpo de agua. La mayor concentración de oxígeno en la temporada de avenida podría explicarse por una mayor renovación del agua y una mayor capacidad de disolución de oxígeno debido a la turbulencia y al flujo de agua de lluvia. En contraste, la reducción del oxígeno disuelto en la temporada de estío podría estar relacionada con una menor circulación del agua, una mayor temperatura y un incremento en la actividad biológica, lo que resultó en un mayor consumo de oxígeno.

Desde un punto de vista espacial, la mayor concentración de oxígeno disuelto en la orilla en comparación con el interior de la laguna durante la temporada de avenida sugiere que la interacción del agua con la atmósfera y la mayor actividad de las plantas acuáticas podrían haber favorecido la oxigenación. Sin embargo, en la temporada de estío, el interior

de la laguna presentó valores más bajos, lo que podría estar asociado a una menor renovación del agua y una mayor actividad de descomposición de la materia orgánica.

La prueba de Tukey confirmó que las diferencias en los valores de oxígeno disuelto entre las temporadas de avenida y estío, así como entre la orilla y el interior de la laguna, fueron estadísticamente significativas. Esto resalta la importancia de continuar con el monitoreo del oxígeno disuelto para evaluar los impactos ambientales y proponer estrategias de gestión para mejorar la calidad del agua en la Laguna de Pacucha.

Tabla 24

Promedios de Temperatura (°C) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subarea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.

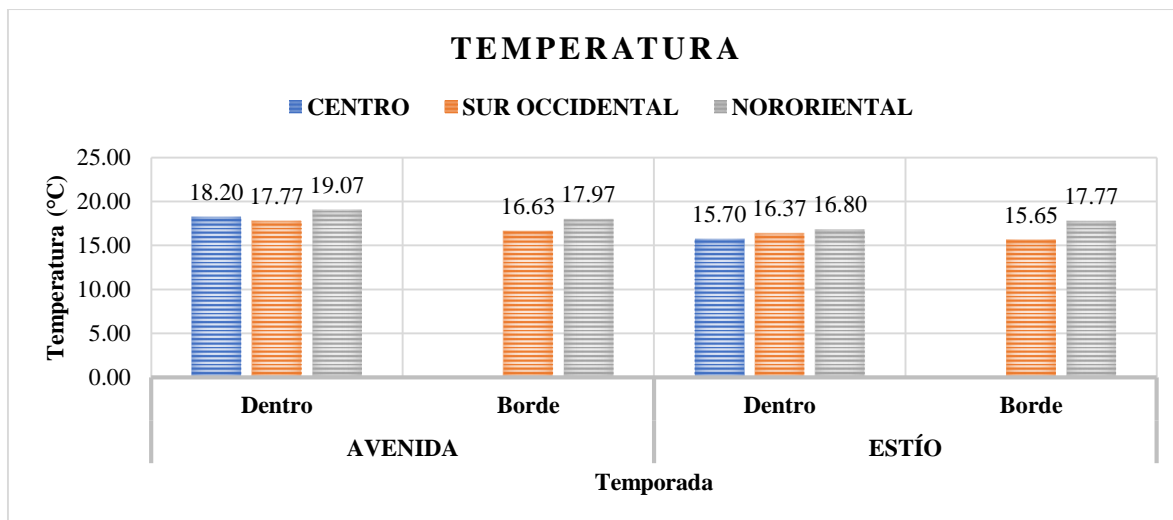
Subárea	Avenida		Estío		Medias
	Dentro	Orilla	Dentro	Orilla	
Sur occidental	17.77	16.63	16.37	15.65	16.60
Nororiental	19.07	17.97	16.80	17.77	17.90
Centro	18.20		15.70		16.95
Medias	18.34	17.30	16.29	16.71	17.15
Media Temperatura	17.93		16.46		
Media Localización	17.32	17.00			
ECA= $\Delta 3$					

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=4.23982

Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas, Año 2023

Figura 18

Promedios de Temperatura (°C) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.



Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas). Año 2023

Interpretación:

La tabla 24 y la figura 18 presentaron los promedios de Temperatura (°C), considerando la interacción triple entre la temporada (avenida y estío), la localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha. Además, se incluyeron los promedios generales, los valores del Estándar de Calidad Ambiental ($ECA \leq 3 \text{ } ^\circ\text{C}$ para variaciones térmicas) y el análisis estadístico basado en el Test de Tukey.

Variación por temporada

Durante la temporada de avenida, la temperatura del agua presentó un promedio general de $17.93 \text{ } ^\circ\text{C}$. En contraste, en la temporada de estío, este valor se redujo a un promedio general de $16.46 \text{ } ^\circ\text{C}$. Estos resultados indicaron que la temperatura del agua fue más elevada en la temporada de avenida, probablemente debido a una mayor exposición a la radiación solar y a la mezcla de aguas superficiales provocada por el aumento del caudal.

En la temporada de estío, la menor temperatura podría estar relacionada con la estabilidad térmica del agua y la menor renovación del caudal.

Variación por localización

En términos generales, dentro de la laguna se registró un promedio de temperatura de 17.32 °C, mientras que en la orilla este valor fue ligeramente menor, con un promedio de 17.00 °C. Durante la temporada de estío, la temperatura dentro de la laguna presentó un valor promedio de 16.29 °C, mientras que en la orilla alcanzó un promedio de 16.71 °C. En la temporada de avenida, la temperatura en la dentro fue de 18.34 °C, mientras que orilla de la laguna se registró un valor de 17.30 °C. Estos resultados sugirieron que la variación térmica fue mayor en la orilla, posiblemente debido a la menor profundidad y la mayor exposición a las fluctuaciones ambientales.

Variación por subárea

El nivel de temperatura presentó variaciones según la ubicación dentro de la laguna. La subárea sur occidental registró un promedio general de 16.60 °C, mientras que en la subárea nororiental este valor fue de 17.90 °C. En contraste, la subárea central presentó una temperatura intermedia con un promedio de 17.15 °C. Estos datos evidenciaron que la distribución de la temperatura no fue homogénea en la laguna y que ciertas áreas, especialmente la nororiental, experimentaron temperaturas más elevadas, posiblemente debido a una mayor incidencia solar o a diferencias en la circulación del agua.

Prueba de Tukey

El análisis estadístico mediante la prueba de Tukey (Alfa=0.05, DMS=4.23982) indicó que las diferencias entre los promedios debían superar el umbral de 4.23982 °C para ser consideradas estadísticamente significativas. En este caso, las diferencias observadas entre la temporada de avenida y la temporada de estío no alcanzaron este valor, lo que sugiere que las variaciones en la temperatura del agua no fueron estadísticamente significativas.

Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos indicaron que la temperatura del agua en la Laguna de Pacucha presentó fluctuaciones entre temporadas y entre ubicaciones dentro del cuerpo de agua. La mayor temperatura en la temporada de avenida podría estar relacionada con la mayor exposición solar y la mezcla de aguas debido al incremento del caudal. En la temporada de estío, la menor temperatura reflejó una estabilidad térmica con menor renovación de agua.

Desde un punto de vista espacial, la mayor temperatura en la orilla en comparación con el interior de la laguna sugiere que estas zonas están más expuestas a las variaciones ambientales y la radiación solar, lo que genera fluctuaciones térmicas más marcadas. Además, la subárea nororiental presentó los valores más elevados, lo que podría deberse a una mayor exposición solar y una menor circulación del agua en comparación con otras áreas.

La prueba de Tukey confirmó que las diferencias en la temperatura del agua entre las temporadas de avenida y estío no fueron estadísticamente significativas. Esto sugiere que, a pesar de las variaciones observadas, los cambios térmicos en la laguna no representaron una alteración sustancial en la calidad del agua, manteniéndose dentro del umbral establecido por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA).

5.1.6. Parámetros químicos

Tabla 25

Promedios de Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.

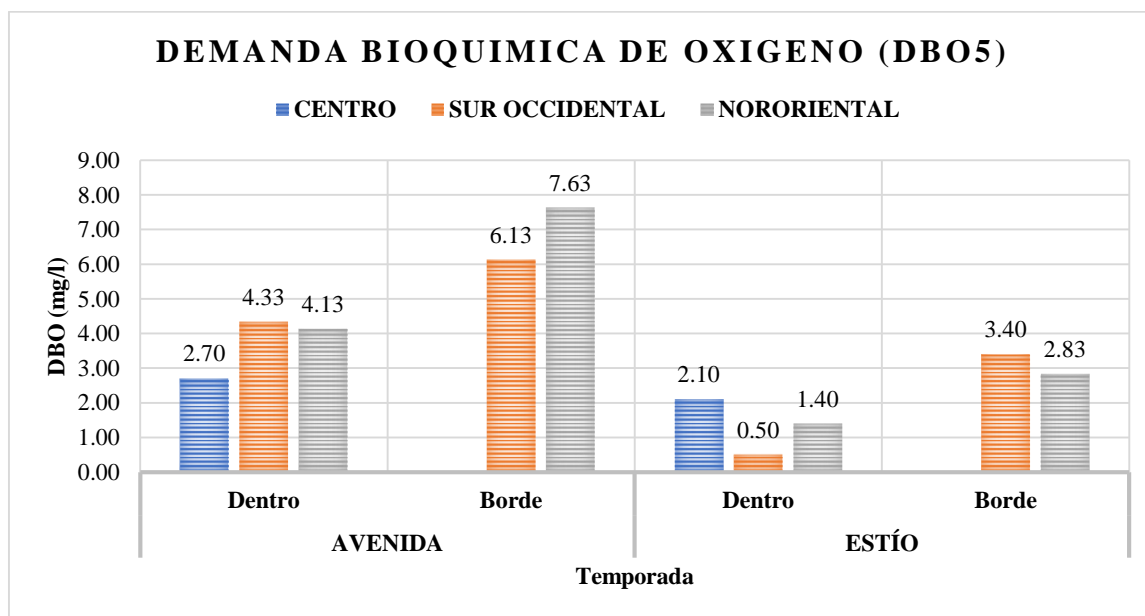
Subárea	Avenida		Estío		Medias
	Dentro	Orilla	Dentro	Orilla	
Sur occidental	4.33	6.13	0.50	3.40	3.59
Nororiental	4.13	7.63	1.40	2.83	4.00
Centro	2.70		2.10		2.40
Medias	3.72	6.88	1.33	3.12	3.33
Media Temporada	4.98		2.05		

Media Localización	2.53	5.00
ECA= 5 mg/L		
Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=6.98010		

Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas, Año 2023

Figura 19

Promedios de Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.



Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas, Año 2023

Interpretación:

La tabla 25 y la figura 19 presentaron los promedios de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) (mg/l), considerando la interacción triple entre la temporada (avenida y estío), la localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha. Además, se incluyeron los promedios generales, el estándar ambiental ($ECA \leq 5$ mg/L) y un análisis estadístico basado en el Test de Tukey.

Variación por temporada

Durante la temporada de avenida, la demanda bioquímica de oxígeno presentó un promedio general de 4.98 mg/l. En contraste, en la temporada de estío, este valor disminuyó a un promedio general de 2.05 mg/l. Estos resultados indicaron que la mayor demanda de

oxígeno en la temporada de avenida podría estar relacionada con el arrastre de materia orgánica y la mayor actividad biológica promovida por el incremento en la disponibilidad de nutrientes. En cambio, en la temporada de estío, la menor demanda bioquímica de oxígeno podría deberse a una menor carga de materia orgánica y una reducción en la actividad de descomposición bacteriana.

Variación por localización

En términos generales, dentro de la laguna se registró un promedio de DBO5 de 2.53 mg/l, mientras que en la orilla este valor fue superior, con un promedio general de 5.00 mg/l. Durante la temporada de estío, dentro de la laguna el DBO5 presentó un valor promedio de 1.33 mg/l, en comparación con la orilla, donde alcanzó un promedio de 3.12 mg/l. En la temporada de avenida, el DBO5 en la orilla fue de 6.88 mg/l, mientras que dentro de la laguna se registró un valor de 3.72 mg/l. Estos resultados sugirieron que la mayor acumulación de materia orgánica y residuos en la orilla podría haber aumentado la demanda de oxígeno en esta zona, mientras que, dentro de la laguna, debido a una mayor circulación del agua, los valores fueron más bajos.

Variación por subárea

El nivel de DBO5 varió según la ubicación dentro de la laguna. La subárea sur occidental presentó un promedio general de 3.59 mg/l, mientras que en la subárea nororiental este valor fue de 4.00 mg/l. En contraste, la subárea central registró el nivel más bajo de DBO5, con un promedio de 2.40 mg/l. Estos datos evidenciaron que las zonas periféricas presentaron una mayor acumulación de materia orgánica en comparación con el área central, lo que podría estar asociado a diferencias en la circulación del agua y la deposición de residuos.

Prueba de Tukey

El análisis estadístico mediante la prueba de Tukey ($\text{Alfa}=0.05$, $\text{DMS}=6.98010$) indicó que las diferencias entre los promedios debían superar el umbral de 6.98010 mg/l para ser consideradas estadísticamente significativas. En este caso, las diferencias observadas entre la temporada de avenida y la temporada de estío no superaron este umbral, lo que sugiere que las variaciones en la demanda bioquímica de oxígeno entre temporadas no fueron estadísticamente significativas.

Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos indicaron que la demanda bioquímica de oxígeno en la Laguna de Pacucha presentó variaciones entre temporadas y entre ubicaciones dentro del cuerpo de agua. La mayor DBO5 en la temporada de avenida podría estar relacionada con un incremento en la materia orgánica transportada por las lluvias, favoreciendo el crecimiento microbiano y el consumo de oxígeno. En contraste, la menor DBO5 en la temporada de estío reflejó una menor carga contaminante, probablemente debido a la ausencia de arrastre de residuos y una menor actividad microbiana.

Desde un punto de vista espacial, los valores más altos en la orilla en comparación con el interior de la laguna sugieren que las zonas periféricas son más propensas a la acumulación de materia orgánica y actividad bacteriana, lo que incrementa la demanda de oxígeno en estas áreas. Asimismo, la subárea nororiental presentó los valores más elevados de DBO5, lo que sugiere que esta zona recibió una mayor carga de materia orgánica en comparación con las otras áreas de la laguna.

La prueba de Tukey confirmó que las diferencias observadas entre los promedios de DBO5 en las temporadas de avenida y estío no fueron estadísticamente significativas. Esto sugiere que, aunque hubo fluctuaciones en los valores de DBO5, estas no representaron una variación sustancial en la calidad del agua.

Tabla 26

Promedios de Amoniaco total (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.

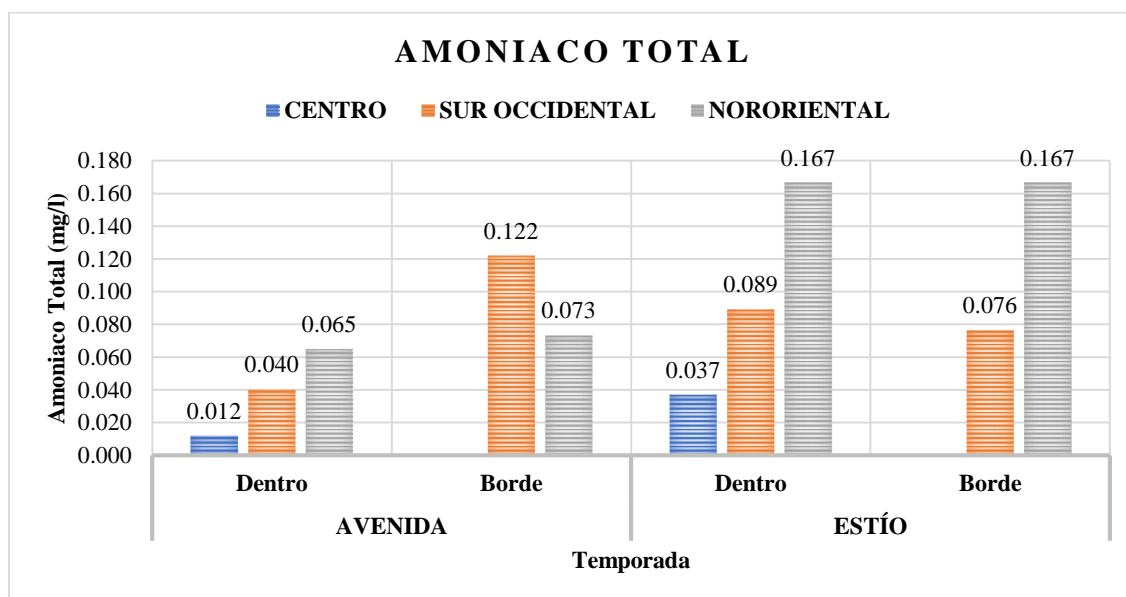
Subárea	Avenida		Estío		Medias
	Dentro	Orilla	Dentro	Orilla	
Sur occidental	0.040	0.122	0.089	0.076	0.082
Nororiental	0.065	0.073	0.167	0.167	0.118
Centro	0.012		0.037		0.025
Medias	0.039	0.098	0.098	0.122	0.075
Media Temporada	0.063		0.107		
Media Localización	0.068	0.110			

ECA= 1 mg/L
Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.28511

Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas, Año 2023

Figura 20

Promedios de Amoniaco total (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.



Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas, Año 2023

Interpretación:

La tabla 26 y la figura 20 presentaron los promedios de Amoniaco Total (mg/l), considerando la interacción triple entre la temporada (avenida y estío), la localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.

Además, se incluyeron los valores promedios generales, el estándar ambiental ($ECA \leq 1$ mg/l) y un análisis estadístico basado en el Test de Tukey.

Variación por temporada

Durante la temporada de avenida, el nivel de amoníaco total presentó un promedio general de 0.063 mg/l. En contraste, en la temporada de estío, este valor aumentó a un promedio general de 0.107 mg/l. Estos resultados indicaron que la concentración de amoníaco total fue mayor en la temporada de estío, lo que podría estar relacionado con la reducción del caudal de agua y la consecuente menor dilución de los compuestos nitrogenados. En la temporada de avenida, la mayor renovación del agua favoreció la disminución de la concentración de amoníaco total, posiblemente debido a la mayor dilución y dispersión de estos compuestos.

Variación por localización

En términos generales, dentro de la laguna se registró un promedio de amoníaco total de 0.068 mg/l, mientras que en la orilla este valor fue superior, con un promedio general de 0.110 mg/l. Durante la temporada de estío, dentro de la laguna el amoníaco total presentó un valor promedio de 0.098 mg/l, en comparación con la orilla, donde alcanzó un promedio de 0.122 mg/l. En la temporada de avenida, el amoníaco total en la orilla fue de 0.098 mg/l, mientras que dentro de la laguna se registró un valor de 0.039 mg/l. Estos resultados sugirieron que la acumulación de amoníaco fue mayor en la orilla, posiblemente debido a la menor circulación del agua y la acumulación de materia orgánica en descomposición.

Variación por subárea

El nivel de amoníaco total varió según la ubicación dentro de la laguna. La subárea sur occidental presentó un promedio general de 0.082 mg/l, mientras que en la subárea nororiental este valor fue de 0.118 mg/l. En contraste, la subárea central registró el nivel más bajo de amoníaco total, con un promedio de 0.025 mg/l. Estos datos evidenciaron que las

zonas periféricas presentaron una mayor acumulación de compuestos nitrogenados en comparación con el área central, lo que podría estar asociado a diferencias en la circulación del agua y la deposición de residuos orgánicos.

Prueba de Tukey

El análisis estadístico mediante la prueba de Tukey ($\text{Alfa}=0.05$, $\text{DMS}=0.28511$) indicó que las diferencias entre los promedios debían superar el umbral de 0.28511 mg/l para ser consideradas estadísticamente significativas. En este caso, las diferencias observadas entre la temporada de avenida y la temporada de estío no alcanzaron este valor, lo que sugiere que las variaciones en la concentración de amoníaco total entre temporadas no fueron estadísticamente significativas.

Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos indicaron que la concentración de amoníaco total en la Laguna de Pacucha presentó variaciones entre temporadas y entre ubicaciones dentro del cuerpo de agua. La mayor concentración de amoníaco total en la temporada de estío podría estar relacionada con una menor tasa de renovación del agua y una mayor acumulación de compuestos nitrogenados debido a la actividad biológica y la descomposición de materia orgánica. En contraste, la menor concentración en la temporada de avenida podría explicarse por la mayor dilución generada por el incremento del caudal de agua.

Desde un punto de vista espacial, los valores más altos en la orilla en comparación con el interior de la laguna sugieren que estas zonas son más propensas a la acumulación de amoníaco total, probablemente debido a la menor dispersión de los compuestos y la influencia de fuentes externas de contaminación. Asimismo, la subárea nororiental presentó los valores más elevados de amoníaco total, lo que sugiere que esta zona recibió una mayor carga de compuestos nitrogenados en comparación con las otras áreas de la laguna.

La prueba de Tukey confirmó que las diferencias observadas entre los promedios de amoníaco total en las temporadas de avenida y estío no fueron estadísticamente significativas. Esto sugiere que, aunque hubo fluctuaciones en los valores de amoníaco total, estas no representaron una variación sustancial en la calidad del agua.

Tabla 27

Promedios de Nitratos (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.

Subárea	Avenida		Estío		Medias
	Dentro	Orilla	Dentro	Orilla	
Sur occidental	0	0.125	0.223	0	0.087
Nororiental	0	0.300	0.257	0	0.139
Centro	0		0.420		0.210
Medias	0.000	0.213	0.300	0.000	0.145
Media Temporada	0.085		0.180		
Media Localización	0.150	0.106			

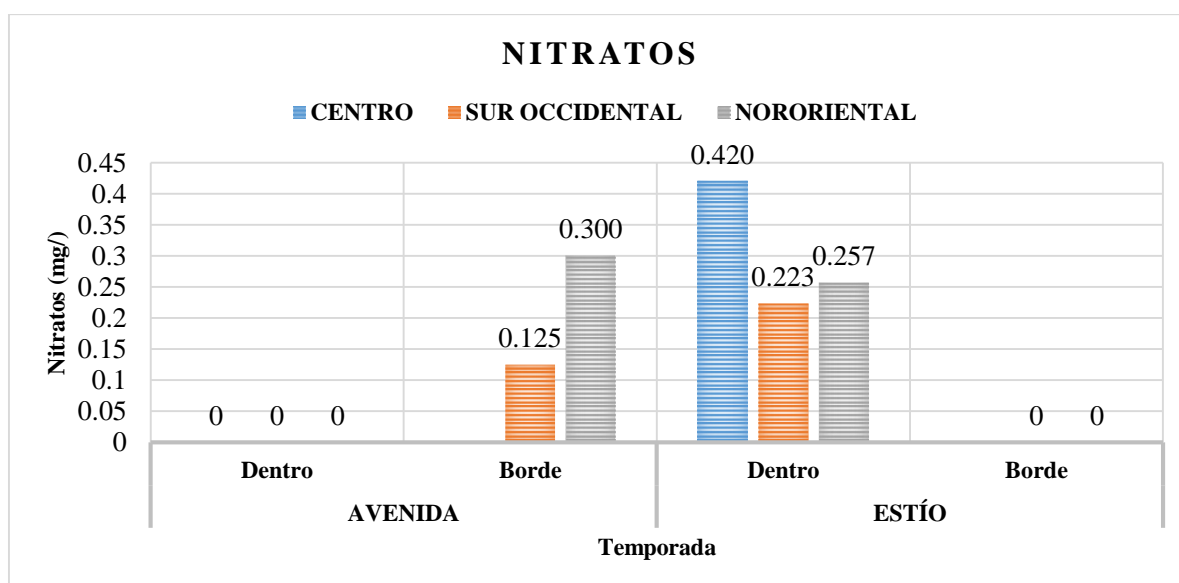
ECA= 13 mg/L

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.37241

Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas, Año 2023

Figura 21

Promedios de Nitratos (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.



Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas, Año 2023

Interpretación:

La tabla 27 y la figura 21 presentaron los promedios de Nitratos (mg/l), considerando la interacción triple entre la temporada (avenida y estío), la localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha. Además, se incluyeron los valores promedios generales, el estándar ambiental ($ECA \leq 13 \text{ mg/L}$) y un análisis estadístico basado en el Test de Tukey.

Variación por temporada

Durante la temporada de avenida, el nivel de nitratos presentó un promedio general de 0.085 mg/l. En contraste, en la temporada de estío, este valor aumentó a un promedio general de 0.180 mg/l. Estos resultados indicaron que la concentración de nitratos fue mayor en la temporada de estío, lo que podría estar relacionado con la reducción del caudal de agua y la consecuente menor dilución de los compuestos nitrogenados. En la temporada de avenida, la mayor renovación del agua favoreció la disminución de la concentración de nitratos, posiblemente debido a la mayor dilución y dispersión de estos compuestos.

Variación por localización

En términos generales, dentro de la laguna se registró un promedio de nitratos de 0.150 mg/l, mientras que en la orilla este valor fue superior, con un promedio general de 0.106 mg/l. Durante la temporada de estío, dentro de la laguna el nitrato presentó un valor promedio de 0.300 mg/l, en comparación con la orilla, donde alcanzó un promedio de 0.000 mg/l. En la temporada de avenida, el nivel de nitratos en la orilla fue de 0.213 mg/l, mientras que dentro de la laguna se registró un valor de 0.000 mg/l. Estos resultados sugirieron que la acumulación de nitratos fue mayor en la orilla durante la temporada de avenida, mientras que, dentro de la laguna, estos compuestos pudieron haberse diluido o asimilado por la biota acuática.

Variación por subárea

El nivel de nitratos varió según la ubicación dentro de la laguna. La subárea sur occidental presentó un promedio general de 0.087 mg/l, mientras que en la subárea nororiental este valor fue de 0.139 mg/l. En contraste, la subárea central registró el nivel más bajo de nitratos, con un promedio de 0.210 mg/l. Estos datos evidenciaron que las zonas periféricas presentaron una mayor acumulación de compuestos nitrogenados en comparación con el área central, lo que podría estar asociado a diferencias en la circulación del agua y la deposición de residuos orgánicos.

Prueba de Tukey

El análisis estadístico mediante la prueba de Tukey ($\text{Alfa}=0.05$, $\text{DMS}=0.37241$) indicó que las diferencias entre los promedios debían superar el umbral de 0.37241 mg/l para ser consideradas estadísticamente significativas. En este caso, las diferencias observadas entre la temporada de avenida y la temporada de estío no alcanzaron este valor, lo que sugiere que las variaciones en la concentración de nitratos entre temporadas no fueron estadísticamente significativas.

Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos indicaron que la concentración de nitratos en la Laguna de Pacucha presentó variaciones entre temporadas y entre ubicaciones dentro del cuerpo de agua. La mayor concentración de nitratos en la temporada de estío podría estar relacionada con una menor tasa de renovación del agua y una mayor acumulación de compuestos nitrogenados debido a la actividad biológica y la descomposición de materia orgánica. En contraste, la menor concentración en la temporada de avenida podría explicarse por la mayor dilución generada por el incremento del caudal de agua.

Desde un punto de vista espacial, los valores más altos en la orilla en comparación con el interior de la laguna sugieren que estas zonas son más propensas a la acumulación de nitratos, probablemente debido a la menor dispersión de los compuestos y la influencia de

fuentes externas de contaminación. Asimismo, la subárea nororiental presentó los valores más elevados de nitratos, lo que sugiere que esta zona recibió una mayor carga de compuestos nitrogenados en comparación con las otras áreas de la laguna.

La prueba de Tukey confirmó que las diferencias observadas entre los promedios de nitratos en las temporadas de avenida y estío no fueron estadísticamente significativas. Esto sugiere que, aunque hubo fluctuaciones en los valores de nitratos, estas no representaron una variación sustancial en la calidad del agua.

Tabla 28

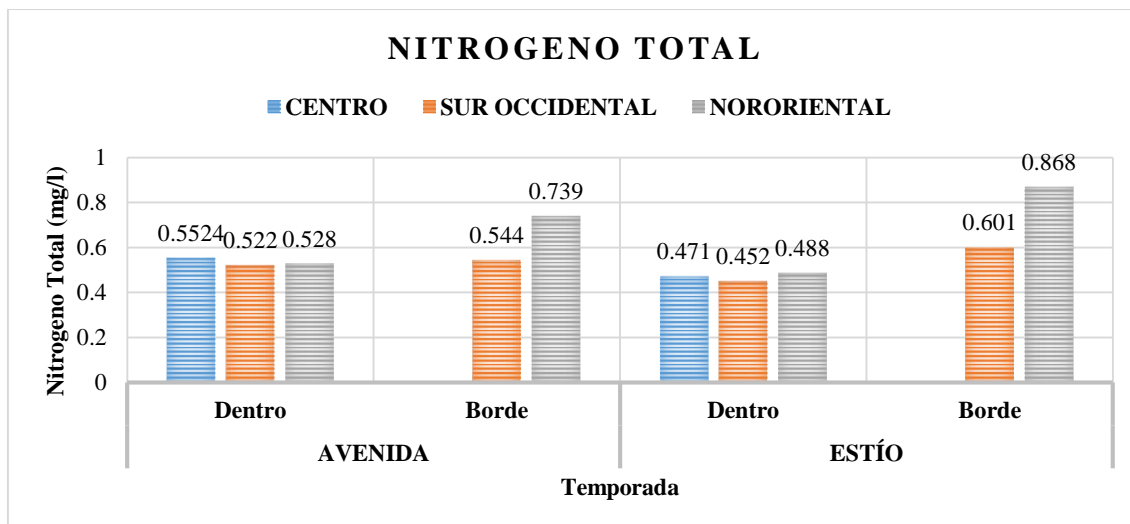
Promedios de Nitrógeno total (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.

Subárea	Avenida		Estío		Medias
	Dentro	Orilla	Dentro	Orilla	
Sur occidental	0.522	0.544	0.452	0.601	0.530
Nororiental	0.528	0.739	0.488	0.868	0.656
Centro	0.552		0.471		0.512
Medias	0.534	0.642	0.470	0.734	0.566
Media Temporada	0.577		0.576		
Media Localización	0.502	0.688			
ECA= 0.315 mg/L					
Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.58024					

Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas, Año 2023

Figura 22

Promedios de Nitrógeno total (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.



Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas). Año 2023

Interpretación:

La tabla 28 y la figura 22 presentaron los promedios de Nitrógeno Total (mg/l), considerando la interacción triple entre la temporada (avenida y estío), la localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha. Además, se incluyeron los promedios generales, el estándar ambiental ($ECA \leq 0.315$ mg/L) y un análisis estadístico basado en el Test de Tukey.

Variación por temporada

Durante la temporada de avenida, el nivel de nitrógeno total presentó un promedio general de 0.577 mg/l. En contraste, en la temporada de estío, este valor fue ligeramente menor, con un promedio general de 0.576 mg/l. Estos resultados indicaron que la concentración de nitrógeno total no mostró una variación significativa entre temporadas, lo que sugiere que las fuentes de aporte de nitrógeno se mantuvieron constantes a lo largo del año, posiblemente debido a la actividad biológica y a los aportes externos de nutrientes.

Variación por localización

En términos generales, dentro de la laguna se registró un promedio de nitrógeno total de 0.502 mg/l, mientras que en la orilla este valor fue superior, con un promedio general de 0.688 mg/l. Durante la temporada de estío, dentro de la laguna el nitrógeno total presentó un valor promedio de 0.470 mg/l, en comparación con la orilla, donde alcanzó un promedio de 0.734 mg/l. En la temporada de avenida, el nivel de nitrógeno total en la orilla fue de 0.642 mg/l, mientras que dentro de la laguna se registró un valor de 0.534 mg/l. Estos resultados sugirieron que la acumulación de nitrógeno total fue mayor en la orilla, posiblemente debido a la menor circulación del agua y a la acumulación de materia orgánica en descomposición.

Variación por subárea

El nivel de nitrógeno total varió según la ubicación dentro de la laguna. La subárea sur occidental presentó un promedio general de 0.530 mg/l, mientras que en la subárea nororiental este valor fue de 0.656 mg/l. En contraste, la subárea central registró un valor intermedio de 0.566 mg/l. Estos datos evidenciaron que la subárea nororiental presentó la mayor concentración de nitrógeno total, lo que sugiere que esta zona podría estar recibiendo una mayor carga de nutrientes, posiblemente debido a fuentes externas de contaminación o a una menor capacidad de dispersión.

Prueba de Tukey

El análisis estadístico mediante la prueba de Tukey ($\text{Alfa}=0.05$, $\text{DMS}=0.37241$) indicó que las diferencias entre los promedios debían superar el umbral de 0.37241 mg/l para ser consideradas estadísticamente significativas. En este caso, los datos mostraron que el mayor promedio de nitrógeno total en la Laguna de Pacucha se registró en la temporada de estío, en la orilla de la laguna, específicamente en la subárea nororiental, con un valor de 0.868 mg/l. En contraste, el nivel más bajo de nitrógeno total se observó en el centro de la laguna, lo que sugiere que la circulación del agua en esta zona podría estar favoreciendo la dispersión y reducción de la concentración de este nutriente.

Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos indicaron que la concentración de nitrógeno total en la Laguna de Pacucha presentó diferencias entre localizaciones y subáreas, aunque no se observaron variaciones significativas entre temporadas. La mayor concentración en la orilla sugiere que esta zona podría estar recibiendo mayores aportes de nitrógeno provenientes de fuentes externas, como escorrentías agrícolas o aguas residuales. Además, la mayor concentración en la subárea nororiental indica que esta zona podría estar experimentando un menor grado de dispersión de los nutrientes, lo que podría favorecer procesos de eutrofización.

Desde un punto de vista ambiental, los valores de nitrógeno total registrados en la laguna superan el estándar ambiental ($ECA \leq 0.315$ mg/L), lo que podría indicar un riesgo potencial de contaminación y un impacto en la calidad del agua. La acumulación de nitrógeno en la orilla y en la subárea nororiental podría favorecer el crecimiento excesivo de algas y otros organismos acuáticos, lo que podría afectar el equilibrio ecológico del ecosistema.

Tabla 29

Promedios de Fosforo (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.

Subárea	Avenida		Estío		Medias
	Dentro	Orilla	Dentro	Orilla	
Sur occidental	0.018	0.089	0.037	0.028	0.043
Nororiental	0.018	0.120	0.017	0.087	0.060
Centro	0.010		0.020		0.015
Medias	0.016	0.105	0.024	0.057	0.039
Media Temporada	0.051		0.038		
Media Localización	0.020	0.081			

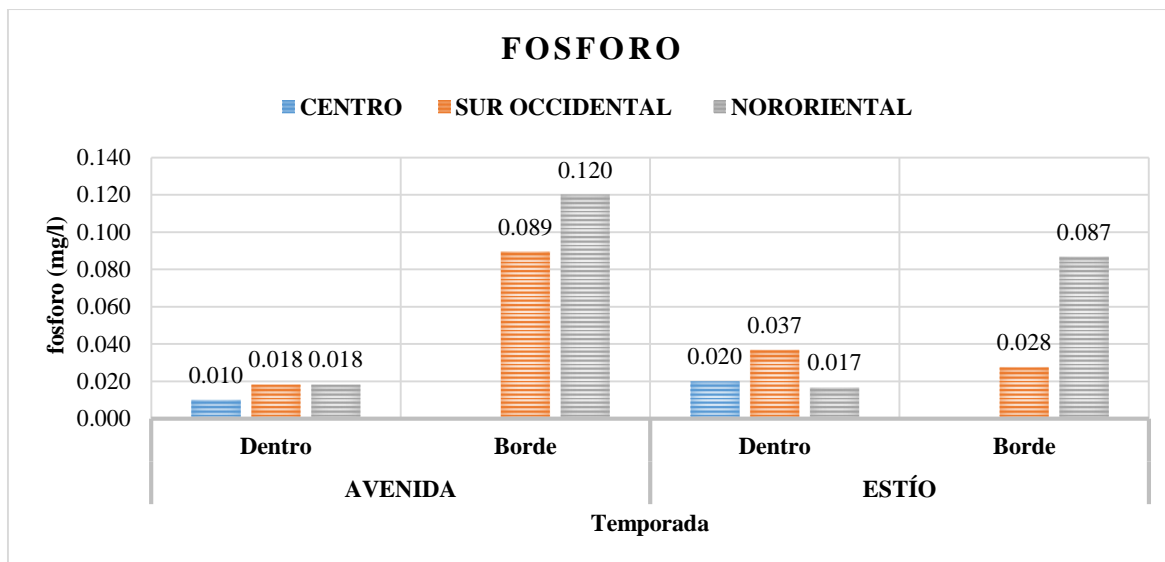
ECA= 0.035 mg/L

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.15989

Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas). Año 2023

Figura 23

Promedios de Fosforo (mg/l) de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.



Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas, Año 2023.

Interpretación:

La Tabla 29 y la Figura 23 presentaron los promedios del Nivel de Fósforo (mg/l), considerando la interacción triple entre la temporada (avenida y estío), la localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha. Además, se incluyeron los promedios generales, el estándar ambiental ($ECA \leq 0.035$ mg/L) y un análisis estadístico basado en el Test de Tukey.

Variación por temporada

Durante la temporada de avenida, el nivel de fósforo presentó un promedio general de 0.051 mg/l. En contraste, en la temporada de estío, este valor disminuyó a un promedio general de 0.038 mg/l, lo que indicó una menor concentración de fósforo en esta temporada. Estos resultados sugirieron que el incremento del fósforo durante la avenida podría estar relacionado con el arrastre de material orgánico y sedimentos ricos en fósforo provenientes

de la cuenca, mientras que, en la temporada de estío, la menor afluencia de agua podría haber favorecido la sedimentación y la reducción de su concentración en la columna de agua.

Variación por localización

En términos generales, dentro de la laguna se registró un valor promedio de fósforo de 0.020 mg/l, mientras que en la orilla este valor fue superior, con un promedio general de 0.081 mg/l. Durante la temporada de avenida, el nivel de fósforo en la orilla fue de 0.016 mg/l, mientras que dentro de la laguna se incrementó a 0.105 mg/l. En la temporada de estío, el fósforo dentro de la laguna presentó un valor de 0.024 mg/l, en comparación con la orilla, donde se registró un valor de 0.057 mg/l. Estos resultados indicaron que la mayor concentración de fósforo en la orilla podría estar asociada a la acumulación de materia orgánica y la menor circulación del agua, lo que favoreció su acumulación en zonas poco profundas.

Variación por subárea

El nivel de fósforo varió según la ubicación dentro de la laguna. La subárea sur occidental presentó un promedio general de 0.043 mg/l, mientras que en la subárea nororiental este valor fue de 0.060 mg/l. En contraste, la subárea central registró el nivel más bajo de fósforo, con un promedio de 0.015 mg/l. Estos datos evidenciaron que la distribución del fósforo no fue homogénea en la laguna y que ciertas áreas, especialmente la subárea nororiental, experimentaron concentraciones más elevadas, posiblemente debido a una mayor influencia de fuentes externas de nutrientes.

Prueba de Tukey

El análisis estadístico mediante la prueba de Tukey ($\text{Alfa}=0.05$, $\text{DMS}=0.15989$) indicó que las diferencias entre los promedios debían superar el umbral de 0.15989 mg/l para ser consideradas estadísticamente significativas. En este caso, ninguna de las diferencias

observadas superó dicho umbral, lo que sugiere que las variaciones en la concentración de fósforo entre temporadas no fueron estadísticamente significativas.

Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos indicaron que la concentración de fósforo en la Laguna de Pacucha presentó fluctuaciones entre temporadas y entre ubicaciones dentro del cuerpo de agua. La mayor concentración en la temporada de avenida podría explicarse por la movilización de material orgánico y sedimentos durante el incremento del caudal. En la temporada de estío, la disminución en la concentración de fósforo reflejó una menor entrada de nutrientes al sistema, lo que favoreció la estabilización de sus niveles en la columna de agua.

Desde un punto de vista espacial, la mayor concentración de fósforo en la orilla en comparación con el interior de la laguna sugiere que estas zonas son más vulnerables a la acumulación de nutrientes, posiblemente debido a la menor capacidad de dispersión del agua y la mayor influencia de fuentes externas de contaminación. Asimismo, la subárea nororiental presentó los valores más elevados de fósforo, lo que sugiere que esta zona recibió una mayor carga de nutrientes en comparación con otras áreas de la laguna.

La prueba de Tukey confirmó que las diferencias observadas en los niveles de fósforo entre temporadas no fueron estadísticamente significativas. Esto sugiere que, aunque hubo fluctuaciones en los valores de fósforo, estas no representaron una variación sustancial en la calidad del agua.

Tabla 30

Promedios de Sólidos suspendidos totales de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.

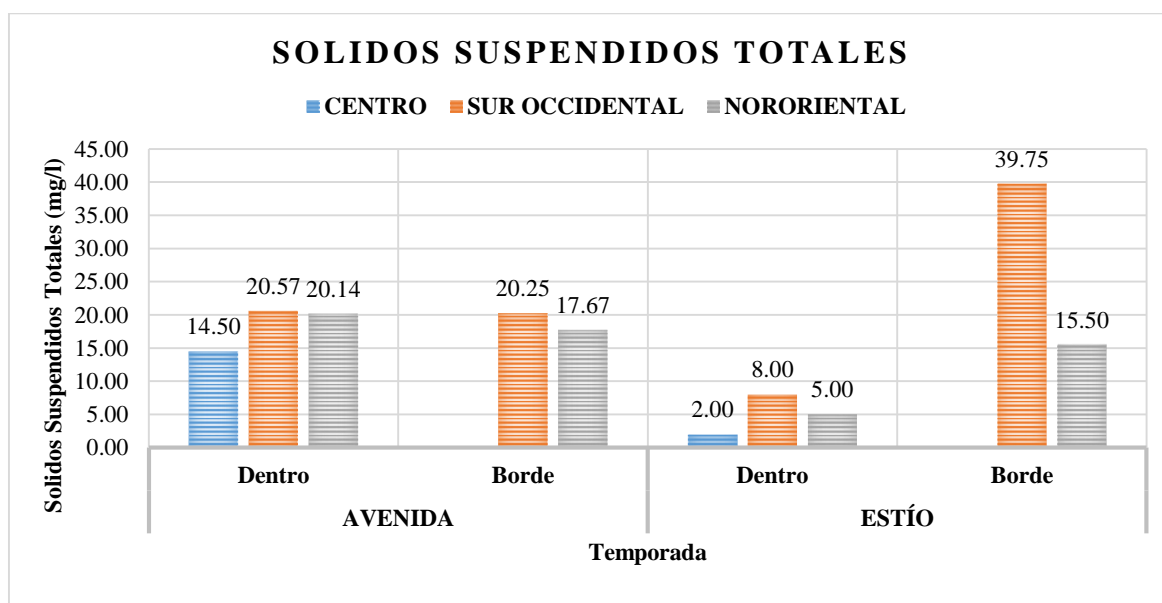
Subárea	Avenida		Estío		Medias
	Dentro	Orilla	Dentro	Orilla	
Sur occidental	20.57	20.25	8.00	39.75	22.14
Nororiental	20.14	17.67	5.00	15.50	14.58
Centro	14.50		2.00		8.25
Medias	18.40	18.96	5.00	27.63	14.99
Media Temporada	18.62		14.05		
Media Localización	11.70	23.29			
ECA= ≤ 25					

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=30.02029

Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas, Año 2023

Figura 24

Promedios de Sólidos suspendidos totales de la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.



Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas, Año 2023.

Interpretación:

La tabla 30 y la figura 24 presentaron los promedios de Sólidos Suspendidos Totales (mg/l), considerando la interacción triple entre la temporada (avenida y estío), la localización

(dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha. Además, se incluyeron los promedios generales, el estándar ambiental ($ECA \leq 25$ mg/L) y un análisis estadístico basado en el Test de Tukey.

Variación por temporada

Durante la temporada de avenida, el nivel de sólidos suspendidos totales presentó un promedio general de 18.62 mg/l. En contraste, en la temporada de estío, este valor disminuyó a un promedio general de 14.05 mg/l, lo que indicó una menor concentración de sólidos en suspensión en esta última temporada. Estos resultados sugirieron que el incremento de los sólidos suspendidos en la temporada de avenida podría estar relacionado con la mayor erosión del suelo y el arrastre de sedimentos por efecto de las precipitaciones, mientras que, en la temporada de estío, la menor afluencia de agua favoreció la decantación de partículas, reduciendo la concentración de sólidos suspendidos.

Variación por localización

En términos generales, dentro de la laguna se registró un valor promedio de sólidos suspendidos totales de 11.70 mg/l, mientras que en la orilla este valor fue superior, con un promedio general de 23.29 mg/l. Durante la temporada de estío, el nivel de sólidos suspendidos en la orilla alcanzó un valor de 27.63 mg/l, mientras que dentro de la laguna se redujo a 5.00 mg/l. En la temporada de avenida, el nivel de sólidos suspendidos dentro de la laguna fue de 18.40 mg/l, en comparación con la orilla, donde se registró un valor de 18.96 mg/l. Estos resultados indicaron que la mayor concentración de sólidos suspendidos en la orilla podría estar asociada a la acumulación de material sedimentario y a una menor capacidad de dispersión del agua en estas zonas.

Variación por subárea

El nivel de sólidos suspendidos totales presentó variaciones según la ubicación dentro de la laguna. La subárea sur occidental registró un promedio general de 22.14 mg/l,

mientras que en la subárea nororiental este valor fue de 14.58 mg/l. En contraste, la subárea central presentó el nivel más bajo de sólidos suspendidos, con un promedio de 8.25 mg/l. Estos datos evidenciaron que la distribución de los sólidos suspendidos no fue homogénea en la laguna, y que ciertas áreas, especialmente la subárea sur occidental, presentaron concentraciones más elevadas, posiblemente debido a una mayor influencia de fuentes de sedimentos externas o a diferencias en la dinámica del flujo del agua.

Prueba de Tukey

El análisis estadístico mediante la prueba de Tukey ($\text{Alfa}=0.05$, $\text{DMS}=30.02029$) indicó que las diferencias entre los promedios debían superar el umbral de 30.02029 mg/l para ser consideradas estadísticamente significativas. En este caso, las diferencias observadas no alcanzaron dicho umbral, lo que sugiere que las variaciones en la concentración de sólidos suspendidos entre temporadas y ubicaciones no fueron estadísticamente significativas.

Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos reflejaron que la concentración de sólidos suspendidos en la Laguna de Pacucha presentó fluctuaciones entre temporadas y entre ubicaciones dentro del cuerpo de agua. La mayor concentración en la temporada de avenida podría estar relacionada con la movilización de sedimentos y partículas en suspensión debido a la mayor dinámica hidrológica durante las precipitaciones. En la temporada de estío, la disminución en la concentración de sólidos suspendidos reflejó una menor entrada de partículas al sistema y una mayor sedimentación.

Desde un punto de vista espacial, la mayor concentración de sólidos suspendidos en la orilla en comparación con el interior de la laguna sugiere que estas zonas son más propensas a la acumulación de material particulado, posiblemente debido a la menor capacidad de dispersión del agua en áreas menos profundas. Asimismo, la subárea sur

occidental presentó los valores más elevados de sólidos suspendidos, lo que sugiere que esta zona recibió una mayor carga de sedimentos en comparación con las otras áreas de la laguna.

La prueba de Tukey confirmó que las diferencias observadas en los niveles de sólidos suspendidos entre temporadas y ubicaciones no fueron estadísticamente significativas. Esto sugiere que, aunque hubo fluctuaciones en los valores de sólidos suspendidos, estas no representaron una variación sustancial en la calidad del agua.

Tabla 31

Promedios de Clorofila A (mg/l) la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.

Subárea	Avenida		Estío		Medias
	Dentro	Orilla	Dentro	Orilla	
Sur occidental	0.006	0.010	0.006	0.010	0.008
Nororiental	0.006	0.012	0.006	0.011	0.009
Centro	0.009		0.009		0.009
Medias	0.007	0.011	0.007	0.011	0.009
Media Temporada	0.009		0.009		
Media Localización	0.007	0.011			

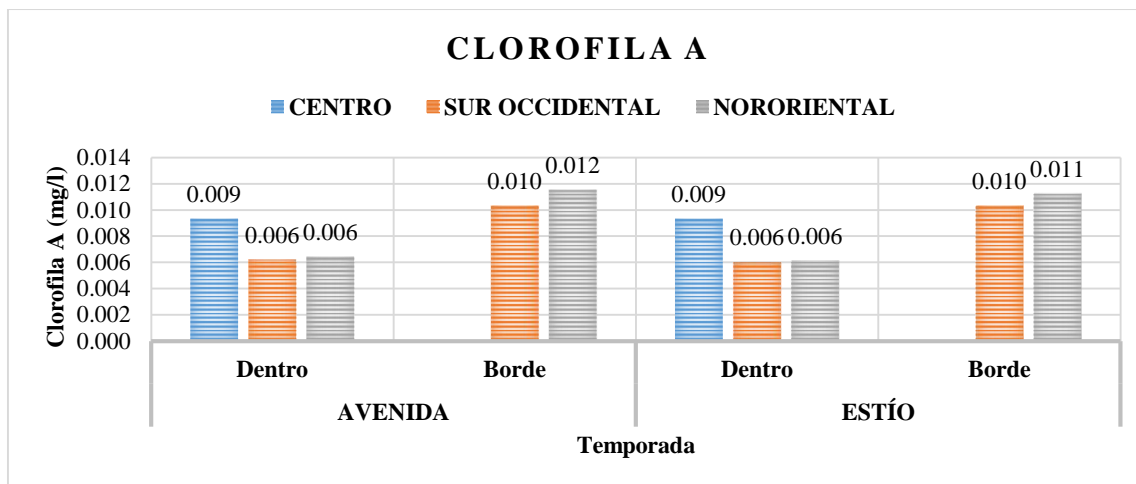
ECA= 0.008 mg/L

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.01195

Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas, Año 2023

Figura 25

Promedios de Clorofila A (mg/l) la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.



Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas, Año 2023

Interpretación:

La tabla 31 y la figura 25 presentaron los promedios de Clorofila A (mg/l), considerando la interacción triple entre la temporada (avenida y estío), la localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha. Además, se incluyeron los promedios generales, el estándar ambiental (ECA ≤ 0.008 mg/L) y un análisis estadístico basado en el Test de Tukey.

Variación por temporada

Durante la temporada de avenida, el nivel de clorofila A presentó un promedio general de 0.009 mg/l. En la temporada de estío, este valor permaneció sin cambios, con un promedio general de 0.009 mg/l. Estos resultados indicaron que la concentración de clorofila A no mostró una variación significativa entre temporadas, lo que sugiere que los factores ambientales que regulan la producción de fitoplancton se mantuvieron relativamente estables a lo largo del tiempo.

Variación por localización

En términos generales, dentro de la laguna se registró un promedio de clorofila A de 0.007 mg/l, mientras que en la orilla este valor fue superior, con un promedio general de 0.011 mg/l. Durante la temporada de estío, el nivel de clorofila A en la orilla alcanzó un valor de 0.011 mg/l, mientras que dentro de la laguna se mantuvo en 0.011 mg/l. En la temporada de avenida, el nivel de clorofila A dentro de la laguna fue de 0.007 mg/l, en comparación con la orilla, donde se registró un valor de 0.011 mg/l. Estos resultados sugirieron que la mayor concentración de clorofila A en la orilla podría estar relacionada con una mayor disponibilidad de nutrientes y una menor dispersión del fitoplancton en estas zonas.

Variación por subárea

El nivel de clorofila A presentó variaciones según la ubicación dentro de la laguna. La subárea sur occidental registró un promedio general de 0.008 mg/l, mientras que en la subárea nororiental este valor fue de 0.009 mg/l. En contraste, la subárea central presentó un valor similar de 0.009 mg/l. Estos datos evidenciaron que la distribución de la clorofila A en la laguna fue relativamente homogénea, sin grandes diferencias entre las subáreas evaluadas.

Prueba de Tukey

El análisis estadístico mediante la prueba de Tukey ($\text{Alfa}=0.05$, $\text{DMS}=0.01195$) indicó que las diferencias entre los promedios debían superar el umbral de 0.01195 mg/l para ser consideradas estadísticamente significativas. En este caso, ninguna de las diferencias observadas alcanzó dicho umbral, lo que sugiere que las variaciones en la concentración de clorofila A entre temporadas y ubicaciones no fueron estadísticamente significativas.

Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos indicaron que la concentración de clorofila A en la Laguna de Pacucha se mantuvo estable entre temporadas y entre ubicaciones, sin diferencias significativas en su distribución espacial y temporal. Esto sugiere que los niveles de

fitoplancton en la laguna no estuvieron sujetos a grandes fluctuaciones ambientales y que la disponibilidad de nutrientes pudo haberse mantenido relativamente constante.

Desde un punto de vista ambiental, los valores de clorofila A registrados en la laguna se encontraron cercanos o por encima del estándar ambiental ($ECA \leq 0.008$ mg/L), lo que podría indicar una tendencia hacia la eutrofización del ecosistema acuático. La mayor concentración de clorofila A en la orilla en comparación con el interior de la laguna sugiere que estas zonas podrían estar más expuestas a la acumulación de nutrientes, posiblemente debido a la escorrentía superficial y a una menor circulación del agua.

La prueba de Tukey confirmó que las diferencias observadas en los niveles de clorofila A entre temporadas y ubicaciones no fueron estadísticamente significativas. Esto sugiere que, aunque hubo fluctuaciones en los valores de clorofila A, estas no representaron una variación sustancial en la calidad del agua.

5.1.7. Parámetros microbiológicos

Tabla 32

Promedios de Coliformes termo tolerantes (NMP/100ml) la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.

Subárea	Avenida		Estío		Medias
	Dentro	Orilla	Dentro	Orilla	
Sur occidental	280.8	243.2	280.8	243.2	261.98
Nororiental	280.8	280.8	280.8	280.8	280.79
Centro	486.3		486.3		486.34
Medias	349.31	261.98	349.31	261.98	343.04
Media Temporada	314.38		314.38		
Media Localización	349.31	261.98			

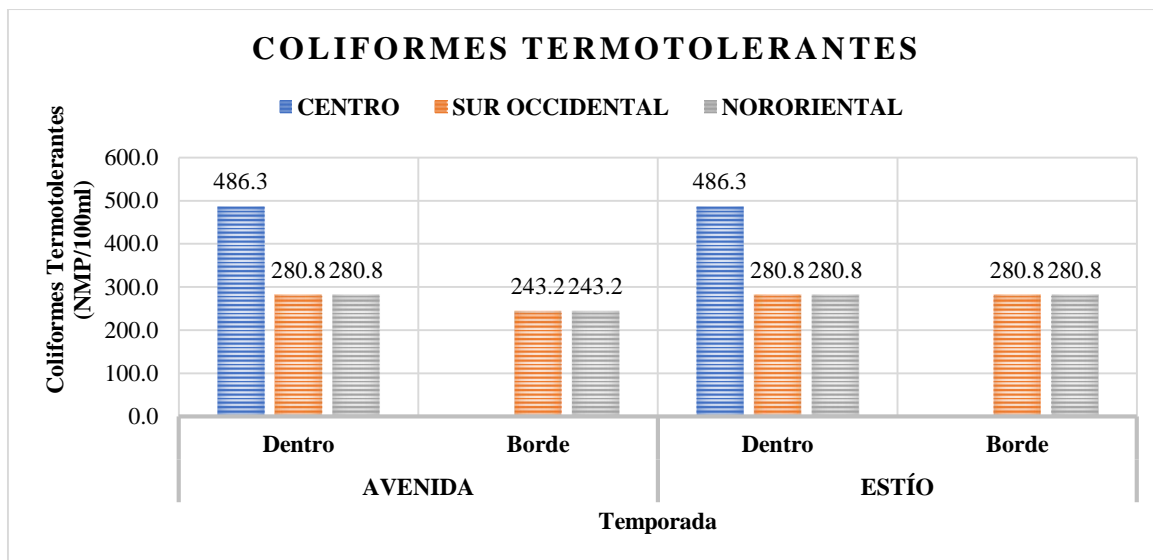
ECA = 1000 NMP

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=3387.62464

Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas, Año 2023.

Figura 26

Promedios de Coliformes termo tolerantes (NMP/100ml) la interacción triple: Temporada, (avenida y estío), Localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha.



Nota. Datos del Laboratorio de Investigación en Materiales para el Tratamiento de Aguas y Alimentos de la Universidad Nacional José María Arguedas, Año 2023.

Interpretación:

La tabla 32 y la figura 26 presentaron los niveles promedio de Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml), considerando la interacción triple entre la temporada (avenida y estío), la localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y centro) de la Laguna de Pacucha. Además, se incluyeron los promedios generales, el estándar ambiental ($ECA \leq 1000$ NMP) y un análisis estadístico basado en el Test de Tukey.

Variación por temporada

Durante la temporada de avenida, el nivel de coliformes termotolerantes presentó un promedio general de 314.38 NMP/100ml. En la temporada de estío, este valor se mantuvo sin variaciones, con un promedio general de 314.38 NMP/100ml. Estos resultados indicaron que la presencia de coliformes termotolerantes no mostró una variación significativa entre temporadas, lo que sugiere que las fuentes de contaminación fecal fueron constantes a lo

largo del tiempo, posiblemente debido a descargas de origen antrópico y la actividad ganadera en los alrededores de la laguna.

Variación por localización

En términos generales, dentro de la laguna se registró un promedio de coliformes termotolerantes de 349.31 NMP/100ml., mientras que en la orilla este valor fue inferior, con un promedio general de 261.98 NMP/100ml. Durante la temporada de estío, el nivel de coliformes termotolerantes en la orilla alcanzó un valor de 261.98 NMP/100ml, mientras que dentro de la laguna fue de 349.31 NMP/100ml. En la temporada de avenida, los niveles dentro de la laguna fue 349.31 NMP/100ml y en la orilla 261.98 NMP/100ml, mantuvieron los mismos valores, sin diferencias significativas. Estos resultados sugirieron que la mayor presencia de coliformes en el interior de la laguna podría estar asociada a la dispersión de contaminantes en la columna de agua, mientras que, en la orilla, la acumulación de residuos pudo haber sido menor debido a la mayor interacción con la vegetación ribereña y la menor profundidad.

Variación por subárea

El nivel de coliformes termotolerantes varió según la ubicación dentro de la laguna. La subárea sur occidental presentó un promedio general de 261.98 NMP/100ml., mientras que en la subárea nororiental este valor fue de 280.79 NMP/100ml. En contraste, la subárea central registró el nivel más alto de coliformes termotolerantes, con un promedio de 486.34 NMP. Estos datos evidenciaron que la contaminación fecal no se distribuyó homogéneamente en la laguna y que la subárea central presentó una mayor concentración de coliformes, lo que podría estar asociado a un menor flujo de agua y a la acumulación de residuos en esta zona.

Prueba de Tukey

El análisis estadístico mediante la prueba de Tukey ($DMS = 3387.62464$ NMP) indicó que las diferencias entre los promedios debían superar este umbral para ser consideradas estadísticamente significativas. En este caso, ninguna de las diferencias observadas entre ubicaciones y temporadas alcanzó dicho valor, lo que sugiere que las variaciones en la concentración de coliformes termotolerantes no fueron estadísticamente significativas.

Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos indicaron que la concentración de coliformes termotolerantes en la Laguna de Pacucha no presentó variaciones significativas entre temporadas ni entre ubicaciones específicas. La presencia constante de estos microorganismos en el agua sugiere que existen fuentes persistentes de contaminación fecal, posiblemente relacionadas con el ingreso de aguas residuales sin tratamiento o la actividad ganadera en la zona.

Desde un punto de vista ambiental, los valores de coliformes termotolerantes registrados en la laguna se encontraron por debajo del estándar ambiental ($ECA \leq 1000$ NMP), lo que indica que, aunque existe contaminación fecal, esta no alcanza niveles críticos según los estándares de calidad ambiental. Sin embargo, la presencia sostenida de coliformes en la laguna podría representar un riesgo para la salud humana y la biodiversidad acuática si no se implementan medidas adecuadas de manejo y control.

La prueba de Tukey confirmó que las diferencias observadas en los niveles de coliformes termotolerantes entre temporadas y ubicaciones no fueron estadísticamente significativas. Esto sugiere que, aunque hubo fluctuaciones en los valores de coliformes, estas no representaron una variación sustancial en la calidad del agua.

Tabla 33

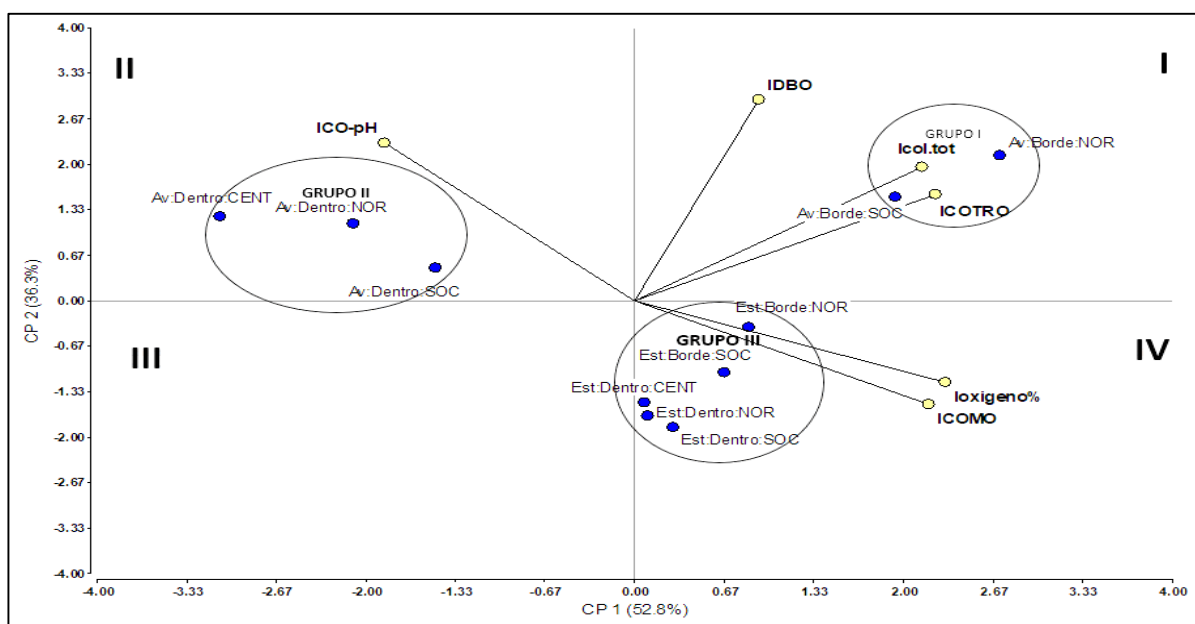
Matriz de correlación del índice de contaminación

Matriz de correlación/Coefficientes						
	Ioxigeno%	IDBO	Icol.tot	ICOMO	ICO-pH	ICOTRO
Ioxigeno%	1					
IDBO	-0.09	1				
Icol.tot	0.52	0.75	1			
ICOMO	0.72	-0.06	0.27	1		
ICO-pH	-0.76	0.37	-0.1	-0.85	1	
ICOTRO	0.45	0.63	0.87	0.43	-0.24	1

Nota. Datos estadísticos

Figura 27

Análisis de componentes principales del índice de contaminación



Nota. Datos del análisis estadístico

Interpretación:

La tabla 33 muestra una matriz de correlación que analiza las relaciones entre diferentes índices de contaminación del agua. Los coeficientes de correlación varían de -1 a 1, donde los valores cercanos a 1 indica una correlación positiva fuerte, los valores cercanos a -1 indica una correlación negativa fuerte, y los valores cercanos a 0 indica poca o ninguna correlación.

El índice de coliformes totales (Icol.tot) presenta una alta correlación positiva con el índice de contaminación trófica (ICOTRO) con un valor de 0.87, y también con la demanda bioquímica de oxígeno (IDBO) con un valor de 0.75. Esto sugiere que un aumento en la concentración de coliformes se asocia con una mayor presencia de nutrientes y una mayor carga orgánica, lo que representa condiciones propicias para procesos de eutrofización, donde el exceso de materia orgánica y microorganismos reduce la calidad del agua.

Por otro lado, el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) muestra una correlación positiva moderada con el oxígeno disuelto (Ioxígeno%) con un valor de 0.72, lo que indica que, en algunos casos, la materia orgánica podría estar en equilibrio con el oxígeno presente, posiblemente por procesos de degradación aeróbica.

La correlación negativa fuerte entre ICOMO e ICO-pH (-0.85) y entre ICO-pH e Ioxígeno% (-0.76) indica que la alteración del pH está relacionada con condiciones de baja oxigenación y alta carga orgánica, afectando el equilibrio químico del agua. Esto podría deberse a la descomposición de materia orgánica y la liberación de ácidos o productos que alteran el pH y reducen el oxígeno disponible.

Adicionalmente, el índice trófico (ICOTRO) también muestra correlación positiva con IDBO (0.63) e Icol.tot (0.87), evidenciando que la presencia de nutrientes y microorganismos va acompañada de un aumento de la materia orgánica biodegradable, lo que representa un alto grado de deterioro en la calidad del agua.

En la figura 27 el gráfico muestra un análisis de componentes principales (ACP) que resume la relación entre variables y muestra en dos ejes principales: CP1 (52.8%) y CP2 (36.3%), que en conjunto explican aproximadamente el 89.1% de la varianza total.

El cuadrante I: contiene variables como IDBO, Icol.tot e ICOTRO, que están estrechamente relacionadas con altos niveles de contaminación orgánica y microbiológica. En este cuadrante se ubican estaciones como Av. Borde NOR y Av. Borde SOC (puntos

azules), que representan focos críticos de contaminación. Esto sugiere una relación directa entre la alta carga bacteriana, nutrientes y demanda de oxígeno, indicando procesos de eutrofización y deterioro ambiental.

Cuadrante II: Incluye la variable ICO-pH, relacionada con variaciones en el pH del agua. Aquí se encuentran estaciones como Av. Dentro CENT, NOR y SOC, agrupadas en el Grupo II, que podrían estar recibiendo descargas urbanas o industriales que alteran el equilibrio ácido-base del ecosistema acuático. Estas zonas muestran un comportamiento particular, diferenciado del resto.

Cuadrante III: Contiene estaciones con baja asociación con los índices de contaminación, como Est. Dentro CENT, NOR y SOC, que conforman el Grupo III. Estas zonas muestran menor impacto contaminante y podrían representar áreas más estables desde el punto de vista fisicoquímico, con una actividad biológica más baja.

Cuadrante IV: Revela un escenario más favorable para la vida acuática. Aquí destacan variables como Ioxígeno% e ICOMO, y estaciones como Est. Borde NOR, Est. Borde SOC y Est. Dentro NOR, que también forman parte del Grupo III.

Estas zonas presentan mayor oxigenación y niveles más moderados de contaminación orgánica, lo que sugiere mejores condiciones ecológicas.

Los vectores más largos, como los de Icol.tot e IDBO, indican que estas variables tienen una mayor influencia en la distribución de las muestras.

Además, la dirección opuesta de los vectores de Ioxígeno% e IDBO confirma su relación inversa, típica de ambientes donde la materia orgánica consume oxígeno y afecta negativamente la calidad del agua.

Las muestras ubicadas en el cuadrante I corresponden a zonas con mayor contaminación, mientras que las del cuadrante IV representan áreas con mejores condiciones de calidad ambiental.

Este análisis refleja claramente la relación entre nutrientes, microorganismos y oxígeno disuelto, lo que permite identificar patrones espaciales y químicos útiles para la gestión ambiental y el diseño de estrategias de recuperación.

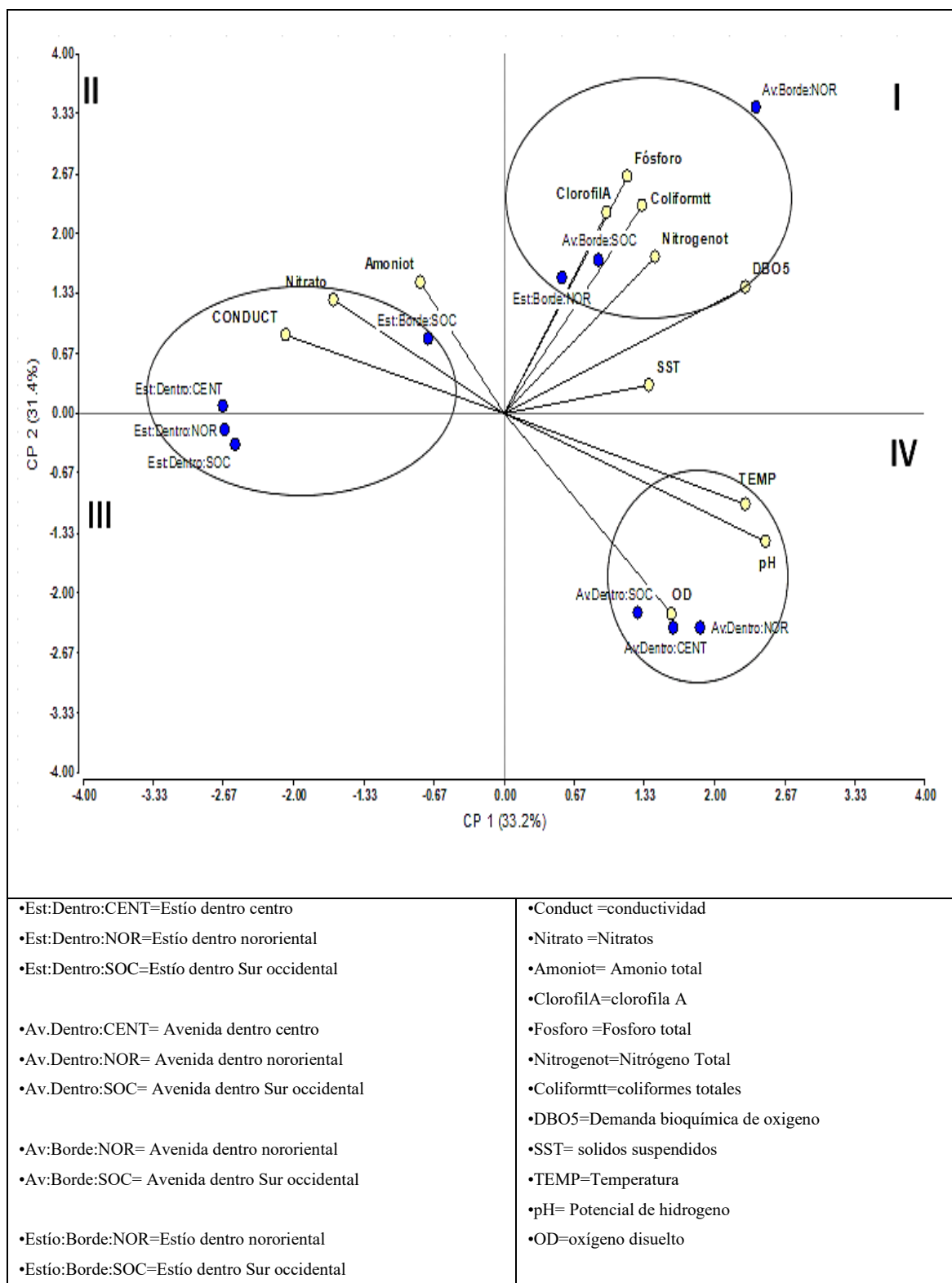
Tabla 34*Matriz de correlación de componentes principales de parámetros físicos químicos y microbiológicos*

Matriz de correlación/Coefficientes												
	Fósforo	CONDUCT	OD	pH	TEMP	DBO5	Amoniot	Nitrato	Nitrogenot	SST	Clorofila	Coliformtt
Fósforo	1											
CONDUCT	-0.13	1										
OD	-0.44	-0.47	1									
pH	-0.06	-0.79	0.7	1								
TEMP	0.1	-0.68	0.65	0.86	1							
DBO5	0.67	-0.56	-0.02	0.45	0.35	1						
Amoniot	0.4	0.41	-0.49	-0.44	-0.13	-0.11	1					
Nitrato	0.17	0.15	-0.7	-0.58	-0.47	-0.08	0.04	1				
Nitrogenot	0.7	0.08	0.06	0.04	0.32	0.41	0.37	-0.27	1			
SST	0.11	0.11	0.18	0.28	0.02	0.44	-0.11	-0.66	0.29	1		
Clorofila	0.69	0.11	-0.17	-0.15	-0.12	0.5	0.08	0.04	0.72	0.3	1	
Coliformtt	0.81	-0.23	-0.47	0.11	0.08	0.81	0.03	0.31	0.41	0.22	0.57	1

Nota. Datos del análisis estadístico

Figura 28

Análisis de componentes principales de parámetros físicos químicos y microbiológicos



Nota. Datos estadísticos

Interpretación:

Tabla 34 muestra las correlaciones entre diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua. La correlación varía de -1 a 1, donde: 1 indica una correlación positiva perfecta, -1 indica una correlación negativa perfecta, y 0 indica ausencia de correlación.

El fósforo está altamente correlacionado con Coliformes (0.81), Clorofila A (0.69), y DBO₅ (0.67). Esto sugiere que un aumento en el fósforo puede promover el crecimiento de microorganismos y algas, así como incrementar la demanda biológica de oxígeno. Estos son claros indicadores de procesos de eutrofización, donde el exceso de nutrientes favorece la proliferación de microorganismos y algas.

Por otro lado, la temperatura también juega un papel clave, al mostrar una fuerte relación positiva con el pH (0.86) y con el oxígeno disuelto (OD) (0.65), además de una correlación moderada con la DBO₅ (0.35). Esto sugiere que el aumento de temperatura no solo altera el equilibrio químico del agua, sino que también podría estar acelerando la descomposición de materia orgánica, aumentando así la demanda biológica de oxígeno.

La conductividad presenta una correlación negativa con el oxígeno disuelto (OD) (-0.47) y con el pH (-0.79), lo que puede deberse a la presencia de iones disueltos que disminuyen la concentración de oxígeno y modifican la acidez del agua. También muestra una correlación negativa con la DBO₅ (-0.56). Esto sugiere que un mayor contenido de iones disueltos en el agua puede limitar la disponibilidad de oxígeno, lo que afecta directamente la salud de los ecosistemas acuáticos.

El nitrato tiene una correlación baja con el amonio (0.04), mientras que el nitrógeno total (Nitrogenot) se asocia positivamente con el fósforo (0.7), DBO₅ (0.41), Clorofila A (0.72) y Coliformes (0.41), sugiriendo que altos niveles de nutrientes están relacionados con una mayor contaminación orgánica y proliferación microbiana.

La Figura 28 muestra un análisis de componentes principales (PCA) que explica la variabilidad de los datos en dos ejes principales: CP1 (33.2%) y CP2 (31.4%), explicando juntos aproximadamente 64.6% de la varianza total de los datos.

Cuadrante I: Contiene variables como Fósforo, Coliformes, Clorofila A, DBO₅ y Nitrogenot, que están estrechamente relacionadas con altos niveles de nutrientes y una intensa actividad biológica. En este espacio, destacan zonas como AvBordeNOR, AvBordeSOC y EstBordeNOR, que parecen ser los principales focos de contaminación por nutrientes. Esto sugiere una relación entre altos niveles de nutrientes, presencia de microorganismos y actividad biológica intensa, lo que podría ser indicativo de eutrofización.

Cuadrante II: Incluye variables como Conductividad, Amoniot y Nitrato, que están relacionadas con la presencia de sales disueltas y procesos de nitrificación. En esta región, las zonas de EstDentroCENT, EstDentroNOR y EstDentroSOC se ubican en un contexto de impacto químico moderado, probablemente asociado a la actividad agrícola que introduce compuestos nitrogenados en el agua.

Cuadrante III: Se encuentran principalmente zonas con menor actividad biológica y baja concentración de nutrientes. Aquí, la influencia predominante de la conductividad puede indicar una presencia de minerales disueltos, pero sin una relación directa con procesos de contaminación orgánica. Las zonas como EstDentroCENT podrían representar áreas con características fisicoquímicas más estables.

Cuadrante IV: Revela un escenario más favorable para la vida acuática. Variables como la temperatura, el pH y el oxígeno disuelto (OD) son dominantes aquí, indicando condiciones más saludables y estables. Las zonas AvDentroSOC, AvDentroCENT y AvDentroNOR se encuentran en esta región, representando áreas con buena calidad de agua y menor impacto de contaminación orgánica.

Los vectores más largos, como los de Fósforo y Coliformes, indican que estas variables tienen una mayor influencia en la distribución de las muestras. La dirección opuesta de los vectores de OD y DBO₅ confirma una relación inversa entre el oxígeno disuelto y la demanda biológica de oxígeno, típica de ambientes con alta carga orgánica.

Las muestras en el cuadrante I podrían corresponder a zonas con mayor contaminación orgánica o presencia de nutrientes, mientras que las del cuadrante IV representan áreas con mejores condiciones de calidad de agua.

Existe una relación clara entre la presencia de nutrientes (fósforo, nitrógeno) y la proliferación de organismos (Clorofila A y Coliformes), lo que sugiere posibles procesos de eutrofización. La disminución del oxígeno disuelto está vinculada a una mayor demanda biológica de oxígeno, indicando contaminación orgánica. Las muestras se agrupan de acuerdo con patrones espaciales y químicos, lo que puede ser útil para diseñar estrategias de monitoreo y control ambiental.

Tabla 35*Matriz de correlación entre los factores biofísicos (Biótico y Físico)*

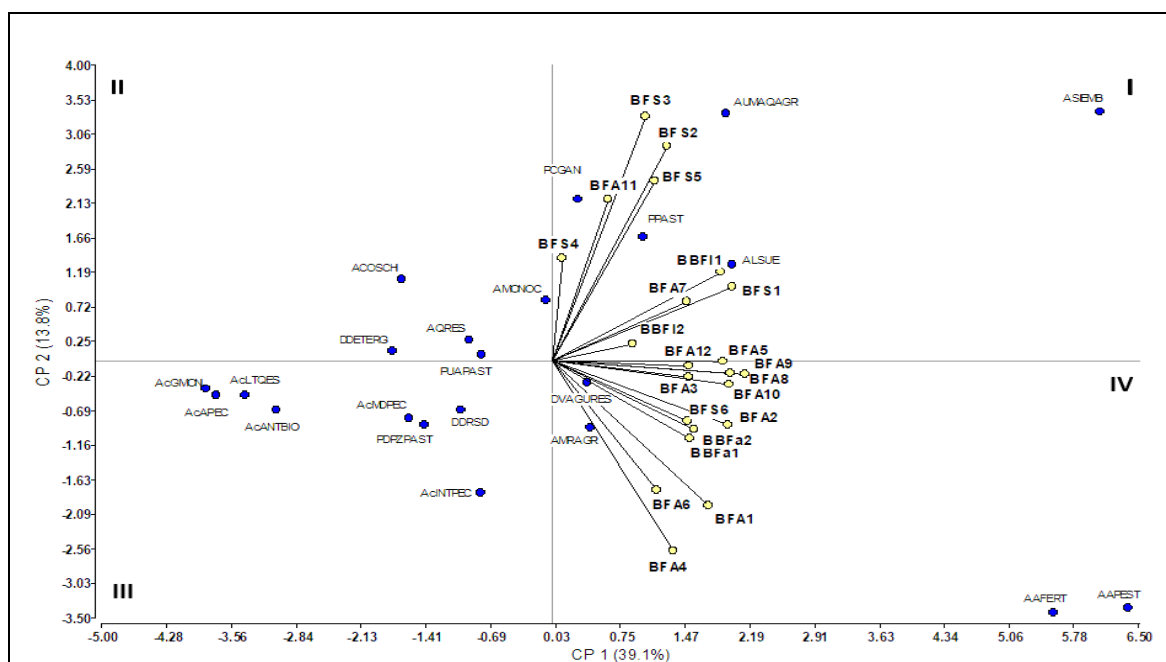
	BFA1	BFA2	BFA3	BFA4	BFA5	BFA6	BFA7	BFA8	BFA9	BFA10	BFA11	BFA12	BFS1	BFS2	BFS3	BFS4	BFS5	BFS6	BBFI1	BBFI2	BBFa1
BFA1	1																				
BFA2	0.451	1																			
BFA3	0.346	0.261	1																		
BFA4	0.662	0.326	0.334	1																	
BFA5	0.596	0.345	0.499	0.599	1																
BFA6	0.564	0.179	0.081	0.821	0.541	1															
BFA7	0.401	0.377	0.249	0.193	0.399	0.163	1														
BFA8	0.703	0.621	0.418	0.511	0.666	0.493	0.725	1													
BFA9	0.495	0.511	0.643	0.28	0.561	0.227	0.362	0.631	1												
BFA10	0.715	0.292	0.42	0.504	0.696	0.524	0.692	0.77	0.484	1											
BFA11	0.054	0.106	-0.13	-0.248	0.213	-0.047	0.521	0.285	-0.086	0.503	1										
BFA12	0.522	0.411	0.415	0.209	0.371	0.122	0.678	0.634	0.457	0.694	0.384	1									
BFS1	0.318	0.6	0.537	0.188	0.432	0.104	0.519	0.69	0.826	0.419	0.079	0.461	1								
BFS2	-0.083	0.121	0.492	-0.088	0.399	-0.165	0.341	0.363	0.456	0.233	0.245	0.147	0.687	1							
BFS3	-0.035	0.056	0.24	-0.161	0.261	-0.042	0.441	0.344	0.176	0.261	0.501	0.283	0.486	0.758	1						
BFS4	-0.083	-0.23	-0.2	0.287	0.332	0.466	0.002	0.08	-0.339	0.147	0.287	-0.223	-0.142	0.257	0.426	1					
BFS5	0.143	0.048	0.053	-0.049	0.503	0.203	0.122	0.273	0.373	0.273	0.301	0.036	0.427	0.564	0.575	0.415	1				
BFS6	0.544	0.663	0.502	0.567	0.58	0.425	0.368	0.706	0.711	0.467	-0.124	0.211	0.741	0.349	0.12	-0.074	0.296	1			
BBFI1	0.381	0.486	0.398	0.19	0.592	0.316	0.239	0.564	0.699	0.397	0.148	0.253	0.72	0.561	0.491	0.066	0.761	0.637	1		
BBFI2	0.127	0.075	0.275	0.035	0.074	-0.006	-0.146	-0.02	0.345	0.183	0.165	0.133	0.32	0.271	0.189	-0.141	0.2	0.146	0.375	1	
BBFa1	0.434	0.372	0.447	0.423	0.282	0.21	0.1	0.319	0.486	0.434	0.028	0.259	0.482	0.268	0.025	-0.126	0.092	0.492	0.395	0.764	1
BBFa2	0.541	0.326	0.327	0.429	0.294	0.284	0.166	0.34	0.42	0.517	0.167	0.374	0.419	0.163	0.147	-0.078	0.173	0.464	0.399	0.788	0.896

ESCALA P-VALOR

	P < 0,0100	correlaciones altamente significativas
	0,0500 ≥ P ≥ 0,0100	correlaciones significativas
	P > 0,0500	correlaciones no significativas

Figura 30

Análisis de componentes principales de las actividades antrópicas y los factores biofísicos (Biótico y Físico)

**Actividades antrópicas****ACTIVIDAD AGRÍCOLA**

AAPEST: Aplicación de pesticidas

AAFERT: Aplicación de fertilizantes

ALSUE: Labranza del suelo

ASIEMB: Siembra

AMRAGR: Manejo de residuos agrícolas

AQRES: Quema de residuos

ACOSCH: Cosecha

AMONOC: Monocultivo

AUMAQAGR: Uso de maquinaria agrícola

ACTIVIDAD ACUÍCOLA

AcAPEC: Alimentación de peces

AcMDPEC: Manejo de desechos de los peces

AcANTIBIO: Uso de antibióticos

AcINTPEC: Introducción de peces

AcLTQES: Limpieza de estanques

AcGAMONI: Generación de amonio

ACTIVIDAD PECUARIA

PCGAN: Crianza de ganado

PUAPAST: Ubicación del área de pastoreo

PDPZPAST: Disposición de purines en zonas de pastoreo

PPAST: Pastoreo

ACTIVIDAD DOMÉSTICA

DDRSO: Disposición de residuos sólidos domiciliarios

DDETERG: Uso de detergentes y productos químicos

DLVROP: Lavado de rop

Factores Biofísicos**Agua**

- BFA1: Alteración de la calidad del agua superficial
- BFA2: Contaminación por pesticidas
- BFA3: Contaminación por fertilizantes
- BFA4: Contaminación por residuos orgánicos
- BFA5: Contaminación de fuentes de agua
- BFA6: Contaminación por productos veterinarios
- BFA7: Contaminación por drenaje de aguas residuales
- BFA8: Contaminación por residuos sólidos
- BFA9: Contaminación por lixiviados y escorrentía de nutrientes
- BFA10: Alteración de la propiedad física
- BFA11: Alteración de la propiedad química
- BFA12: Eutrofización

Suelo

- BFS1: Alteración de la fertilización
- BFS2: Erosión del suelo
- BFS3: Compactación del suelo
- BFS4: Sobrepastoreo
- BFS5: Destrucción de vegetación ribereña
- BFS6: Contaminación por residuos sólidos

Flora

- BBFL1: Pérdida de la cobertura vegetal
- BBFL2: Alteración del ecosistema

Fauna

- BBFa1: Pérdida de biodiversidad
- BBFa2: Alteración del hábitat

Nota. Datos estadísticos

Interpretación

La Tabla 35 muestra las correlaciones entre distintos factores biofísicos asociados a las actividades antrópicas. Estas correlaciones van de -1 a 1, donde 1 indica una relación positiva perfecta, -1 una relación negativa perfecta, y 0 implica que no hay correlación. Este análisis permite visualizar cómo las acciones humanas están influyendo directamente en la calidad del agua de la laguna de Pacucha.

Mediante la matriz de correlación y el análisis de componentes principales (ACP), se identificaron relaciones estadísticas significativas que evidencian el impacto de los factores biofísicos afectados por las intervenciones humanas.

Uno de los factores más críticos identificados es la contaminación por residuos sólidos (BFA8), que presenta correlaciones elevadas con otros factores clave del ecosistema acuático. Se observa una relación fuerte con la contaminación por drenaje de aguas residuales (BFA7), con un coeficiente de 0.725; con la alteración de la propiedad física del agua (BFA10), con un valor de 0.770; con la contaminación por lixiviados y escorrentía de nutrientes (BFA9), con un valor de 0.631; con la alteración de la calidad del agua superficial (BFA1), con un coeficiente de 0.703; con la contaminación de fuentes de agua (BFA5), con 0.666; y con la contaminación por residuos orgánicos (BFA4), con una correlación de 0.511. Estas asociaciones reflejan que los residuos sólidos no solo afectan físicamente al cuerpo de agua, sino que además actúan como vehículo de contaminantes químicos y orgánicos, generando condiciones favorables para la eutrofización y la disminución del oxígeno disuelto.

Asimismo, se identifica una relación notable entre la contaminación por residuos orgánicos (BFA4) y la presencia de productos veterinarios (BFA6), con un coeficiente de 0.821, lo cual revela una fuerte conexión con actividades ganaderas y agropecuarias. Además, BFA4 guarda correlación significativa con la alteración de la calidad del agua

superficial (BFA1), con un valor de 0.662, y con la alteración de la propiedad física del agua (BFA10), con 0.504. Estos datos indican que la descarga de residuos pecuarios y productos farmacológicos genera una presión combinada sobre el ecosistema acuático.

Por su parte, la alteración de la calidad del agua superficial (BFA1), que representa un indicador clave del estado ecológico del cuerpo de agua, también presenta altas correlaciones con la contaminación por residuos sólidos (BFA8), con 0.703; con la alteración de la propiedad física del agua (BFA10), con 0.715; con residuos orgánicos (BFA4), con 0.662; y con la contaminación de fuentes de agua (BFA5), con 0.596.

En conjunto, estos resultados confirman que el deterioro de la calidad del agua de la laguna de Pacucha, no se debe a una sola causa, sino a múltiples fuentes de contaminación que interactúan entre sí. Esto refleja un proceso multifactorial, donde diversos tipos de contaminación, tanto orgánica como física y química, convergen y generan un impacto acumulativo que compromete el equilibrio ecológico del ecosistema acuático.

La figura 30 muestra el análisis de componentes principales (ACP) complementa estos hallazgos al identificar los factores que explican la mayor variabilidad en los datos. La primera componente principal (CP1), que explica el 39.1% de la varianza total, está influida principalmente por factores relacionados con la contaminación del agua y los residuos. La segunda componente (CP2), que representa el 13.8% de la varianza, refleja impactos adicionales, como alteraciones físicas en el ecosistema.

Al observar la distribución de las variables por cuadrantes, se identifican patrones relevantes:

En el cuadrante I (Zona ASIEB - Siembra): Aquí predominan variables como la eutrofización (BFA12) y la alteración química (BFA11). La influencia de prácticas agrícolas, como el uso de maquinaria (AUMAQAGR), contribuyen a los niveles de contaminación y a la degradación tanto del suelo como del agua.

En el cuadrante II (Zona ACOCOSH - Cosecha): Se relaciona con procesos de contaminación por pesticidas (BFA2) y fertilizantes (BFA3), así como con la compactación del suelo (BFS3), con un coeficiente de correlación elevado. Esto evidencia el impacto de la agricultura en la calidad del suelo, lo que repercute en la calidad del agua.

En el cuadrante III (Zona AcGMDL - Generación de amonio): Esta zona muestra menores niveles de alteración ambiental. Aquí predominan actividades domésticas como el lavado de ropa (DLVROP) y el uso de detergentes (DDETERG), cuyos efectos, aunque menos significativos, pueden acumularse con el tiempo.

En el cuadrante IV (Zona AAFERT - Aplicación de fertilizantes): Se destaca la relación entre la calidad del agua (BFA1) y factores demográficos, como salud e higiene (SSD2). Los impactos ambientales son más visibles en términos de salud humana, mostrando cómo la contaminación del agua afecta directamente a las comunidades locales.

El análisis de los vectores muestra que variables como la eutrofización (BFA12) y la contaminación por residuos sólidos (BFA8) tienen vectores más largos, indicando un impacto significativo en la varianza de los datos. Además, se observa una relación inversa entre la eutrofización y el oxígeno disuelto, lo que evidencia que el aumento de nutrientes en el agua disminuye la capacidad del ecosistema acuático para sostener la vida.

Los resultados indican que las actividades agrícolas en zonas como siembra (ASIEB) y aplicaciones de fertilizantes (AAFERT) están asociadas con altos niveles de contaminación por nutrientes, promoviendo procesos de eutrofización y deterioro del ecosistema acuático. En contraste, zonas con menor intervención humana, como generación de amonio (AcGMON), presentan mejores condiciones ambientales, aunque aún están en riesgo por el impacto de actividades domésticas. Además, las actividades pecuarias crianza de ganado (PCGAN) y contribuyen a la pérdida de biodiversidad, la degradación del suelo y la destrucción de la vegetación.

Tabla 36

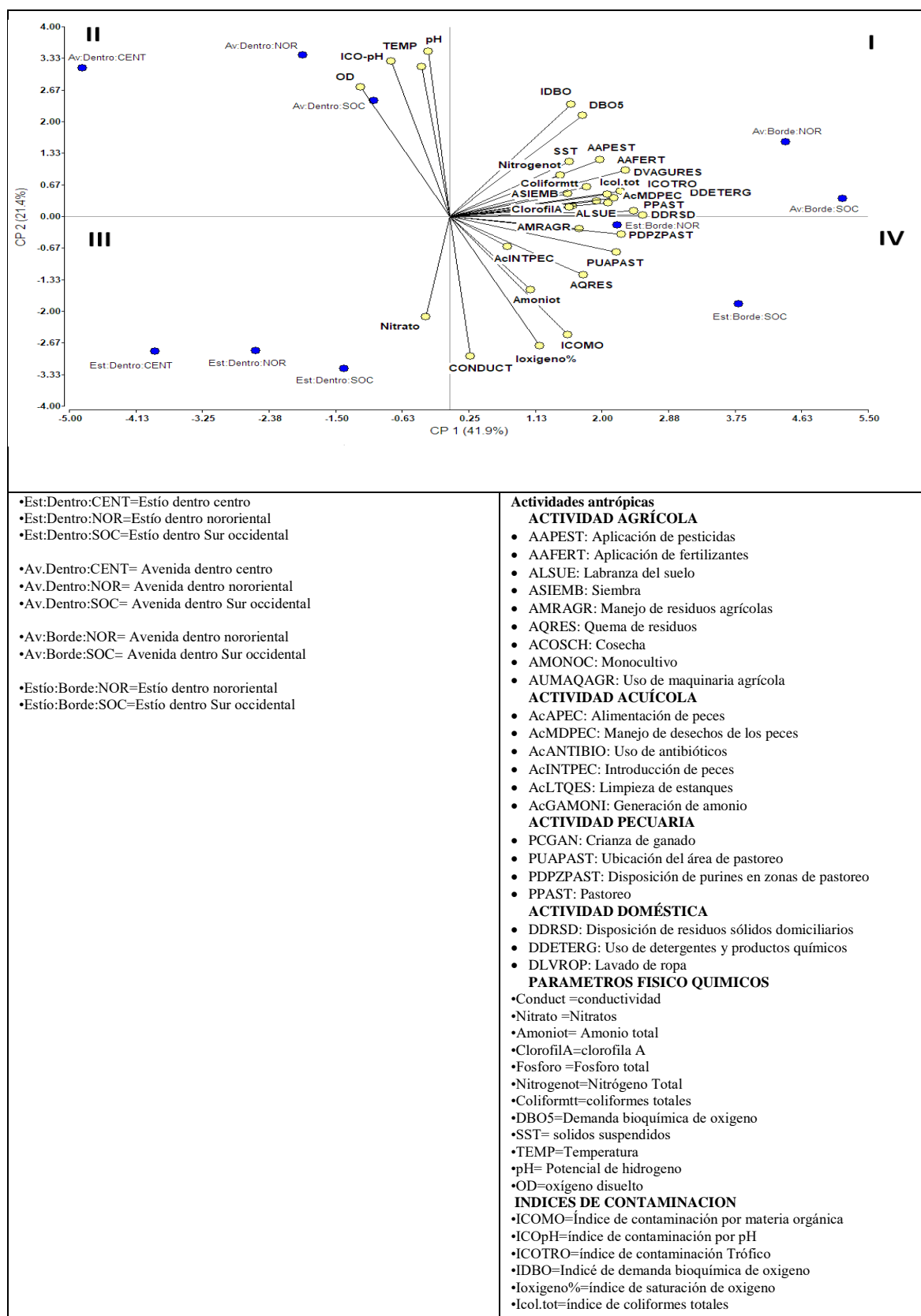
Matriz de correlación de las actividades antrópicas, índices de contaminación, parámetros físico químicos

	AAPEST	AAFERT	ALSUE	ASIEMB	AMRAGR	AQRES	AcMDPEC	AcINTPEC	PUAPAST	PDPZPAST	PPAST	DVAGURES	DDRSD	DDETERG	Ioxigeno%	IDBO	Icol.tot	ICOMO	ICO-pH	ICOTRO	CONDUCT	OD	pH	TEMP	DBOS	Amoniot	Nitrato	Nitrogenot	SST	Clorofila	Coliformtt					
AAPEST	1																																			
AAFERT	0.000	1																																		
ALSUE	0.067	0.021	1																																	
ASIEMB	0.027	0.013	<0.0001	1																																
AMRAGR	0.035	0.016	0.000	0.000	1																															
AQRES	0.152	0.130	0.063	0.050	0.008	1																														
AcMDPEC	0.285	0.098	0.639	0.737	0.518	0.488	1																													
AcINTPEC	0.370	0.237	0.002	0.014	0.003	0.106	0.656	1																												
PUAPAST	0.047	0.015	0.005	0.006	0.001	0.001	0.154	0.072	1																											
PDPZPAST	0.041	0.033	0.098	0.111	0.045	0.001	0.114	0.409	0.002	1																										
PPAST	0.009	0.004	0.042	0.063	0.035	0.010	0.104	0.306	0.004	<0.0001	1																									
DVAGURES	0.087	0.015	0.509	0.561	0.459	0.363	0.002	0.829	0.155	0.059	0.023	1																								
DDRSD	0.015	0.001	0.146	0.151	0.083	0.065	0.004	0.644	0.006	0.005	0.002	0.000	1																							
DDETERG	0.045	0.012	0.542	0.427	0.456	0.369	0.008	0.665	0.117	0.091	0.049	0.000	0.000	1																						
Ioxigeno%	0.788	0.733	0.498	0.787	0.587	0.308	0.248	0.641	0.162	0.315	0.372	0.331	0.214	0.336	1																					
IDBO	0.061	0.039	0.334	0.385	0.691	0.962	0.098	0.772	0.495	0.195	0.058	0.033	0.085	0.082	0.809	1																				
Icol.tot	0.279	0.062	0.192	0.343	0.487	0.417	0.027	0.878	0.132	0.073	0.024	0.005	0.014	0.023	0.126	0.012	1																			
ICOMO	0.318	0.242	0.580	0.579	0.281	0.122	0.199	0.705	0.096	0.121	0.164	0.176	0.063	0.124	0.020	0.878	0.447	1																		
ICO-pH	0.982	0.851	0.931	0.878	0.628	0.259	0.751	0.572	0.377	0.423	0.513	0.568	0.412	0.576	0.010	0.297	0.787	0.002	1																	
ICOTRO	0.181	0.034	0.479	0.514	0.607	0.461	0.022	0.830	0.217	0.132	0.055	0.000	0.005	0.001	0.197	0.052	0.001	0.217	0.508	1																
CONDUCT	0.737	0.691	0.654	0.634	0.632	0.162	0.685	0.845	0.399	0.432	0.822	0.995	0.637	0.947	0.166	0.065	0.456	0.031	0.012	0.723	1															
OD	0.783	0.736	0.493	0.784	0.586	0.311	0.254	0.631	0.163	0.322	0.378	0.337	0.217	0.340	<0.0001	0.803	0.127	0.021	0.011	0.200	0.170	1														
pH	0.640	0.696	0.776	0.672	0.895	0.325	0.929	0.799	0.603	0.595	0.818	0.981	0.789	0.936	0.022	0.137	0.862	0.006	<0.0001	0.867	0.007	0.023	1													
TEMP	0.680	0.729	0.610	0.885	0.465	0.109	0.719	0.265	0.331	0.285	0.465	0.743	0.899	0.567	0.040	0.241	0.998	0.063	0.005	0.790	0.031	0.042	0.002	1												
DBOS	0.068	0.028	0.242	0.320	0.565	0.879	0.055	0.919	0.376	0.168	0.045	0.020	0.054	0.066	0.958	<0.0001	0.005	0.974	0.398	0.033	0.093	0.964	0.187	0.317	1											
Amoniot	0.382	0.366	0.859	0.620	0.618	0.351	0.495	0.814	0.202	0.428	0.493	0.373	0.139	0.049	0.151	0.729	0.618	0.061	0.140	0.250	0.243	0.148	0.203	0.718	0.759	1										
Nitrato	0.103	0.277	0.482	0.237	0.216	0.421	0.888	0.531	0.493	0.533	0.535	0.996	0.668	0.826	0.025	0.687	0.494	0.343	0.118	0.644	0.677	0.025	0.079	0.173	0.821	0.910	1									
Nitrogenot	0.122	0.109	0.648	0.845	0.970	0.665	0.066	0.332	0.647	0.278	0.215	0.005	0.035	0.005	0.873	0.210	0.291	0.369	0.764	0.024	0.816	0.864	0.920	0.371	0.237	0.291	0.448	1								
SST	0.028	0.050	0.114	0.109	0.026	0.059	0.179	0.286	0.040	0.018	0.022	0.276	0.077	0.420	0.618	0.211	0.545	0.716	0.630	0.752	0.757	0.610	0.434	0.946	0.201	0.763	0.037	0.418	1							
Clorofila	0.376	0.310	0.822	0.789	0.956	0.275	0.108	0.418	0.511	0.040	0.047	0.012	0.070	0.075	0.622	0.127	0.067	0.363	0.557	0.026	0.769	0.637	0.689	0.737	0.139	0.829	0.908	0.020	0.396	1						
Coliformtt	0.474	0.139	0.444	0.754	0.779	0.812	0.005	0.856	0.332	0.200	0.092	0.003	0.030	0.042	0.168	0.014	0.000	0.522	0.852	0.004	0.532	0.170	0.769	0.825	0.005	0.932	0.383	0.239	0.547	0.082	1					
ESCALA	P-VALOR																																			
	P < 0,01 correlaciones altamente significativas																																			
	0,0500 < P > 0,0: correlaciones significativas																																			
	P < 0,0500 correlaciones no significativas																																			

Nota. Datos de los análisis estadísticos

Figura 29

Análisis de componentes principales de las actividades antrópicas, índices de contaminación y parámetros físico químicos



Nota. Datos estadísticos

Interpretación:

La Tabla 36 muestra las correlaciones entre las actividades antrópicas, índices de contaminación, parámetros físico químicos. Estas correlaciones van de -1 a 1, donde 1 indica una relación positiva perfecta, -1 una relación negativa perfecta, y 0 implica que no hay correlación. Este análisis permite visualizar cómo las acciones humanas están influyendo directamente en la calidad del agua de la laguna de Pacucha.

Mediante la matriz de correlación y el análisis de componentes principales (ACP), se identificaron relaciones estadísticas significativas que evidencian el impacto de las actividades antrópicas en la calidad del agua. La matriz de correlación, al presentar coeficientes superiores a 0.70 (sombreados en verde), resalta vínculos directos entre actividades humanas y parámetros fisicoquímicos, microbiológicos e índices de contaminación.

Las actividades agrícolas están entre las más fuertemente correlacionadas con parámetros que afectan la calidad del agua, Aplicación de pesticidas (AAPEST) mantiene una correlación positiva casi perfecta con el índice de contaminación por pH (ICOpH = 0.982), y valores elevados con conductividad (0.737) y oxígeno disuelto (OD = 0.783). Esto sugiere un fuerte vínculo entre el uso de agroquímicos y la alteración del equilibrio ácido-base del ecosistema, así como la disponibilidad de oxígeno.

Aplicación de fertilizantes (AAFERT) presenta correlaciones destacadas con conductividad (0.691) y OD (0.736), lo que indica una posible relación con procesos de eutrofización, a partir del arrastre de nutrientes hacia la laguna.

Siembra (ASIEMB) revela relaciones fuertes con ICOpH (0.878) y con OD (0.784), consolidando la hipótesis de que el disturbio del suelo agrícola genera impactos notables en el agua.

Estas correlaciones fueron también evidenciadas en el ACP, donde las actividades agrícolas se agruparon en componentes con alta carga sobre parámetros de pH, oxígeno y nutrientes, reforzando su papel determinante en los procesos de degradación acuática.

Introducción de peces (AcINTPEC) también se asocia con el índice de coliformes ($I_{col.tot} = 0.856$) y con el índice de contaminación trófica ($ICOTRO = 0.830$), señalando un impacto potencial sobre la calidad microbiológica y la productividad primaria del cuerpo de agua.

Estas relaciones se reflejan en los cuadrantes del ACP, donde las actividades acuícolas se alinean con los factores relacionados a carga orgánica y eutrofización.

Ubicación del área de pastoreo (PUAPAST) presenta valores más moderados, pero aún relevantes, con variables como conductividad y clorofila A.

En el análisis multivariado, estas variables pecuarias explican una fracción importante de la varianza acumulada en los primeros componentes, particularmente aquellos relacionados con materia orgánica y formas de nitrógeno.

Las actividades domésticas también muestran efectos notables sobre la calidad del agua, el uso de detergentes (DDETERG) presenta una correlación con el ICO_{pH} (0.576) y con la conductividad (0.947), sugiriendo efectos en la alcalinidad y la carga iónica del agua.

Estos resultados son consistentes con el agrupamiento observado en el ACP, donde las actividades domésticas se posicionan en ejes con fuerte peso sobre parámetros de salinidad, pH y presencia bacteriana.

En conjunto, la matriz de correlación y el análisis de componentes principales revelan que las actividades agrícolas y domésticas son las más fuertemente relacionadas con la alteración de la calidad del agua, seguidas por las pecuarias y acuícolas. Estas actividades influyen especialmente en variables como pH, oxígeno disuelto, conductividad, coliformes

y nutrientes (nitrógeno, amonio), generando condiciones favorables para la eutrofización y la contaminación biológica.

La integración de ambos análisis estadísticos permite sustentar la necesidad de implementar medidas de gestión ambiental enfocadas en la reducción del impacto de estas actividades, priorizando zonas agrícolas y domésticas de mayor presión sobre el ecosistema acuático

La figura 29 muestra el análisis de componentes principales permite visualizar la distribución espacial y temporal de las estaciones de muestreo en función de su asociación con variables físico-químicas, índices de contaminación y actividades antrópicas. A partir de la distribución de los puntos en el plano definido por los componentes CP1 (41.9%) y CP2 (21.4%), se identificaron patrones diferenciados en cuatro cuadrantes, cada uno representando una combinación característica de condiciones ambientales y presión antrópica.

Cuadrante I: muestra alta presión antrópica y degradación de la calidad del agua. En este cuadrante se ubican las estaciones Av.Borde:NOR, Av.Borde:SOC y Est.Borde:NOR, todas localizadas en el borde del cuerpo lagunar, principalmente durante la época de avenida. Estas zonas presentan una fuerte asociación con actividades agrícolas intensivas, como la aplicación de pesticidas (AAPEST) y fertilizantes (AAFERT), la siembra (ASIEMB) y la labranza del suelo (ALSUE). Asimismo, se evidencian prácticas acuícolas (AcAPEC, AcMDPEC) y domésticas (DDRSD, DDETERG) que incrementan la carga contaminante.

Los parámetros fisicoquímicos asociados incluyen valores elevados de DBO5, coliformes totales, fosforo, clorofila A y nitrógeno total, indicadores directos de contaminación orgánica y procesos de eutrofización. Esta condición se ve reforzada por índices como ICOMO, ICOTRO e Icol.tot, que reflejan el deterioro generalizado de la

calidad del agua. En conjunto, este cuadrante representa las zonas de mayor impacto ambiental, con evidente influencia de múltiples fuentes antrópicas.

Cuadrante II: muestra mejores condiciones ambientales y baja presión antrópica. En el cuadrante superior izquierdo se agrupan las estaciones Av.Dentro:CENT, Av.Dentro:NOR y Av.Dentro:SOC, correspondientes a zonas interiores del lago durante la época de avenida. Estas áreas se caracterizan por su asociación con parámetros fisicoquímicos más favorables, como el oxígeno disuelto (OD), temperatura, pH, y sus respectivos índices relacionados (ICOpH, Ioxígeno%).

La posición de estas estaciones sugiere condiciones ambientales más equilibradas, probablemente debido al efecto de dilución generado por el ingreso de agua durante la avenida, lo cual favorece la oxigenación y reduce la concentración de contaminantes. La presión antrópica en estas áreas es baja o difusa, sin asociación directa con actividades contaminantes, lo que las posiciona como sectores de buena calidad ambiental dentro del sistema lagunar.

Cuadrante III: muestra condiciones naturales con nutrientes disueltos y baja intervención. Las estaciones Est:Dentro:CENT, Est:Dentro:NOR y Est:Dentro:SOC se sitúan en este cuadrante, correspondiente a zonas interiores durante la época de estío. Estas áreas están relacionadas con la presencia de nutrientes disueltos como nitratos, amonio total, y con valores de conductividad moderados. Aunque estos parámetros pueden estar relacionados con procesos naturales de acumulación estacional, no se observa una asociación clara con actividades antrópicas intensivas.

Las estaciones en este cuadrante reflejan una baja presión antrópica directa y una calidad de agua relativamente conservada, aunque con ciertas señales de aporte de nutrientes que podrían actuar como precursores de procesos de eutrofización si no se controlan. Estas

condiciones podrían representar un equilibrio inestable, que podría deteriorarse con la intensificación de actividades cercanas.

Cuadrante IV: muestra la contaminación orgánica puntual por actividades pecuarias y domésticas. En este cuadrante se ubica Est: Borde: SOC, estación que corresponde al sector sur-occidental del borde lagunar durante el estío. Su posición indica una clara asociación con altas cargas de materia orgánica, reflejadas en parámetros como amonio total, conductividad y en el índice ICOMO. Esta estación se vincula estrechamente con actividades pecuarias, como la ubicación de áreas de pastoreo (PUAPAST) y la disposición de purines (PDPZPAST), así como con fuentes domésticas como el vertido de residuos sólidos (DDRSD).

A diferencia del Cuadrante I, donde la contaminación es más generalizada, este cuadrante representa una contaminación focalizada, con predominio de materia orgánica y nutrientes, sin una adecuada renovación del agua debido a la estacionalidad seca. La calidad del agua en esta zona se encuentra claramente comprometida, reflejando la vulnerabilidad del sector ante actividades antrópicas mal gestionadas.

El análisis por cuadrantes evidencia una diferenciación espacial y temporal clara en la calidad del agua de la laguna, condicionada por el tipo de actividad antrópica y la época del año. Mientras que las zonas interiores en época de avenida (Cuadrante II) muestran condiciones más favorables, los sectores de borde, especialmente durante estío y avenida (Cuadrantes I y IV), registran los niveles más altos de contaminación, atribuidos principalmente a la intensificación agrícola, acuícola, pecuaria y doméstica. Esta segmentación proporciona una base sólida para establecer prioridades de manejo ambiental diferenciado en la laguna

5.2. Discusiones

En el presente estudio presento un análisis de la calidad del agua en la Laguna de Pacucha reveló variaciones significativas en sus parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según la temporada (avenida y estío), la localización (dentro y orilla) y la subárea (sur occidental, nororiental y central).

En términos de oxigenación, se observó que el índice de saturación de oxígeno fue mayor en la temporada de estío (0.968) en comparación con la temporada de avenida (0.956), indicando una mejor condición del agua durante el estío. Asimismo, dentro de la laguna, la saturación promedio fue de 0.959, mientras que en la orilla fue de 0.968, reflejando un mayor intercambio gaseoso en los bordes del ecosistema.

En cuanto al índice de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), los valores fueron más altos en la temporada de avenida (0.396) en comparación con la temporada de estío (0.159), lo que sugiere un mayor ingreso de materia orgánica durante las lluvias. La DBO también presentó diferencias espaciales, siendo mayor en la orilla (0.388) que dentro de la laguna (0.205), lo que indica una mayor acumulación de residuos en los bordes.

El análisis microbiológico mostró una elevada presencia del índice de coliformes fecales durante la temporada de avenida (0.216), en comparación con la temporada de estío (0.095), reflejando el impacto de las lluvias en el arrastre de contaminantes. La mayor concentración de estos microorganismos se registró en la orilla (0.315), mientras que dentro de la laguna los valores fueron considerablemente más bajos (0.015).

En cuanto a la conductividad eléctrica, los valores fueron más elevados en la temporada de estío (353.95 $\mu\text{S}/\text{cm}$) en comparación con la temporada de avenida (261.17 $\mu\text{S}/\text{cm}$), lo que sugiere una mayor concentración de sales y minerales disueltos debido a la evaporación del agua. De manera similar, el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) mostró un incremento en estío (0.391) respecto a avenida (0.266), reflejando una menor renovación del agua.

El análisis del oxígeno disuelto evidenció que los valores fueron más altos en la temporada de avenida (4.35 mg/l) y disminuyeron en la temporada de estío (3.19 mg/l), lo que sugiere un menor nivel de oxigenación durante los meses secos. Además, la prueba estadística de Tukey confirmó que estas diferencias fueron estadísticamente significativas en varios de los parámetros analizados.

En general, la calidad del agua en la Laguna de Pacucha se mantiene dentro de los estándares ambientales en la mayoría de los casos. Sin embargo, la mayor presencia de coliformes fecales, el incremento de la conductividad eléctrica y la demanda bioquímica de oxígeno en ciertas áreas y temporadas evidencian la necesidad de un monitoreo continuo y estrategias de conservación para mitigar el impacto de fuentes externas de contaminación.

En cuanto al contraste de resultados de la investigación y los antecedentes mencionados tenemos en primer lugar, Urrutia y Herrera (2022) evaluaron la calidad del agua de dos lagunas en el humedal Laguna Santa Elena, Chile, mediante un estudio cuantitativo, descriptivo y prospectivo. Sus hallazgos revelaron diferencias significativas en la calidad del agua, evidenciando que una de las lagunas presentaba eutrofización con una mayor concentración de nutrientes y cianobacterias. Particularmente, la concentración de clorofila *a* alcanzó un 71 % en la laguna más contaminada, mientras que en la menos contaminada fue de apenas 0.2 %. A partir de estos resultados, los autores concluyeron que la calidad del agua varía de manera significativa, dependiendo de factores ambientales y antrópicos. De manera similar, en la Laguna de Pacucha se ha identificado una variabilidad en la calidad del agua según su ubicación y las condiciones ambientales, observándose valores de saturación de oxígeno entre 0.94 y 0.98, con una media de 0.968 en la temporada de estío. Estos resultados coinciden con los de Urrutia y Herrera, ya que en su estudio se registraron niveles críticos de oxígeno disuelto (<2 mg/L) en la laguna más afectada. Ambos

estudios resaltan la influencia de factores ambientales y actividades humanas en la calidad del agua, subrayando la importancia del monitoreo continuo.

Por otro lado, Pinzón (2021) evaluó la calidad del agua en el río Gachaneca y sus efectos antrópicos, empleando una metodología cuantitativa y aplicada. Sus resultados evidenciaron una variabilidad en la calidad del agua, con un Índice de Calidad del Agua (ICA) que fluctuó entre 0.80 y 0.30, dependiendo de la ubicación. El autor concluyó que las actividades económicas, como la minería y la agricultura, contribuyen significativamente a la contaminación del agua. En comparación con la investigación, se observa una tendencia similar, ya que los valores de contaminación en la Laguna de Pacucha también varían según la ubicación. En particular, el índice de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) osciló entre 0.098 y 0.523 mg/L, registrándose los valores más elevados en la orilla, lo que coincide con la identificación de zonas de mayor impacto antrópico en el estudio de Pinzón. No obstante, en el río Gachaneca, la variabilidad en la calidad del agua fue más pronunciada que en la Laguna de Pacucha.

Asimismo, Gómez et al. (2020) analizaron la acumulación de nutrientes en la laguna Fúquene a través de un enfoque cuantitativo, prospectivo y transversal. Sus hallazgos indicaron la presencia de hipoxia en varias zonas, así como una alta conductividad eléctrica (entre 100 y 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y niveles variables de fosfatos (hasta 2.2 mg/L) y nitratos (<0.1 mg/L). Los autores concluyeron que la acumulación de nutrientes afecta la calidad del agua y favorece procesos de eutrofización. En relación con la investigación, se identificó la acumulación de materia orgánica y variaciones en la conductividad eléctrica en la Laguna de Pacucha, cuyos valores oscilaron entre 249.53 y 403.18 $\mu\text{S}/\text{cm}$, similares a los obtenidos en el estudio de Gómez et al. Sin embargo, a diferencia de la laguna Fúquene, en la Laguna de Pacucha no se detectó hipoxia extrema, sino variaciones estacionales en la concentración de oxígeno disuelto, que fluctuó entre 2.63 y 5.49 mg/L.

Además, Montero y Ramírez (2018) estudiaron la variabilidad de los índices de contaminación en el río Guayuriba, aplicando una metodología cuantitativa y retrospectiva. Los resultados indicaron un incremento en los índices de contaminación, que pasaron del 14.4 % al 114.34 % entre 2010 y 2018. Los autores concluyeron que este aumento estuvo vinculado a descargas directas de aguas residuales y el uso de agroquímicos. En la investigación, se identificó una tendencia similar en la Laguna de Pacucha, donde los valores de oxígeno disuelto fueron menores en la orilla, al igual que en el río Guayuriba, donde las zonas con descargas directas presentaron una menor calidad del agua.

Finalmente, Yumbo et al. (2018) evaluaron la calidad del agua en el río Paján mediante bioindicadores, utilizando una metodología cuantitativa y no experimental. Sus resultados mostraron que los índices BMWP fluctuaron entre 48.3 y 59, lo que indica una calidad de agua de regular a mala. A partir de estos hallazgos, concluyeron que la contaminación en el río Paján es moderada a alta y está relacionada con actividades humanas. De manera similar, en la Laguna de Pacucha se encontraron valores elevados de coliformes fecales en la orilla, lo que concuerda con la identificación de las zonas más impactadas en el estudio de Yumbo et al.

En el ámbito nacional, diversos estudios han abordado la calidad del agua en ecosistemas acuáticos, permitiendo establecer comparaciones y referencias para la presente investigación.

En primer lugar, Chevarría del Pino (2023) evaluó la calidad del agua y el estado trófico de la laguna Huaypo, Cusco, a través de un enfoque cuantitativo basado en el análisis del Índice de Calidad de Agua (ICA) y el Estado Trófico de Carlson (TSI). Los resultados indicaron la presencia de oxígeno disuelto, coliformes termotolerantes, pH, DBO, nitratos, fosfatos y turbidez, determinando que el ICA reflejaba aguas aceptables en la mayoría de las estaciones, excepto en la estación 4, donde la calidad fue regular. El estudio concluyó que

es necesario un monitoreo continuo para prevenir la eutrofización. En relación con la Laguna de Pacucha, los valores de oxígeno disuelto oscilaron entre 2.63 y 5.49 mg/L, lo que refleja similitudes con la laguna Huaypo en ciertas estaciones. Ambas investigaciones enfatizan la importancia del monitoreo, aunque en la Laguna de Pacucha la variabilidad estacional desempeñó un papel determinante en la calidad del agua, mientras que en Huaypo, las diferencias estuvieron influenciadas por la localización de las estaciones de muestreo.

Por otro lado, Huamán S. (2020) analizó la calidad del agua en la laguna Marvilla, ubicada en los Pantanos de Villa, Lima. Su investigación, de enfoque cuantitativo, comparó los resultados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y calculó el ICA-PE. Los hallazgos revelaron que cinco parámetros no cumplieron con los estándares del ECA, obteniéndose un ICA-PE de 46.3, lo que indica una calidad regular del agua. El autor concluyó que la laguna Marvilla se encuentra ocasionalmente amenazada por la contaminación. Comparativamente, en la Laguna de Pacucha, el índice de DBO osciló entre 0.098 y 0.523 mg/L, lo que sugiere un menor impacto orgánico en relación con la laguna Marvilla. Ambas investigaciones coinciden en la necesidad de establecer planes de gestión ambiental para mitigar la contaminación.

Asimismo, Celi (2021) evaluó el impacto de las actividades antrópicas en la calidad del agua del manantial El Buitre mediante un estudio cuantitativo basado en el análisis del ICA e IRCA en 27 muestras de agua. Se identificó que, durante el verano, los puntos 3 y 5 presentaron una calidad media con valores de 0.64 y 0.51, respectivamente, mientras que en invierno el IRCA evidenció un alto riesgo de contaminación. Los resultados permitieron concluir que el impacto antrópico es significativo, especialmente en la temporada de verano. En comparación, en la Laguna de Pacucha se detectaron valores elevados de coliformes fecales en la orilla, una tendencia similar a la observada en el manantial El Buitre. Sin

embargo, los valores del ICA en Pacucha se mantuvieron más estables, lo que sugiere un menor riesgo de contaminación generalizada.

Por su parte, Calla (2019) llevó a cabo un estudio sobre la calidad del agua del río Mashcón y su relación con las actividades antrópicas, empleando un enfoque cuantitativo basado en la evaluación del índice PRATI y BMWP. Los resultados mostraron que el 82.5 % de los puntos de muestreo reflejaron una calidad de agua excelente. El estudio identificó la presencia de 11 actividades antrópicas que afectan la calidad del agua del río. En relación con la Laguna de Pacucha, la conductividad eléctrica varió entre 249.53 y 403.18 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valores comparables a los reportados en el río Mashcón. No obstante, la Laguna de Pacucha mostró una menor afectación por actividades antrópicas en comparación con el río Mashcón.

Finalmente, Roque (2017) analizó el impacto de las actividades antrópicas en el río Timarini, Satipo, mediante un estudio cuantitativo que incluyó análisis fisicoquímicos y biológicos. Los resultados revelaron altos niveles de aluminio (2.25 mg/L) y una DQO de 416 mg/L, además de parámetros biológicos que superaban los límites permisibles. La investigación concluyó que el río Timarini presenta un impacto ambiental negativo debido a la contaminación antrópica. En comparación, en la Laguna de Pacucha, el oxígeno disuelto varió entre 2.63 y 5.49 mg/L, mientras que en el río Timarini estos valores fueron inferiores, lo que evidencia una mayor degradación en el río. Ambos estudios destacan la urgencia de implementar estrategias de mitigación para reducir los impactos antrópicos.

VI. Conclusiones

El análisis de la calidad del agua de la laguna Pacucha mostró que las actividades antrópicas, especialmente las agrícolas, acuícolas, pecuarias y domésticas, han contribuido significativamente a la contaminación del ecosistema acuático. Se identificó un mayor impacto en la orilla de la laguna, con niveles elevados de materia orgánica y coliformes fecales, lo que sugiere la influencia de residuos provenientes de actividades humanas y animales. Además, la estacionalidad afectó los parámetros de calidad del agua, con mayores niveles de contaminación durante la temporada de avenida debido al arrastre de residuos

- ✓ Se observó que la concentración de materia orgánica (ICOMO) varió según la ubicación y la temporada. Durante la temporada de estío, el índice de contaminación por materia orgánica alcanzó un valor promedio de 0.391, mientras que en la temporada de avenida se redujo a 0.266. La mayor acumulación se registró en la orilla, con un promedio de 0.396, lo que indica una menor dilución y mayor impacto de residuos orgánicos provenientes de actividades humana.
- ✓ El análisis microbiológico evidenció que la contaminación por coliformes fecales fue mayor en la orilla de la laguna, con un promedio de 0.535 durante la temporada de avenida y 0.095 en estío. Esto sugiere que el arrastre de residuos y la menor capacidad de dilución en la orilla son factores determinantes en la presencia de contaminación microbiológica.
- ✓ El índice de contaminación del pH (ICOpH) presentó variaciones significativas según la temporada y la localización. Durante la temporada de avenida, el promedio general fue de 0.118, mientras que en estío disminuyó a 0.019. La mayor concentración de pH se registró en la dentro, lo que sugiere un impacto de actividades humanas y el ingreso de materiales alcalinos en estas zonas.

- ✓ El índice de contaminación trófica (ICOTRO) mostró una mayor acumulación en la orilla de la laguna, con un promedio de 0.081, en comparación con el interior, donde se registró 0.020. Durante la temporada de avenida, el índice alcanzó 0.051, mientras que en estío descendió a 0.038. Esto indica que la mayor carga de nutrientes se transporta hacia la laguna durante las lluvias, aumentando la contaminación trófica.
- ✓ La concentración de sólidos suspendidos presentó fluctuaciones estacionales, con mayores niveles en la temporada de avenida debido al arrastre de sedimentos. Además, la orilla de la laguna mostró una mayor acumulación de partículas en suspensión, lo que sugiere una menor capacidad de dispersión del agua en estas zonas. La subárea sur occidental presentó los valores más elevados de sólidos suspendidos.
- ✓ Se identificó una correlación positiva entre la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), el fósforo y el nitrógeno total, lo que indica un alto impacto de contaminación orgánica en la laguna. Además, la orilla presentó niveles elevados de conductividad, amoníaco y nitratos, sugiriendo la influencia de actividades agrícolas y ganaderas en la composición química del agua.
- ✓ La concentración de coliformes termotolerantes en la laguna mostró variaciones según la ubicación, siendo más elevada en la subárea central con un promedio de 486.34 NMP. Aunque los valores registrados estuvieron por debajo del estándar ambiental ($ECA \leq 1000$ NMP), la presencia sostenida de coliformes indica fuentes constantes de contaminación fecal, posiblemente vinculadas al vertido de aguas residuales y la actividad pecuaria.

VII. Recomendaciones

Se recomienda un plan de gestión integral y sostenible para mitigar el impacto de las actividades humanas en la laguna Pacucha. Este debe incluir el control de la contaminación agrícola, ganadera y urbana mediante la regulación de agroquímicos y la mejora en la gestión de residuos.

- ✓ Se recomienda la implementación de agricultura de precisión apoyada en tecnologías digitales, que permita optimizar el uso de insumos agrícolas mediante sensores inteligentes, drones y sistemas de monitoreo remoto.
- ✓ Es fundamental fortalecer los sistemas de tratamiento de aguas residuales, tanto urbanas como rurales, mediante la construcción de plantas de tratamiento y el manejo adecuado de residuos agrícolas. Además, se recomienda sensibilizar a la comunidad sobre la correcta disposición de desechos para evitar la contaminación microbiológica del agua.
- ✓ Se enfatiza la necesidad de programas de reforestación y conservación de suelos, incluyendo la protección forestal de las cuencas hidrográficas y la implementación de técnicas agrícolas como la agricultura en terrazas y cultivos de cobertura. Estas acciones ayudarán a reducir la carga de sedimentos en la laguna y mejorar la calidad del agua.
- ✓ Asimismo, se propone establecer normativas para regular el uso de fertilizantes en las áreas cercanas a la laguna, promoviendo la adopción de alternativas naturales como el compost. Finalmente, se recomienda el monitoreo constante de los niveles de nutrientes y pH para detectar y corregir alteraciones tempranamente, garantizando la preservación de la biodiversidad y el equilibrio ecológico del ecosistema acuático.

VIII. Referencias

- Ansari, Z. y Matondkar, S. 2014.** *Anthropogenic Activities Including Pollution and Contamination of Coastal Marine Environment*. 1-2, 2014, Journal of Ecophysiology and Occupational Health., Vol. 14, págs. 71-78. ISSN: 0974-0805. Available from: <https://doi.org/10.18311/jeoh/2014/1674>
- Arias, J. y Covinos, M. 2021.** *Diseño y metodología de la investigación*. Arequipa : Enfoques Consulting E.I.R.L., 2021. ISBN: 978-612-48444-2-3.
- Arias, J.y otros. 2022.** *Metodología de la investigación; El método Arias para realizar un proyecto de tesis*. Puno : Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C., 2022. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.016>
- Arispe, M., y otros. 2020.** *La investigación científica. Una aproximación para los estudios de posgrado*. Ecuador : Universidad Internacional del Ecuador, 2020. ISBN: 978-9942-38-578-9. <https://docer.com.ar/doc/1ee1551>
- Autoridad Nacional del Agua. 2018.** *Lineamientos para la identificación y seguimiento de fuentes contaminantes relacionadas con los recursos hídricos*. Lima : Ministerio de agricultura y riego., 2018. Available from: <https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/R.J.%20136-2018-ANA.pdf>
- Autoridad Nacional del Agua. 2009.** *Metodología para la determinación del índice de calidad de agua de los recursos hídricos superficiales en el Perú (Ica-Pe)*. Ministerio de Agricultura y Riego. Lima : ANA, 2009.
- Autoridad Nacional del Agua. 2016.** *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. Lima : Ministerio de agricultura y riego, 2016. Resolución jefatural n°010-2016-ANA. Available from: https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/protocolo_nacional_para_el_monitoreo_de_la_calidad_de_los_recursos_hidricos_superficiales.pdf
- Barreto, P. 2010.** *Protocolo de monitoreo de agua*. s.l. : Universidad Nacional Santiago Antinez de Mayolo, 2010. Available from: https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/protocols/Protocolo_Agua.pdf
- Bogan, E., Stan, D. y Vǎrvǎruc. 2014.** *The impact of anthropogenic activities on components of the natural environment of the Titu Plain*. 1, 2014, Georeview, Vol. 24,

- págs. 54-64. Available from: <http://georeview.ro/ojs/index.php/revista/article/view/170>
- Bolaños, J., Cordero G. y Segura Araya, G. 2017.** *Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica)*. 4, octubre-diciembre de 2017, Tecnología en marcha, Vol. 30, págs. 15-27. Available from: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v30n4/0379-3982-tem-30-04-15.pdf>
- Buschman, A. 2001.** *Impacto ambiental de la acuicultura. El estado de la investigación en Chile y el mundo*. Santiago: Universidad de Los Lagos, 2001. <https://cetmar.org/documentacion/dyp/ImpactoChileacuicultura.pdf>
- Calla, J. 2019.** *Actividades Antrópicas y calidad del agua en la cuenca del río Mashcón*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, 2019. Available from: <http://hdl.handle.net/20.500.14074/3319>
- Carrillo, R., Noriega, F. y Sanchez, R. 2008.** *Amonio e hiperamonemia. Su significado clínico*. 3, julio-septiembre de 2008. Revista de Investigación Médica Sur, Vol. 15, págs. 209-213. Available from: <https://www.medigraphic.com/pdfs/medsur/ms-2008/ms083f.pdf>
- Cava, T. y Ramos, F. del R. 2016.** *Caracterización físico-química y microbiológica de agua para consumo humano de la localidad Las Juntas del distrito Pacora-Lambayeque, y propuesta de tratamiento*". Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2016. Available from: <https://hdl.handle.net/20.500.12893/850>
- Celi, M. 2021.** *Impacto de las actividades antrópicas sobre la calidad del agua del manantial El Buitre, Chirinos, distrito de Suyo, Ayabaca, 2020*. Piura: Universidad Católica Sede Sapientiae, 2021. <https://hdl.handle.net/20.500.14095/1191>
- Congreso de la República. 2001.** Ley de promoción y desarrollo de la acuicultura. *Ley n° 27460*. Lima, Perú: s.n., 2001.
- Congreso de la República. 2017.** Ley que declara de interés nacional la recuperación, conservación, protección y promoción de la laguna Pacucha de Aprímac. Lima, Perú: s.n., abril de 2017. https://leyes.congreso.gob.pe/Documentos/2016_2021/Dictámenes/Proyectos_de_Ley/02889DC05MAY20180724.pdf
- Conejeros, M., Alvaro, y otros. 2021.** *Monitoreo de calidad del agua en sistema de agua potable rural*. 3, 11 de diciembre de 2021, Ingeniería electrónica, automática y

comunicaciones., Vol. 42. Available from: <http://scielo.sld.cu/pdf/eac/v42n3/1815-5928-eac-42-03-60.pdf>

- Custodio V., M., Chanamé, F. y Bulege G., W. 2017.** *Evaluación de la calidad del agua del río Cunas mediante índices físicoquímicos y biológicos, Junín Perú.* 2017, Prospectiva Universitaria, págs. 17-24. Available from: <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4686/Art.%20Cient.%202003.pdf?sequence=1>
- Custodio, M. y Pantoja, R.. 2012.** *Impactos antropogénicos en la calidad del agua del río Cunas.* 2, 2012, Apuntes de Ciencia y Sociedad, Vol. 2. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5043042>
- Chapman, . V. 1996.** *Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and water in environmental monitoring - second edition.* Organización Mundial de la Salud, UNESCO, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. s.l. : E & FN Espon, 1996. ISN: 0419216006. Available from: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/41850/0419216006_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Choque , D., y otros. 2021.** *Índice de calidad de agua en la microcuenca altoandina del río Chumbao, Andahuaylas, Apurímac, Perú.* 1, enero-febrero de 2021, Tecnología y Ciencias del Agua, Vol. 12. Available from: <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-01-02>
- Elordi, M. L., Colman Lerner, J. E. y Porta, A.** *Evaluación del impacto antrópico sobre la calidad del agua del arroyo Las Piedras, Quilmes, Buenos Aires, Argentina.* 2016. 4, 2016, Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana, Vol. 50, págs. 669-677. ISSN: 0325-2957.
- Eróstegui, C. P. 2009.** *Contaminación por metales pesados.* 1, Cochabamba : s.n., 2009, Revista científica Ciencia Médica, Vol. 12. Available from: <https://www.redalyc.org/pdf/4260/426041218013.pdf>
- FAO. 2018.** www.fao.org. [En línea] 20 de junio de 2018. <https://www.fao.org/news/story/es/item/1141818/icode/>.
- Fajardo, Dorys. 2005.** *Calidad del agua en el sur de Ahuachapán, El Salvador, C.A.* San Salvador : Municipio de Tacuba, 2005. Available from: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2006-094.pdf>
- Fernandez, D. y Vasquez, Y. 2006.** *Origen de los nitratos (NO₃) y nitritos (NO₂) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas.* 3, julio-septiembre de 2006,

- Minería y Geología, Vol. 22, págs. 1-9. Available from: <https://www.redalyc.org/pdf/2235/223517652002.pdf>
- García, C. 2013.** *Parámetros fisicoquímicos del agua*. noviembre de 2013, PV ALBEITAR. Available from: https://www.adiveter.com/ftp_public/A3081113.pdf
- Gonzales, G., y otros. 2014.** *Contaminación ambiental, variabilidad climática y cambio climático: una revisión del impacto en la salud de la población peruana*. 3, julio-septiembre de 2014, Revista peruana de medicina experimental y salud pública, Vol. 31. Available from: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v31n3/a21v31n3.pdf>
- Gómez, D., y otros. 2020.** *Análisis de perfiles espacio temporales de parámetros físico-químicos de la calidad del agua en la laguna de Fúquene, Cundinamarca*. 2, octubre-diciembre de 2020, Ingenio Magno, Vol. 11. ISSN: 2145-9282. Available from: <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/2177/1855>
- Glyn, J. y Heinke, G. 1999.** *Ingeniería Ambiental*. s.l. : Prentice Hall, 1999. Available from: https://biblioasesorbogota.files.wordpress.com/2013/04/ingenieria-ambiental_glynn.pdf
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. 2014.** *Metodología de la investigación*. México D.F. : McGraw Hill Education, 2014. ISBN: 978-1-4562-2396-0. https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf
- Johnson, S., Vermilion, D., Sagardoy, J. 1995.** *Irrigation management transfer: selected papers from the International Conference on Irrigation Management Transfer, Wuhan, China, 20-24 September 1994*. Roma : Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 1995. Available from: <https://hdl.handle.net/10568/38850>
- Johnston, C. A., Detenbeck, N. E. y Niemi, G. J. 1990.** *The cumulative effect of wetlands on stream water quality and quantity. A landscape approach*. 1990, Biogeochemistry, págs. 105-141. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00002226>
- Luzardo, O.P., y otros. 2014.** *Impacto de las instalaciones ganaderas sobre la calidad y seguridad del agua subterránea*. 1, enero-junio de 2014, Revista de Toxicología, Vol. 31, págs. 39-46. ISSN: 0212-7113. Available from: <https://www.redalyc.org/pdf/919/91932798005.pdf>
- Ministerio de Salud. 2010.** *Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano*. Lima : Dirección General de Salud Ambiental, 2010. Available from:

http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf

Ministerio del Ambiente. 2016. *Aprende a prevenir los efectos del mercurio*. Lima : MSC Consultores educativos S.A.C., 2016. Informe técnico.

Ministerio del Ambiente. 2019. www.gob.pe. [En línea] 9 de octubre de 2019. <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/308391-estandar-de-calidad-ambiental>.

Ministerio del Medio Ambiente. 2004. *Water in Spain*. s.l. : Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica del Ministerio del Medio Ambiente., 2004. ISBN: 84-8320-219-0.

Montes, C. R. 2014. 1, Bogotá : s.n., enero-junio de 2014, Vol. 5. ISSN 2145-6097. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5344970>

Montero Murcia, Valentina y Ramírez Daniel, Yazzieli. 2018. *Análisis de la variabilidad en la calidad del agua, a partir del uso de índices de contaminación (ICO's) como aporte al pomca de la cuenca del río Guayuriba*. Villavicencia : Universidad Santo Tomas, 2018. Available from: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/aprende-prevenir-efectos-mercurio-modulo-2-residuos-areas-verdes#:~:text=El%20objetivo%20de%20este%20m%C3%B3dulo,e%20informal%2C%20lo%20que%20provoca>

Orta Arrazcaeta, Lissette. 2002. *Contaminación de las aguas por plaguicidas químicos*. 3, 2002, Fitosanidad, Vol. 6, págs. 55-62. ISSN: 1562-3009. Available from: <https://www.redalyc.org/pdf/2091/209118292006.pdf>

Organismo de Evaluación y Fiscalización ambiental. 2014. *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. Lima : OEFA, 2014. Available from: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827#:~:text=El%20OEFA%20ejerce%20funciones%20de,acuicultura%20de%20mayor%20escala%2C%20as%C3%AD

Organismo Internacional de Energía Atómica. 2021. www.iaea.org. [En línea] 2021. <https://www.iaea.org/es/temas/contaminacion-del-mar-y-las-costas>.

Organización de las Naciones Unidas. 2021. www.un.org. [En línea] 2021. <https://www.un.org/es/global-issues/water>.

Organización Mundial de la Salud. 2018. www.who.int. [En línea] 2018. <http://www.who.int/topics/water/es/>.

Organización Mundial de la Salud. 2022. www.who.int. [En línea] 21 de marzo de 2022. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>.

- Ovando, S. Mario. 2013.** *La acuicultura y sus efectos en el medio ambiente.* 3, 2013, Espacio I+D Innovación más Desarrollo, Vol. 2, págs. 61-80. Available from: <https://doi.org/10.31644/IMASD.3.2013.a04>
- Peña N.** diseños de investigación en psicología [Internet]. Available from: https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/20322/1/Dise%C3%B1o_de_investigaciones.pdf
- Pérez, R. 2008.** *El lado oscuro de la ganadería.* 154, julio-septiembre de 2008, Problemas del desarrollo, Vol. 39. Available from: <https://www.scielo.org.mx/pdf/prode/v39n154/v39n154a11.pdf>
- Pinzón R., A. L. 2021.** *Evaluación de los efectos antrópicos en los parámetros de calidad del agua del valle de Samaca, Boyacá.* Boyacá : Universidad Santo Tomás, 2021. <http://hdl.handle.net/11634/37869>
- Roldán, O. A. 2021.** *Impacto de las actividades antrópicas en las áreas naturales protegidas.* 2, septiembre-diciembre de 2021, Revista Científica de Biología y Conservación, Vol. 1, págs. 18-32. ISSN: 2810-8019. Available from: <https://orcid.org/0000-0001-5251-8379>
- Ramírez, Restrepo, R. y Cardeñosa, M. 1999.** *Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. Formulaciones.* 5, 1999, Ciencia, Tecnología y Futuro, Vol. 1, págs. 89-99. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5563670>
- Restrepo, Ivan R. 2015.** *Evaluación de la calidad del recurso hídrico del río Cabi a través de la formulación de un índice de contaminación asociado a la actividad minera aurífera.* Manizales : Universidad de Manizales, 2015. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/2438>
- Roque Aguilar, Suling M. 2017.** *Impactos de actividades antrópicas en el recurso agua en la microcuenca del río Timarini-Satipo.* Satipo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2017. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/3996>
- Sabaj Meruane, O. y Landea Balin, D. 2012.** *Descripción de las formas de justificación de los objetivos en artículos de investigación en español de seis áreas científicas.* 25, 2012, ONOMÁZEIN, págs. 315-344. ISSN: 0717-1285. Available from: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=134524361015>
- Sardinas Peña, O. y Pérez Cabrera, A. 2004.** *Determinación de nitrógeno amoniacal y total en aguas de consumo y residuales por el método del fenato.* 2, mayo-agosto de 2004, Revista cubana de higiene y epidemiología, Vol. 42.

- La silvicultura como elemento crítico para la sostenibilidad y el manejo del bosque.*
Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032004000200002
- Samboni R, N. E., Carbajal E., Y. y Escobar, J. C. 2007.** *Revisión de parámetros físicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua.* 3, 2007, Ingeniería e investigación, Vol. 27, págs. 172-181. Available from: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64327320>
- Scarlet, J. 2017.** *Problemas que afectan la calidad y cantidad del agua.* Colombia : s.n., 2017.
[https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/3319/ACTIVIDADES S%20ANTR%C3%93PICAS%20Y%20CALIDAD%20DEL%20AGUA%20EN%20LA%20CUENCA%20DEL%20R%C3%8DO%20MASHC%C3%93N.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/3319/ACTIVIDADES%20ANTR%C3%93PICAS%20Y%20CALIDAD%20DEL%20AGUA%20EN%20LA%20CUENCA%20DEL%20R%C3%8DO%20MASHC%C3%93N.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. 2004.** *La calidad del agua potable en el Perú.* Lima : Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, 2004. Informe técnico. ISBN: 9972-2511-0-1. <https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2020/09/Jica-2004.pdf>
- Teixeira Correia, G., y otros. 2013.** *Remoción de fósforo de diferentes aguas residuales en reactores aeróbios de lecho fluidizado trifásico con circulación interna.* 67, abril-junio de 2013, Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, págs. 172-182. ISSN: 0120-6230. Available from: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43029146015>
- Urrutia Pérez, R. y Herrera Espinoza, A. A. 2022.** *Evaluación de la calidad de agua de dos cuerpos lacustres con distintos usos de suelo en la región de Nuble.* Cencepción : Universidad de Cencepción, 2022.
<http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/9979>
- Vargas Gonzales, H. H., y otros. 2017.** *Calidad de sedimentos asociados a actividades antrópicas en lagunas costeras semiáridas subtropicales de la costa central este del golfo de California.* 2017, Revista Internacional de Contaminación Ambiental, págs. 7-22. Available from: <https://www.revistascca.unam.mx/rca/index.php/rca/article/view/RICA.2017.33.es.p02.01>

Vinatea Tizón, Raul J. 2021. *Calidad del agua del río Nanay, como consecuencia de las actividades antrópicas en el puerto Bellavista, Loreto, 2021.* Loreto : Universidad Cesar Vallejo, 2021. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/66741>

Yumbo, K., y otros. 2018. *Determinación de la calidad de aguas mediante indicadores biológicos y físico-químicos en el río Paján, Manabí, Ecuador.* 10, marzo de 2018, INVESTIGATIO, págs. 32-40. ISSN: 1390 - 6399. Available from: <https://doi.org/10.31095/investigatio.2018.10.4>

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes