

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER
EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA Y EL
SEDIMENTO DE UNA LAGUNA DE USO
RECREACIONAL EN LA SELVA ALTA DEL NOR
ORIENTE PERUANO**

Autor: Bach. Wilinton Antonio Reyna Chuquizuta

Asesor: M. Sc. Jesús Rascón Barrios

Registro: (...)

CHACHAPOYAS – PERÚ

2024

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM



ANEXO 3-H

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM

1. Datos de autor 1

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): Reyna Chuguzota Wilinton Antonio
DNI N°: 76155790
Correo electrónico: 7615579032@untrm.edu.pe
Facultad: Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental
Escuela Profesional: Ingeniería Ambiental

Datos de autor 2

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): _____
DNI N°: _____
Correo electrónico: _____
Facultad: _____
Escuela Profesional: _____

2. Título de la tesis para obtener el Título Profesional

Evaluación de la calidad del agua y el sedimento de una laguna de uso recreacional en la selva alta del nor oriente peruano.

3. Datos de asesor 1

Apellidos y nombres: M.Sc. Jesús Pasión Barrias
DNI, Pasaporte, C.E N°: 001483263
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) https://orcid.org/0000-0002-9305-7203

Datos de asesor 2

Apellidos y nombres: _____
DNI, Pasaporte, C.E N°: _____
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) _____

4. Campo del conocimiento según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos- OCDE (ejemplo: Ciencias médicas, Ciencias de la Salud-Medicina básica-Inmunología)

https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html
L.05.00-Ciencias de la Tierra, ciencias ambientales; 1.05.08-Ciencias del medio ambiente

5. Originalidad del Trabajo

Con la presentación de esta ficha, el(la) autor(a) o autores(as) señalan expresamente que la obra es original, ya que sus contenidos son producto de su directa contribución intelectual. Se reconoce también que todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal.

6. Autorización de publicación

El(los) titular(es) de los derechos de autor otorga a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), la autorización para la publicación del documento indicado en el punto 2, bajo la *Licencia creative commons* de tipo BY-NC: Licencia que permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial por lo que la Universidad deberá publicar la obra poniéndola en acceso libre en el repositorio institucional de la UNTRM y a su vez en el Registro Nacional de Trabajos de Investigación-RENATI, dejando constancia que el archivo digital que se está entregando, contiene la versión final del documento sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador.

Chachapoyas, 12, Abril, 2024

Firma del autor 1

Firma del autor 2

Firma del Asesor 1

Firma del Asesor 2

DEDICATORIA

A mis padres:

Amado Antonio Reyna Chávez y Eudocia Chuquizuta Chappa; por el apoyo constante, por haberme inculcado los valores, principios y enseñanzas que fueron y vienen siendo el soporte fundamental durante todo el proceso de formación universitaria y el buen desarrollo profesional, así como personal.

A mis hermanos:

Por el apoyo incondicional, por estar siempre a mi lado en cada momento, por haber compartido conmigo cada logro y tantas alegrías durante este largo camino, por haber estado brindándome aliento y fuerza de seguir adelante en cada derrota. Por compartirme sus sabidurías en los momentos difíciles, que me ayudaron a fortalecer mis conocimientos y estado emocional para obtener este importante logro.

AGRADECIMIENTO

Al divino creador; por haberme concebido la vida y sabiduría, que me permitieron llegar hasta esta etapa de formación profesional y desarrollo personal tan importante; por derramar sus bendiciones en todo momento e iluminar mi camino en cada faceta de mi vida, que fueron el sostén para superar las dificultades y así obtener el éxito.

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental (FICIAM); por los años de formación académica y brindarme los conocimientos aptos e indispensables para el desarrollo profesional.

Al Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas (LABISAG), dependiente del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES – CES), de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM); por permitirme realizar los análisis de las muestras pertinentes al Agua y el Sedimento, lo cual me permitió alcanzar los objetivos de la Tesis.

A mi asesor de tesis M. Sc. Jesús Rascón Barrios; por brindarme la orientación constante en todas las etapas de esta investigación, por su apoyo tanto en la formulación del proyecto como en la ejecución de esta tesis mediante sus experiencias y conocimientos como investigador y por la exigencia permanente para el buen desarrollo de la investigación.

A la Ing. Lily del Pilar Juarez Contreras; por el apoyo incondicional y desinteresado en la formulación del tema de Tesis, por la orientación brindada en el desarrollo de la ejecución de los análisis de laboratorio y por compartirme sus conocimientos que fueron fundamentales para el desarrollo de la investigación.

A mis familiares y amigos quienes estuvieron y están conmigo bríndame su apoyo de aliento en todas las etapas de mi formación profesional y vienen siendo muy importantes en mi vida cotidiana.

Un sincero y afectuoso agradecimiento a la persona que estuvo conmigo en los momentos de estrés y alegrías durante este largo y retador camino; su apoyo, confianza, soporte y amor han sido invaluable. Sobre todo, por ser mi fortaleza y ánimo de una u otra manera, como lo es mi novia Milagritos Roncal Izquierdo.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

Ph.D. Jorge Luis Maicelo Quintana
Rector

Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres
Vicerrector Académico

Dra. María Nelly Luján Espinoza
Vicerrectora de Investigación

Ph.D. Ricardo Edmundo Campos Ramos
Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL




ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

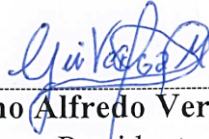
El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA Y EL SEDIMENTO DE UNA LAGUNA DE USO RECREACIONAL EN LA SELVA ALTA DEL NOR ORIENTE PERUANO; del egresado WILINTON ANTONIO REYNA CHUQUIZUTA de la Facultad de INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

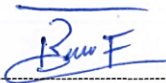
Chachapoyas, 23 de febrero de 2024


Firma y nombre completo del Asesor
Jesús RASCOÑ BARRIOS

JURADO EVALUADOR DE LA TESIS



M.Sc. Gino Alfredo Vergara Medina
Presidente



M.Sc. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje
Secretario



Mg. Juan Alberto Romero Moncada
Vocal

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL



ANEXO 3-Q

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA Y EL SEDIMENTO DE UNA LAGUNA DE USO RECREACIONAL EN LA SELVA ALTA DEL NOR ORIENTE PERUANO

presentada por el estudiante ()egresado (X) WILINTON ANTONIO REINA CHUBUZZUTA

de la Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL

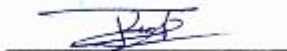
con correo electrónico institucional antoniorech09@gmail.com

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- a) La citada Tesis tiene 22 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (X) / igual () al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- b) La citada Tesis tiene _____ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.



Chachapoyas, 14 de Marzo del 2024


SECRETARIO


VOCAL


PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

.....
.....

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-5

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 03 de abril del año 2024 siendo las 16:00 horas, el aspirante: Reyna Chuquizota Wilinton Antonio, asesorado por M.Sc. Jesús Rascón Barrios defiende en sesión pública presencial () / a distancia () la Tesis titulada: Evaluación de la calidad del agua y el sedimento de una laguna de uso recreacional en la Selva alta del nor oriente Peruano, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: M.Sc. Gino Alfredo Vergara Medina
Secretario: M.Sc. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje
Vocal: M.Sc. Juan Alberto Romero Moncada

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado () por Unanimidad () / Mayoría () Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 17:15 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.


SECRETARIO


VOCAL


PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

.....

ÍNDICE GENERAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS	v
VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL	vi
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS	vii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL	viii
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS	ix
ÍNDICE GENERAL	x
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDECE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MATERIAL Y MÉTODOS	3
2.1. Área de estudio	3
2.2. Metodología empleada	5
2.2.1. Toma y preparación de muestras	5
2.2.2. Análisis de laboratorio	6
2.2.3. Cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA-PE)	7
2.2.4. Análisis de datos	9
III. RESULTADOS	11
3.1. Concentración de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de materia orgánica del agua	11
3.2. Concentración de metales en el agua y sedimento	13
3.3. Condición o estado de la calidad del agua de la laguna Tabla Rumi	15
3.3.1. Caso 01: ICA-PE de todos los monitoreos (época seca y húmeda)	15
3.3.2. Caso 02: ICA-PE del monitoreo en Época Seca	16
3.3.3. Caso 03: ICA-PE del monitoreo en Época Húmeda	16
3.4. Mapas de la zona evaluada	17
3.4.1. Mapa del ICA-PE – Época Seca (S)	18
3.4.2. Mapa del ICA-PE - Época Húmeda (H)	19

3.5. Comportamiento Espacio – Temporal de la calidad del agua.....	20
3.5.1. Comportamiento Espacial de la calidad del agua (puntos)	20
3.5.1. Comportamiento Temporal del ICA-PE (épocas).....	21
3.6. Comportamiento Espacio – Temporal de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, materia orgánica y de metales presentes en el agua	22
3.6.1. Análisis de componentes principales para épocas (Temporal) - Agua	23
3.6.2. Análisis de componentes principales para puntos (Espacial) - Agua	24
3.7. Comportamiento Espacio – Temporal de los parámetros de metales presentes en el sedimento	26
3.7.1. Análisis de componentes principales para épocas (Temporal) - Sedimento	26
3.7.2. Análisis de componentes principales para puntos (Espacial) – Sedimento.....	27
3.8. Comparación de parámetros con estándares nacionales e internacionales	29
3.8.1. Para la concentración de parámetros presentes en el agua.....	29
3.8.2. Para la concentración de elementos presentes en el sedimento.....	38
IV. DISCUSIÓN	41
4.1. Índice de calidad del agua (ICA-PE).....	41
4.2. Parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de materia orgánica presentes en el agua según el comportamiento espaciotemporal.....	42
4.3. Parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, materia orgánica y metales pesados presentes en el agua en puntos y épocas estacionales.....	44
4.4. Metales pesados presentes en el agua y sedimentos	45
4.5. Parámetros del agua y el sedimento en concordancia con los valores límite establecidos por las normas nacionales e internacionales para la calidad del agua.....	47
V. CONCLUSIONES.....	48
VI. RECOMENDACIONES.....	49
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo	5
Tabla 2. Interpretación de la calificación del ICA-PE.....	9
Tabla 3. Concentración media y desviación estándar de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de materia orgánica del agua de la laguna Tabla Rumi	11
Tabla 4. Concentración media y desviación estándar de metales en el agua y sedimento de la laguna Tabla Rumi	13
Tabla 5. Resultados ICA-PE – laguna Tabla Rumi	15
Tabla 6. Resultados ICA-PE laguna Tabla Rumi – Época Seca.....	16
Tabla 7. Resultados ICA-PE laguna Tabla Rumi – Época Húmeda.....	17
Tabla 8. Resultados del análisis de componentes principales de todos los parámetros del agua evaluados en la laguna Tabla Rumi.....	23
Tabla 9. Resultados del análisis de componentes principales de todos los parámetros del sedimento evaluados en la laguna Tabla Rumi.....	26
Tabla 10. Concentración de parámetros fisicoquímicos, microbiólogos y materia orgánica presentes en el agua con valores límite de los estándares nacionales ECAs - 2017.....	29
Tabla 11. Concentración de metales pesados presentes en el agua con valores límite de los estándares nacionales ECAs – 2017 y estándares internacionales CCME – 2007. ..	30
Tabla 12. Concentración de metales pesados en sedimentos y contraste con la norma canadiense de calidad de sedimentos para la protección de la vida acuática.....	38

ÍNDECE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.....	4
Figura 2. Mapa de puntos de monitoreo con resultados del ICA-PE de la laguna Tabla Rumi – Época Seca.	18
Figura 3. Mapa de puntos de monitoreo con resultados del ICA-PE de la laguna Tabla Rumi – Época Húmeda.	19
Figura 4. Comportamiento Espacial del ICA-PE de la laguna Tabla Rumi	21
Figura 5. Comportamiento Temporal del ICA-PE de la laguna Tabla Rumi	22
Figura 6. Análisis de componentes principales que describe el comportamiento de la concentración de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, materia orgánica y de metales en el agua por época estacional en la laguna Tabla Rumi.	24
Figura 7. Análisis de componentes principales que describe el comportamiento de la concentración de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, materia orgánica y de metales en el agua por puntos de muestreo de la laguna Tabla Rumi.	25
Figura 8. Análisis de componentes principales que describe el comportamiento de la concentración de parámetros de metales en el sedimento por época estacional en la laguna Tabla Rumi.	27
Figura 9. Análisis de componentes principales que describe el comportamiento de la concentración de parámetros de metales en el sedimento por puntos de muestreo de la laguna Tabla Rumi.	28
Figura 10. Comparación de la concentración Oxígeno Disuelto (OD) en el agua con los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua (ECAs 2017-CT1/SB1).....	31
Figura 11. Comparación de la concentración del potencial de hidrogeno (pH) en el agua con los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua (ECAs 2017-CT1/SB1)	31
Figura 12. Comparación de la concentración de la turbidez en el agua con los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua (ECAs 2017-CT1/SB1)	32
Figura 13. Comparación de la concentración de coliformes fecales (CF) en el agua con los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua (ECAs 2017-CT1/SB1) ...	32
Figura 14. Comparación de la concentración de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) en el agua con los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua (ECAs 2017-CT1/SB1).....	33
Figura 15. Comparación de la concentración de aluminio (Al) en el agua con los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua (ECAs 2017-CT1/SB1).....	33

Figura 16. Comparación de la concentración de arsénico (As) en el agua con los estándares nacionales ECAs 2017-CT1/SB1 y estándares internacionales CCME – 2007.	34
Figura 17. Comparación de la concentración de boro (B) en el agua con los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua (ECAs 2017-CT1/SB1)	34
Figura 18. Comparación de la concentración de cadmio (Cd) en el agua con los estándares nacionales ECAs 2017-CT1/SB1 y estándares internacionales CCME – 2007.	35
Figura 19. Comparación de la concentración de cobre (Cu) en el agua con los estándares nacionales ECAs 2017-CT1/SB1 y estándares internacionales CCME – 2007.	35
Figura 20. Comparación de la concentración de hierro (Fe) en el agua con los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua (ECAs 2017-CT1/SB1)	36
Figura 21. Comparación de la concentración de níquel (Ni) en el agua con los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua (ECAs 2017-CT1/SB1)	36
Figura 22. Comparación de la concentración de plomo (Pb) en el agua con los estándares nacionales ECAs 2017-CT1/SB1 y estándares internacionales CCME – 2007.	37
Figura 23. Comparación de la concentración de zinc (Zn) en el agua con los estándares nacionales ECAs 2017-CT1/SB1 y estándares internacionales CCME – 2007.	37
Figura 24. Comparación de la concentración de arsénico (As) en el sedimento con los estándares canadiense de la calidad de los sedimentos para la protección de la vida acuática (CEQG).....	39
Figura 25. Comparación de la concentración de cadmio (Cd) en el sedimento con los estándares canadiense de la calidad de los sedimentos para la protección de la vida acuática (CEQG).....	39
Figura 26. Comparación de la concentración de cobre (Cu) en el sedimento con los estándares canadiense de la calidad de los sedimentos para la protección de la vida acuática (CEQG).....	40
Figura 27. Comparación de la concentración de plomo (Pb) en el sedimento con los estándares canadiense de la calidad de los sedimentos para la protección de la vida acuática (CEQG).....	40

RESUMEN

Los cuerpos de agua como las lagunas desempeñan un papel fundamental para la humanidad, ya que son fuentes de agua que nos proporcionan una serie de servicios ecosistémicos. Por tal razón, el presente estudio tuvo como objetivo principal evaluar la calidad del agua y el sedimento de la laguna Tabla Rumi en función a su dinámica espaciotemporal. Los parámetros fueron estudiados durante los periodos seco y lluvioso en 4 estaciones de muestreo, en donde se analizaron las variables de pH, temperatura, turbidez, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, sólidos totales, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, alcalinidad, cloruros, dureza, sulfatos, demanda bioquímica de oxígeno y coliformes fecales; elementos como aluminio, arsénico, boro, cadmio, cobre, hierro, níquel, plomo y zinc. A nivel de sedimento se evaluaron elementos de arsénico, cadmio, cobre, hierro, níquel y plomo. La laguna evidenció que la calidad del agua empeora en la estación húmeda, mostrando una variación temporal mas no espacial, para los parámetros medidos en el agua; mientras que los parámetros evaluados en el sedimento no presentaron diferencias significativas entre épocas estacionales, pero si mostró una variación espacial. En concordancia con los estándares nacionales, se encontró contaminación por coliformes fecales, Al, As, Fe y Pb; así mismo, según los estándares internacionales, se evidenció una contaminación por As, Cd, Cu y Pb; los cuales indican un riesgo inminente para el desarrollo de actividades recreativas en la laguna. A la vez, la evaluación de los sedimentos no presentó ningún riesgo potencial.

Palabras clave: evaluar, calidad, parámetros, calificación, recreativas, potencial.

ABSTRACT

Water bodies such as lagoons play a fundamental role for humanity, since they are sources of water that provide us with a series of ecosystem services. For this reason, the main objective of this study was to evaluate the water and sediment quality of the Tabla Rumi lagoon according to its spatiotemporal dynamics. The parameters were studied during the dry and rainy periods in 4 sampling stations, where the variables of pH, temperature, turbidity, dissolved oxygen, electrical conductivity, total solids, total dissolved solids, total suspended solids, alkalinity, chlorides, hardness, sulfates, biochemical oxygen demand and fecal coliforms; elements such as aluminum, arsenic, boron, cadmium, copper, iron, nickel, lead and zinc, and elements such as aluminum, arsenic, boron, cadmium, copper, iron, nickel, lead and zinc were analyzed. At the sediment level, elements such as arsenic, cadmium, copper, iron, nickel and lead were evaluated. The lagoon showed that water quality worsens in the wet season, showing a temporal but not spatial variation for the parameters measured in the water, while the parameters evaluated in the sediment did not show significant differences between seasonal periods, but did show a spatial variation. In accordance with national standards, contamination by fecal coliforms, Al, As, Fe and Pb was found; likewise, according to international standards, there was contamination by As, Cd, Cu and Pb, which indicate an imminent risk for the development of recreational activities in the lagoon. At the same time, the sediment evaluation did not show any potential risk.

Keywords: evaluate, quality, parameters, rating, recreational, potential.

I. INTRODUCCIÓN

Los cuerpos de agua superficiales como lagunas y ríos son una fuente fundamental para el sostenimiento de la población; no obstante, la actividad humana viene alterando estos recursos naturales, ya que son uno de los ecosistemas más frágiles y vulnerables a la contaminación (Rondón et al., 2022; Dodds and Whiles, 2010). En las últimas décadas diversos cambios a escala global, como el consumo mundial de recursos hídricos aumentará 1,33 veces en 2025 en comparación con los 2070 km³/año de 1995 (Yan et al., 2019). Al mismo tiempo, las temperaturas se han incrementado constantemente a lo largo de los años y los patrones de lluvia y precipitación se han vuelto impredecibles. Los recursos hídricos disponibles se han ido limitando gradualmente con el desarrollo económico y el aumento de la población, mientras que el consumo y uso de los recursos hídricos aumenta continuamente (Li y Qian, 2018; Liu et al., 2019). Además, los recursos hídricos son propensos a la entrada excesiva de contaminantes tales como aguas residuales domésticas e industriales, procesos agrícolas, metales pesados entre otros (Santos et al., 2014).

El Perú contempla un total de 8355 lagunas que superan los 5000 m² y 3246 lagunas inferiores a los 5000 m² no inventariadas (Tapia et al., 2018). Estos cuerpos de agua son uno de los ecosistemas de gran interés para las sociedades humanas porque nos brindan una alta productividad biológica, además son el soporte de actividades económicas y socioculturales gracias al aporte de servicios ecosistémicos beneficiosos y fundamentales para la humanidad; como el progreso de las actividades de agricultura, acuicultura, transporte, turísticas y de recreación (Audouit et al., 2019; Chen H. et al., 2019). Actualmente su degradación ecológica viene afectando a las lagunas de todo el mundo a causa del acelerado desarrollo industrial y urbano principalmente, poniendo en riesgo la calidad y salud de estas fuentes de agua con la descarga de contaminantes que pueden ser emitidos directamente a los lagos o mediante escorrentías, procesos de lixiviación y las deposiciones atmosféricas (Audouit et al., 2019; Stange et al., 2019).

Las lagunas son uno de los ecosistemas de gran interés para las sociedades humanas porque estos ecosistemas nos brindan una alta productividad biológica, así mismo son el soporte de actividades económicas y socioculturales. Estos ecosistemas han sido estudiados por diversos autores, como es el caso de Gonzales et al., (2019) donde evaluaron la concentraciones de parámetros fisicoquímicos y su distribución espacial dentro de La Vega Escondida (Laguna Mexicana), en el que compararon criterios

ecológicos de su calidad acuática con la Norma Oficial Mexicana, en los que los parámetros fisicoquímicos que se evaluaron indicaron un cuerpo de agua estable y saludable que permitió el desarrollo de la vida acuática y su uso como fuente de agua apta para uso recreativo, riego agrícola, abastecimiento de agua potable, y subsistencia de sistemas biológicos. Por otra parte, Curran et al., (2022), realizaron los análisis metagenómicos de ADN en muestras de sedimentos extraídas de seis sitios en los canales de su ciudad, en los que obtuvieron como resultados niveles relativamente altos de contaminación fecal, incluida la presencia de bacterias indicadoras fecales, aguas residuales y bacterias alternativas relacionadas con las heces, concluyendo que la contaminación microbiológica en dichos ecosistemas amenaza a la vida acuática y para la salud humana. También, en Amazonas en la provincia de Bongará (Rascón et al., 2021), evaluaron condiciones limnológicas y tróficas en las épocas seco y lluvioso, y la relación que existe entre ellas del Lago Pomacochas; con el objetivo principal de determinar su dinámica espaciotemporal. Para ello se analizaron las variables limnológicas en 15 estaciones de muestreo, así mismo se calcularon los índices del estado trófico. El lago llegó a mostrar variación temporal mas no espacial, tanto para las variables limnológicas como los índices tróficos. De modo que estos índices tróficos muestran evidencias que este ecosistema revela una fuerte inclinación hacia la eutofía a causa de las actividades agrarias que desarrollan en su contorno.

Se dice que el Perú está considerado como uno de los países neotropicales que afronta considerables problemas de contaminación de sus lagunas (Tapia et al., 2018). Existen dos condicionantes principales de la composición química y biológica de estos ecosistemas lénticos; por una parte, la contaminación natural generada a causa de la disolución y el arrastre de sustancias naturales pertenecientes al material original del suelo por donde previamente circularon las aguas; por otra, la contaminación artificial a través de la recepción de efluentes generados por actividades antropogénicas, como actividades industriales, minería, agrícolas, pastoreo y el crecimiento urbano (Benavides et al., 2017). La administración sostenible de estos recursos hídricos disponibles es, por tanto, de primordial importancia, ya que estos cuerpos de agua juegan un papel esencial en el entorno ecológico y tienen un impacto significativo en relación a los ecosistemas que los rodean (Li y Qian, 2018; Liu et al., 2019; Yan et al., 2019). Además, al ser recursos limitados y, la principal fuente de agua para el consumo y los múltiples usos que esta no puede brindar; es donde radica lo valioso que es la evaluación de su calidad a través de

comparaciones de distintos parámetros con los valores establecidos en normativas como tema fundamental de estudio (Alvizuri et al., 2022).

La laguna Tabla Rumi, es una laguna altoandina localizada en la parte Nor Oriental del Perú, abarcando la zona de la selva alta (ceja de selva). Este ecosistema léntico es de gran importancia turística por lo que en los últimos años ha asistido a la contaminación de sus aguas debido a su inadecuado aprovechamiento por parte de la población local y turistas que la frecuentan para satisfacer sus necesidades de recreación; estas actividades se vienen incrementando, provocando así el deterioro progresivo de dicho ecosistema. A causa de la importancia ecológica y económica de la laguna Tabla Rumi, por primera vez, este estudio evalúa la calidad de su estado actual; en particular, no existe ningún tipo de estudio relacionado a su calidad de este ecosistema lenticó. Por lo que la presente investigación tuvo como objetivo principal evaluar la calidad del agua y sedimento de su estado actual. Los parámetros espaciotemporales del agua (físicoquímicos, microbiológicos, materia orgánica y metales pesados) y el sedimento (metales pesados) fueron determinados y analizados en función a su presencia y concentración. Para su logro se establecieron cuatro estaciones de muestreo durante los periodos estacionales seco y húmedo. Se analizó la disponibilidad y comportamiento de estos parámetros, sus concentraciones, las amenazas que representan para el ecosistema acuático y el desarrollo de la actividad turística y/o recreacional de acuerdo con estándares nacionales e internacionales.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

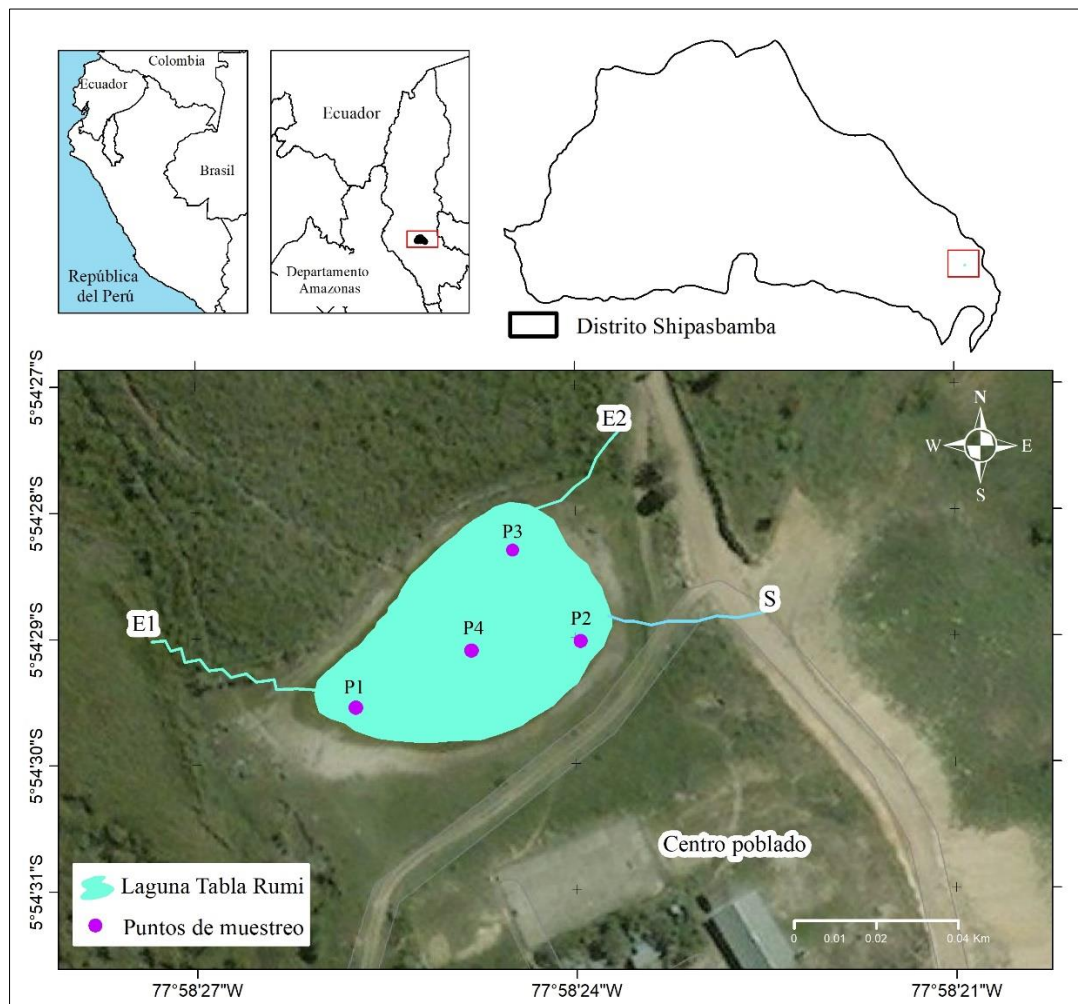
2.1. Área de estudio

La laguna Tabla Rumi se encuentra en el distrito de Shipasbamba, provincia de Bongará, región Amazonas, que cuenta con una población total de 1350 habitantes (INEI, 2018). La laguna tiene un origen tectónico, a causa de una serie de procesos de levantamiento y hundimiento del suelo (Wetzel, 2001). Forma parte de la región hidrográfica del Amazonas, ubicada a una altitud de 1674 m.s.n.m., con una superficie de 5,003.69 m² (0.5 ha) y una profundidad máxima de 5.50 m en la parte céntrica de la misma. Sus principales fuentes de contribución de agua son las escorrentías subterráneas y precipitaciones. Tiene una temperatura media anual de 15 °C, según los datos obtenidos en los meses donde existe mayor variabilidad de temperatura (enero, mayo, agosto y diciembre). Sus afluentes principales son: la alimentación por parte de un humedal vecino a ella conocida como “Laguna de Paja” - (E1) y una red de abastecimiento de agua conducida mediante una tubería procedente de una quebrada aledaña, que es aprovechada como alimentación de la laguna - (E2); así mismo tiene un efluente construido mediante un muro de concreto y una tubería para la evacuación del rebose, este sistema cumple su función en la época lluviosa cuando el nivel del agua alcanza el límite máximo - (S) (**Figura 1**).

Las actividades recreativas que se desarrollan en la laguna Tabla Rumi se clasifican como un agua recreativa de contacto primario y contacto secundario; contacto primario porque en ella se desarrollan las actividades de natación y buceo, contacto secundario porque se desarrolla las actividades de paseo en botes a remo y la pesca deportiva. Por otro lado, en la zona norte de la laguna existe un propietario que cuenta con un huerto de uso personal y/o familiar, en donde desarrolla los cultivos de verduras y hortalizas mediante la utilización de agroquímicos a escala doméstica; además, cuenta con forrajes que son aprovechados para la alimentación de ganados, caballos y cuyes. También por las zonas este y sur a pocos metros de la laguna hay dos vías de tránsito peatonal y vehicular: la vía este es una carretera con destino a los terrenos de cultivos de los pobladores ubicadas en las partes altas del distrito, mientras que la vía sur es un camino utilizado para el tránsito de personas con sus animales (caballos, ganados, etc.) y vehículos menores como motocicletas y mototaxis con destino a sus terrenos de cultivos. Así mismo en la zona sur contempla un área de recepción de los turistas en donde complementan sus

actividades de recreación. Estas actividades que se desarrollan en el sitio y en el distrito inciden de manera directa e indirectamente a la alteración del estado natural de dicho ecosistema léntico.

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio



Nota. Ubicación de las estaciones de muestreo de la laguna Tabla Rumi, Distrito de Shipasbamba, Provincia de Bongará, Región Amazonas (Perú). Fuente (elaboración propia).

2.2. Metodología empleada

Para evaluar la calidad el agua y el sedimento de la laguna, determinar las variaciones espacio temporales de los parámetros estudiados y las comparaciones con los estándares nacionales e internacionales; a continuación, se describe detalladamente la metodología empleada en cada una de las fases del desarrollo de la presente investigación:

2.2.1. Toma y preparación de muestras

Se llevaron a cabo 2 muestreos, distribuidas en dos épocas, en los meses de septiembre del 2022 (época seca) y enero del 2023 (época húmeda). Se fijaron 4 puntos de muestreo a lo largo de toda la laguna siguiendo la metodología propuesta por Rascón et al., (2021); se realizó un recorrido en zigzag de oeste a este, de este a norte y de norte a sur; comprendiendo así la mayor cantidad de ambientes de la laguna Tabla Rumi. Los puntos fueron fijados previamente en la etapa de gabinete mediante la ayuda del software informático ArcGIS y se confirmaron en campo con un receptor de Sistema de Posicionamiento Global (GPS) marca GARMIN, modelo MAP 64S. Estas coordenadas y la altitud de cada punto se reflejan en la Tabla 1. Para la selección de los puntos de muestreo se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones: el punto de muestreo P1 por su proximidad al humedal (ingreso de agua – E1), el punto de muestreo P2 por la dirección a la zona de evacuación del rebose (descarga de agua – S), el punto de muestreo P3 es próximo a la tubería de alimentación (ingreso de agua – E2), así mismo el más cercano al huerto de cultivo y a la zona de los forrajes que la aprovechan para alimentar ganados, caballos y cuyes; y el punto de muestro P4 es por donde se ubica la máxima profundidad y su proximidad a la actividad turística.

Tabla 1

Coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo

Punto	Altitud m.s.n.m.	Coordenadas	
		Sur	Oeste
P1	1674	5°54'29''	77°58'25''
P2	1674	5°54'28''	77°58'23''
P3	1674	5°54'27''	77°58'23''
P4	1674	5°54'28''	77°58'24''

Nota. Coordenadas geográficas confirmadas en campo con el receptor de Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

La recolección, traslado y almacenamiento de las muestras de agua y sedimento se ejecutaron de acuerdo con las siguientes metodologías: para determinar los parámetros fisicoquímicos del agua las muestras se recolectaron en botellas de polietileno de 1 L que se limpiaron y enjuagaron con el agua a muestrear, para el parámetro microbiológico las muestras se recolectaron en frascos de vidrio de 500 ml sin enjuagar y para el parámetro materia orgánica (MO) se usaron envases de polietileno de color oscuro o ámbar de 1 L que se enjuagaron con el agua a muestrear (ANA, 2016). Para la determinación de metales, las muestras se recolectaron en envases de polietileno de 100 ml que fueron tratadas con solución de ácido nítrico 1M al 10% en un lapso de 30 minutos así mismo enjuagadas con agua desionizada o destilada (EPA, 1992). Las muestras del sedimento fueron recolectadas del fondo de la laguna, en la misma línea vertical de los puntos de muestreo del agua, se tomó una capa de 0,5 cm usando una draga Ekman de acuerdo con la metodología fijada por Leiva-Tafur et al., (2022). La variable medida *in situ* fue la temperatura (°C) mediante un termómetro marca Traceable, modelo 4052 (-50 to 150°C). Así mismo, todas las muestras recolectadas se transportaron inmediatamente al Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas (LABISAG) correspondiente a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, situada en la ciudad de Chachapoyas. Las cuales fueron almacenadas a una temperatura de -20°C hasta su procesamiento (Hou et al., 2013). En laboratorio, las muestras de agua fueron filtradas con papel filtro de celulosa grado cualitativo F1002 CHM Lab y espesor 190 µm. la muestra filtrada se acidificó con ácido nítrico (1+1) a pH < 2; también las muestras de sedimento fueron secadas a 50°C previas a ser trituradas con un mortero de ágata y tamizadas con un tamiz de 200 µm, (EPA, 1994).

2.2.2. Análisis de laboratorio

Para el análisis de las muestras de agua, los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, materia orgánica y metales pesados se determinaron empleando las metodologías establecidas por APHA, AWWA y WEF (2017). El potencial de hidrógeno (pH) y la conductividad (EC) se determinaron por electrodométrico, el oxígeno disuelto (OD) mediante electrodo de membrana (método 4500-OG), la alcalinidad por titulación con ácido clorhídrico (HCl), los cloruros por titulación con nitrato de plata (AgNO_3), la dureza mediante titulación EDTA (ácido

etilendiaminotetraacético), los sólidos totales (ST) y sólidos suspendidos totales (SST) fueron secados a 103–105°C y los sólidos disueltos totales (SDT) por absorciometría; los coliformes termotolerantes mediante el procedimiento de NMP para Coliformes Fecales; la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) mediante diluciones; y para determinar la presencia de metales como Arsénico (As), Aluminio (Al), Boro (B), Cobre (Cu), Cadmio (Cd), Níquel (Ni), Hierro (Fe), Zinc (Zn) y Plomo (Pb) a partir del filtrado, digestión y acidificación adecuada en espectroscopia de emisión atómica MP–AES, adecuación de metodología para Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP).

En las muestras de sedimento se evaluaron la presencia de metales como Arsénico (AS), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Níquel (Ni) y Plomo (Pb) de acuerdo con la metodología establecida por EPA, (1996); las muestras de sedimento que fueron pulverizadas se digirieron con (HNO₃:H₂O₂).

2.2.3. Cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA-PE)

Con los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio se evaluó la condición o estado actual de la calidad del agua de la Laguna Tabla Rumi mediante la metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE; para su logro se tuvo en cuenta la categoría asignada al cuerpo de agua de la laguna, la cual se compone dentro de la “Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales”, por lo que se tuvo que identificar los parámetros de evaluación según los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs-Agua) para la “Categoría 1: Poblacional y recreacional, Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación”, parámetros que son considerados para su evaluación en la aplicación de la metodología ICA-PE (ANA, 2018). El índice fue calculado por época (seca y húmeda) empleando la fórmula canadiense propuesto por Canadian Council of Ministers of the Environment, reconocido como (CCME_WQI) por sus siglas en inglés. CCME_WQI ofrece, una evaluación mucho más amplia de la calidad del agua en cierto periodo de tiempo determinado, tomando en cuenta el número de parámetros que superan el estándar establecido, el número de datos que no cumplen dicho estándar y el tamaño de superación (CCME, 2001). Los resultados obtenidos fueron valores únicos, que oscilan entre 0 y 100. Las ecuaciones para el cálculo del ICA-PE se detallan a continuación:

F1: Alcance:

$$F_1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA – Agua}}{\text{Número Total de parámetros a evaluar}}$$

F2: Frecuencia:

$$F_2 = \frac{\text{Número de parámetros que NO cumplen los ECA – Agua de los Datos Evaluados}}{(\text{Número Total de parámetros a evaluar})}$$

Donde:

Datos = Resultados de los Monitoreos

F3: Amplitud:

$$F_3 = \frac{\text{Suma Normalizada de Excedentes}}{\text{Suma Normalizada de Excedentes} + 1} \times 100$$

Donde:

Suma Normalizada de Excedentes = nse

$$nse = \frac{\sum_{i=1} \text{Excedente}_i}{\text{Total de Dtos}}$$

Excedente: se da para dos casos:

Caso 1: si el valor de concentración del parámetro excede el valor establecido por el ECA-Agua.

$$\text{Excedente}_i = \frac{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA – Agua}}{\text{Valor establecido del parámetro en ECA – Agua}} - 1$$

Caso 2: si el valor de concentración del parámetro no supera al valor establecido por el ECA-Agua.

$$\text{Excedente}_i = \frac{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA – Agua}}{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA – Agua}} - 1$$

Obteniendo así los factores **F₁**, **F₂** y **F₃** mediante los cuales se procedió a realizar el cálculo del ICA-PE con la siguiente ecuación matemática:

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

Si el valor obtenido muestra el rango de 100, nos indica un ICA de excelente calidad y si el valor muestra un rango de 0 representa un ICA de pésima calidad. Así mismo los valores que nos presente el índice serán números adimensionales comprendidos entre un rango, los cuales nos permitirá establecer cinco rangos, que nos expresó el estado de la calidad del agua evaluada (**Tabla 2**).

Tabla 2*Interpretación de la calificación del ICA-PE*

ICA-PE	Clasificación	Interpretación
95 – 100	Excelente	La calidad del agua está protegida con ausencia de amenazas o daños. Las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados.
80 – 94	Bueno	La calidad del agua se aleja un poco de la calidad natural del agua. Sin embargo, las condiciones deseables pueden estar con algunas amenazas o daños de poca magnitud.
65 – 79	Favorable	La calidad del agua natural ocasionalmente es amenazada o dañada. La calidad del agua a menudo se aleja de los valores deseables. Muchos de los usos necesitan tratamiento.
45 – 64	Regular	La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Muchos de los usos necesitan tratamiento.
0 – 44	Mala	La calidad de agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada. Todos los usos necesitan previo tratamiento.

Nota: rangos establecidos por el cual nos permitió determinar el estado del agua de la laguna Tabla Rumi. Fuente: Resolución Jefatural N°068-2018-ANA (ANA, 2018).

2.2.4. Análisis de datos

Se utilizó el análisis estadístico ANOVA para el índice de calidad del agua (ICA-PE) espacial y temporal del agua. ANOVA es una prueba estadística desarrollada para llevar a cabo una comparación simultánea de las medias de más de dos poblaciones (para más de dos muestras independientes) (Rubio & Berlanga, 2012).

Para evaluar el comportamiento de las variaciones espacio temporales del agua y el sedimento se empleó el Análisis de Componentes Principales (PCA). PCA nos permite alcanzar una mejor interpretación de procesos complejos; así mismo, este método estadístico de análisis multivariante es de una amplia utilidad que se utiliza para explicar aquellas fuentes de variabilidad de un proceso y reducir dimensionalidad de un vasto conjunto de datos (López de la Maza et al., 2019; Mesa-Ramos et al., 2018). PCA convierte la información multidimensional en unas cuantas variables que explican en su mayor parte de las fluctuaciones de las variables principales, del mismo modo que sus interrelaciones (Gozá-León et al., 2020). Dada a la cantidad de datos experimentales obtenidos en los análisis de laboratorio, se optó por aplicar este método y de tal manera fue posible extraer información valiosa para la presente investigación. En el presente trabajo, se realizó un PCA a los datos obtenidos de los dos muestreos en las épocas seca y húmeda,

con la finalidad de determinar el comportamiento de las variables cuando éstas experimentan el cambio estacional. Por otro lado, se empleó un análisis de varianza no paramétrico PERMANOVA basado en permutaciones, para confirmar las variaciones espacio temporales del agua y el sedimento vistos en el Análisis de Componentes Principales (Anderson y Walsh, 2013).

Las concentraciones medias de los parámetros fisicoquímicos, microbiológico, materia orgánica y de metales presentes en las muestras del agua se constataron con el estándar internacional canadiense, lineamientos de calidad del agua establecido por los Ministros del Medio Ambiente para la protección de la vida acuática (CCME, 2007) y las Normas Nacionales del DS 004-2017 MINAM que establece los ECAs para Agua del Perú de acuerdo con la Categoría 1: Poblacional y recreacional, Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación (MINAM, 2017). Los parámetros de metales pesados presentes en los sedimentos se constataron con el estándar canadiense de la calidad de los sedimentos para la protección de la vida acuática (CEQG) (CCME, 2001), considerando previamente la conversión a las unidades de concentración requeridas y teniendo en cuenta los siguientes parámetros de evaluación: ISQG (directrices de calidad de sedimentos de agua dulce) y PEL (nivel de efecto probable).

- Concentración del parámetro de sedimento $<$ ISQG = Sin efectos biológicos.
- ISQG $<$ Concentración del parámetro de sedimento $<$ PEL = Efectos biológicos ocasionales.
- Concentración del parámetro de sedimento $>$ PEL = Efectos biológicos adversos frecuentes.

Todos los análisis estadísticos fueron ejecutados a un nivel de significación de $p < 0,05$, empleando el software R versión 4.2.2 (R Development Core Team, 2022). R es una herramienta informática (precisamente un lenguaje computacional), muy eficaz para realizar diversos cálculos científicos, numéricos y estadísticos, del mismo modo para crear gráficas y figuras de una amplia calidad (Rodríguez, 2019).

III. RESULTADOS

3.1. Concentración de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de materia orgánica del agua

Tabla 3.

Concentración media y desviación estándar de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de materia orgánica del agua de la laguna Tabla Rumi

P	EE	pH	T °C	TURB (UNT)	OD (Mg/L)	CE (µs/cm ²)	ST (Mg/L)	SDT (Mg/L)	SST (Mg/L)	Alcalinidad (Mg/L CaCO ₃)	Cloruros (Mg/L Cl ⁻)	Dureza (Mg/L CaCO ₃)	Sulfatos (Mg/L SO ₄)	DBO5 (Mg/L de O ₂)	Coliformes Fecales (NMP/100ml)
P1	S	8.73 ±0.1	25.1 ±0.5	7.00 ±0.1	7.63 ±0.1	213.0 ±0.0	168.83 ±14.2	234.0 ±0.0	61.0 ±0.0	119.85 ±14.4	22.55 ±8.1	117.46 ±10.1	20.897 ±0.9	19.20 ±1.1	14.3 ±1.1
	H	7.05 ±0.0	23.5 ±0.1	7.85 ±0.2	6.86 ±0.0	197.57 ±0.2	12787.67 ±1.3	65.7 ±0.1	7.7 ±1.2	80.74 ±0.6	13.28 ±0.2	87.73 ±1.5	40.050 ±0.2	4.33 ±0.1	91.7 ±1.2
P2	S	8.90 ±0.0	25.8 ±0.0	8.58 ±1.2	8.00 ±0.1	213.0 ±0.0	155.83 ±7.5	214.0 ±0.0	167.7 ±1.5	69.38 ±19.7	12.72 ±3.7	109.30 ±8.6	18.163 ±0.5	6.37 ±0.8	8.2 ±1.2
	H	7.21 ±0.0	23.4 ±0.1	8.32 ±0.7	7.60 ±0.0	187.13 ±0.1	12778.83 ±0.8	63.0 ±0.1	2.3 ±0.6	73.45 ±1.1	8.01 ±0.2	88.69 ±0.9	40.247 ±0.1	3.71 ±0.1	918.5 ±0.6
P3	S	8.81 ±0.0	25.8 ±0.1	7.39 ±0.2	8.14 ±0.0	239.0 ±0.0	180.33 ±0.3	237.7 ±0.6	157.3 ±1.2	148.21 ±30.4	14.73 ±7.4	115.04 ±7.2	28.887 ±0.1	10.57 ±0.8	14.0 ±0.1
	H	7.26 ±0.0	23.3 ±0.2	8.14 ±0.1	6.90 ±0.0	207.00 ±0.0	12762.00 ±1.0	69.3 ±0.1	1.7 ±0.6	98.69 ±1.5	6.24 ±0.2	87.24 ±0.8	38.600 ±0.2	6.05 ±0.2	146.7 ±0.2
P4	S	8.84 ±0.0	25.5 ±0.1	7.30 ±0.3	7.46 ±0.1	232.0 ±0.0	178.17 ±0.6	233.0 ±0.0	231.7 ±1.2	141.91 ±41.2	21.08 ±3.1	116.47 ±1.5	25.940 ±0.4	40.53 ±1.0	10.4 ±1.0
	H	7.36 ±0.0	23.3 ±0.1	8.20 ±0.3	6.78 ±0.0	201.67 ±0.6	12781.83 ±0.3	67.5 ±0.0	1.3 ±0.6	66.24 ±1.0	7.42 ±0.1	95.85 ±0.8	25.183 ±0.2	4.40 ±0.1	3.5 ±1.4

Nota: Las concentraciones medias y desviación estándar de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de materia orgánica del agua fueron calculadas a partir de los datos obtenidos de tres repeticiones medidas por parámetro, por punto y época estacional. Fuente: Elaboración Propia

Observación:

Puntos de Muestreo (P), Época Estacional (EE), Potencial de Hidrogeno(pH), Temperatura (T°C), Turbidez (TURB), Oxígeno Disuelto (OD), Conductividad Eléctrica (CE), Sólidos Totales (ST), Sólidos Disueltos Totales (SDT), Sólidos Suspendido Totales (SST), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

En la **Tabla 3** se muestran los valores medios y su error estándar de las concentraciones para los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de materia orgánica del agua que fueron medidas por triplicado (3 repeticiones). Los valores del potencial de hidrógeno (pH) del agua en los cuatro puntos de muestreo oscilaron entre 7,05 y 8,90, con una media de 8,02, lo que indica un entorno de pH ligeramente alcalina. Los valores de la turbidez del agua están influenciados por la época húmeda (H), con los valores más altos ocurriendo en la mayoría los puntos (P1, P3 y P4), excepto para el punto 2 (P2) con un valor más alto en la época seca (S). Los valores más bajos de oxígeno disuelto ocurrieron en la época húmeda (H), con concentraciones que oscilaron entre 6,78 mg/L y 6,86 mg/L. Los valores de temperatura (T°C) no presentaron variaciones significativas, ni tampoco la conductividad eléctrica, cuyo valor medio fue de 211,28 $\mu\text{s}/\text{cm}^2$. Los valores de sólidos totales (ST) están claramente influenciados por la época húmeda (H), con los valores más altos ocurriendo en todos los puntos de muestreo; no obstante, los valores de sólidos disueltos totales (SDT) y sólidos suspendidos totales (SST) están influenciados por la época seca (S), presentando valores más altos en todos los puntos de muestreo. Los valores de alcalinidad, cloruros y dureza están influenciados por la época seca (S), presentando valores más altos en todos los puntos de muestreo. Los valores de sulfatos oscilaron entre 18,163 mg/L y 40,247 mg/L, con una media de 29,746 mg/L. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) presentó valores que oscilaron entre 3,71 mg/L y 40,53 mg/L, con una media de 11,89 mg/L, así mismo está influenciada por la época seca (S). Los valores más altos de coliformes fecales ocurrieron en los puntos 1, 2 y 3 (P1, P2 y P3), los cuales están influenciados por la época húmeda (H), presentando valores que variaron de 91,7 NMP/100ml y 918,5 NMP/100ml, con una media de 385,6 NMP/100ml; no obstante, los valores de coliformes fecales en el punto 4 (P4) variaron de 3,5 NMP/100ml a 10,4 NMP/100ml, con una media de 6,95 NMP/100ml tanto para la época seca (S) como para la época húmeda (H).

3.2. Concentración de metales en el agua y sedimento

Tabla 4

Concentración media y desviación estándar de metales en el agua y sedimento de la laguna Tabla Rumi

P	Matriz	EE	Al (mg·L ⁻¹)	As (mg·L ⁻¹)	B (mg·L ⁻¹)	Cd (mg·L ⁻¹)	Cu (mg·L ⁻¹)	Fe (mg·L ⁻¹)	Ni (mg·L ⁻¹)	Pb (mg·L ⁻¹)	Zn (mg·L ⁻¹)
P1	Agua	S	0.405 ±0.0	0.053 ±0.0	0.402 ±0.0	0.001 ±0.0	0.001 ±0.0	0.515 ±0.0	0.010 ±0.0	0.016 ±0.0	0.001 ±0.0
		H	1.676 ±0.0	0.003 ±0.0	0.013 ±0.0	0.078 ±0.0	0.043 ±0.0	1.635 ±0.0	0.002 ±0.0	0.077 ±0.0	0.035 ±0.0
	Sedimento	S	—	4.697 ±0.0	—	0.005 ±0.0	0.338 ±0.0	438.326 ±0.0	0.006 ±0.0	1.739 ±0.0	—
		H	—	0.005 ±0.0	—	0.005 ±0.0	0.263 ±0.0	374.890 ±0.0	0.005 ±0.0	1.111 ±0.0	—
P2	Agua	S	0.284 ±0.0	0.086 ±0.1	0.317 ±0.0	0.001 ±0.0	0.003 ±0.0	0.458 ±0.0	0.010 ±0.0	0.011 ±0.0	0.001 ±0.0
		H	3.093 ±0.0	0.713 ±0.0	0.014 ±0.0	0.010 ±0.0	0.020 ±0.0	1.446 ±0.0	0.003 ±0.0	0.162 ±0.0	0.089 ±0.0
	Sedimento	S	—	6.644 ±0.0	—	0.005 ±0.0	0.466 ±0.0	380.249 ±0.0	0.006 ±0.0	3.880 ±0.0	—
		H	—	0.005 ±0.0	—	0.003 ±0.0	0.452 ±0.0	166.792 ±0.0	0.006 ±0.0	2.274 ±0.0	—
P3	Agua	S	0.514 ±0.0	0.093 ±0.0	0.402 ±0.0	0.001 ±0.0	0.005 ±0.0	0.505 ±0.0	0.010 ±0.0	0.010 ±0.0	0.001 ±0.0
		H	1.636 ±0.0	0.050 ±0.0	0.044 ±0.0	0.013 ±0.0	0.031 ±0.0	1.398 ±0.0	0.004 ±0.0	0.254 ±0.0	0.034 ±0.0
	Sedimento	S	—	5.815 ±0.0	—	0.005 ±0.0	0.408 ±0.0	250.323 ±0.0	0.169 ±0.0	2.028 ±0.0	—
		H	—	0.006 ±0.0	—	0.005 ±0.0	0.296 ±0.0	152.246 ±0.0	0.004 ±0.0	1.070 ±0.0	—
P4	Agua	S	0.118 ±0.0	0.087 ±0.0	0.121 ±0.0	0.001 ±0.0	0.001 ±0.0	0.410 ±0.0	0.010 ±0.0	0.007 ±0.0	0.001 ±0.0
		H	1.416 ±0.0	0.121 ±0.0	0.042 ±0.0	0.656 ±0.0	0.050 ±0.0	1.593 ±0.0	0.004 ±0.0	0.131 ±0.0	0.047 ±0.0
	Sedimento	S	—	10.441 ±0.0	—	0.005 ±0.0	1.386 ±0.0	1174.329 ±0.0	0.005 ±0.0	10.782 ±0.0	—
		H	—	0.005 ±0.0	—	0.005 ±0.0	1.299 ±0.0	915.544 ±0.0	0.006 ±0.0	11.603 ±0.0	—

Nota: Las concentraciones medias y desviación estándar de los metales del agua y sedimento fueron calculadas a partir de los datos obtenidos de tres repeticiones medidas por parámetro, por punto y época estacional. Fuente: Elaboración Propia.

Observación: Puntos de Muestreo (P), Época Estacional (EE), Aluminio (Al), Arsénico (As), Boro (B), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Zinc (Zn).

Las concentraciones medias y su error estándar para los parámetros de metales presentes en el agua y sedimento se muestran en la **Tabla 4**. En el agua, la mayoría de los metales evaluados presentan valores de concentraciones más altos que están influenciados por la época húmeda (H), tales como: el aluminio (Al) presentó su mayor concentración en todos los puntos de monitoreo, así como el cadmio (Cd), cobre (Cu), hierro (Fe), plomo (Pb) y zinc (Zn), y el arsénico (As) en los puntos 1 y 2 (P2, P4); por otro lado, los metales que presentan valores de concentraciones más altos que están influenciados por la época seca (S) son el boro (B) y el níquel (Ni), presentaron valores más altos en todos los puntos de monitoreo. En los sedimentos los metales con sus valores de concentraciones más altos que están influenciados por la época seca (S) se reportó al arsénico (As) presentó su mayor concentración en todos los puntos de monitoreo, al igual que el cobre (Cu), el hierro (Fe) y plomo (Pb), el níquel (Ni) con su mayor valor de concentración en el punto 3 (P3); así mismo, se reportó al cadmio (Cd) con sus valores de concentraciones que no presentaron variaciones significativas en ninguna de las épocas estacionales.

3.3. Condición o estado de la calidad del agua de la laguna Tabla Rumi

La condición o estado actual de la calidad del agua de la laguna Tabla Rumi se determinó mediante el cálculo del ICA-PE. Los resultados corresponden a los 2 monitoreos realizados en los meses de septiembre de 2022 (época seca) y enero de 2023 (época húmeda), para los 4 puntos de monitoreos; los cuales fueron determinados empleando el procedimiento de cálculo del ICA marcado en el **ítem 2.2.3**. Los resultados del ICA muestran un valor único en un rango de valores de 0 a 100, el cual nos muestra la calificación del estado de la calidad del agua de la laguna Tabla Rumi; en donde el análisis de los resultados dependerá de la zona de ubicación de los puntos de muestreo, debido a que a lo largo de la laguna en tiempo y espacio existen factores que alteran la calidad del agua.

Con la data mínima necesaria que recomienda la metodología, se efectuó la aplicación del ICA-PE para los siguientes casos:

3.3.1. Caso 01: ICA-PE de todos los monitoreos (época seca y húmeda)

En la **Tabla 5** se muestran los valores de los resultados del cálculo del ICA correspondiente a los dos monitoreos de la laguna Tabla Rumi, realizados en los meses de septiembre del 2022 (época seca) y enero del 2023 (época húmeda). De ello los valores de los resultados en los cuatro puntos de muestreo oscilaron entre 44 y 59; en donde los valores de los resultados de los puntos 1, 2 y 4 (P1, P2 y P4) están entre 45 y 59, con una media de 51, lo que indica un entorno de ICA con calificación **Regular**; no obstante, el valor del resultado del punto 3 (P3) fue de 44, indicando una calificación del ICA como **Mala**.

Tabla 5

Resultados ICA-PE – laguna Tabla Rumi

Monitoreos (02) septiembre de 2022 y enero 2023		
Puntos de monitoreos	Resultados Ica	
	ICA	Calificación
P1	59	Regular
P2	45	Regular
P3	44	Mala
P4	48	Regular

Nota: ICA y su calificación por cada punto de monitoreo correspondiente a los dos monitoreos (seco y húmedo). Fuente: Elaboración propia.

La calificación del ICA de los resultados corresponde a la interpretación de la calificación ICA-PE de acuerdo con lo establecido en la **Tabla 2**.

ICA-PE	95-100	80-94	65-79	45-64	0-44
Calificación	Excelente	Buena	Favorable	Regular	Mala

3.3.2. Caso 02: ICA-PE del monitoreo en Época Seca

En la **Tabla 6** se muestran los valores de los resultados del cálculo del ICA correspondiente a un monitoreo de la laguna Tabla Rumi, realizado en el mes de septiembre del 2022 (época seca). En donde los valores de los resultados de los cuatro puntos de muestreo oscilaron entre 63 y 65; de los cuales, en los puntos 1 y 2 (P1, P2) presentaron un valor de 63, lo que indica un entorno de ICA con calificación **Regular**; por otro lado, los valores de los resultados de los puntos 3 y 4 (P3, P4) fue de 65 para ambos puntos, indicando una calificación del ICA como **Favorable**.

Tabla 6

Resultados ICA-PE laguna Tabla Rumi – Época Seca

Monitoreos (01) – septiembre de 2022		
Puntos de monitoreos	Resultados Ica	
	ICA	Calificación
P1	63	Regular
P2	63	Regular
P3	65	Favorable
P4	65	Favorable

Nota: ICA y su calificación por cada punto de monitoreo correspondiente a la época seca. Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Caso 03: ICA-PE del monitoreo en Época Húmeda

En la **Tabla 7** se muestran los valores de los resultados del cálculo del ICA correspondiente a un monitoreo de la laguna Tabla Rumi, realizado en el mes de enero del 2023 (época húmeda). De ello los valores de los resultados de los cuatro puntos de muestreo oscilaron entre 37 y 56; en donde el valor del resultado del punto 1 (P1) fue de 56, lo que indica un entorno de ICA con calificación **Regular**; no obstante, los valores de los resultados de los puntos

2, 3 y 4 (P2, P3, P4) oscilaron entre 37 y 42, con una media de 40, lo cual indica una calificación del ICA como **Mala**, para los tres puntos.

Tabla 7

Resultados ICA-PE laguna Tabla Rumi – Época Húmeda

Monitoreos (01) – enero de 2023		
Puntos de monitoreos	Resultados Ica	
	ICA	Calificación
P1	56	Regular
P2	41	Mala
P3	37	Mala
P4	42	Mala

Nota: ICA y su calificación por cada punto de monitoreo correspondiente a la época húmeda. Fuente: Elaboración propia.

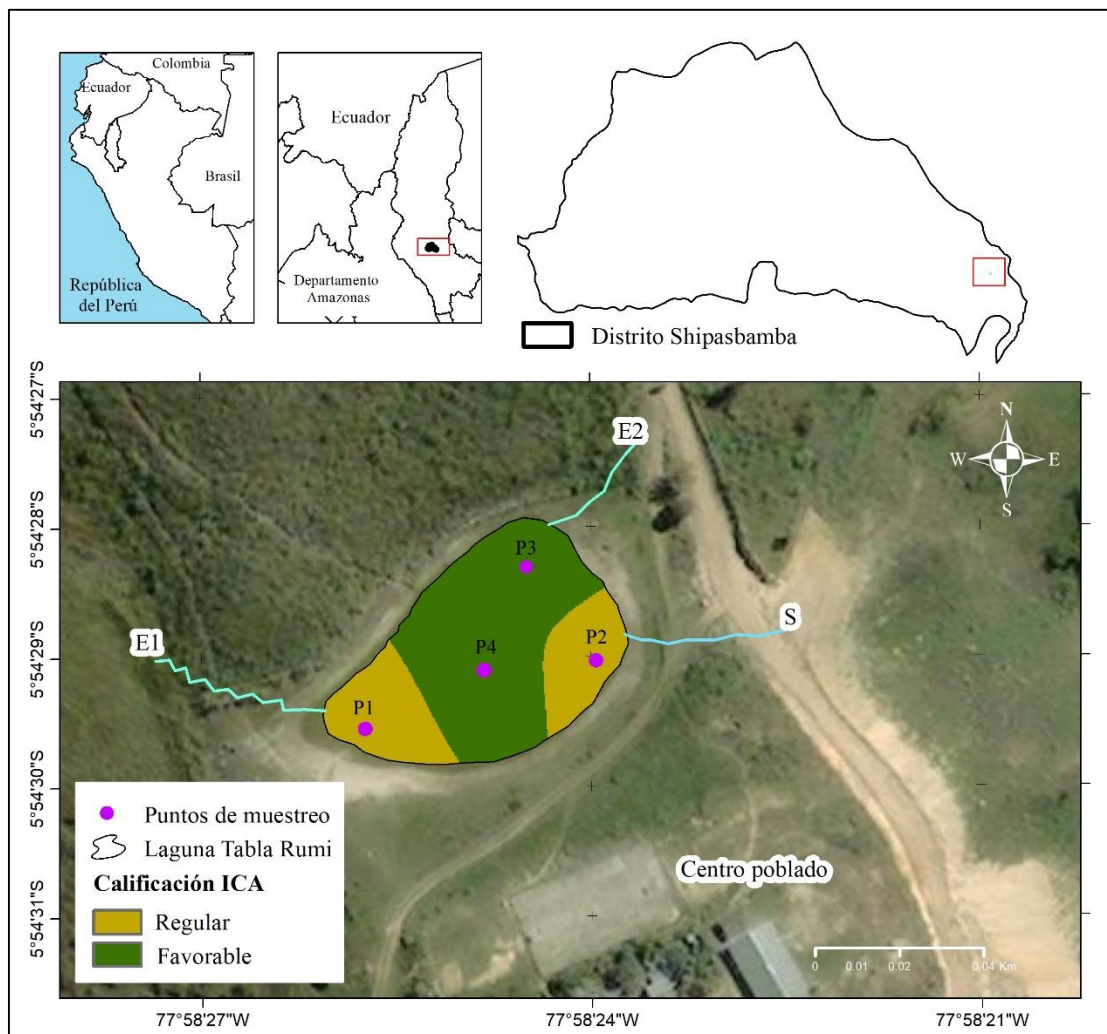
3.4. Mapas de la zona evaluada

Los resultados del ICA para cada punto de muestreo fueron ubicados en un mapa de forma representativa con el respectivo color que asigna el valor de la calificación del ICA-PE, tal cual lo muestra la **Tabla 2**. De esta manera los resultados pudieron ser representados y ubicados según coordenadas en un mapa, el cual nos permitió visualizar el ámbito y todos los aspectos a considerar cuando se realizó el análisis de resultados, en otras palabras, las posibles fuentes de contaminación por las cuales se obtuvo el valor ICA en el punto de muestreo del cuerpo de agua. Se elaboraron dos mapas, tanto para la época seca (S) como para la época húmeda (H):

3.4.1. Mapa del ICA-PE – Época Seca (S)

En el mapa (**Figura 2**) se muestra la representación gráfica de los puntos de monitoreo con su calificación ICA de acuerdo a una escala de colores; para lo cual se consideró los resultados del ICA-PE de la laguna Tabla Rumi evaluados en la Época Seca (S).

Figura 2. Mapa de puntos de monitoreo con resultados del ICA-PE de la laguna Tabla Rumi – Época Seca.

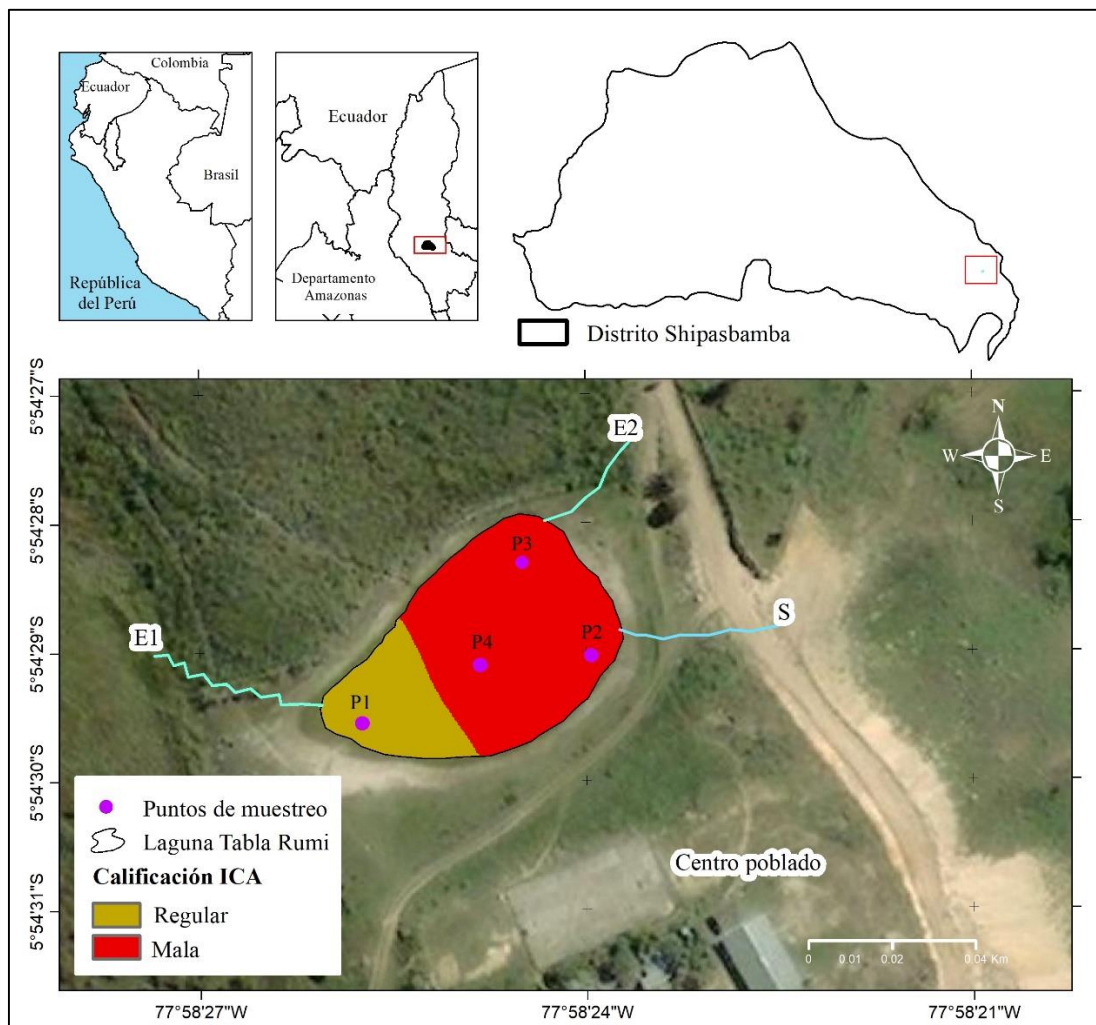


Nota: mapa de los puntos de monitoreo a una escala de colores según la calificación del ICA-PE tal como se muestra en la **Tabla 2**. Fuente (elaboración propia).

3.4.2. Mapa del ICA-PE - Época Húmeda (H)

En el mapa (**Figura 3**) se muestra la representación gráfica de los puntos de monitoreo con su calificación ICA de acuerdo a una escala de colores; para lo cual se consideró los resultados del ICA-PE de la laguna Tabla Rumi evaluados en la Época Húmeda (H).

Figura 3. Mapa de puntos de monitoreo con resultados del ICA-PE de la laguna Tabla Rumi – Época Húmeda.



Nota: Mapa de los puntos de monitoreo a una escala de colores según la calificación del ICA-PE tal como se muestra en la **Tabla 2**. Fuente (elaboración propia).

3.5. Comportamiento Espacio – Temporal de la calidad del agua

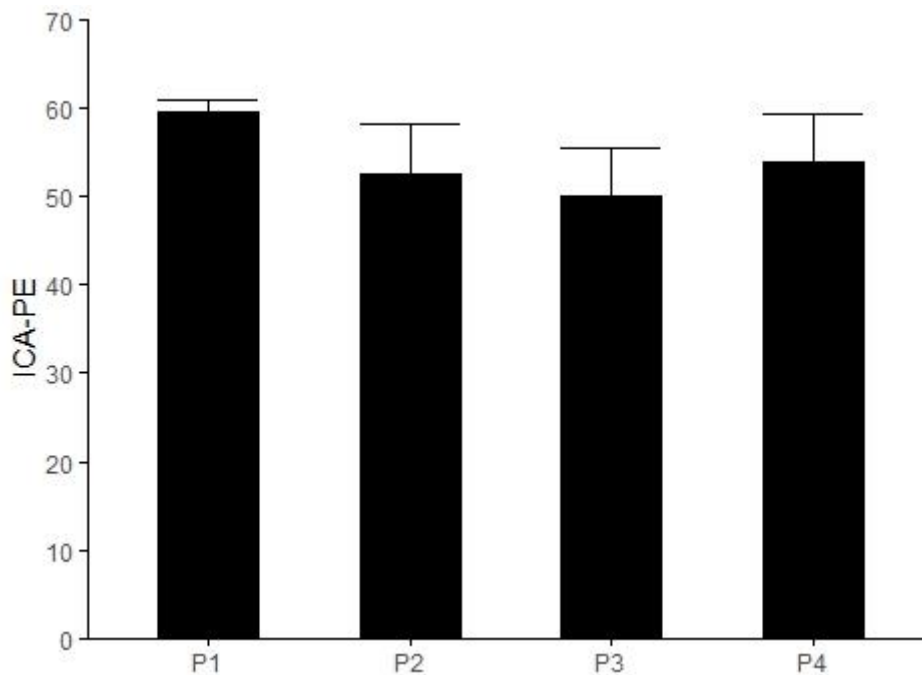
Cos los valores del ICA-PE de la laguna Tabla Rumi se realizaron dos pruebas estadísticas: KRUSKAL WALLIS, que nos permitió determinar la existencia de diferencias en la calidad del agua según los puntos de muestreo (variación espacial de la calidad del agua); y una U MAN-WHINEY, que nos permitió determinar la existencia de diferencias de la calidad del agua entre épocas (variación temporal de la calidad del agua). De esta manera se logró determinar las variaciones espaciotemporales de la calidad del agua según el ICA-PE.

3.5.1. Comportamiento Espacial de la calidad del agua (puntos)

Después de aplicar el test del análisis estadístico KRUSKAL WALLIS se logró comprobar que el $p\text{-valor} > 0.05$; determinando así, que no hay diferencias significativas para la calidad del agua según las estaciones de muestreo ($p\text{-valor} = 0.5247$), esto quiere decir que no hay diferencias significativas en la variación espacial en cuanto a la calidad del agua, así mismo se puede decir que no hay una estación de muestro que tenga una mejor o peor calidad del agua respecto a otra estación de muestro.

Para su mejor entendimiento se muestra la **Figura 4**, en donde se puede apreciar que en la estación 1 (P1) tiene una mejor calidad del agua que el resto de estaciones (P2, P3, P4), en sí, no podemos decir estadísticamente que existen diferencias significativas entre ellas; por lo cual se puede observar que los valores de la calidad de la calidad del agua (ICA-PE) oscilan entre 50 y 60, lo que indica un ICA con calificación que varía de **Regular** a **Favorable** durante todo el año, teniendo en cuenta que para determinar la variación espacial de la calidad del agua se cogieron los datos de ambas épocas estacionales, tanto para la época seca (S) como para la época húmeda (H).

Figura 4. Comportamiento Espacial del ICA-PE de la laguna Tabla Rumi



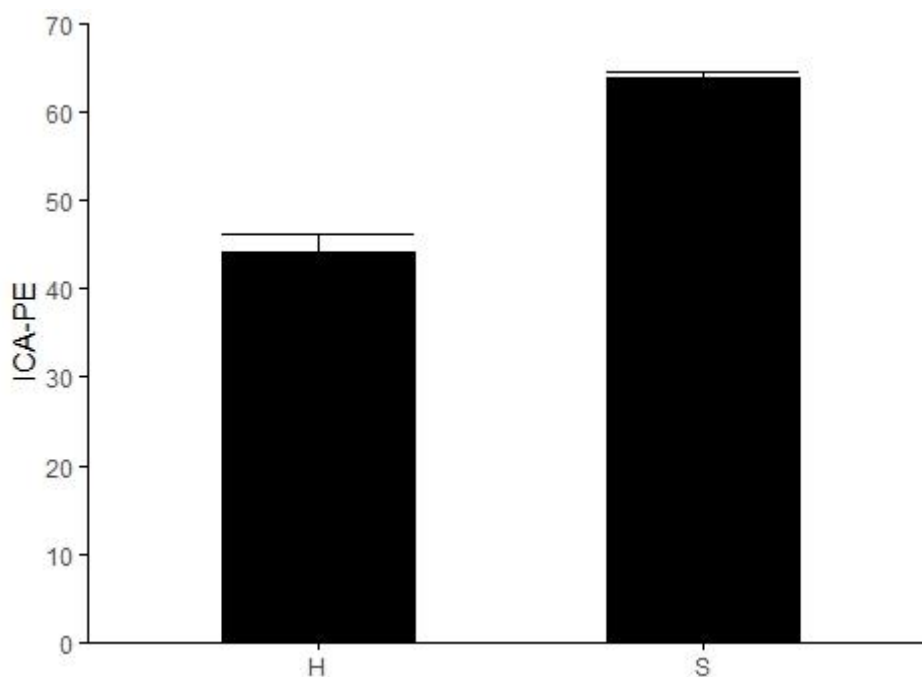
Nota: En la figura se muestra que la calidad del agua no presenta variaciones significativas en cuanto a las estaciones de muestro (P1, P2, P3, P4). Fuente (elaboración propia).

3.5.1. Comportamiento Temporal del ICA-PE (épocas)

Luego de aplicar el test del análisis estadístico de U MAN-WHINEY se comprobó que el p -valor < 0.05 ; por lo que se determinó que si hay diferencias significativas para la calidad del agua según las épocas de muestro (p -valor = 0.01998), esto indica que la calidad del agua de la laguna Tabla Rumi va cambiar según la época estacional.

Para su confirmación se puede apreciar la **Figura 5**. En donde se determinó que la calidad del agua en la época húmeda (H) es peor que al de la época seca (S). Lo cual nos muestra que la calidad del agua (ICA-PE) en la época húmeda (H) alcanzó un valor máximo de 44, indicando un entorno de ICA con calificación **Mala**; por otro lado, la calidad del agua (ICA-PE) en la época seca (S), los valores oscilaron entre 63 y 65, lo que indica un entorno de ICA con calificación que varía de **Regular** a **Favorable**.

Figura 5. Comportamiento Temporal del ICA-PE de la laguna Tabla Rumi



Nota: En la figura se muestra que la calidad del agua presenta variaciones significativas en cuanto a las épocas estacionales. Seca (S) y Húmeda (H). Fuente (elaboración propia).

3.6. Comportamiento Espacio – Temporal de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, materia orgánica y de metales presentes en el agua

De los parámetros de evaluación en el agua para cada punto de muestreo y para ambos periodos estaciones, se seleccionaron dos componentes principales (PC) que explican el 70% de la varianza total. Se evaluaron los valores de todos los parámetros por componente, considerando una correlación fuerte ($p \geq \pm 0.65$), de lo cual se reportó que la mayoría de las variables (parámetros) tienen una gran importancia y/o un mayor peso significativo dentro de la PC1, los parámetros que se muestran son el pH, T°C, OD, CE, ST, SDT, SST, cloruros, dureza, sulfatos, DBO, Al, B, Cu, Fe, Ni, Pb y Zn; y para la PC2 las únicas variables (parámetros) que tienen mayor peso significativo son el Cd y los coliformes fecales (**Tabla 8**). En general se puede decir que casi todas las variables (parámetros) estudiadas en el agua tienen una gran importancia para el estudio. Excepto la turbidez, alcalinidad y el arsénico no presentaron influencias y/o peso significativo en ninguna de las componentes (0.48, -0.07; -0.63, -0.17 y 0.58, -0.55).

Tabla 8

Resultados del análisis de componentes principales de todos los parámetros del agua evaluados en la laguna Tabla Rumi

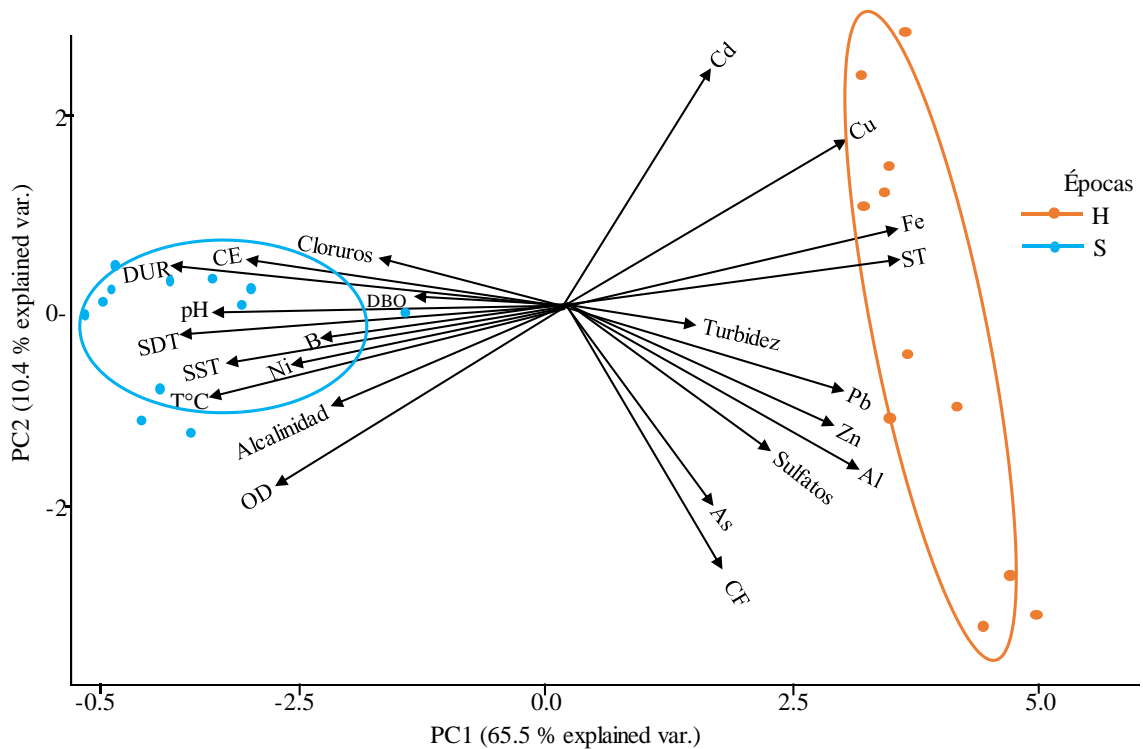
	PC1	PC2
Desviación estándar	3.88	1.54
Proporción de varianza	0.66	0.10
Proporción acumulativa	0.66	0.76
Variables	pH (-0.98), T°C (-0.96), OD (-0.72), CE (-0.85), ST (0.99), SDT (-0.99), SST (-0.88), cloruros (-0.72), dureza (-0.93), sulfatos (0.75), DBO (-0.66), Al (0.90), B (-0.84), Cu (0.81), Fe (0.97), Ni (-0.91), Pb (0.86) y Zn (0.86)	coliformes fecales (-0.71) y Cd (0.75)

Nota: Potencial de Hidrogeno (pH), Temperatura (T°C), Oxígeno Disuelto (OD), conductividad Eléctrica (CE), Sólidos Totales (ST), Sólidos Disueltos Totales (SDT), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Aluminio (Al), Boro (B), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Níquel (Ni), Plomo (Pb) y Zinc (Zn). Fuente (elaboración propia).

3.6.1. Análisis de componentes principales para épocas (Temporal) - Agua

El análisis de componentes principales nos muestra la distribución de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, materia orgánica y de metales determinados en el agua por época estacional. En el que se evidenció la existencia de una variación temporal muy marcada entre época seca (S) y época húmeda (H) para los parámetros medidos en el agua; en donde se muestra la agrupación de aquellas variables (parámetros) que se ven más influenciadas por la época húmeda (H), son el (Cu), Fe y ST; mientras que para la época seca (s) tenemos a la dureza, CE, ST, T°C, pH, SST y el B (**Figura 6**).

Figura 6. Análisis de componentes principales que describe el comportamiento de la concentración de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, materia orgánica y de metales en el agua por época estacional de la laguna Tabla Rumi.



Nota: En la figura se muestra claramente la existencia de una variación temporal muy marcada entre la época seca (S) y época húmeda (H). Fuente (elaboración propia).

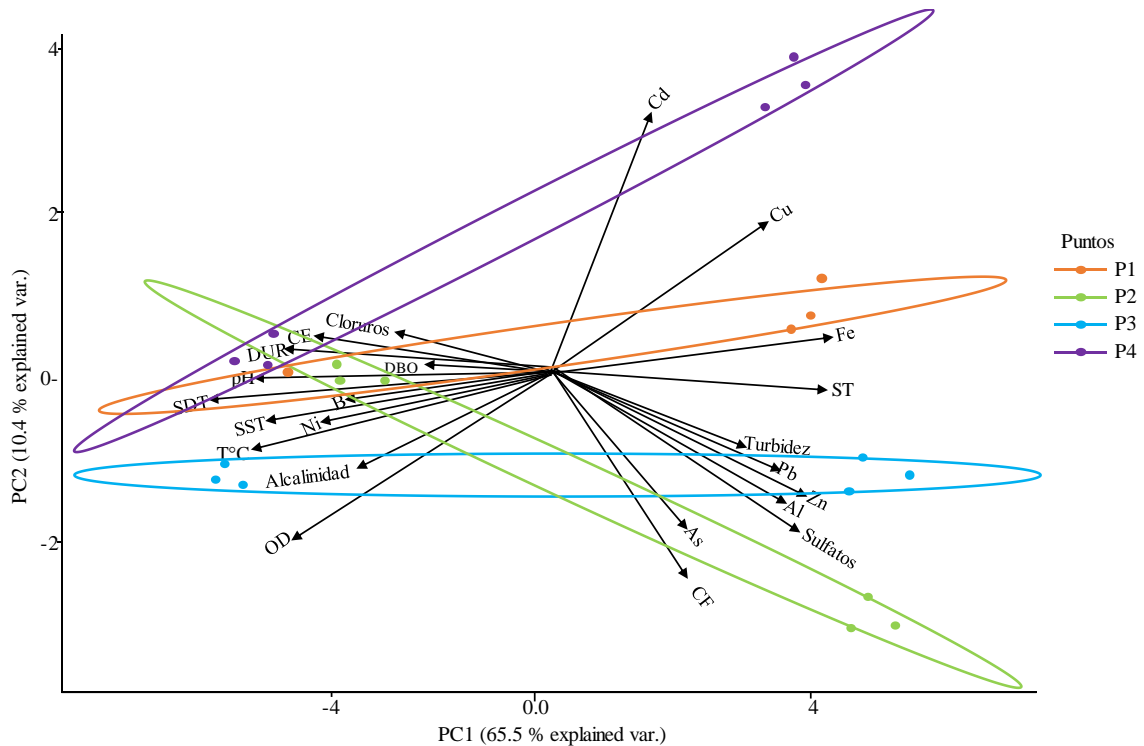
Lo terminamos de confirmar con el análisis PERMANOVA; lo cual nos indica que si existen diferencias significativas muy marcadas entre épocas estacionales ($p = 0.001$); si hay diferencias de disimilitud. Esto quiere decir que los grupos de las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, materia orgánica y de metales presentes en el agua son muy disimilares en cuanto a épocas.

3.6.2. Análisis de componentes principales para puntos (Espacial) - Agua

El análisis de componentes principales nos muestra la distribución de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, materia orgánica y de metales determinados en el agua por puntos de muestreo. Esto nos indica que no hay una variación espacial marcada entre puntos de muestreo; del cual se muestra por una parte, la agrupación de aquellas variables (parámetros) que están igualmente influenciadas en todos los puntos de monitoreo (P1, P2, P3 y P4), como DBO, alcalinidad, cloruros, dureza, CE, T°C, SDT, SST, pH, B y Ni;

sin embargo, por otro lado, el As y CF están más influenciados por el punto 2 (P2); turbidez, Pb, Zn y Al por el punto 3 (P3); el Fe por el punto 1 (P1); y el Cd por el punto 4 (P4) (**Figura 7**).

Figura 7. Análisis de componentes principales que describe el comportamiento de la concentración de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, materia orgánica y de metales en el agua por puntos de muestreo de la laguna Tabla Rumi.



Nota: En la figura se muestra que no hay una variación espacial marcada entre puntos de muestreo. Fuente (elaboración propia).

El análisis PERMANOVA nos confirma que la concentración de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, materia orgánica y de metales presentes en el agua no muestran diferencias significativas entre puntos de muestreo ($p = 0.95$); no hay diferencias de disimilitud. Esto quiere decir que los grupos de las variables (parámetros) formados por los puntos no son disimilares, son todos iguales.

3.7. Comportamiento Espacio – Temporal de los parámetros de metales presentes en el sedimento

De los parámetros de evaluación en el sedimento para cada punto de muestreo y para ambos periodos estaciones, se seleccionaron dos componentes principales (PC) que explican el 70% de la varianza total. Se evaluaron los valores de todos los parámetros por componente, considerando una correlación fuerte ($p \geq \pm 0.65$), de lo cual se reportó a aquellas variables (parámetros) que tienen una gran importancia y/o un mayor peso significativo dentro de la PC1, como el Fe, Cu y Pb; y para la PC2 las únicas variables (parámetros) que tienen mayor peso significativo son el Ni y el As (**Tabla 9**).

En general se puede decir que casi todas las variables (parámetros) estudiadas en el sedimento tienen una gran importancia para el estudio. Excepto el cadmio, no presentó influencias y/o peso significativo en ninguna de las componentes (0.12 y -0.21).

Tabla 9

Resultados del análisis de componentes principales de todos los parámetros del sedimento evaluados en la laguna Tabla Rumi

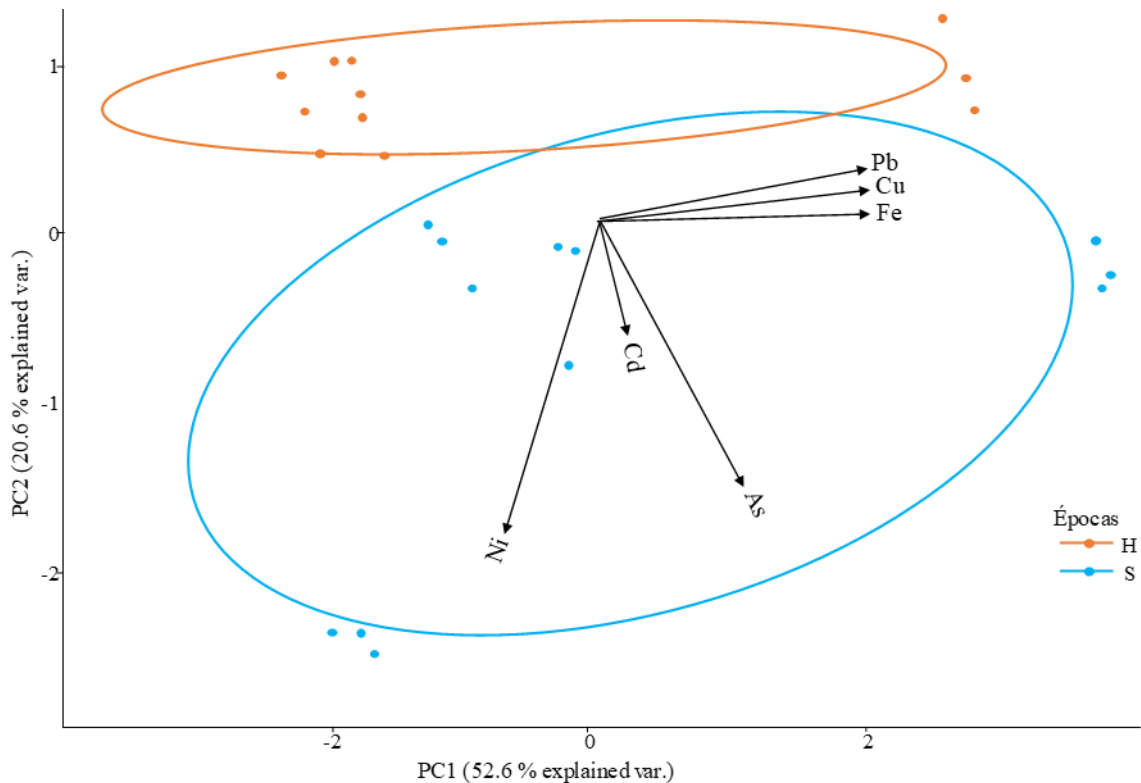
	PC1	PC2
Desviación estándar	1.78	1.11
Proporción de varianza	0.53	0.21
Proporción acumulativa	0.53	0.73
Variables	Fe (0.98), Cu (0.97) y Pb (0.97)	Ni (-0.86) y As (-0.66)

Nota: Hierro (Fe), Cobre (Cu), Plomo (0.97), Níquel (Ni) y Arsénico (As). Fuente (elaboración propia)

3.7.1. Análisis de componentes principales para épocas (Temporal) - Sedimento

El análisis de componentes principales nos muestra la distribución de los parámetros de metales evaluados en el sedimento por época estacional. Esto nos indica que no hay una variación temporal marcada entre la época seca (S) y época húmeda (H) para los parámetros medidos en el sedimento; del cual se muestra que la agrupación de todas variables (parámetros) determinados en el sedimento se ven más influenciadas por la época seca (S), son el Fe, Cu, Pb, Ni, As y el Cd (**Figura 8**).

Figura 8. Análisis de componentes principales que describe el comportamiento de la concentración de parámetros de metales en el sedimento por época estacional de la laguna Tabla Rumi.



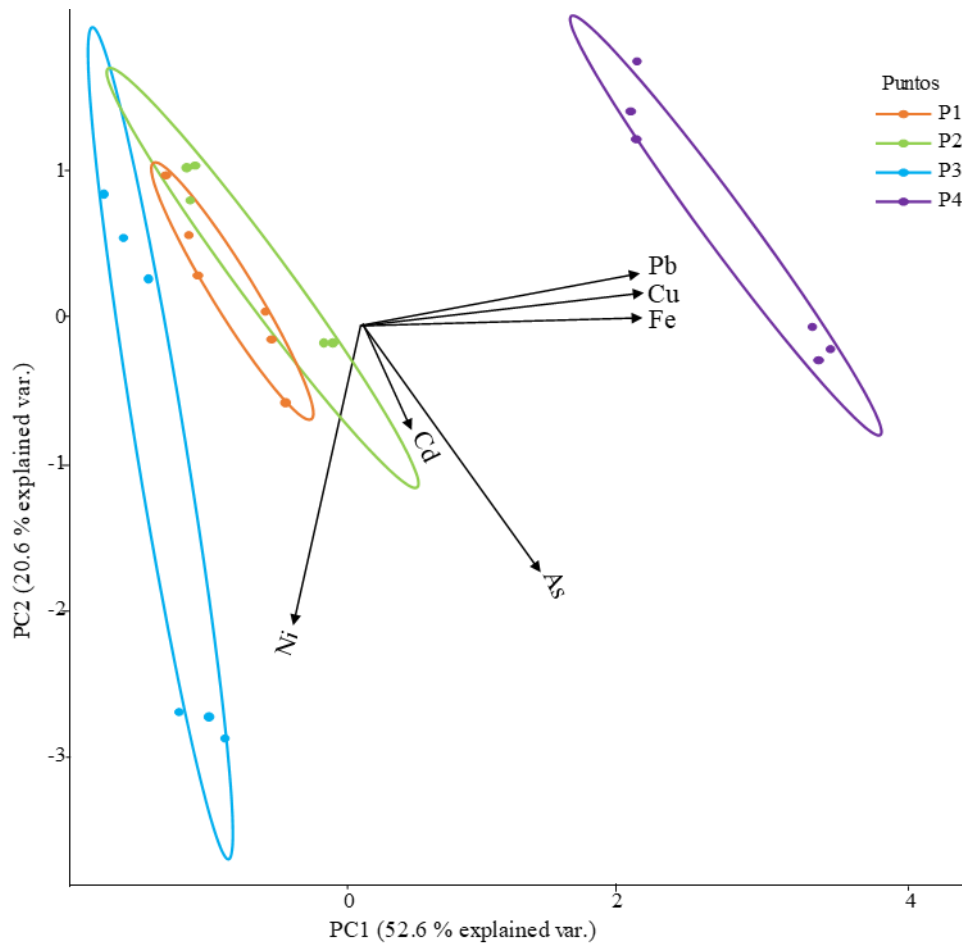
Nota: En la figura se muestra que no hay una variación temporal marcada entre épocas estacionales. Fuente (elaboración propia).

El análisis PERMANOVA nos confirma que la concentración de parámetros de metales presentes en el sedimento no muestra diferencias significativas entre épocas estacionales ($p = 0.279$); no hay diferencias de disimilitud. Esto quiere decir que los grupos de las variables (parámetros) formados por la época seca (S) y época húmeda (H) no son disimilares, son todos iguales.

3.7.2. Análisis de componentes principales para puntos (Espacial) – Sedimento

El análisis de componentes principales nos muestra la distribución de los parámetros de metales determinados en el agua por puntos de muestreo. En el que se evidenció la existencia de una variación espacial muy marcada entre puntos de muestreo para los parámetros medidos en el sedimento; del cual se muestra, por un lado, la agrupación de aquellas variables (parámetros) que están influenciadas por el punto 4 (P4), como Pb, Cu y Fe; mientras que, por otro lado, el As, Cd y Ni están influenciados por los puntos de costa (P1, P2 y P3) (Figura 9).

Figura 9. Análisis de componentes principales que describe el comportamiento de la concentración de parámetros de metales en el sedimento por puntos de muestreo de la laguna Tabla Rumi.



Nota: En la figura se muestra claramente la existencia de una variación espacial marcada entre los puntos de muestreo. Fuente (elaboración propia).

Se confirma con el análisis PERMANOVA; lo cual nos indica que si existen diferencias significativas marcadas entre puntos de muestreo ($p = 0.001$); si hay diferencias de disimilitud. Esto quiere decir que los grupos de las concentraciones de los parámetros de metales presentes en el sedimento son disimilares en cuanto a puntos de muestreo.

3.8. Comparación de parámetros con estándares nacionales e internacionales

3.8.1. Para la concentración de parámetros presentes en el agua

La concentración de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de materia orgánica presentes en el agua en cada uno de los puntos de muestreo y por periodo estacional se constataron con los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua (ECAs) de acuerdo con la Categoría 1: Poblacional y recreacional, Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación; en donde se evidenció que la concentración de los parámetros como coliformes fecales en la época húmeda y DBO5 en la época seca presentan mayor riesgo, ya que están por encima de las concentraciones límite establecidas (**Tabla 10**).

Tabla 10

Concentración de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y materia orgánica presentes en el agua con valores límite de los estándares nacionales ECAs - 2017.

P	UND	EE	PM				ECAs 2017-CT1/SB1
			P1	P2	P3	P4	
OD	mg/L	S	7.63	8.00	8.14	7.46	≥ 5
		H	6.86	7.60	6.90	6.78	
pH	-	S	8.73	8.90	8.81	8.84	6,0 a 9,0
		H	7.05	7.21	7.26	7.36	
TURB	UNT	S	7.00	8.58	7.39	7.30	100
		H	7.85	8.32	8.14	8.20	
CF	NMP/100ml	S	14.3	8.2	14.0	10.4	200
		H	91.7	918.5	146.7	3.5	
DBO	mg/L	S	19.20	6.37	10.57	40.53	5
		H	4.33	3.71	6.05	4.40	

Nota: Parámetros (P), Época Estacional (EE), Puntos de Muestreo (PM), Unidad de medida (UND). Fuente (elaboración propia)

En cuanto a la concentración de los elementos de metales pesados presentes en el agua en cada uno de los puntos de muestreo y por periodo estacional se constataron con los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua (ECAs) de acuerdo con la Categoría 1: Poblacional y recreacional, Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación y sobre los estándares internacionales se constató con la concentración de los elementos establecida por las normas CCME (estándar canadiense establecido por los ministros de medio ambiente para la protección de la vida acuática); en donde

se evidenció que las concentraciones de elementos como Al, As, Fe y el Pb superan los valores límite establecidos por los estándares nacionales, del mismo modo la concentración de los elementos como As, Cd, Cu y Pb exceden las concentraciones límite establecida por la norma internacional (**Tabla 11**).

Tabla 11

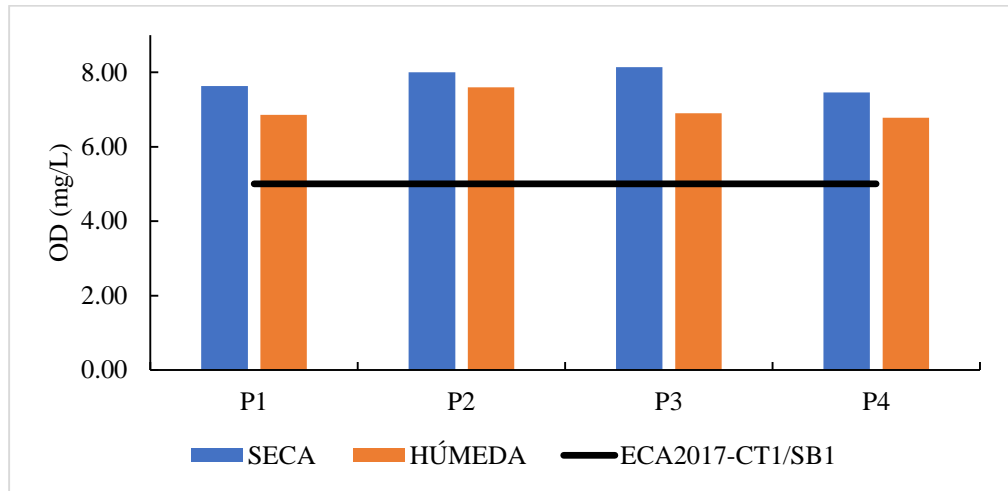
Concentración de metales pesados presentes en el agua con valores límite de los estándares nacionales ECAs – 2017 y estándares internacionales CCME – 2007.

P	UND	EE	PM				ECA 2017-CT1/SB1	CCME-2007
			P1	P2	P3	P4		
Al	mg/L	S	0.405	0.284	0.514	0.118	0.20	**
		H	1.676	3.093	1.636	1.416		
As	mg/L	S	0.053	0.086	0.093	0.087	0.01	0.01
		H	0.003	0.713	0.050	0.121		
B	mg/L	S	0.402	0.317	0.402	0.121	0.50	**
		H	0.013	0.014	0.044	0.042		
Cd	mg/L	S	0.001	0.001	0.001	0.001	0.01	0.001
		H	0.078	0.010	0.013	0.656		
Cu	mg/L	S	0.001	0.003	0.005	0.001	2.00	0.004
		H	0.043	0.020	0.031	0.050		
Fe	mg/L	S	0.515	0.458	0.505	0.410	0.30	**
		H	1.635	1.446	1.398	1.593		
Ni	mg/L	S	0.010	0.010	0.010	0.010	0.02	**
		H	0.002	0.003	0.004	0.004		
Pb	mg/L	S	0.016	0.011	0.010	0.007	0.01	0.01
		H	0.077	0.162	0.254	0.131		
Zn	mg/L	S	0.001	0.001	0.001	0.001	3.00	0.05
		H	0.035	0.089	0.034	0.047		

Nota: Parámetros (P), Unidad de medida (UND), Época Estacional (EE), Puntos de Muestreo (PM), el símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta normativa. Fuente (elaboración propia).

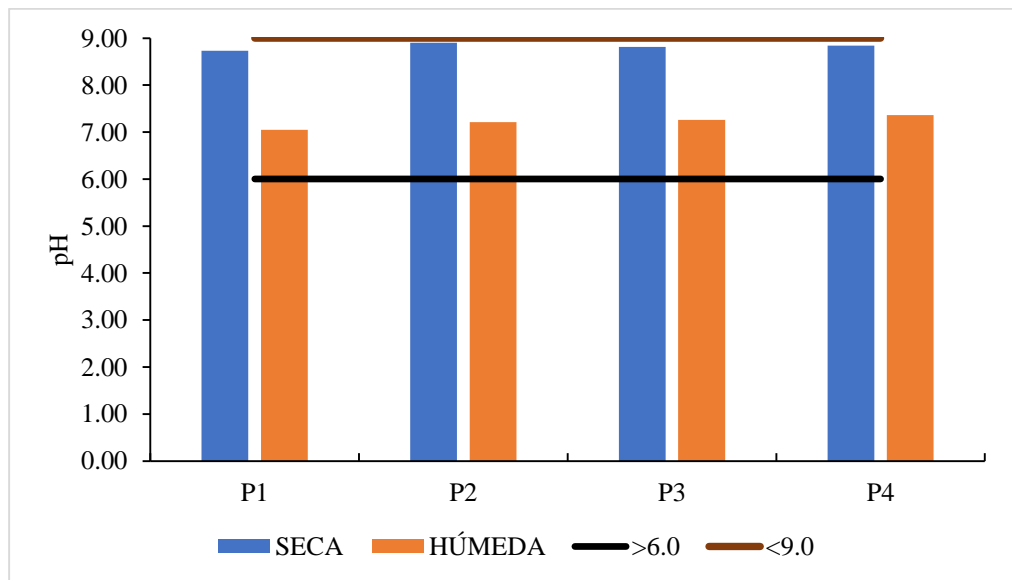
Las representaciones gráficas de las comparaciones con los estándares nacionales e internacionales se muestran por cada parámetro que aplica la normativa, por punto de muestreo y época estacional; los cuales describen el nivel de la concentración de cada parámetro con respecto a las concentraciones límite establecidas por cada norma de acuerdo con lo marcado en las **Tablas 10 y 11**.

Figura 10. Comparación de la concentración Oxígeno Disuelto (OD) en el agua con los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua (ECAs 2017-CT1/SB1)



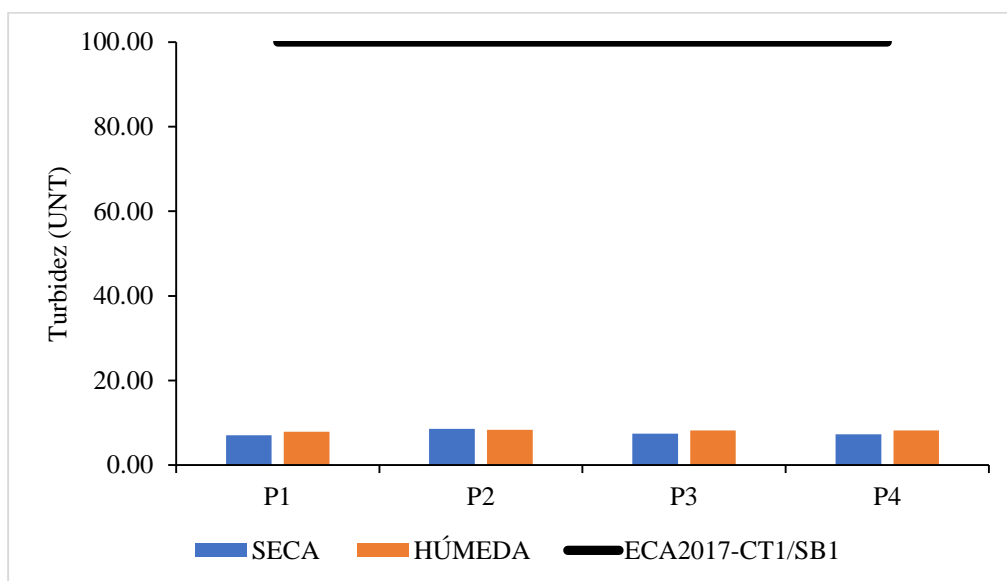
Nota: Se muestra que la concentración de OD cumple con el estándar establecido por la norma (OD>5). Fuente (elaboración propia).

Figura 11. Comparación de la concentración del Potencial de Hidrogeno (pH) en el agua con los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua (ECAs 2017-CT1/SB1)



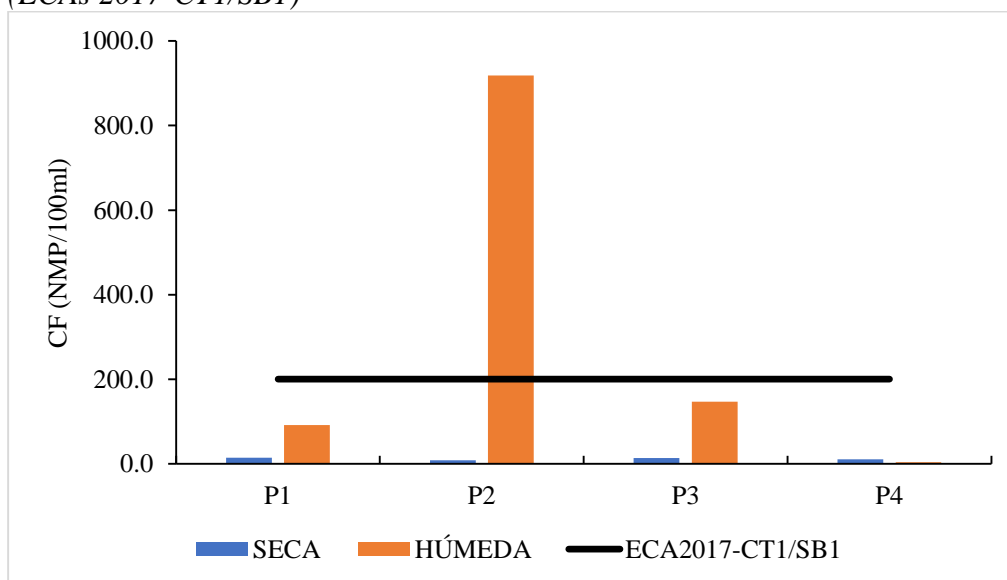
Nota: Se muestra que la concentración de pH se encuentra dentro del rango establecido por la norma (6.0 a 9.0). Fuente (elaboración propia).

Figura 12. Comparación de la concentración de la Turbidez en el agua con los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua (ECAs 2017-CT1/SB1)



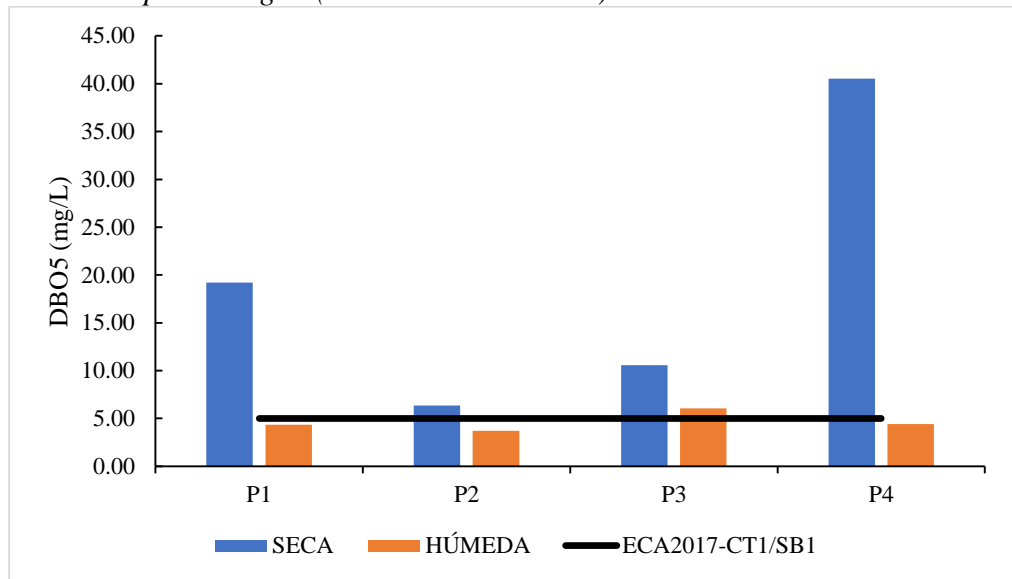
Nota: Se muestra que la concentración de turbidez se encuentra muy por debajo del estándar establecido por la norma. Fuente (elaboración propia).

Figura 13. Comparación de la concentración de Coliformes Fecales (CF) en el agua con los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua (ECAs 2017-CT1/SB1)



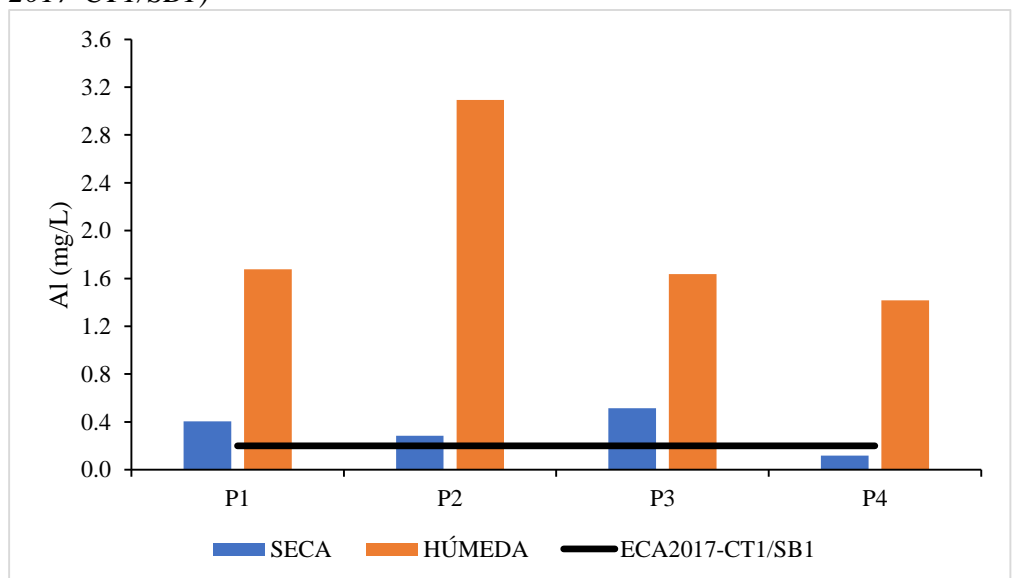
Nota: Se muestra que la concentración de CF en el P2 presenta riesgo durante la estación húmeda al exceder la concentración límite establecido por la norma. Fuente (elaboración propia).

Figura 14. Comparación de la concentración de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) en el agua con los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua (ECAs 2017-CT1/SB1)



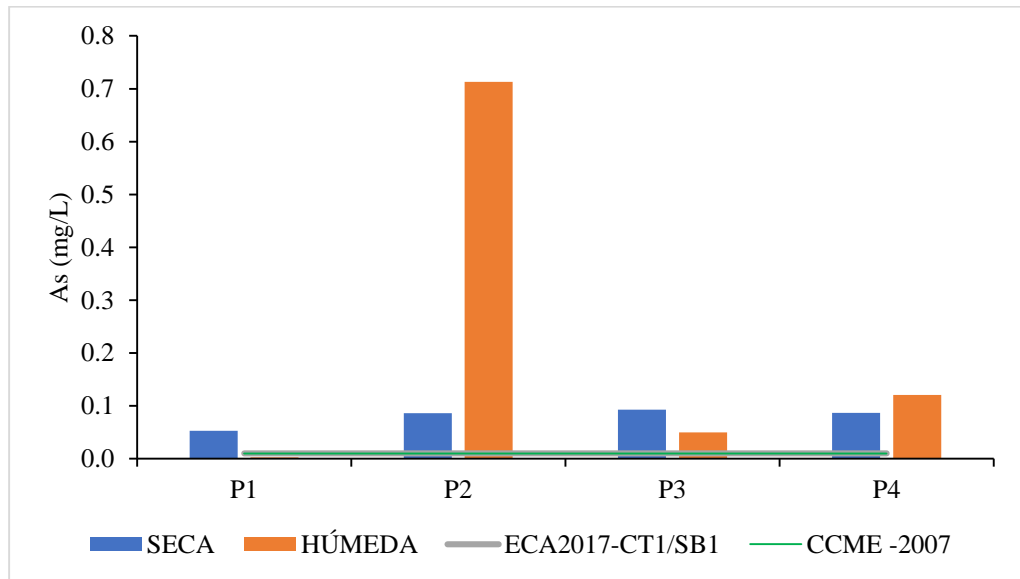
Nota: Se muestra que la concentración de DBO₅ en época seca se encuentra por encima de las concentraciones límite establecidas por la norma. Fuente (elaboración propia).

Figura 15. Comparación de la concentración de Aluminio (Al) en el agua con los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua (ECAs 2017-CT1/SB1)



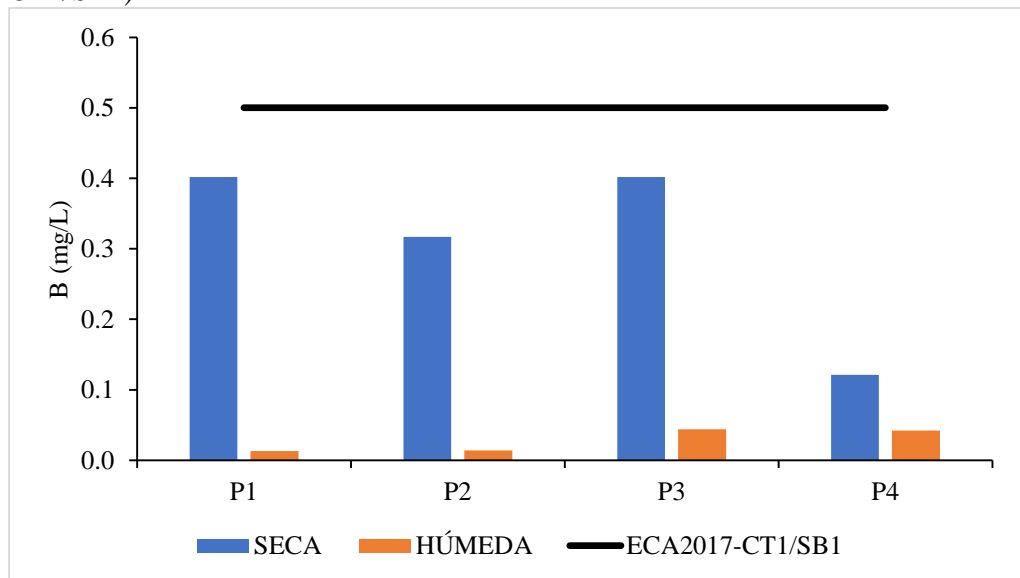
Nota: Se muestra que la concentración de Al excede en todos los puntos de muestreo a las concentraciones límite establecidas por la norma. Fuente (elaboración propia).

Figura 16. Comparación de la concentración de Arsénico (As) en el agua con los estándares nacionales ECAs 2017-CT1/SB1 y estándares internacionales CCME – 2007.



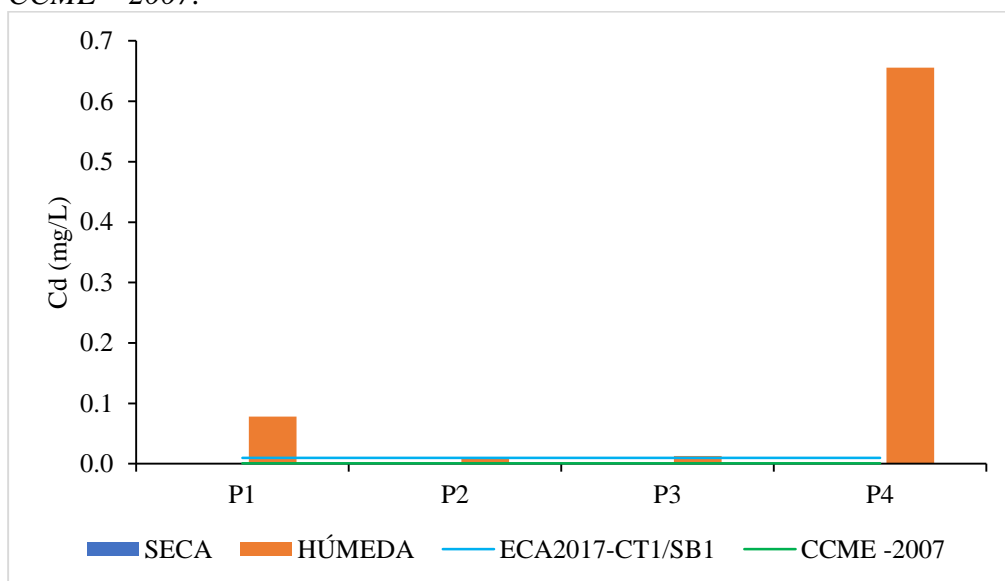
Nota: Se muestra que la concentración de As presenta riesgo en todos los puntos de muestro, al exceder las concentraciones límite de los ECAs 2017-CT1/SB1 y CCME – 2007. Fuente (elaboración propia).

Figura 17. Comparación de la concentración de Boro (B) en el agua con los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua (ECAs 2017-CT1/SB1)



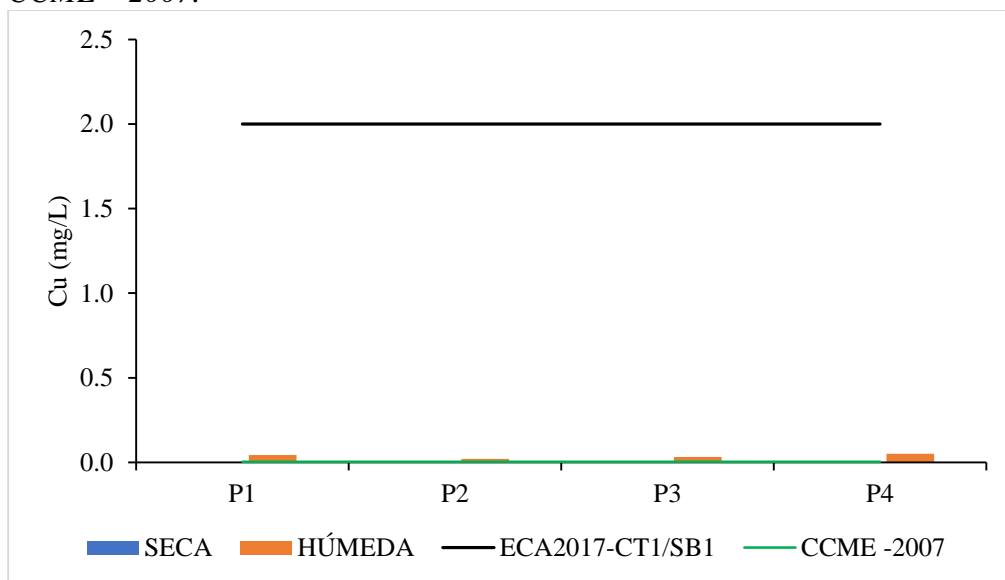
Nota: Se muestra que la concentración de B se encuentra por debajo de las concentraciones límite establecida por la norma. Fuente (elaboración propia).

Figura 18. Comparación de la concentración de Cadmio (Cd) en el agua con los estándares nacionales ECAs 2017-CT1/SB1 y estándares internacionales CCME – 2007.



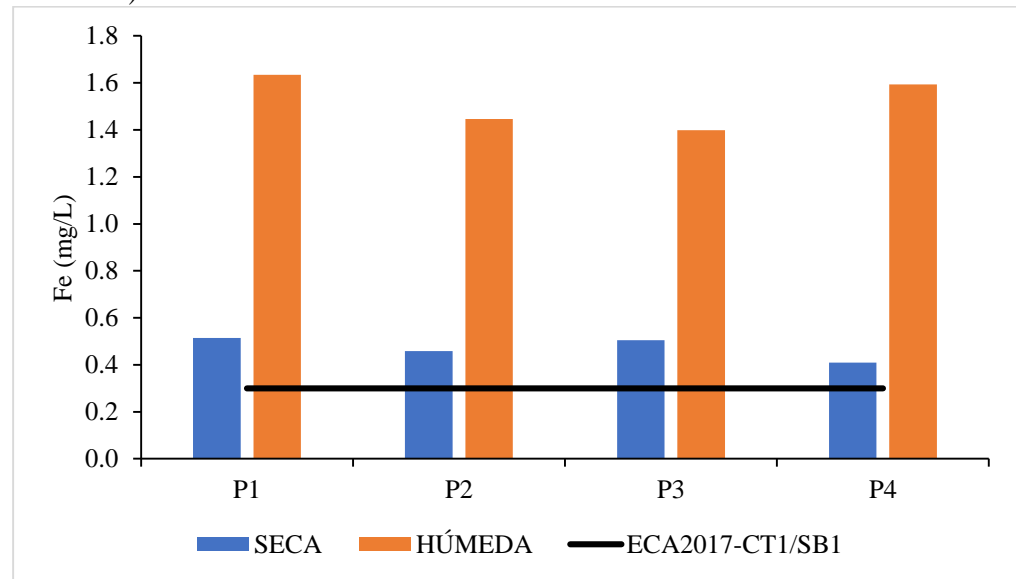
Nota: Se muestra que la concentración de Cd presenta riesgo en época húmeda en los puntos P1 y P4, al exceder las concentraciones límite de los ECAs 2017-CT1/SB1 y CCME – 2007. Fuente (elaboración propia).

Figura 19. Comparación de la concentración de Cobre (Cu) en el agua con los estándares nacionales ECAs 2017-CT1/SB1 y estándares internacionales CCME – 2007.



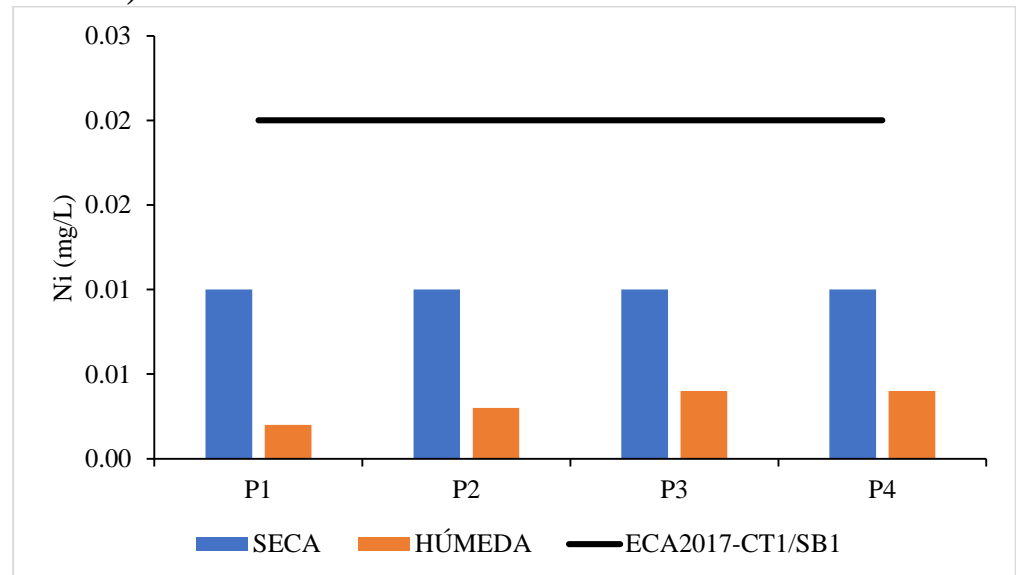
Nota: Se muestra que la concentración de Cu no excede las concentraciones límite de los ECAs 2017-CT1/SB1; no obstante, para CCME – 2007 presenta riesgo al exceder las concentraciones límite. Fuente (elaboración propia).

Figura 20. Comparación de la concentración de Hierro (Fe) en el agua con los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua (ECAs 2017-CT1/SB1)



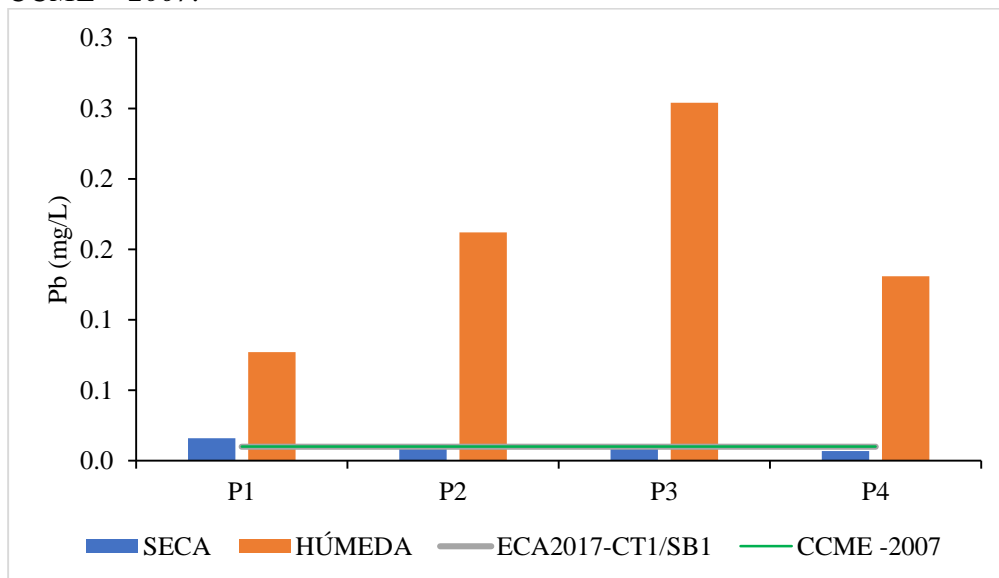
Nota: Se muestra que la concentración de Fe excede en todos los puntos de muestreo a las concentraciones límite establecidas por la norma. Fuente (elaboración propia).

Figura 21. Comparación de la concentración de Níquel (Ni) en el agua con los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua (ECAs 2017-CT1/SB1)



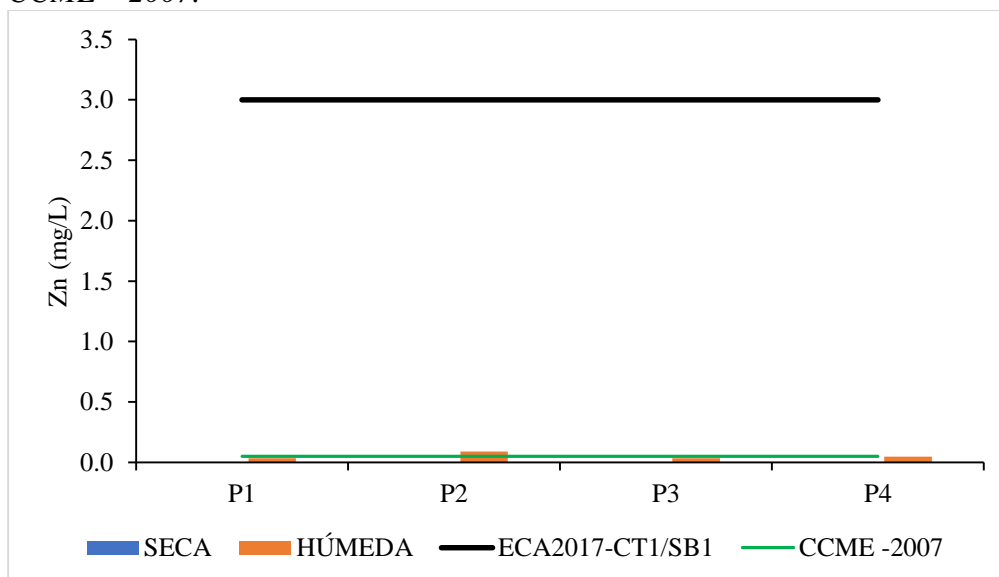
Nota: Se muestra que la concentración de Ni se encuentra por debajo de las concentraciones límite establecida por la norma. Fuente (elaboración propia).

Figura 22. Comparación de la concentración de Plomo (Pb) en el agua con los estándares nacionales ECAs 2017-CT1/SB1 y estándares internacionales CCME – 2007.



Nota: Se muestra que la concentración de Pb presenta riesgo en época húmeda y en todos los puntos de muestreo, al exceder las concentraciones límite de los ECAs 2017-CT1/SB1 y CCME – 2007. Fuente (elaboración propia).

Figura 23. Comparación de la concentración de Zinc (Zn) en el agua con los estándares nacionales ECAs 2017-CT1/SB1 y estándares internacionales CCME – 2007.



Nota: Se muestra que la concentración de Zn no excede las concentraciones límite de los ECAs 2017-CT1/SB1; no obstante, para CCME – 2007 se encuentra al límite. Fuente (elaboración propia).

3.8.2. Para la concentración de elementos presentes en el sedimento

Las concentraciones de metales pesados encontrados en los sedimentos se constataron con los estándares canadiense de la calidad de los sedimentos para la protección de la vida acuática (CEQG); en donde se evidenció que los valores de los elementos de As, Cd, Cu y Pb presentes en los sedimentos no superan los valores establecidos por el estándar, tanto para el límite ISQG ni para el límite PEL (**Tabla 12**). En cuanto al resto de los elementos estudiados como Fe y Ni no aplica para esta normativa.

Tabla 12

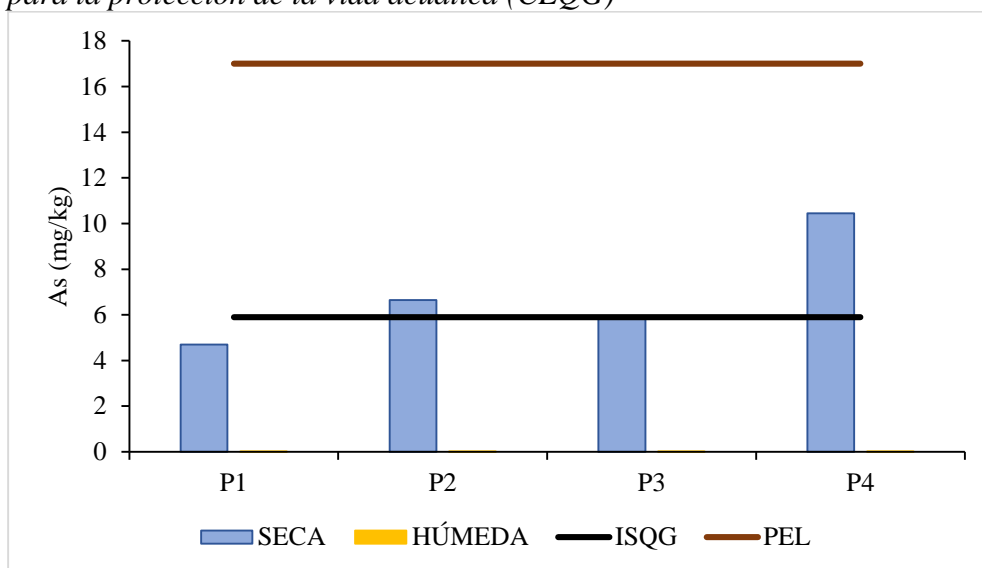
Concentración de metales pesados en sedimentos y contraste con la norma canadiense de calidad de sedimentos para la protección de la vida acuática

E	UND	EE	PM				ECQG	
			P1	P2	P3	P4	ISQG	PEL
As	mg.kg ⁻¹	S	4.697 (SEB)	6.644 (SEB)	5.815 (SEB)	10.441 (SEB)	5.9	17.0
		H	0.005 (SEB)	0.005 (SEB)	0.006 (SEB)	0.005 (SEB)		
Cd	mg.kg ⁻¹	S	0.005 (SEB)	0.005 (SEB)	0.005 (SEB)	0.005 (SEB)	0.6	3.5
		H	0.005 (SEB)	0.003 (SEB)	0.005 (SEB)	0.005 (SEB)		
Cu	mg.kg ⁻¹	S	0.338 (SEB)	0.466 (SEB)	0.408 (SEB)	1.386 (SEB)	35.7	91.3
		H	0.263 (SEB)	0.452 (SEB)	0.296 (SEB)	1.299 (SEB)		
Pb	mg.kg ⁻¹	S	1.739 (SEB)	3.880 (SEB)	2.028 (SEB)	10.783 (SEB)	35.0	91.3
		H	1.111 (SEB)	2.274 (SEB)	1.070 (SEB)	11.603 (SEB)		

Nota: Elementos (E), Unidad de Medida (UND), Época Estacional (EE), Puntos de Muestreo (PM), Guía Provisional de Calidad de Sedimentos (ISQG), Nivel de Efecto Probable (PEL), (SEB): Sin Efectos Biológicos. Fuente (elaboración propia).

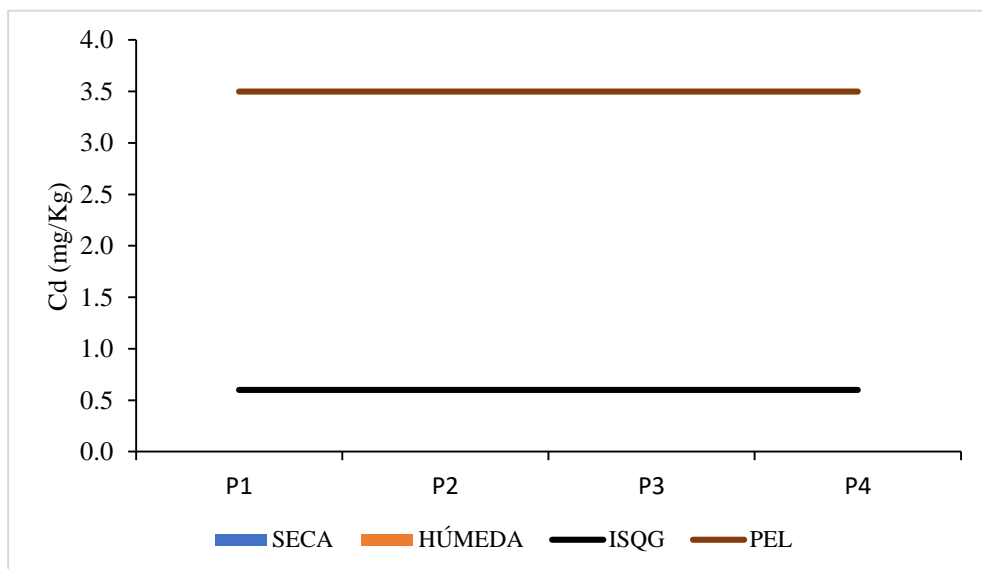
Las representaciones gráficas de las comparaciones con los estándares canadiense se muestran por cada parámetro que aplica la normativa, por punto de muestreo y época estacional; los cuales describen el nivel de la concentración de cada elemento con respecto a las concentraciones límite establecidas por cada norma de acuerdo con lo fijado en la **Tabla 12**.

Figura 24. Comparación de la concentración de Arsénico (As) en el sedimento con los estándares canadiense de la calidad de los sedimentos para la protección de la vida acuática (CEQG)



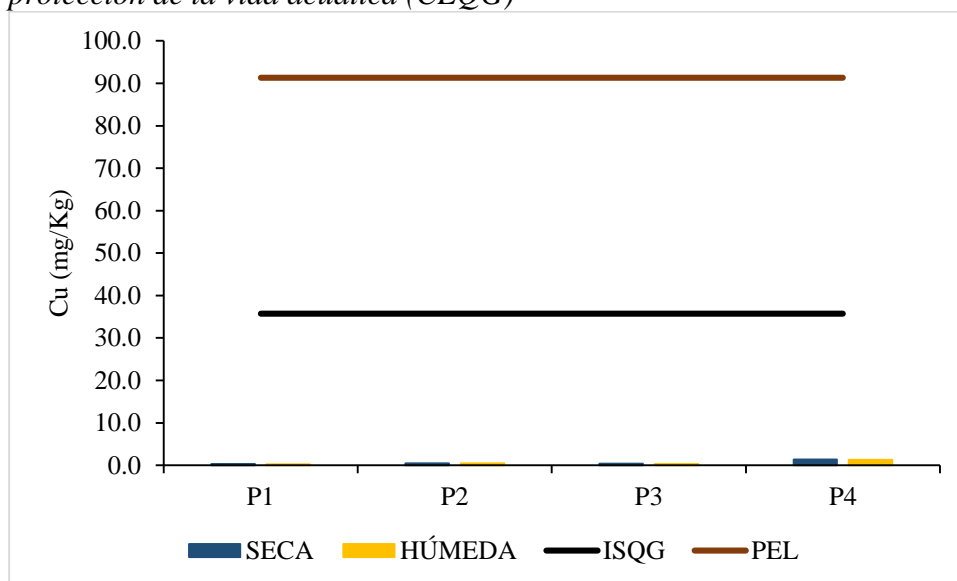
Nota: Se muestra que en la época seca la concentración de As en los puntos P2 y P4 superan las concentraciones límite ISQG; no obstante, las concentraciones límite PEL no son excedidas en ninguna de las épocas ni puntos. Fuente (elaboración propia).

Figura 25. Comparación de la concentración de Cadmio (Cd) en el sedimento con los estándares canadiense de la calidad de los sedimentos para la protección de la vida acuática (CEQG)



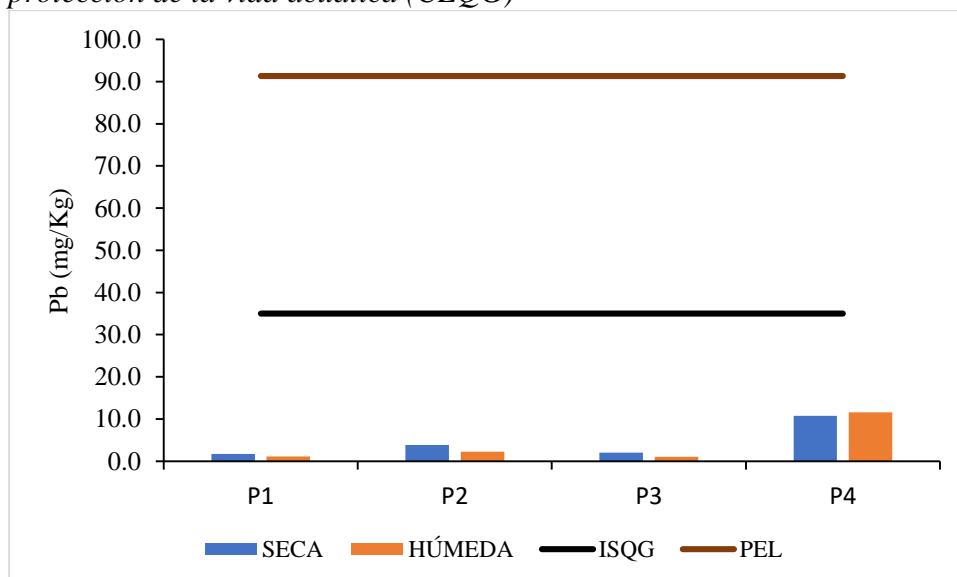
Nota: Se muestra que la concentración de Cd no supera los valores establecidos por el estándar en ninguna de las épocas estacionales, tanto para el límite ISQG ni para el límite PEL. Fuente (elaboración propia).

Figura 26. Comparación de la concentración de Cobre (Cu) en el sedimento con los estándares canadiense de la calidad de los sedimentos para la protección de la vida acuática (CEQG)



Nota: Se muestra que la concentración de Cu no supera los valores establecidos por el estándar en ninguna de las épocas estacionales, tanto para el límite ISQG ni para el límite PEL. Fuente (elaboración propia).

Figura 27. Comparación de la concentración de Plomo (Pb) en el sedimento con los estándares canadiense de la calidad de los sedimentos para la protección de la vida acuática (CEQG)



Nota: Se muestra que la concentración de Pb no supera los valores establecidos por el estándar en ninguna de las épocas estacionales, tanto para el límite ISQG ni para el límite PEL. Fuente (elaboración propia).

IV. DISCUSIÓN

4.1. Índice de calidad del agua (ICA-PE)

Los resultados del índice de calidad del agua (ICA) muestran un valor único que se encuentran en el rango de valores de 0 a 100, el cual nos indica la calificación del estado o condición del estado actual de la calidad del agua de la alguna Tabla Rumi. El análisis de cada uno de los resultados dependerá de la zona de ubicación de los puntos de muestreo (ANA, 2018). A lo largo de la laguna en tiempo y en espacio, existen algunos factores que alteran la calidad del agua. Entre los factores más relevantes que forman parte de la variación de los resultados del ICA en la laguna, son: las actividades recreativas que se desarrollan en ella, en la zona este existe un huerto de uso personal y/o familiar que desarrollan su actividad agrícola con la utilización de agroquímicos a escala doméstica y también cuenta con un área de pastoreo de ganados y caballos, y en la zona sur el camino utilizado para el tránsito de pobladores con sus animales como caballos y ganados que van dejando sus excrementos a lo largo del camino que esta contiguo a la laguna y en la zona sur viene a ser el área de recepción de los turistas que durante el desarrollo de sus actividades olvidan colocar sus residuos sólidos en los contenedores para su adecuada disposición final. Según los resultados del ICA de la laguna obtenidos tanto espacial (puntos) como temporal (épocas), se determinó que: en la época seca los valores del ICA fueron de 63 para los puntos (P1, P2) y 65 para los puntos (P3, P4), los cuales indica una calificación de calidad del agua que va de **regular** a **favorable**; no obstante, en la época húmeda, los valores del ICA fueron de 56 para el punto (P1) y un valor medio de 40 para los puntos (P2, P3, P4), indicando una calificación de la calidad del agua que va de **regular** a **mala**. Estas variaciones pueden ser atribuidas a la existencia de los factores ya mencionados, los cuales asisten a la contaminación de este ecosistema léntico, mediante las escorrentías superficiales y subterráneas gracias al cambio de época estacional, especialmente en las lluvias que provoca el escurrimiento de elementos químicos y el arrastre de los residuos sólidos de la superficie (Guajardo-Panes et al., 2020).

4.2. Parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de materia orgánica presentes en el agua según el comportamiento espaciotemporal

El potencial de hidrogeno (pH) de la laguna Tabla Rumi no presenta variaciones significativas en cuanto a puntos de monitoreo, a diferencia de las épocas estacionales en donde se evidenció un cambio: la época seca presentó un valor medio de 8,8 y la época húmeda 7,2. Las causas del pH alto en la época seca pueden incluir carreteras de grava de piedra caliza, la geología y los suelos alcalinos, la producción o eliminación de asfalto, esteras de algas filamentosas o algas; y su disminución en la época húmeda puede ser debido a diversas causas externas, como el uso de la tierra y la práctica agrícola que favorece al enriquecimiento de la laguna con nutrientes que son transportados gracias a las escorrentías (Brito et al., 2016; Kemp et al., 2005). Por ejemplo, el punto (P1) está influenciado por el humedal, el punto (P3) por los vertidos del huerto de cultivos y los forrajes que son aprovechados para la práctica pecuaria y el punto (P4) por la actividad turística. Estas características nos indican que la laguna Tabla Rumi, al tener una disminución del pH en época húmeda, tiene una baja capacidad amortiguadora en términos de contaminaciones ácidas relacionadas con la actividad agropecuaria y diversos nutrientes que son arrastrados en presencia de las lluvias (Ogato et al., 2015). Hay estudios similares, como es el caso de la laguna Los Patos y el lago Colina, en donde atribuyeron que la dinámica temporal del pH puede ofrecer una fundamental variabilidad estacional e incluso diariamente gracias a los cursos naturales de agua. Los organismos acuáticos, como las algas, llevan a cabo la fotosíntesis aumentando el consumo de CO_2 que se disuelve directamente de la atmósfera, lo cual causa el incremento en el pH (Acuña et al., 2020; Arias et al., 2016). Estos resultados son similares a los datos obtenidos en algunos parámetros, ya que muestran una disminución en su valor en la temporada de lluvias. Una mención especial tiene la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), que aumenta en la estación seca, registrando valores medios de 4.62 mg/L en la estación húmeda y 19.17 mg/L en la estación seca. La DBO_5 se representa como la cantidad necesaria de oxígeno que necesitan los organismos acuáticos vivos para desarrollar su proceso fisiológico (Jayabhaye, 2009; El-Gammal et al., 2015). Por lo que se puede decir que la DBO_5 es la indicación directa del grado de contaminación en un cuerpo de agua. En la laguna Tabla Rumi se registraron niveles relativamente altos de DBO_5 en la estación seca, posiblemente debido a que en esta temporada la laguna se ve

influenciada por la actividad turística, en donde los turistas desarrollan sus actividades de recreación tanto de contacto primario como de contacto secundario. En estudios similares como es el caso del lago Burullus en Egipto, en donde se registraron niveles altos de DBO en los bordes del lago, del cual contribuyeron a que esos valores se veían reflejados a la alta carga de descargas agrícolas, aguas residuales y la alta demanda de turistas que la frecuentan en temporadas de verano principalmente; y como en el caso del lago Veeranam en India, donde se presume que los valores de demanda bioquímica de oxígeno aumentan gracias a los contaminantes orgánicos, que provocan la muerte de la vida acuática (El-Zeiny & El-Kafrawy, 2017; Ramya et al., 2021). En cuanto a los valores de oxígeno disuelto no mostraron múltiples variaciones espaciotemporales, posiblemente porque la laguna se mantiene en constante movimiento. Esto indica que la columna del agua se oxigena con frecuencia por lo que muestra valores relativamente homogéneos (Wang et al., 2022). Para el caso de la laguna Tabla Rumi, se observaron valores medios de 7.81 mg/L para la estación seca y 7.04 mg/L para la estación húmeda. Se establece que las concentraciones de OD en aguas naturales con rango de 6.5 a 8 mg/L, son característicos de aguas ligeramente contaminadas (Acuña et al., 2020). De alguna manera estos valores demuestran que la calidad del agua de la laguna Tabla Rumi se encuentra ligeramente contaminada durante todo el año. Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) también mostraron aumento durante la estación seca. Este aumento es debido a las actividades humanas que han aumentado los niveles de sólidos en suspensión en muchos hábitats de agua dulce; factores como la urbanización, la agricultura, eliminación de vegetación, turismo excesivo y la introducción de especies exóticas que agitan los sedimentos (Molner et al., 2023). Por otro lado, la mayor presencia de microorganismos potencialmente patógenos se observó en la estación húmeda, con valores de coliformes fecales relativamente altos en las estaciones de muestro costeras principalmente, presentando un valor medio de 385.6 NMP/100ml. Estos conteos de microorganismos observados son una clara evidencia de que la laguna presenta contaminación por materia orgánica, situación que podría estar relacionada gracias a la presencia de efluentes pluviales, los cuales tienen una función de recolectar el agua de lluvia de los sectores aledaños y canalizarlos para ser depositados en la laguna (Acuña et al., 2020). Estas aguas recreativas son muy propensas a albergar microorganismos indicadores que podrían causar problemas gastrointestinales, en

los ojos, en la piel e infecciones del oído, por contacto primario durante las actividades recreativas (Pachepsky et al., 2016). Para su determinación de una posible presencia en este tipo de ambientes, como las aguas recreativas, los organismos indicadores son actualmente un estándar funcional, ya que se encuentra asociada con la contaminación fecal reciente, y que solo sobreviven por periodos de tiempo cortos en el agua; por lo tanto, alertan sobre la posible presencia de potenciales patógenos (Harwood et al., 2018; Rubio-Arias et al., 2016; Graciaa et al., 2018). Los valores de sulfato también indicaron un aumento durante la estación húmeda, podría ser debido a fuentes difusas por contaminantes que son transportados desde áreas agrícolas y urbanas durante la temporada de lluvias (Ahmed et al., 2018).

4.3. Parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, materia orgánica y metales pesados presentes en el agua en puntos y épocas estacionales

En la laguna Tabla Rumi, la variación temporal es muy marcada para los parámetros de ST, sulfatos, CF, Al, Cd, Cu, Fe, Pb y Zn, ya que muestran valores mayores durante la época húmeda. Este cambio se debe principalmente al ingreso de materia orgánica al ecosistema acuático mediante fuentes con presencia de insumos alóctonos que gracias a las lluvias y escorrentías arrastran la materia orgánica durante la temporada de lluvias (Derrien et al., 2019). Así mismo, los metales pueden transportarse a través de ríos, arroyos, escorrentías tanto en forma suspendida como disuelta, acumulados en organismos acuáticos y en sedimentos suspendidos, los cuales tienen repercusiones en su biodisponibilidad, movilidad y toxicidad (Santos et al., 2023). La laguna cuenta con dos fuentes de afluencia superficiales, el humedal vecino a la laguna y la tubería de abastecimiento; así mismo las múltiples otras fuentes temporales que puedan existir. Los parámetros que presentan mayor valor en la estación seca son CE, SDT, SST, B y Ni. Estas características se deben a que algunos compuestos como el Ni y el B son solubles en el agua; así mismo, los metales se encuentran débilmente asociados a fracciones de partículas disueltas y suspendidas (Namieśnik & Rabajczyk, 2010; Kamala-Kannan et al., 2008). Un estudio similar ocurrió en el lago Pomacochas, en donde determinaron la existencia de una variación temporal en la concentración de los parámetros mencionados debido a que este ecosistema lenticó puede considerarse un lago periurbano por su proximidad al pueblo de Florida Pomacochas (Leiva-

Tafur et al., 2022). Esto sugiere a que la laguna Tabla Rumi presenta el mismo comportamiento temporal debido a que se encuentra muy próximo al pueblo de Shipasbamba, el cual contribuye a que la laguna este más propenso al constante contacto primario y secundario por parte de la población ocasionando la alteración de su estado natural, siendo la principal causa que contribuye a la estación seca. Durante la estación húmeda la principal causa de variación de la concentración en los parámetros son las escorrentías superficiales y lixiviación del suelo (Rahman et al., 2021).

4.4. Metales pesados presentes en el agua y sedimentos

Respecto a la variación espacial marcada (diferencias significativas en los valores por puntos de muestreo) de los parámetros medidos en el sedimento se pueden diferenciar en dos grupos; los parámetros de Cd, Ni y As se ven más influenciados por los puntos P1, P2 y P3 (puntos de costa), mientras que el Pb, Cu y el Fe se ven más influenciados por el punto P4 (punto central). Se presume que estas diferencias pueden deberse a la influencia de varios factores, incluida las actividades antropogénicas, el efecto del tamaño del grano de los sedimentos, procesos bioquímicos y el entorno hidrodinámico dentro de la laguna juega un papel importante en la existencia de estas diferencias (Yao, 2010). El punto P1 se encuentra ubicado contiguo al humedal (laguna de paja) y experimenta frecuentes intercambios de agua con la laguna Tabla Rumi, el punto P2 se encuentra vecina a la zona de descarga y urbana, promoviendo la dilución y difusión de contaminantes, el punto P3 por su proximidad al huerto, en donde desarrollan la práctica de agroquímicos, y el punto central P4 presenta una mayor sedimentación de metales; así mismo, estos puntos de muestreo se encuentran sujetas a las perturbaciones inducidas por el hombre, como el contacto primario y la descarga de efluentes, las cuales exhiben características de distribución espacial de los metales pesados (Maanan et al., 2015). Esto destaca la influencia significativa de un ambiente hidrodinámico en la variación espacial de la contaminación por metales en la laguna Tabla Rumi.

Las concentraciones de Cd, Cu, Pb y Ni en parte se debe al crecimiento de la urbanización generando un aumento en la eliminación de efluentes, lixiviados de fertilizantes agrícolas y ganadería son responsables de un aumento de la contaminación (Malhadas et al., 2010). En cuanto a la presencia de As y Fe se

origina debido a la actividad agrícola, principalmente con el uso de fertilizantes y pesticidas; estas sustancias pueden transportarse desde suelo a los sedimentos (Hassan, 2019; Zhang & Lu, 2017). Estos metales traza pueden ser transportados a través de escorrentías, ríos y arroyos tanto en forma disuelta como suspendida o acumulada en organismos acuáticos y también en sedimentos suspendidos, con repercusiones en su movilidad, biodisponibilidad y toxicidad (Santos, et al., 2023). La variación de parámetros fisicoquímicos del agua como turbidez, OD y pH afectan significativamente a la distribución de metales pesados en lagos y lagunas (Jiang et al., 2018). Por ejemplo, el aumento del pH ocasiona la fácil liberación de metales en el sedimento; así mismo, se afirma que, un pH ácido, menor a 4 reduce la adsorción de metales, mientras que con un pH más alcalino aumenta la adsorción de metales (Kang et al., 2019; Kouassi et al., 2019). En cuanto a la turbidez, puede atribuirse a la suspensión de la materia inorgánica e indica transporte de sedimentos (Sebastiá et al., 2023). Por otro lado, la alcalinidad juega un rol muy importante en los ecosistemas lacustres, ya que con un aumento en su valor mejora la adsorción y precipitación de metales pesados como el Pb y Cu (Wang et al., 2018). Los elementos de Cu, As, Pb y Fe son los que presentan mayores concentraciones en los sedimentos de la laguna. Las concentraciones de As y Cu reflejan principalmente el impacto por actividades antropogénicas en el sistema acuático, como las actividades agrícolas con el uso de pesticidas, la producción de forrajes y pastos contorneo a los ecosistemas lenticos (Huang et al., 2023; Oliva et al., 2015).

Por lo consiguiente, se dice que la contaminación por metales en lagos y lagunas están sujetas a la conectividad hidrológica, la cual tiene un impacto significativo en los ecosistemas lénticos. La existencia de una alta conectividad entre lagos y ríos o lagunas, el ciclo de intercambio de agua es relativamente corto e intenso, esto permite que el cuerpo de agua presente buenas condiciones durante un periodo largo, manteniendo así un equilibrio en los ecosistemas lacustres (Li et al., 2022). No obstante, la reducción del área del o algunas condiciones de sequía pueden conllevar a un ciclo de intercambio de agua más largo, provocando así un deterioro significativo de la calidad del agua, por ejemplo, contaminación por metales y eutrofización, lo que representa una amenaza en el funcionamiento del ecosistema de la laguna (Li et al, 2022; Dou et al., 2022). Esto nos conlleva a caracterizar a la laguna Tabla Rumi como un ecosistema léntico relativamente cerrado con un área

pequeña y no cuenta con una conectividad de ríos o lagos con circulación permanente. Estas características de un ecosistema léntico conllevan a experimentar un ciclo de renovación más largo, lo que resulta una lenta dilución de los contaminantes y se encuentre vulnerable a ser contaminada por metales pesados (Huang et al., 2023).

4.5. Parámetros del agua y el sedimento en concordancia con los valores límite establecidos por las normas nacionales e internacionales para la calidad del agua

Al constatar las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de materia orgánica presentes en el agua con los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua (ECAs), se evidenció que los parámetros de coliformes fecales y DBO presentan riesgo de contaminación al exceder los estándares establecidos para la Categoría 1: Poblacional y recreacional, Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación. En cuanto a las concentraciones de metales pesados en el agua, se constataron con la misma norma nacional y para la misma categoría ya mencionada, y sobre los estándares internacionales, se constató con las normas canadiense CCME (estándar canadiense establecido por los ministros de medio ambiente para la protección de la vida acuática), en donde se evidenciaron que las concentraciones de elementos como Al, As, Fe y Pb exceden los valores límite establecidos por los estándares nacionales; por otro lado, las concentraciones de As, Cd, Cu y Pb exceden los valores límite establecidos por los estándares internacionales. En consecuencia, se puede afirmar que la laguna Tabla Rumi, presenta riesgo latente de contaminación por estos metales pesados. Respecto a la concentración de metales pesados presentes en los sedimentos en contraste con el estándar internacional de Canadá, se confirma que no existen efectos biológicos nocivos por la presencia de metales pesados.

V. CONCLUSIONES

- ✓ La calidad del agua de su estado actual de la laguna Tabla Rumi según el ICA-PE presenta un comportamiento variable. Por una parte, indica la existencia de una variación significativa en su calidad según las épocas estacionales, durante la época húmeda (H) la calidad de su agua presenta una calificación **Mala** y en la época seca (S) una calificación que varía de **Regular** a **Favorable**; por la otra, en cuanto a los puntos de muestreo no indica variaciones significativas en cuanto a su calidad, presentando una calificación que oscila entre **Regular** a **Favorable**. Por lo general, el agua presenta calidad aceptable para el uso recreacional durante la estación seca; no obstante, la calidad del agua en la estación húmeda no es aceptable para el uso recreacional.
- ✓ En cuanto a las variaciones espaciotemporales de los parámetros medidos en el agua, se confirmó la existencia de una variación temporal, mas no espacial. Estas variaciones en cuanto a épocas es una clara evidencia del cambio en la calidad del agua entre época seca y húmeda. Por lo tanto, se puede decir que las épocas estacionales influyen directamente en la contaminación de la calidad del agua de la laguna. Este grado de contaminación sucede con la afluencia de múltiples afluentes que arrastran material desde las zonas altas. Las concentraciones de los parámetros como coliformes fecales, Al, As, Cd, Cu, Fe, Pb presentes en el agua, muestran un impacto en el uso del suelo adyacente a la laguna, tales compuestos son transportados por escorrentías y lixiviación a lo largo de la época húmeda.
- ✓ Los parámetros evaluados en los sedimentos, presentaron una variación espacial mas no temporal. Los elementos como el Cd, Ni y As se localizan en los puntos de costa, gracias al drenaje y arrastre de compuestos que son transferidos a la laguna, y el Pb, Cu y el Fe presentan mayor concentración en el punto central, debido al proceso de sedimentación.
- ✓ El contraste de los parámetros medidos en el agua con los estándares nacionales establecidas por Canadá, se muestra el riesgo inminente de contaminación por As, Cd, Cu y Pb, mientras que para el estándar nacional presentan riesgo los coliformes fecales (CF) y los elementos de Al, As, Fe y Pb. Por otro lado, las concentraciones de As, Cd, Cu y Pb presentes en los sedimentos, en relación con el estándar canadiense, no manifiestan riesgos biológicos actualmente.

VI. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda a las autoridades del distrito de Shipasbamba realizar un plan de manejo ambiental para la conservación de la laguna Tabla Rumi, ya que este ecosistema viene siendo un recurso natural potencialmente beneficioso para el desarrollo turístico del distrito.
- ✓ Así mismo, se recomienda a las autoridades implementar y gestionar proyectos constructivos para la mejora continua de los aspectos físicos de la laguna, como la implementación de servicios básicos: señalizaciones, SS. HH, puntos de descanso y entre otros que logren satisfacer las necesidades de los turistas y bañistas que la frecuentan.
- ✓ Se recomienda a las autoridades colocar señalizaciones de seguridad y prevención sobre los efectos negativos que podría causar la laguna si se practica las actividades recreativas de contacto primario durante las temporadas de lluvias, ya que según el presente estudio se logró evidenciar que la calidad del agua de la laguna presenta un mal estado en la época lluviosa.
- ✓ Fomentar a la realización de más estudios en el sitio por parte de la autoridad encargada del patrimonio, tomando como objetivo principal la importancia y valoración socioeconómico de la laguna Tabla Rumi.
- ✓ Recomendar en las próximas investigaciones realizar más muestreos periódicos durante todo el año para tener mayor cantidad de datos durante los análisis estadísticos y así obtener mejores resultados.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, A. J., Cambarieri, L., Bertoni, O., Szewczuk, J. A. y Pucci, G. N. (2020). Caracterización ambiental de la laguna Los Patos en la ciudad de Río Gallegos, Argentina. *ResearchGate*, 138. 29-35. Epub. 2020. Recuperado en 13 de octubre de 2023, de <https://www.researchgate.net/publication/344387992>.
- Ahmed, W., Payyappat, S., Cassidy, M., Besley, C. y Power, K. (2018). Los nuevos genes marcadores crAssphage determinan la contaminación de las aguas residuales en un lago recreativo que recibe escorrentía de aguas pluviales urbanas. *Agua Res.* 145, 769-778. doi:10.1016/j.waters.2018.08.049
- Alvizuri, P. A., Rios Ruiz, M., Lora Garcia, J., Torregrosa López, J. I., & Lo-Iacono Ferreira, V. G. (2022). Study and Evaluation of Surface Water Resources Affected by Ancient and Illegal Mining in the Upper Part of the Milluni Microbasin, Bolivia. *Resources*, 11(4), 36. <https://doi.org/10.3390/resources11040036>.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua) (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. Lima: Autoridad Nacional del Agua.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua) (2018). *Metodología para la Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-PE Aplicado a los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales*. Lima: Autoridad Nacional del Agua.
- Anderson, MJ y Walsh, DCI. (2013). PERMANOVA, ANOSIM y la prueba de Mantel ante dispersiones heterogéneas: ¿Qué hipótesis nula está probando? *Ecol.Monogr.*83,557-574. doi:10.1890/12-2010.1
- APHA, AWWA and WEF. 2017. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA.
- Audouit, C., Pasqualini, V., de Wit, R., Flanquart, H., Deboudt, P., & Rufin Soler, C. (2019). Comparing social representation of water quality in coastal lagoons with normative use of ecological indicators. *Marine Policy*, 101, 137–146. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.08.023>.
- Benavides, A., Moreno, M., Sosa, M., Alcalá, J. y Quintana, C. (2017). Evaluación de la Calidad del Agua en las Principales Lagunas del Estado de Chihuahua. *Revista Latinoamericana De Recursos Naturales*, 4(2), 84-88. Recuperado a partir de <https://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/107>.

- Brito, D., Rivero, J., Guevara, M., Vásquez, F., Díaz, B., & G., José. (2016). Análisis físico-químico y microbiológico de la Laguna Grande, parroquia La Pica, Maturín - estado Monagas, Venezuela. *Saber*, 28(3), 502-510. Recuperado en 25 de septiembre de 2023, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622016000300007&lng=es&tlng=es.
- Canadá, Canadian Council Of Ministers Of The Environment Winnipeg (2001). *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME Water Quality Index 1.0*, Canadá. Disponible en: <http://www.ccme.ca/sourcetotap/wqi.html>.
- CCME (Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente) (2001). *Directrices canadienses sobre la calidad de los sedimentos para la protección de la vida acuática*. Ottawa: Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente.
- CCME (Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente) (2007). *Protocolos para la derivación de lineamientos de calidad del agua para la protección de la vida acuática*. Ottawa: Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente.
- Chen, H., Jing, L., Yao, Z., Meng, F. y Teng, Y. (2019). Prevalencia, fuente y riesgo de genes de resistencia a antibióticos en los sedimentos del lago tai (China) descifrados por ensamblaje metagenómico: una comparación con otros lagos globales. *Reinar*. En t. 127, 267-275. doi:10.1016/j.envint.2019.03.048
- Curran, J. F., Zaggia, L., & Quero, G. M. (2022). Metagenomic Characterization of Microbial Pollutants and Antibiotic- and Metal-Resistance Genes in Sediments from the Canals of Venice. *Water*, 14(7), 1161. <https://doi.org/10.3390/w14071161>.
- Derrien, M., Brogi, S. R. y Goncalves-Araujo, R. (2019). Caracterización de la materia orgánica acuática: Evaluación, perspectivas y prioridades de investigación. *Agua Res.* 163, 114908. doi:10.1016/j.waters.2019.114908
- Dodds, W. K., and M. R. Whiles. (2010). *Freshwater Ecology*. Academic Press Elsevier, San Diego, California, USA. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374724-2.00024-6>.
- Dou, Y., Yu, X., Liu, L., Ning, Y., Bi, X. y Liu, J. (2022). Efectos del proyecto de conectividad hidrológica sobre los metales pesados en los lagos urbanos de Wuhan en la escala de tiempo. *Ciencia del Medio Ambiente Total*, 853, 158654.

- El-Gammal, M. I, Ibrahim, M. S, Gad, A. y El-Zeiny, A. M. (2015). Integración de análisis de laboratorio y técnicas SIG para la evaluación de algunas características físicas y químicas en diferentes cuerpos de agua, región costera de Damietta, Egipto. *Mansoura J. Medio ambiente. Ciencia*, 44, 257-284.
- El-Zeiny, A., & El-Kafrawy, S. (2017). Assessment of water pollution induced by human activities in Burullus Lake using Landsat 8 operational land imager and GIS. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20, S49–S56. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.10.002>.
- EPA (Agencia de Protección Ambiental) (1992). Método 3005A – *Digestión ácida de aguas para metales totales recuperables o disueltos para análisis por espectroscopía FLAA o ICP*. Washington DC: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.
- EPA (Agencia de Protección Ambiental) (1994). *Método 200.7 – Determinación de elementos y oligoelementos en agua y desechos mediante espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente*. Washington DC: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.
- EPA (Agencia de Protección Ambiental) (1996). *Método 3050B: Digestión ácida de sedimentos, lodos y suelos*. Washington DC: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.
- Equipo central de desarrollo de R, (2022). R: Un lenguaje y entorno para la computación estadística. Disponible en: <http://www.r-project.org>.
- González, R. P., Ventura, R., De la Garza, F. R., & Heyer Rodríguez, L. (2019). Physicochemical water characterization of La Vega Escondida Lake, Tampico, Tamaulipas, México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 10(1), 01–29. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-01-01>.
- Gozá-León, O., Fernández-Águila, M., Rodríguez-Garcel, R. H., & Ojito-Magaz, E. (2020). Aplicación del Análisis de Componentes Principales en el proceso de purificación de un biofármaco. *Vaccimonitor*, 29(1), 5-13. Epub 01 de abril de 2020. Recuperado en 10 de marzo de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-028X2020000100005&lng=es&tlng=pt.

- Graciaa D.S., Cope, J.R., Roberts, V.A., Cikesh, B.L., Kahler, A.M., Vigar, M., Hilborn, E.D., Wade, T.J., Backer, L.C., Montgomery, S.P., & Secor, W.E. (2018). Outbreaks associated with untreated recreational water - United States, 2000- 2014. *MMWR Morb. Mortal. Wkly. Rep.* 67 (25): 701-706.
- Guajardo-Panes, R.A., Barbosa-Moreno, F., Díaz Padilla, G., & Sánchez-Cohen, I. (2020). Cálculo de un índice de calidad del agua en un cuerpo de agua: estudio de caso lagunas Chacahua y Pastoría, Oaxaca. *RINDERESU vol. 5(2)*: 650-669. Recuperado de <http://www.rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/105>
- Harwood V.J., Korajkic, A., Verbyla, M., Iriarte, M., & Shanks, O. (2018). General and host-associated bacterial indicators of fecal pollution. In: Rose, J.B., Jimenez-Cisneros, B. (Eds.), *Global Water Pathogens Project. UNESCO, E. Lans-ing, MI.* 1-38 pp.
- Hassan, A. S. (2019). Inorganic-based pesticides: a review article. *Egypt Sci J Pestic*, 5, 39-52.
- Hou, D., He, J., Lü, C., Ren, L., Fan, Q., Wang, J., et al. (2013). Características de distribución y evaluación del riesgo ecológico potencial de metales pesados (Cu, Pb, Zn, Cd) en agua y sedimentos del lago Dalinouer, China. *Ecotoxicol. Reinar. Seguro* 93, 135-144. doi: 10.1016/j.ecoenv.2013.03.012.
- Huang, G., Dong, X., Xian, H., Xu, W., Yang, H.; Zhang, Y., Kattel, G. (2023). Patrones espaciotemporales de contaminación por metales pesados en la laguna costera de Pinqing (sur de China): efecto antropogénico e hidrológico. *Agua*, 15, 3126. <https://doi.org/10.3390/w15173126>.
- INEI. 2018. Resultados definitivos de los censos nacionales 2017: Amazonas. Instituto Nacional de Estadística e Informática, Lima, Lima, Perú.
- Jayabhaye, U. (2009). Studies on physico-chemical parameters of Parola Dam in Hingoli District-Maharashtra. *Int. Res. J*, 2, 44-46.
- Jiang, Z., Xu, N., Liu, B., Zhou, L., Wang, J., Wang, C., et al. (2018). Concentraciones de metales y evaluación de riesgos en agua, sedimentos y especies de peces económicos con diversas preferencias de hábitat y gremios tróficos del lago Caizi, sudeste de China. *Ecotoxicol. Reinar. Seguro.* 157, 1-8. doi:10.1016/j.ecoenv.2018.03.078.

- Kamala-Kannan, S., Prabhu Dass Batyari, B., Lee, K. J., Kannan, N., Krishnamoorthy, R., Shanthi, K., et al. (2008). Evaluación de metales pesados (Cd, Cr y Pb) en agua, sedimentos y algas (*Ulva lactuca*) en el lago Pulicat, sureste de la India. *Quimiosfera* 71, 1233-1240. doi:10.1016/j.chemosphere.2007.12.004
- Kang, M., Tian, Y., Peng, S. y Wang, M. (2019). Efecto de los niveles de oxígeno y nutrientes disueltos sobre el contenido y las fracciones de metales pesados en los sedimentos superficiales de los ríos. *Ciencia. Medio ambiente total*. 648, 861–870. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.08.201.
- Kemp, W. M., Boynton, W. R., Adolf, J. E., Boesch, D. F., Boicourt, W. C., Brush, G., et al. (2005). Eutrophication of Chesapeake bay: Historical trends and ecological interactions. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 303, 1 – 29. doi:10.3354/meps303001
- Kouassi, N. L. B., Yao, K. M, Sangare, N., Trokourey, A. y Metongo, B. S. (2019). La movilidad de los metales traza cobre, zinc, plomo, cobalto y níquel en sedimentos estuarinos tropicales, laguna Ebrie, Costa de Marfil. *J. Sedimentos de suelos* 19, 929–944. doi:10.1007/s11368-018-2062-8.
- Leiva-Tafur, D., Goñas, M., Culqui, L., Santa Cruz, C., Rascón, J. and Oliva-Cruz, M. (2022). Distribución espaciotemporal de parámetros fisicoquímicos y elementos tóxicos en el lago Pomacochas, Amazonas, Perú. *Sec. Ciencia de agua dulce. Vol. 10*. doi:10.3389/fenvs.2022.885591.
- Li, P., & Qian, H. (2018). Water resources research to support a sustainable China. *International Journal of Water Resources Development*, 34(3), 327–336.
- Li, Y., Liao, Y., Dong, X., Xian, H. y Kattel, G. (2022). La desconexión hidrológica del río Yangtze provocó una rápida degradación ambiental en un lago ribereño. *Limnológica* , 95 , 125993.
- Liu, W., Antonelli, M., Kummu, M., Zhao, X., Wu, P., Liu, J., ... Yang, H. (2019). Savings and losses of global water resources in food-related virtual water trade. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, e1 320.
- López de la Maza, L., Zumalacárregui de Cárdenas, L., & Pérez Ones, O. (2019). Análisis de componentes principales aplicado a la fermentación alcohólica. *Revista Científica De La UCSA*, 6(2), 11–19. Recuperado a partir de <https://revista.ucsa-ct.edu.py/ojs/index.php/ucsa/article/view/13>
- Malhadas, M. S., Neves, R. J., Leitao, P. C. & Silva, A. (2010). Influencia de mareas y olas en la renovación del agua en la laguna de Óbidos, Portugal. *Dinámica oceánica* 60, 41–55. <https://doi.org/10.1007/s10236-009-0240-3>.


- Mesa-Ramos, L, Gozá-León, O, Uranga-Machado, M, Toledo-Rivero, A, & Gálvez-Torriente, Y. (2018). Aplicación del Análisis de Componentes Principales en el proceso de fermentación de un anticuerpo monoclonal. *Vaccimonitor*, 27 (1), 8-15. Recuperado en 10 de marzo de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-028X2018000100002&lng=es&tlng=en.
- MINAM (Ministerio del Ambiente) (2017). DS N°004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Molner, J. V., Soria, J. M., Pérez-González, R., & Sòria-Perpinyà, X. (2023). Medición de turbidez y materia total en suspensión en la Albufera de la Laguna de Valencia (España) mediante imágenes Sentinel-2. *Revista de Ciencias e Ingeniería Marinas*, 11 (10), 1894. <https://doi.org/10.3390/jmse11101894>.
- Namieśnik, K., y Rabajczyk, A. (2010) La especiación y las formas fisicoquímicas de los metales en aguas superficiales y sedimentos, Especiación química y biodisponibilidad. *Química, especificaciones y biodisponibilidad* 22:1, 1-24. DOI:10.3184/095422910X12632119406391.
- Ogato, T., Kifle, D. y Lemma, B. (2015). Clima luminoso submarino, características térmicas y químicas del lago de soda tropical Chitu, Etiopía: variaciones espacio-temporales. *Limnologica* 52, 1-10. doi: 10.1016/j.limno.2015.02.003
- Oliva, M., Oliva, C., Rojas, D., Oliva, M. y Morales, A. (2015). Identificación botánica de las especies nativas más importantes de las cuencas lecheras Molinopampa, Pomacochas y Leymebamba, Amazonas, Perú. *Ciencia. Agropecu.* 6, 125-129. doi:10.17268/sci.agropecu.2015.02.05.
- Pachepsky Y., Shelton, D., Dorner, S., & Whelan, G. (2016). ¿Can E. coli or thermotolerant coliform concentrations predict pathogen presence or prevalence in irrigation waters? *Crit. Rev. Microbiol.* 42 (3): 384-393.
- Rahman, K., Barua, S., Imran, H. M. (2021). Evaluación de la calidad del agua y reparto de las fuentes de contaminación de un lago urbano mediante análisis estadístico multivariado. *Limpio. Ing. Tecnología.* 5, 100309. doi:10.1016/j.clet.2021.100309.

- Ramya, M., Elumalai, S y Umamaheswari, A. (2021). Estudio de análisis fisicoquímico y estadístico de parámetros de calidad del agua en el lago Veeranam, distrito de Cuddalore, Tamil Nadu, India. *Madre. Hoy Proc.* 49, 2934-2942. doi:10.1016/j.matpr.2021.11.354.
- Rascón, J., Corroto, F., Leiva-Tafur, D. and Gamarra Torres, O. A. (2021). Variaciones limnológicas espaciotemporales de un lago altoandino tropical en el norte del Perú. *Ecología Austral* 31, 343-356. doi:1025260/ea.21.31.2.0.1200.
- Rondón, J., Gavidia, C. M., González, R., & Ramos, D. (2022). Water Quality and Microbiological Contamination across the Fish Marketing Chain: A Case Study in the Peruvian Amazon (Lagoon Yarinacocha). *Water*, 14(9), 1465. <https://doi.org/10.3390/w14091465>
- Rodríguez Silva, J. L. A. (2019), ¿Qué puede hacer el software R para resolver tus problemas? *Revista Digital Universitaria (RDU)*. Vol. 20, núm. 3 mayo-junio. doi: <http://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2019.v20n3.a5>.
- Rubio Hurtado, M. J. y Berlanga Silvente, V. (2012) Cómo aplicar las pruebas paramétricas bivariadas t de Student y ANOVA en SPSS. Caso práctico. *REIRE, Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, Vol. 5, núm. 2, 83-100. Accesible en: <http://www.ub.edu/ice/reire.htm>.
- Rubio-Arias, H. O., Rey-Burciaga, N. I., Quintana, R. M., Ochoa-Rivero, J. M., Saucedo-Terán, R. A. y Ortiz-Delgado, R. C. (2016). Recreational water quality index (RWQI) for Colina Lake in Chihuahua, Mexico. *Acta Universitaria*, 26 (3): 14-22.
- R Development Core Team, (2022). R: A language and environment for statistical computing. Available at: <http://www.r-project.org>.
- Santos, D. M. S., Melo, M. R. S., Mendes, D. C. S., Rocha, I. K. B. S., Silva, J. P. L., Cantanhêde, S. M., & Meletti, P. C. (2014). Histological Changes in Gills of Two Fish Species as Indicators of Water Quality in Jansen Lagoon (São Luís, Maranhão State, Brazil). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(12), 12927–12937. <https://doi.org/10.3390/ijerph111212927>
- Santos, M. S. S., Pedro, C. A., Ferreira, S. M. F., Gonçalves, S. C. (2023). ¿Es la planta *Bolboschoenus maritimus* un biomonitor adecuado para la contaminación por metales traza en las marismas? Un estudio de campo en la laguna de Óbidos (Portugal). *Revista de Ciencias e Ingeniería Marinas*; 11(9):1826. <https://doi.org/10.3390/jmse11091826>.

- Sebastiá-Frasquet, M. T., Aguilar-Maldonado, J. A., Santamaría-Del-Ángel, E., Estornell, J. (2019). Sentinel 2 Analysis of Turbidity Patterns in a Coastal Lagoon. *Remote Sens.* 11(24):2926. <https://doi.org/10.3390/rs11242926>.
- Stange, C., Yin, D., Xu, T., Guo, X., Schäfer, C. y Tiehm, A. (2019). Distribución de genes de resistencia a antibióticos clínicamente relevantes en el lago Tai, China. *Ciencia Entorno Total.* 655, 337 – 346. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.11.211
- Tapia, L., Sánchez, T., Baylón, M., Jara, E., Arteaga, C., Maceda, D. & Salvatierra, A. (2018). Invertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua en lagunas Altoandinas del Perú. *Ecología Aplicada*, 17(2), 149-163. <https://dx.doi.org/10.21704/rea.v17i2.1235>.
- Wang, X., Zhang, L., Zhao, Z. y Cai, Y. (2018). Contaminación por metales pesados en embalses de la zona montañosa del sur de China: distribución, reparto de fuentes y evaluación de riesgos para la salud. *Ciencia. Medio ambiente total.* 634, 158–169. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.03.340.
- Wang, Z., Wang, C., Jiang, H. y Liu, H. (2022). Los niveles más altos de oxígeno disuelto promueven la migración descendente de fosforo en el perfil de sedimentos: implicaciones para la restauración del lago. *Quimiosfera* 301, 134705. doi:10.1016/j.chemosphere.2022.134705.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems.* Academic Press Elsevier, San Diego, California, USA.
- Yan, J., Jia, S., Lv, A., & Zhu, W. (2019). Water resources assessment of China's transboundary river basins using a machine learning approach. *Water Resources Research.*
- Yao, S. (2010). El entorno sedimentario e hidráulico moderno y la geoquímica ambiental de los metales pesados en la laguna de Pinqing, al este de la provincia de Guangdong. *La Escuela de Graduados de la Academia China de Ciencias (en chino con resumen en inglés).*
- Zhang, L. y Lu, J. S. (2017). Transformación redox de arsénico y antimonio en suelos mediada por *Pantoea* sp. IMH. *Huan Jing ke Xue = Huanjing Kexue* , 38 (9), 3937-3943.

ANEXOS

Solicitud de requerimiento del cliente para la realización de los análisis del agua y el sedimento en Labisag – Segundo Muestreo (Época Húmeda)

		UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS SOLICITUD DE REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE / CADENA DE CUSTODIA 20.....		Versión: 06 09/2022	Código: CCFG-0214 Página: 1	N° - 00113
Cliente: Wilton Antonio Negro Chugizuta, Dirección: Jc Santo Domingo N°50 antonioarechoa@gmail.com DN/RUC:		N° Factura / N° Boleta / N° Carta: Referencia: Dongor Telef: 986177235		Versión: 06 09/2022		
Descripción de la muestra: Procedencia de la muestra: Tipo de Muestra: Muestreo:		Tipo de Muestra: Muestreo:		Código de Laboratorio		
Observaciones: Volumen de muestra: Tiempo de traslado: 1 1600ml 3:00 15h 30min 2 1600ml 15h 30min 3 1600ml 15h 30min 4 1600ml 15h 30min		Recolección de muestras en: (envases de primer uso P/V) Frasco traslucido x Frasco oscuro x Frasco esterilizado x Muestreado por: Labisag		Condiciones de recepción: T. de conservación T. Amb. (°C) T. Refr. (°C) 1 12.8°C 19.9°C 21.2°C 2 12.8°C 19.9°C 21.2°C 3 12.8°C 19.9°C 21.2°C 4 12.8°C 19.9°C 21.2°C		
Observaciones de recepción de muestras: Temperatura Tomada por cliente P03=28.5°C P02=25.1°C P03=25.4°C P04=23.3°C		Recibido por: Nombre: Wilton Antonio Negro Chugizuta Fecha/Hora: 20/01/23 8:29 Firma: <i>[Firma]</i>		Supervisado por: Nombre: Wilton Antonio Negro Chugizuta Fecha/Hora: 20/01/23 8:30 Firma: <i>[Firma]</i>		
Observaciones: Volumen de muestra: Tiempo de traslado: 1 1600ml 3:00 15h 30min 2 1600ml 15h 30min 3 1600ml 15h 30min 4 1600ml 15h 30min		Recolección de muestras en: (envases de primer uso P/V) Frasco traslucido x Frasco oscuro x Frasco esterilizado x Muestreado por: Labisag		Condiciones de recepción: T. de conservación T. Amb. (°C) T. Refr. (°C) 1 12.8°C 19.9°C 21.2°C 2 12.8°C 19.9°C 21.2°C 3 12.8°C 19.9°C 21.2°C 4 12.8°C 19.9°C 21.2°C		
Observaciones de recepción de muestras: Temperatura Tomada por cliente P03=28.5°C P02=25.1°C P03=25.4°C P04=23.3°C		Recibido por: Nombre: Wilton Antonio Negro Chugizuta Fecha/Hora: 20/01/23 8:29 Firma: <i>[Firma]</i>		Supervisado por: Nombre: Wilton Antonio Negro Chugizuta Fecha/Hora: 20/01/23 8:30 Firma: <i>[Firma]</i>		
Observaciones: Volumen de muestra: Tiempo de traslado: 1 1600ml 3:00 15h 30min 2 1600ml 15h 30min 3 1600ml 15h 30min 4 1600ml 15h 30min		Recolección de muestras en: (envases de primer uso P/V) Frasco traslucido x Frasco oscuro x Frasco esterilizado x Muestreado por: Labisag		Condiciones de recepción: T. de conservación T. Amb. (°C) T. Refr. (°C) 1 12.8°C 19.9°C 21.2°C 2 12.8°C 19.9°C 21.2°C 3 12.8°C 19.9°C 21.2°C 4 12.8°C 19.9°C 21.2°C		
Observaciones de recepción de muestras: Temperatura Tomada por cliente P03=28.5°C P02=25.1°C P03=25.4°C P04=23.3°C		Recibido por: Nombre: Wilton Antonio Negro Chugizuta Fecha/Hora: 20/01/23 8:29 Firma: <i>[Firma]</i>		Supervisado por: Nombre: Wilton Antonio Negro Chugizuta Fecha/Hora: 20/01/23 8:30 Firma: <i>[Firma]</i>		

CLIENTE

Calle Higos Uro N°342-350 - Calle Universitaria N°304 - Chachapoyas - Amazonas
 Teléfono: (041)477684
 Web site: www.unim.edu.pe E-mail: labisag@indes-cos.edu.pe

Documento controlado. Prohibida su reproducción parcial o total sin autorización de LABISAG

PANEL FOTOGRÁFICO



Toma de muestras para el análisis microbiológico



Toma de muestras para el análisis de MO



Toma de muestras para los análisis fisicoquímicos



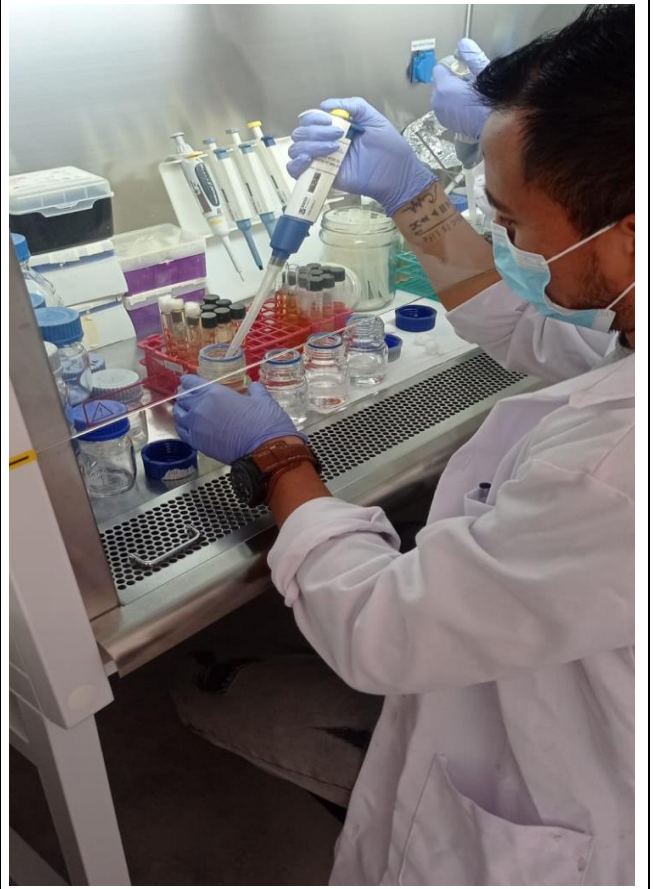
Medición de parámetros in situ



Traslado de las muestras en un cooler



Recepción de muestras en laboratorio



Determinación de parámetros en laboratorio