

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO YAMINCHAD EN FUNCIÓN A LOS
MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS Y PARÁMETROS
FISICOQUÍMICOS, SAN PABLO

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por él Bachiller:

WILDER SMITH AGUILAR COBA

Asesor:

PhD. MANUEL ROBERTO RONCAL RABANAL

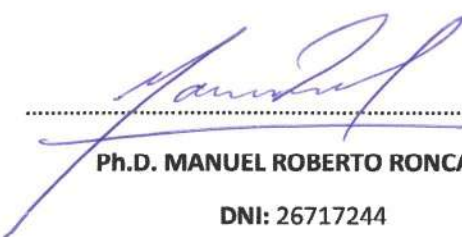
CAJAMARCA – PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
WILDER SMITH AGUILAR COBA
DNI N° 70016858
Escuela Profesional/Unidad UNC:
DE INGENIERÍA AMBIENTAL
2. Asesor:
Ph.D. MANUEL ROBERTO RONCAL RABANAL
Facultad/Unidad UNC:
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
3. Grado Académico o título profesional:
☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☐ Doctor
4. Tipo de investigación:
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
5. Título del trabajo de investigación:
**CALIDAD DEL AGUA DEL RIO YAMINCHAD EN FUNCIÓN A LOS
MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS Y PARÁMETROS
FISICOQUÍMICOS, SAN PABLO**
6. Fecha de evaluación: 22/10/2025
7. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (ORIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 20%
9. Código documento:
10. Resultado de la evaluación de Similitud:
☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha de Emisión: 22/10/2025

Firma y/o Sello Emisor Constancia
 Ph.D. MANUEL ROBERTO RONCAL RABANAL DNI: 26717244

*En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"

Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Celendín, a los veinticinco días del mes de setiembre del año dos mil veinticinco, se reunieron en el **aula 101** de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental - Sede Celendín, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 218-2025-FCA-UNC, de fecha 12 de mayo del 2025**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: "**CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO YAMINCHAD EN FUNCIÓN A LOS MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS Y PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS, SAN PABLO**", realizada por el Bachiller **WILDER SMITH AGUILAR COBA** para optar por el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las **DIECISÉIS** horas con **CERO** minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el presidente del Jurado anunció la **APROBACIÓN** por **UNANIMIDAD** con calificativo de **DIECISÉIS (16)** por tanto, el Bachiller queda expedido para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las **DIECISIETE** horas y **QUINCE** minutos del mismo día, el presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Ing° M. Cs. Edgar Darwin Díaz Mori
PRESIDENTE

Ing° M. Cs. Giovana Ernestina Chávez Horna
SECRETARIO

Ing. M. Cs. Adolfo Máximo López Aylas
VOCAL

Ph.D. Manuel Roberto Roncal Rabanal
ASESOR

COPYRIGHT © 2025 by
WILDER SMITH AGUILAR COBA
Todos los derechos reservados

DEDICATORIA

Esta investigación está dedicada en memoria y honra de mi amada madre Aracely Marilini Coba Terán y mi querido abuelo Segundo Victoriano Aguilar Terán quienes siempre estarán presente en cada objetivo propuesto y logro obtenido; ya que depositaron toda su confianza en mí, me apoyaron incondicionalmente en cada etapa de mi vida, me inculcaron valores para ser una persona de bien en la sociedad, fueron mi más grande ejemplo a seguir y gracias a su amor incondicional me siento fortalecido día a día.

A mi padre Wilder Aguilar Hurtado, mi querida hermana Sol Aracely Aguilar Coba y mis queridos abuelos Elva Hurtado Torres, Miguel Coba Mendoza y Vilma Terán Vargas que día a día me impulsaron para salir adelante y cumplir con mis metas trazadas.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, que es el ser divino de la vida, de la sabiduría, el amor y la paz.

A mi querida familia, por apoyarme en la realización y término de mi carrera profesional, siendo un soporte importante en mi vida y realización como persona.

A PhD. Manuel Roberto Roncal Rabanal, mi asesor, por dedicarme su tiempo, sus conocimientos, su amistad y por ser un profesional intachable que al mismo tiempo es un ejemplo por seguir.

Al Biólogo Marco Alfredo Sánchez Peña, por sus grandes conocimientos compartidos, el apoyo en la identificación y clasificación de los organismos recolectados y, por el apoyo en el análisis de datos del muestreo biológico de la presente investigación.

De igual manera a cada uno de mis docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental - Celendín que, con sus enseñanzas y el tiempo dedicado, me formaron profesionalmente.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	5
REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. Antecedentes de la Investigación	5
2.2. Bases Teóricas	9
2.2.1. Calidad del agua.....	9
2.2.2. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos de la calidad del agua	11
2.2.3. Índices bióticos para el análisis de la calidad del agua	14
2.2.4. Parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua	16
2.2.5. Relación entre bioindicadores e indicadores fisicoquímicos	21
2.3 Definición de términos básicos	23
CAPÍTULO III.....	25
MATERIALES Y MÉTODOS.....	25

3.1 Ubicación	25
3.1.1 Ubicación del área de estudio	25
3.1.2 Selección de las estaciones de muestreo	26
3.2 Materiales	30
3.2.1 Materiales y equipo de laboratorio	30
3.2.2 Materiales para recolección de datos	30
3.2.3 Equipos.....	31
3.3 Metodología	31
3.3.1 Recolección de datos para índices biológicos	32
3.3.2 Identificación de macroinvertebrados	33
3.3.3 Recolección y análisis de datos fisicoquímicos	38
3.4 Diseño metodológico	39
3.4.1 Tipo de investigación.....	39
3.4.2 Diseño de la investigación	40
3.4.3 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	40
CAPÍTULO IV.....	42
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1 Identificación de macroinvertebrados bentónicos.....	42
4.1.1 Clasificación taxonómica y distribución de macroinvertebrados bentónicos recolectados	42
4.1.2 Frecuencia de colecta de macroinvertebrados	44
4.2 Evaluación de la calidad del agua mediante índices bióticos	46
4.2.1 Índice EPT	46

4.2.2 Índice ABI	49
4. 2.3 Índice BMWP/Perú	52
4.2.4 Comparación de los índices de calidad biológica	55
4.3 Evaluación de los parámetros fisicoquímicos del agua.....	61
4.3.1 Resultados en temporada de lluvia y estiaje	62
4.3.2 Análisis comparativo entre temporadas.....	67
4.4 Análisis estadístico comparativo, correlacional y regresivo entre los Índices biológicos y los parámetros fisicoquímicos.....	74
4.4.1 Análisis comparativo de parámetros fisicoquímicos e índices biológicos	74
4.4.2 Correlación entre parámetros fisicoquímicos e índices biológicos	75
4.4.3 Análisis de Regresión Lineal Múltiple (RLM)	77
CAPÍTULO V	92
CONCLUSIONES	92
RECOMENDACIONES.....	94
CAPÍTULO VI.....	95
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
CAPÍTULO VII	¡Error! Marcador no definido.
ANEXOS	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Coordenadas de ubicación de las estaciones de muestreo	28
Tabla 2	Descripción de las estaciones de muestreo.	29
Tabla 3	Programación de monitoreos.....	32
Tabla 4	Puntaje por familia para el índice EPT (versión ponderada)	34
Tabla 5	Índice EPT de calidad (versión ponderada)	34
Tabla 6	Puntaje por familia para el Índice Biótico Andino (ABI).....	36
Tabla 7	Índice ABI	36
Tabla 8	Puntaje por familia para el índice BMWP/Perú	37
Tabla 9	Escala de interpretación del Índice BMWP/Perú.....	38
Tabla 10	Clasificación taxonómica y distribución de macroinvertebrados bentónicos	43
Tabla 11	Índice EPT, caudal y velocidad del agua por muestreo en lluvia y estiaje	47
Tabla 12	Índice ABI, caudal y velocidad media del agua por estación de muestreo en temporadas de lluvia y estiaje	50
Tabla 13	Índice BMWP/Col, caudal y velocidad del agua por estación de muestreo en temporadas de lluvia y estiaje	53
Tabla 14	Comparación de los índices biológicos de calidad del agua en temporada de lluvia y estiaje por estación de muestreo	55
Tabla 15	Categorías de calidad del agua según los índices bióticos EPT, ABI y BMWP/Perú en temporada de lluvia	58
Tabla 16	Resultados de los parámetros fisicoquímicos del agua en la temporada de lluvia	62
Tabla 17	Resultados de los parámetros fisicoquímicos del agua en la temporada de estiaje.....	65
Tabla 18	Cuadro resumen de correlación entre parámetros fisicoquímicos y los índices bióticos.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación geográfica del río Yaminchad, provincia de San Pablo	25
Figura 2 Cauce principal de la microcuenca del río Yaminchad	26
Figura 3 Frecuencia de familias de macroinvertebrados bentónicos recolectados durante las temporadas de lluvia y estiaje en el río Yaminchad	44
Figura 4 Puntuación del índice EPT por estación de muestreo en temporadas de lluvia y estiaje	48
Figura 5 Puntuación del índice ABI por estación de muestreo en temporadas de lluvia y estiaje	50
Figura 6 Puntuación del índice BNWP/Perú por estación de muestreo en temporadas de lluvia y estiaje	53
Figura 7 Comparación de los índices EPT, ABI y BMWP/Perú en temporada de lluvia y estiaje por estaciones de muestreo	57
Figura 8 Comparación de las categorías de calidad de agua según los índices por estación de muestreo.....	60
Figura 9 Comparación del pH del agua en temporada de lluvia y estiaje según estaciones de muestreo.....	67
Figura 10 Comparación de la conductividad eléctrica del agua en temporada de lluvia y de estiaje según estaciones de muestreo	69
Figura 11 Comparación de la dureza total del agua en temporada de lluvia y estiaje según estaciones de muestreo.....	71
Figura 12 Comparación del oxígeno disuelto en temporada de lluvia y estiaje según estaciones de muestreo.....	72

Figura 13 Correlación entre parámetros físicoquímicos e índices bióticos	76
Figura 14 Regresión entre Índice Biológico Andino y el pH en temporada de lluvia	79
Figura 15 Regresión entre Índice Biológico Andino y el pH en temporada de estiaje.....	80
Figura 16 Regresión entre Índice Biológico Andino y la conductividad en temporada de lluvia.....	81
Figura 17 Regresión entre Índice Biológico Andino y la conductividad eléctrica en temporada de estiaje	82
Figura 18 Regresión entre Índice Biológico Andino y el oxígeno disuelto en la temporada de lluvia ..	84
Figura 19 Regresión entre Índice Biológico Andino y el oxígeno disuelto en temporada de estiaje	85
Figura 20 Regresión entre Índice Biológico Andino y la dureza total en temporada de lluvia...	86
Figura 21 Regresión entre Índice Biológico Andino y la dureza total en temporada de estiaje .	87
Figura 22 Regresión entre Índice Biológico Andino y el Nitrato en temporada de lluvia.....	89
Figura 23 Regresión entre el Índice Biológico Andino y el Nitrato en temporada de estiaje	90

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Frecuencia de recolección de macroinvertebrados en la temporada de lluvia y temporada de estiaje por estaciones de muestreo	102
Anexo B. Resultados de los análisis de laboratorio.....	103
Anexo C. Panel fotográfico de las estaciones de monitoreo del río Yaminchad	114
Anexo D. Panel fotográfico de macroinvertebrados colectados en el río Yaminchad.....	117

RESUMEN

Este estudio evaluó la calidad del agua del río Yaminchad (San Pablo, Cajamarca) durante la temporada de lluvia y estiaje, identificando macroinvertebrados bentónicos y parámetros fisicoquímicos. Se empleó un diseño descriptivo-comparativo, no explicativo en 12 estaciones, con muestreo biótico en laboratorio de biología de la Universidad Nacional de Cajamarca y análisis fisicoquímicos realizados en laboratorio Regional del Agua-Cajamarca en temporada de lluvia y 10 en estiaje. Se identificaron 30 familias de macroinvertebrados, predominando las órdenes *Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Trichoptera*. Los índices bióticos EPT, ABI y BMWP evidenciaron variaciones espaciales y temporales en la calidad del agua, observándose mejores condiciones ecológicas en los tramos altos y un deterioro progresivo en los tramos bajos, posiblemente asociados a actividades antrópicas. Los parámetros de conductividad y dureza total superaron los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) categoría 3 en algunas estaciones, principalmente durante la temporada de estiaje. En contraste, el pH, el oxígeno disuelto y los compuestos nitrogenados (nitritos y nitratos) se mantuvieron dentro de los rangos permisibles. Los análisis estadísticos de correlación y regresión lineal múltiple mostraron asociaciones significativas entre los índices bióticos, y los parámetros de dureza y conductividad, mientras que las correlaciones con el pH y el oxígeno disuelto fueron débiles y no significativas. Se concluye que la calidad del agua del río Yaminchad varía entre moderada y regular, siendo más favorable en los tramos altos y más vulnerable en los tramos bajos, debido a presiones antrópicas. Los resultados resaltan la necesidad de fortalecer el monitoreo hidrobiológico y promover medidas de control ambiental y prácticas sostenibles para la conservación del ecosistema acuático.

Palabras clave: Macroinvertebrados bentónicos, calidad de agua, bioindicador, río Yaminchad.

ABSTRACT

This study evaluated the water quality of the Yaminchad River (San Pablo, Cajamarca) during the rainy and dry seasons, identifying benthic macroinvertebrates and physicochemical parameters. A descriptive-comparative, non-explanatory design was used at 12 stations, with biotic sampling in the biology laboratory of the National University of Cajamarca and physicochemical analyses performed at the Regional Water Laboratory in Cajamarca during the rainy season and 10 during the dry season.. Thirty families of macroinvertebrates were identified, with the orders Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera predominating. The biotic indices EPT, ABI, and BMWP showed spatial and temporal variations in water quality, with better ecological conditions observed in the upper sections and a progressive deterioration in the lower sections, possibly associated with anthropogenic activities. The parameters of conductivity and total hardness exceeded the Environmental Quality Standards (EQS) category 3 in some stations, mainly during the dry season. In contrast, pH, dissolved oxygen, and nitrogen compounds (nitrites and nitrates) remained within permissible ranges. Statistical analyses of correlation and multiple linear regression showed significant associations between the biotic indices and the parameters of hardness and conductivity, while the correlations with pH and dissolved oxygen were weak and non-significant. It is concluded that the water quality of the Yaminchad River varies between moderate and regular, being more favorable in the upper sections and more vulnerable in the lower sections, due to anthropogenic pressures. The results highlight the need to strengthen hydrobiological monitoring and promote environmental control measures and sustainable practices for the conservation of the aquatic ecosystem.

Keywords: Benthic macroinvertebrates, water quality, bioindicator, Yaminchad River.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso vital para la vida y el desarrollo sostenible de las sociedades, siendo su calidad una condición para garantizar el equilibrio ecológico y la salud pública. En las últimas décadas, diversas actividades antropogénicas como la agricultura intensiva, el vertido de aguas residuales y la deforestación han generado un deterioro progresivo en los cuerpos de agua dulce, particularmente en los ecosistemas fluviales de zonas rurales y urbanas (Delgado et al., 2010).

El monitoreo de la calidad del agua a través de métodos fisicoquímicos ha sido una herramienta ampliamente utilizada en la evaluación ambiental. Sin embargo, estos métodos proporcionan una visión instantánea del estado del agua, lo que limita su capacidad para reflejar los cambios integrados a lo largo del tiempo (APHA, 2017). En este contexto, los indicadores biológicos, como los macroinvertebrados bentónicos, han cobrado relevancia como bioindicadores efectivos debido a su sensibilidad a los cambios ambientales y su capacidad para integrar los efectos de perturbaciones pasadas (Arroyo & Rodríguez, 2017).

De otra parte, diversos estudios en el ámbito internacional y nacional han demostrado la efectividad del uso de macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos para evaluar la calidad del agua en ríos y quebradas. Por ejemplo, Ríos-Touma et al. (2014) aplicaron el índice BMWP/Perú adaptado para los Andes en ecosistemas acuáticos de alta montaña en Ecuador, evidenciando su utilidad para diferenciar grados de perturbación ambiental en cuerpos de agua afectados por actividades humanas. Del mismo modo, Acosta et al. (2009) desarrollaron una propuesta de índice biótico adaptado a condiciones peruanas (BMWP/Perú), incorporando tolerancias locales de familias de macroinvertebrados frente a distintos niveles de contaminación.

En el contexto peruano, estudios realizados por MINAM (2017) resaltan la necesidad de complementar los parámetros fisicoquímicos con herramientas biológicas que permitan una

evaluación más precisa de la calidad del agua en cuencas hidrográficas de los Andes, donde las condiciones ecológicas pueden variar significativamente entre estaciones de muestreo. Precisamente, el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM establece los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, los cuales constituyen un referente normativo para la gestión ambiental. Sin embargo, su aplicación en zonas rurales requiere ser complementada con herramientas de bioevaluación que proporcionen una visión más holística del ecosistema (MINAM, 2017). En este sentido, índices como el BMWP/Perú, el índice EPT y el índice ABI han demostrado ser eficaces para estimar la calidad del agua en ecosistemas andinos (Acosta et al., 2009; Ríos-Touma et al., 2014).

Asimismo, trabajos recientes en regiones similares como Huánuco y Cusco han evidenciado la estrecha relación entre las variaciones estacionales de parámetros fisicoquímicos (pH, temperatura, oxígeno disuelto, entre otros) y la composición de macroinvertebrados, estableciendo correlaciones significativas entre estos factores (Delgado & Pacheco, 2021; Bustos et al., 2020). En Cajamarca, investigaciones como la de Chávez (2020) en la microcuenca del río Mashcón demostraron cómo los índices EPT y ABI permiten identificar zonas con deterioro ecológico moderado y severo, relacionadas principalmente con el vertido de aguas residuales y actividades agrícolas sin control. Estos antecedentes respaldan la pertinencia de utilizar un enfoque combinado que integre herramientas fisicoquímicas y biológicas para la evaluación de la calidad del agua, particularmente en ecosistemas fluviales como el del río Yaminchad.

El río Yaminchad, ubicado en el distrito de San Pablo, Cajamarca, constituye un recurso hídrico fundamental para las comunidades locales y su entorno ecológico. No obstante, se encuentra expuesto a diversas presiones ambientales durante la temporada de lluvia y estiaje, lo que podría afectar su calidad y la biodiversidad acuática. Ante esta problemática, resulta necesario

realizar una evaluación integral de la calidad del agua del río, considerando tanto los parámetros fisicoquímicos como los índices biológicos que reflejan la estructura y diversidad de las comunidades de macroinvertebrados. En tal sentido, la evaluación de la calidad del agua del río Yaminchad adquiere relevancia debido a su rol ecológico, social y económico en el distrito de San Pablo, Cajamarca. Este recurso hídrico no solo sustenta la biodiversidad acuática, sino que también es utilizado por la población local para actividades agropecuarias y domésticas. Sin embargo, la falta de monitoreo periódico y de información científica actualizada sobre su estado ambiental limita la capacidad de respuesta frente a posibles procesos de deterioro.

En tal propósito, este estudio se justifica porque aborda la calidad del agua desde un enfoque integral, incorporando parámetros fisicoquímicos y bioindicadores que permiten evaluar los efectos acumulativos de las presiones antrópicas en el ecosistema. A diferencia de los análisis tradicionales que solo consideran indicadores fisicoquímicos puntuales, el uso de índices como el BMWP/Perú, EPT y ABI proporciona una visión más dinámica y ecológica del estado del agua, reconociendo los cambios en las comunidades de macroinvertebrados frente a distintos niveles de contaminación (Bustos, 2020; Ramírez & Delgado et al., 2020). Además, el enfoque comparativo entre temporada de lluvia y temporada de estiaje permite evidenciar cómo varían los procesos ecológicos y la calidad del agua en función del régimen hidrológico, lo cual es clave para desarrollar estrategias de conservación, mitigación y planificación ambiental adaptadas al contexto local. Asimismo, en términos metodológicos, este estudio adopta técnicas cuantitativas, análisis correlacionales y modelos de regresión que contribuyen a interpretar de manera rigurosa las relaciones entre los factores estudiados, generando información científica confiable para la toma de decisiones.

En consecuencia, el objetivo general de este trabajo fue determinar la calidad del agua del río Yaminchad (San Pablo, Cajamarca) mediante los índices bióticos y los parámetros fisicoquímicos durante las temporadas de lluvia y estiaje. Los objetivos específicos fueron:

1° Identificar y clasificar taxonómicamente los macroinvertebrados bentónicos presentes en las 12 estaciones de muestreo.

2° Evaluar la calidad biológica del agua mediante los índices EPT, ABI y BMWP/Perú en temporada de lluvia y estiaje.

3° Determinar la variación espacial y estacional de los principales parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad, dureza, oxígeno disuelto, nitritos y nitratos).

4° Analizar la relación (correlación y regresión) entre los índices bióticos y los parámetros fisicoquímicos para identificar variables predictoras del estado ecológico.

En base a lo anterior, esta evaluación contribuirá a generar información científica que pueda ser utilizada para la conservación del recurso hídrico, la protección de la biodiversidad acuática y el diseño de estrategias de gestión ambiental en la región de Cajamarca. Finalmente, los resultados obtenidos podrán ser utilizados por autoridades locales, instituciones educativas y organizaciones comunitarias como una base para futuras acciones de monitoreo participativo, educación ambiental y gestión sostenible de los recursos hídricos en la región.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes de la investigación

Hernández & Guerrero (2025) en su artículo científico “*Evaluación de la calidad de agua a través de macroinvertebrados bentónicos e índices biológicos en ríos tropicales de la subcuenca del río Blanco, Ecuador*”, se trazaron como objetivo realizar una evaluación integral de la calidad del agua en tres ríos de la subcuenca del río Blanco (Mindo, Cinto y Nambillo), utilizando índices de diversidad y calidad de agua, complementados con características ambientales del agua. Se muestrearon macroinvertebrados acuáticos y se midieron parámetros fisicoquímicos como pH, oxígeno disuelto, temperatura, conductividad y sólidos disueltos totales. Las diferencias entre los ríos se analizaron mediante ANOVA y la prueba de Kruskal-Wallis. Además, se aplicó un Análisis de Correspondencias Canónicas (ACC) para identificar las variables ambientales que influyen en la presencia-abundancia de los taxones. El río Nambillo mostró las mejores condiciones ambientales. Los órdenes más abundantes fueron Efemeróptera, Tricóptera y Plecóptera, lo que refleja la calidad del agua y las características del hábitat. El ACC explicó el 89.02% de la variabilidad en los dos primeros ejes, demostrando que los géneros de macroinvertebrados se asocian a sitios que ofrecen condiciones ambientales favorables. A pesar de que se observaron discrepancias en los índices empleados, estos fueron efectivos para destacar diferencias significativas entre los ríos. Los resultados resaltan la influencia de los factores ambientales en la distribución de los macroinvertebrados, destacando la urgencia de preservar dichos ecosistemas ante posibles variaciones ambientales.

Escandón & Cáceres (2022) en su tesis “*Análisis de la calidad del agua mediante parámetros fisicoquímicos y macroinvertebrados bentónicos, presentes en la microcuenca del río*

San Francisco- Gualaceo”, se propusieron determinar la calidad del agua para la planta de potabilización del cantón. Se identificaron 6 estaciones a lo largo de la Microcuenca y se realizó 4 campañas, 2 en la época lluviosa y 2 en la época seca. En relación con los macroinvertebrados bentónicos se recolectaron 2892 ejemplares, agrupados en 25 familias y 11 órdenes, siendo los más predominantes del orden Ephemeroptera (61.9%), Díptera (10.1%), Coleptera (8.1%), Oligocheta (6.5%) y Trichoptera (5.5%). Se aplicaron los índices ABI, ETP y BMWP/Col, y se obtuvo como resultados una calidad regular, buena y regular respectivamente. Para contrastar estos resultados se realizó el análisis de la temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez, sólidos totales, nitrito, nitrato y hierro, cuyos resultados son inferiores al límite máximo permisible establecido, mientras que dureza, alcalinidad, fosfato, coliformes totales y coliformes fecales se encuentran dentro de los rangos establecidos.

Mora, Medina, Polo y Hora (2024) en su artículo científico “*Calidad del agua según los macroinvertebrados y parámetros fisicoquímicos en la cuenca del río Huacamaranga (La Libertad, Perú)*”, evaluaron la calidad del agua de la cuenca del río Huacamaranga, ubicado en la sierra del norte peruano durante los meses de junio (época de estiaje) y diciembre (época de lluvias), para ello se utilizó como indicadores a los macroinvertebrados bentónicos, el índice BMWP adaptado para el norte del Perú y parámetros fisicoquímicos: temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductibilidad eléctrica, fosfatos, y sulfatos. Se establecieron 4 puntos de muestreo a lo largo de la cuenca (entre los 3780 a 3725 msnm). Los resultados mostraron una calidad de agua variable entre buena a crítica en época de estiaje y de aceptable a crítica en época lluviosa. En conclusión, los parámetros fisicoquímicos cumplieron con los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) para la categoría 3 y 4 establecidos por el D.S. N° 004-2017 MINAM.

Mantilla (2024) en su estudio “*Comparación de cinco índices bióticos con macroinvertebrados bentónicos para conocer la calidad del agua en la cabecera del río Namora, Cajamarca*”, tuvo como objetivo comparar los cinco índices bióticos con macroinvertebrados bentónicos, analizando parámetros fisicoquímicos. La recolección se realizó en 4 campañas de muestreo, 2 en época de estiaje y 2 en época de lluvia en 4 estaciones de muestreo. El análisis de sedimentos fue comparado con el Estándar de Calidad Ambiental (D.S. N° 004-2017- MINAM). Para el estudio de macroinvertebrados bentónicos se utilizó los índices bióticos EPT, BMWP/Col, BMWP/Bol, CERA y ABI. Los resultados mostraron que los parámetros fisicoquímicos en su mayoría cumplen con el Estándar de Calidad Ambiental a excepción del pH que no cumplió con la normativa ya que se encuentran en su mayoría en un rango de 8 a 9 y para los metales pesados, los que no cumplieron con normativa ambiental fueron, aluminio, hierro, manganeso, en las estaciones E-3 y E- 4 de la tercera campaña de época de lluvia. Con relación a los macroinvertebrados se identificaron 11 órdenes y 21 familias. Según el índice ETP dio una calidad pobre del agua. Los índices BMWP/Bol y BMWP/Col dieron una calidad crítica, los índices ABI y CERA mostraron una calidad moderada; la mayoría en las estaciones E-3 y E- 4. En conclusión, la calidad del agua en la cabecera del río Namora es pobre y está moderadamente contaminada, según lo indican los cinco índices bióticos utilizados.

Díaz (2024) en su tesis “*Calidad del agua del Río Tingo Maigashamba al correlacionar la presencia de macroinvertebrados bentónicos y sus parámetros fisicoquímicos-Hualgayoc 2022*”, evaluó la calidad del agua del Río Tingo durante la época seca y húmeda en el año 2022, mediante los índices EPT, ABI y BMWP/Col, obteniendo como resultado la identificación de 274 macroinvertebrados en la época seca y 273 macroinvertebrados en la época húmeda, pertenecientes a 9 órdenes y 9 familias, distribuidos en 6 puntos de monitoreo. El índice EPT presenta una calidad

de agua “muy pobre” en la época seca y “pobre y muy pobre” en la época húmeda, el índice ABI indica que la calidad del agua “malo” en la época seca y “malo y pésimo” en la época húmeda y el índice BMWP/Col presenta una calidad de agua “crítica y muy crítica” en la época seca y húmeda”. Asimismo, se evaluó los parámetros fisicoquímicos como temperatura, pH, DBO, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, fosfato, nitrato, dureza y caudal, los cuales se encuentran dentro de los estándares de calidad ambiental para agua estipulados en la normativa peruana, a excepción de la conductividad eléctrica en los puntos de monitoreo P2, P3 y P4 de ambas épocas y P5 y P6 de la época seca, fosfato en el punto de monitoreo P1 de la época húmeda y P2, P3, P4 y P5 de la época seca no cumplen con el ECA.

Medina (2024) en su investigación *“Calidad del agua mediante la comunidad de macroinvertebrados y parámetros fisicoquímicos en el Río Jadibamba, distrito Huasmin-Celendín”*, se propuso evaluar la calidad del agua recolectando cinco muestras de agua en diferentes puntos, utilizando los índices EPT, BMWP y ABI, además, se analizaron las propiedades fisicoquímicas de pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura, dureza, nitritos y nitratos. Los resultados revelaron que el 60,6% de los individuos pertenecen a la familia Hyalellidae y 21% a Baetidae, lo cual refleja una rica biodiversidad acuática. Según el índice EPT, la mayoría de los puntos de muestreo se clasifican como “sin impacto”. A excepción del punto P1 durante la época de lluvia; sin embargo, el índice BMWP y ABI indican que existen áreas críticas, especialmente durante la temporada lluviosa. Los análisis fisicoquímicos muestran concentraciones moderadas de cloruros y nitratos en la temporada de lluvias, con valores adecuados de conductividad eléctrica y oxígeno disuelto, se observa relación positiva entre el índice EPT y parámetros como temperatura y pH. Concluyendo que la calidad del agua es moderada a crítica, dependiendo de los puntos de muestreo y la temporada.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 *Calidad del agua*

La calidad del agua es una característica que describe el estado físico, químico y biológico del recurso hídrico en función de su aptitud para determinados usos, tales como el consumo humano, el riego agrícola, el uso recreativo o la conservación de la biodiversidad acuática (Delgado, et al., 2021). Esta calidad se determina a partir de diversos parámetros que reflejan la presencia o ausencia de contaminantes, el equilibrio ecológico y la capacidad del ecosistema para mantener sus funciones esenciales.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017), el agua de buena calidad debe cumplir con estándares que garanticen su inocuidad, lo cual incluye límites específicos para la concentración de compuestos químicos, la presencia de organismos patógenos y el nivel de oxígeno disuelto, entre otros. No obstante, estos estándares pueden variar según el país, por lo que los gobiernos suelen establecer sus propios límites normativos; en el caso del Perú, el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM establece los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, diferenciando los valores máximos permitidos según el uso del recurso.

La calidad del agua no solo se evalúa desde un enfoque fisicoquímico, sino también desde una perspectiva ecológica, considerando la integridad del ecosistema acuático. En ese sentido, autores como Espinoza & Aráoz (2019) y García & Fernández (2017) destacan que el monitoreo biológico mediante el uso de macroinvertebrados permite una evaluación más completa y menos variable en el tiempo, dado que estos organismos reflejan las condiciones ambientales acumuladas y responden de manera sensible a la contaminación orgánica, la sedimentación, los cambios de temperatura y la alteración del hábitat. Asimismo, la calidad del agua puede verse influenciada por factores naturales como las precipitaciones, el caudal y la geomorfología del río, así como por

actividades humanas como la agricultura intensiva, el vertido de aguas residuales, la minería y la deforestación. La interacción entre estos factores determina la dinámica de los parámetros evaluados, por lo que es importante considerar las variaciones temporales, especialmente entre estaciones lluviosas y de estiaje (González, et al., 2020).

Por ello, los enfoques actuales recomiendan la integración de indicadores fisicoquímicos (como temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, nitratos, nitritos, etc.) con índices biológicos basados en la composición y abundancia de macroinvertebrados bentónicos. Esta estrategia multivariable permite una interpretación más robusta del estado ecológico del agua y aporta evidencia científica para la gestión sostenible del recurso hídrico (Bonada et al., 2006).

Finalmente, en el contexto nacional, la evaluación y gestión de la calidad del agua está regulada por el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, el cual aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, como parte del marco normativo de protección del ambiente y la salud pública. Estos estándares definen los valores máximos permisibles de distintos parámetros físicos, químicos y biológicos que el agua debe cumplir, diferenciados según el tipo de uso que se le asigne, tales como consumo humano, preservación de flora y fauna acuática, actividades recreativas, riego agrícola o actividades industriales (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017).

El cumplimiento de los ECA permite clasificar las fuentes hídricas en función de su aptitud para usos específicos, estableciendo límites para compuestos como nitratos, nitritos, oxígeno disuelto, dureza, pH, y conductividad eléctrica, entre otros. Por ejemplo, para cuerpos de agua destinados a la conservación del ecosistema acuático (categoría 4), se exige que los niveles de oxígeno disuelto no estén por debajo de 5 mg/L y que los niveles de nitritos y nitratos se mantengan dentro de umbrales que eviten la eutrofización (MINAM, 2017).

Además de los parámetros fisicoquímicos, la legislación peruana reconoce la necesidad de incorporar métodos complementarios de evaluación biológica, como los índices bióticos aplicados a comunidades de macroinvertebrados, los cuales ofrecen una visión más integradora y sensible de la calidad ecológica del agua (Ríos, et al., 2014). Esta perspectiva está alineada con las recomendaciones internacionales promovidas por organismos como la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), que instan a los países a adoptar indicadores biológicos como parte de los sistemas de monitoreo ambiental.

En ese sentido, el presente estudio se enmarca en el cumplimiento de la normativa nacional vigente, tomando como referencia los valores establecidos por el MINAM (2017), y aplicando metodologías de evaluación biológica reconocidas en el ámbito científico para fortalecer el análisis de la calidad del agua del río Yaminchad.

2.2.2 Macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos de la calidad del agua

2.2.2.1 Definición y características ecológicas. Los macroinvertebrados bentónicos son organismos invertebrados de tamaño superior a 0,5 mm, que habitan en el fondo de cuerpos de agua dulce como ríos, arroyos, lagos y humedales, asociados a sustratos como rocas, hojarasca, sedimentos y vegetación acuática (Rizo-Patrón, et-al., 2013). Se incluyen en este grupo insectos en estado larval o ninfa (como efemerópteros, plecópteros y tricópteros), así como crustáceos, moluscos, anélidos y otros invertebrados acuáticos.

Desde una perspectiva ecológica, estos organismos desempeñan funciones esenciales en el ecosistema acuático: intervienen en la descomposición de materia orgánica, contribuyen al reciclaje de nutrientes y forman parte de la cadena trófica, siendo alimento de peces y otras especies (Ríos, et al., 2014). Además, su escasa movilidad, ciclos de vida relativamente largos y

sensibilidad diferencial a los contaminantes les permiten reflejar con precisión las condiciones ambientales del lugar que habitan (Mora, et al., 2024).

2.2.2.2 Ventajas como indicadores biológicos. El uso de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores ofrece múltiples ventajas frente a los métodos puramente fisicoquímicos. En primer lugar, permiten una evaluación integral y temporal de la calidad del agua, ya que su presencia y abundancia reflejan condiciones ambientales acumuladas en el tiempo, no solo valores instantáneos (Prat, et al., 2011). Su respuesta ante el deterioro de hábitats, la contaminación orgánica o la alteración hidromorfológica es medible y confiable.

Además, su amplia distribución, diversidad funcional y taxonómica facilitan estudios comparativos entre diferentes zonas o épocas del año. La relativa facilidad de recolección e identificación con claves taxonómicas disponibles hace que el monitoreo con macroinvertebrados sea económico y accesible, especialmente en regiones donde los análisis de laboratorio son costosos o limitados (Bonada et al., 2006). También se promueve la participación comunitaria o educativa en procesos de vigilancia ambiental.

2.2.2.3 Principales órdenes utilizados como bioindicadores. En el monitoreo biológico de cuerpos de agua dulce, algunos órdenes de macroinvertebrados bentónicos se destacan por su utilidad como bioindicadores debido a su sensibilidad diferencial a los contaminantes, su permanencia prolongada en el ambiente acuático y su diversidad ecológica. La identificación de estos grupos permite establecer inferencias sobre la calidad del agua, ya que su presencia o ausencia está estrechamente relacionada con los niveles de oxigenación, carga orgánica y alteración del hábitat (Cañedo, et al., 2016; Tovar et al., 2012).

Entre los principales órdenes utilizados en bioindicación destacan los siguientes:

- **Ephemeroptera (efímeras):** Insectos con desarrollo hemimetábolo, cuyas ninfas habitan aguas limpias y oxigenadas. Son muy sensibles a la contaminación, lo que los convierte en indicadores clave de buena calidad del agua (Bonada, et al., 2006). Además, presentan ninfas acuáticas que requieren altos niveles de oxígeno disuelto y baja carga contaminante. Su ciclo de vida hemimetábolo y su limitada tolerancia a ambientes alterados los convierte en bioindicadores clave de aguas limpias. La diversidad de formas y hábitos dentro del orden permite una respuesta precisa frente a diferentes niveles de perturbación (Arroyo & Rodríguez, 2017).

- **Trichoptera (frigáneas):** Conocidas por sus larvas constructoras de refugios, estas especies también requieren ambientes bien oxigenados. Presentan una gran diversidad y son altamente sensibles a perturbaciones (Bustos & López, 2020). Estas especies son reconocidas por sus larvas constructoras de refugios con materiales del entorno (como arena, piedras o fragmentos vegetales), ocupan hábitats lóticos con buena oxigenación. Su sensibilidad a la degradación del hábitat y su amplia diversidad ecológica las hacen eficaces para evaluar el impacto de la contaminación orgánica y física (Cañedo, et al., 2016).

- **Plecoptera (moscas de piedra):** Sus ninfas se desarrollan en aguas frías y bien oxigenadas. Son extremadamente sensibles a la contaminación, por lo cual su presencia es indicativa de ecosistemas conservados (APHA, 2017). Asimismo, son uno de los grupos más sensibles a la contaminación. Sus ninfas, generalmente encontradas en aguas frías, claras y bien oxigenadas, son escasas en ecosistemas alterados. Su presencia indica condiciones ambientales óptimas y una buena calidad ecológica del río (APHA, 2017).

- **Coleoptera (escarabajos acuáticos):** Poseen una metamorfosis completa, con larvas y adultos acuáticos. Su variedad ecológica permite evaluar distintos aspectos del ecosistema

(Pérez, 2007). Tanto larvas como adultos acuáticos se encuentran en diversos tipos de hábitats y presentan una amplia gama de tolerancias a la contaminación. Su diversidad morfológica y adaptativa permite inferencias tanto sobre el estado físico como químico del agua (Pérez, 2007).

- **Odonata (libélulas y caballitos del diablo):** Sus ninfas son sensibles a alteraciones del hábitat acuático. Aunque toleran cierto grado de contaminación, su composición indica el estado ecológico del entorno (Mora et al., 2024). aunque en general presentan mayor tolerancia a la contaminación que los grupos anteriores, su ciclo acuático prolongado y su dependencia de hábitats estables permiten su uso en estudios ecológicos de largo plazo. La ausencia de algunas familias o la dominancia de otras puede señalar alteraciones en el ecosistema (Mora et al., 2024).

- **Diptera (moscas):** Especialmente la familia Chironomidae, que puede tolerar ambientes contaminados, mientras que otras como Blepharoceridae indican alta calidad del agua (Prat, et al., 2011). este orden incluye familias con tolerancias variables. Por ejemplo, los Chironomidae pueden sobrevivir en ambientes altamente contaminados, mientras que los Blepharoceridae requieren condiciones de alta calidad. Esta heterogeneidad hace del orden Diptera un grupo clave para evaluar diferentes grados de deterioro ambiental (Prat, et al., 2017).

La interpretación del ensamblaje de estos macroinvertebrados permite desarrollar índices biológicos confiables, ya que la riqueza, abundancia y composición taxonómica de estos órdenes reflejan directamente la integridad ecológica del ecosistema acuático (Mora, et al., 2024).

2.2.3 Índices bióticos para el análisis de la calidad del agua

La evaluación de la condición biótica en ecosistemas acuáticos es esencial para comprender su estado de salud y funcionamiento. Para lograrlo, se emplean diversas métricas de diversidad

biológica. La riqueza taxonómica mide la diversidad de grupos taxonómicos presentes, mientras que la abundancia cuantifica la cantidad de especies específicas. Además, existen índices específicos para grupos taxonómicos particulares, como macroinvertebrados, las cuales combinadas ofrecen una visión completa del estado del agua y la salud del ecosistema, siendo esenciales para la gestión y conservación de recursos acuáticos (Rizo-Patrón, et al. 2013).

Los macroinvertebrados bentónicos son los indicadores biológicos más comúnmente empleados. Estos organismos engloban una amplia variedad de categorías taxonómicas que cubren una amplia gama de nichos ecológicos y presentan respuestas notables ante diversas alteraciones ambientales. Se consideran valiosos para la detección y el monitoreo de factores fisicoquímicos asociados a la contaminación, como la elevación de la temperatura, mineralización, contaminación orgánica, eutrofización y presencia de metales u otras sustancias nocivas (Roldán, 2003).

2.2.3.1 Índice Biótico *Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Trichoptera* (EPT). El índice EPT se basa en el recuento de macroinvertebrados acuáticos pertenecientes a los órdenes Ephemeroptera (efemerópteros), Plecoptera (plecópteros) y Trichoptera (tricópteros), reconocidos por su alta sensibilidad a la contaminación. Su presencia se asocia con cuerpos de agua de buena calidad, siendo por tanto indicadores clave en estudios ecológicos acuáticos (Carvancho, 2012).

Los efemerópteros son insectos acuáticos primitivos cuya distribución y ciclos biológicos varían ampliamente según la especie y la latitud, con generaciones rápidas en zonas templadas y ciclos más extensos en regiones tropicales (Domínguez & Fernández, 2009). Los plecópteros, por su parte, comprenden un orden reducido pero sensible, con cerca de 2000 especies descritas en todo el mundo, excluyendo únicamente a la Antártida (Theischinger & Watson, 1991). Finalmente, los tricópteros constituyen uno de los grupos más diversos y abundantes de insectos acuáticos, con

aproximadamente 13 500 especies conocidas a nivel global. Su ciclo de vida holometábolo incluye estadios de huevo, larva acuática, pupa y adulto terrestre (Springer, 2010).

2.2.3.2 Índice Biótico Andino (ABI). El Índice Biótico Andino (ABI) es un instrumento diseñado para evaluar la calidad ecológica del agua en ecosistemas de alta montaña, mediante la asignación de valores de sensibilidad a la contaminación para cada familia de macroinvertebrados identificada en un sitio de muestreo. Estas puntuaciones, que oscilan entre 1 (muy tolerante) y 10 (muy sensible), se suman para obtener un valor total que refleja la condición ecológica del cuerpo de agua (Acosta, 2009).

Una de las principales ventajas del ABI es que está especialmente adaptado para ecosistemas andinos ubicados por encima de los 2000 msnm. Además, su aplicación no requiere de datos cuantitativos, sino solo cualitativos (presencia/ausencia), lo que lo convierte en una herramienta accesible, económica y eficiente en términos de tiempo (Roldán, 2003).

2.2.3.3 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Perú). El índice BMWP/Perú es un método bioindicado ampliamente utilizado para evaluar la calidad del agua en sistemas lóticos, a través del análisis de la composición taxonómica de macroinvertebrados acuáticos. Cada familia es clasificada en una escala de tolerancia a la contaminación de 1 a 10, asignándosele un valor específico que refleja su sensibilidad (Tercedor, 1996).

El total de puntuaciones acumuladas por todas las familias presentes en una muestra determina el estado de calidad del agua. Este índice es valorado por su facilidad de uso, aplicabilidad en campo y utilidad para la comparación entre estaciones de monitoreo.

2.2.4 Parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua

Los parámetros fisicoquímicos del agua constituyen una herramienta fundamental para evaluar la calidad de los ecosistemas acuáticos, ya que permiten identificar condiciones anómalas

que podrían afectar la biodiversidad, el equilibrio ecológico y el uso humano del recurso hídrico. Estos parámetros proporcionan información instantánea sobre el estado del agua, aunque no siempre reflejan impactos ecológicos acumulativos o de largo plazo (Delgado et al., 2020).

Estos parámetros incluyen características perceptibles como sólidos suspendidos, turbidez, color, sabor, olor y temperatura, que indican la presencia de partículas, contaminantes y cambios físicos. Los parámetros químicos, como la alcalinidad y dureza, reflejan la capacidad del agua para neutralizar ácidos y la concentración de minerales. Además, la medición de fluoruros, materia orgánica, oxígeno disuelto, metales y nutrientes proporciona información crucial sobre la salud del ecosistema acuático y la presencia de contaminantes. Juntos, estos parámetros ofrecen una evaluación integral del estado del agua, vital para su gestión y conservación. Finalmente, los parámetros biológicos incluyen la presencia de organismos vivos como bacterias, algas y macroinvertebrados, los cuales son indicadores clave de la salud ecológica del recurso hídrico (Pérez, 2007).

Entre los parámetros más comúnmente evaluados se encuentran:

2.2.4.1 Conductividad eléctrica. La conductividad eléctrica mide la capacidad del agua para conducir electricidad, asociada a la concentración de sales disueltas. Altos niveles pueden indicar contaminación por vertidos industriales o escorrentía agrícola (SENAMHI, 2021). Indica, además, la presencia de iones en el agua, como Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , fosfatos, bicarbonatos, cloruros y sulfatos. Estos iones se encuentran principalmente en aguas salinas y, en menor grado, en procesos de lixiviación, proporcionando al agua la capacidad de conducir corriente eléctrica. Por otro lado, las aguas con alta conductividad son corrosivas (Roldán, 2003).

2.2.4.2 Caudal. El caudal es un parámetro físico fundamental en el análisis de la calidad del agua, ya que representa el volumen de agua que fluye a través de una sección transversal de un

cuerpo hídrico por unidad de tiempo, expresado generalmente en metros cúbicos por segundo (m^3/s). Este parámetro no solo refleja la cantidad de agua presente en un ecosistema acuático, sino que también condiciona muchos procesos ecológicos y fisicoquímicos como la disolución del oxígeno, la dilución de contaminantes y la disponibilidad de hábitats para organismos acuáticos (Bustos et al., 2020).

Las variaciones del caudal están estrechamente ligadas a los regímenes hidrológicos estacionales — como las temporadas de lluvia y estiaje — y pueden influir directamente en la distribución y composición de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos. Por ejemplo, un caudal bajo puede reducir la oxigenación del agua y aumentar la concentración de sustancias contaminantes, mientras que un caudal elevado puede provocar arrastre de sedimentos y alterar las condiciones del sustrato (Bustos, et al., 2020).

Además, el caudal es un factor clave para interpretar adecuadamente otros parámetros fisicoquímicos, ya que influye en la temperatura, turbidez y concentración de nutrientes o compuestos disueltos. Por ello, su monitoreo es esencial para entender la dinámica ecológica de los ecosistemas acuáticos y su influencia sobre los indicadores biológicos como los macroinvertebrados (Bustos, et al., 2020).

2.2.4.3 Potencial de hidrógeno (pH). El pH indica la concentración de iones hidrógeno y determina si el agua es ácida, neutra o básica. La mayoría de los organismos acuáticos toleran un rango entre 6.5 y 8.5; valores fuera de este rango pueden provocar estrés fisiológico o mortalidad (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2017). Este indicador es crucial para la existencia de vida, ya que los organismos toleran un rango específico de pH. Estas mediciones de pH pueden variar con la temperatura. Generalmente, las aguas naturales no contaminadas por actividades humanas presentan un pH en el rango de 5 a 9. Sin embargo, la mayoría de los ríos, lagos y otros

cuerpos de agua naturales tienen niveles de pH que oscilan entre 6,0 y 8,5. El pH del agua natural se determina principalmente por dos factores: el equilibrio del sistema carbónico, debido a la disolución de CO_2 y carbonatos de las rocas, y la actividad de los microorganismos acuáticos, que influye a través de la fotosíntesis y la respiración de organismos heterótrofos (Cañedo, et al., 2016).

2.2.4.4 Nitritos (NO_2^-). Los nitritos son compuestos intermedios en el ciclo del nitrógeno, generados principalmente por la oxidación del amoníaco (NH_3) durante el proceso de nitrificación llevado a cabo por bacterias nitrificantes, como *Nitrosomonas*. Su presencia en el agua puede indicar una contaminación reciente por materia orgánica o aguas residuales, ya que su transformación posterior a nitratos (NO_3^-) no ha finalizado (Cárdenas, et al., 2021).

Los nitritos son tóxicos para la vida acuática, ya que interfieren en el transporte de oxígeno en organismos sensibles como peces y macroinvertebrados, afectando la función de la hemoglobina. A concentraciones superiores a 0.1 mg/L, pueden considerarse perjudiciales para ecosistemas acuáticos. Su concentración puede incrementarse en cuerpos de agua con baja oxigenación, estancamiento o carga orgánica excesiva (Cárdenas, et al., 2021).

2.2.4.5 Nitratos (NO_3^-). Los nitratos constituyen la forma más oxidada del nitrógeno en sistemas acuáticos y suelen estar presentes de manera natural en concentraciones bajas. Sin embargo, su exceso proviene mayormente de fuentes antropogénicas como fertilizantes agrícolas, aguas residuales domésticas y desechos ganaderos (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2017). Altos niveles de nitratos en el agua promueven la eutrofización, proceso que incrementa la proliferación de algas y fitoplancton, disminuyendo el oxígeno disponible y afectando la biodiversidad. Aunque los nitratos son menos tóxicos que los nitritos, pueden tener efectos indirectos significativos al alterar la estructura del ecosistema acuático. En cuerpos de agua

destinados a consumo humano, la OMS recomienda un límite máximo de 50 mg/L de nitratos (APHA, 2017).

2.2.4.6 Dureza del agua. La dureza del agua se refiere a la concentración total de cationes divalentes, principalmente calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}), disueltos en el agua. Es un parámetro importante en el análisis fisicoquímico, ya que influye en procesos como la solubilidad de otros compuestos, la toxicidad de metales pesados y la eficiencia de detergentes (Bustos & López, 2020).

Desde una perspectiva ecológica, la dureza puede afectar la distribución de especies acuáticas, ya que ciertos macroinvertebrados muestran preferencias por aguas blandas (<60 mg/L como CaCO_3) o aguas duras (>120 mg/L). Además, aguas muy blandas tienden a tener menor capacidad tampón, lo que las hace más sensibles a cambios de pH. En estudios de biomonitorio, la dureza se considera un factor modificador que puede alterar la respuesta de los organismos bioindicadores (APHA, 2017).

2.2.4.7 Oxígeno disuelto. Este indicador es esencial para los procesos metabólicos y respiratorios de los organismos acuáticos, lo que convierte su concentración en un indicador crítico de la calidad del agua. La solubilidad del oxígeno en el agua está inversamente relacionada con la temperatura; es decir, a medida que la temperatura aumenta, la cantidad de oxígeno disuelto disminuye. Este fenómeno puede explicar el aumento de la mortalidad de peces durante los meses de verano, cuando las balsas de agua en ríos mediterráneos se calientan, reduciendo la disponibilidad de oxígeno. Además, la eutrofización y el cambio climático pueden intensificar esta reducción, subrayando la importancia de monitorear de manera continua los niveles de oxígeno disuelto para una gestión eficaz de los recursos hídricos (Bustos & López, 2020).

El oxígeno disuelto es uno de los parámetros más críticos en la evaluación de la calidad del agua, ya que representa la cantidad de oxígeno gaseoso disponible en el agua para los organismos

aeróbicos. Su concentración depende de varios factores, como la temperatura, la turbulencia del agua, la actividad fotosintética y el consumo biológico de oxígeno (Cañedo, et al., 2016). En tal propósito, es esencial para la respiración de la vida acuática. Niveles bajos (<5 mg/L) pueden limitar la diversidad biológica, mientras que niveles cercanos a cero provocan condiciones anóxicas, favoreciendo organismos anaerobios y la descomposición de materia orgánica (Cañedo, et al., 2016).

Los niveles adecuados de OD son esenciales para la supervivencia de peces, macroinvertebrados y otros organismos acuáticos. Generalmente, se considera que concentraciones por debajo de 5 mg/L afectan negativamente la biodiversidad acuática, mientras que valores inferiores a 2 mg/L pueden ser letales para muchas especies. Además, el oxígeno disuelto es fundamental para los procesos de autodepuración natural del agua, ya que permite la oxidación de materia orgánica y compuestos tóxicos (CONAGUA, 2017).

Si bien estos parámetros son esenciales, presentan limitaciones, ya que ofrecen una visión instantánea que puede no captar impactos intermitentes o de acumulación lenta. Por ello, se recomienda su uso conjunto con indicadores biológicos, como los macroinvertebrados bentónicos, para obtener una evaluación más integral y confiable del estado ecológico de los cuerpos de agua (Arroyo et al., 2017).

2.2.5 Relación entre bioindicadores e indicadores fisicoquímicos

La evaluación de la calidad del agua mediante bioindicadores y parámetros fisicoquímicos constituye un enfoque complementario y holístico en los estudios ambientales. Los macroinvertebrados bentónicos, al estar en contacto directo con el sedimento y el agua, reflejan de manera integrada los efectos de condiciones fisicoquímicas tanto actuales como históricas,

permitiendo una interpretación más amplia del estado ecológico de los cuerpos de agua (González-Trujillo et al., 2020).

Mientras que los parámetros fisicoquímicos - como el pH, oxígeno disuelto, temperatura, conductividad, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), entre otros - ofrecen una medición instantánea de la calidad del agua, los bioindicadores proporcionan una evaluación integrada en el tiempo, ya que sus respuestas reflejan condiciones ambientales acumuladas o persistentes (García-Criado & Fernández-Aláez, 2017). Esta diferencia temporal en la respuesta es clave, ya que permite detectar tanto alteraciones recientes como impactos prolongados o crónicos.

Estudios comparativos han demostrado que existe una correlación significativa entre ciertos parámetros fisicoquímicos y la estructura de las comunidades de macroinvertebrados. Por ejemplo, niveles bajos de oxígeno disuelto y altas concentraciones de materia orgánica suelen estar asociados con una disminución en la riqueza de taxones sensibles como Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, y un aumento en la abundancia de grupos tolerantes como Chironomidae o Oligochaeta (García-Criado & Fernández-Aláez, 2017).

Asimismo, los índices bióticos como el ABI, el BMWP/Perú y el índice EPT se construyen en función de la sensibilidad diferencial de los organismos ante cambios fisicoquímicos. Por ello, cuando se registran alteraciones en variables como la conductividad eléctrica, la DBO o los sólidos suspendidos, estos índices tienden a reflejar dichas variaciones mediante la disminución de sus valores, lo que indica deterioro ambiental (Cárdenas et al., 2021).

Diversas investigaciones en ecosistemas andinos han confirmado que la calidad del agua evaluada mediante macroinvertebrados se correlaciona positivamente con valores óptimos de oxígeno disuelto, pH neutro y bajas concentraciones de contaminantes orgánicos e inorgánicos, lo

que valida su uso conjunto con los análisis fisicoquímicos en programas de monitoreo ambiental (Pérez, 2007).

En conclusión, el análisis conjunto de bioindicadores e indicadores fisicoquímicos permite enriquecer la interpretación del estado de los ecosistemas acuáticos, ya que mientras los parámetros fisicoquímicos brindan información puntual y cuantitativa, los macroinvertebrados bentónicos aportan evidencia ecológica acumulada, reforzando la confiabilidad de los diagnósticos ambientales.

2.3 Definición de términos básicos

a. Bioindicación

La bioindicación es el uso de organismos vivos para detectar o monitorear las condiciones ambientales, particularmente en la evaluación de la contaminación o alteraciones del ecosistema (Roldán, 2003).

b. Bioindicadores

Son organismos o comunidades biológicas que proporcionan información sobre las condiciones ambientales del ecosistema, permitiendo identificar alteraciones o niveles de contaminación en el medio acuático (Bonada, et al., 2006).

c. Calidad del agua

La calidad del agua se refiere al conjunto de características físicas, químicas y biológicas que determinan la aptitud del agua para un uso específico, como consumo humano, recreación o preservación del ecosistema acuático (Bustos & López, 2020).

d. Caudal

El caudal es el volumen de agua que fluye por un río o canal en un periodo de tiempo determinado, expresado en metros cúbicos por segundo (m^3/s). Este parámetro influye en la

dinámica de los ecosistemas acuáticos y en la distribución de los macroinvertebrados (Arroyo, et al., 2017).

e. Estándar de Calidad Ambiental (ECA para agua)

El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua es un valor numérico que establece la concentración máxima permitida de determinados elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos en cuerpos de agua superficial, con el fin de preservar su integridad ecológica y asegurar su aptitud para los diversos usos establecidos (MINAM, 2017).

f. Índice BMWP/Perú

El índice BMWP/Perú es una adaptación del índice biológico original BMWP (Biological Monitoring Working Party) para ecosistemas peruanos. Se basa en la tolerancia de diferentes familias de macroinvertebrados a la contaminación, asignando puntuaciones que reflejan la calidad ecológica del agua (Acosta, et al., 2009).

g. Macroinvertebrados bentónicos

Los macroinvertebrados bentónicos son organismos invertebrados visibles a simple vista (mayores de 0.5 mm) que habitan en el fondo de cuerpos de agua dulce, como ríos o lagunas, y son comúnmente utilizados como bioindicadores debido a su sensibilidad a los cambios en la calidad del agua (Roldán, 2003).

h. Microorganismos acuáticos

Organismos microscópicos presentes en el agua, que incluyen bacterias, algas, protozoos y hongos. Estos microorganismos desempeñan roles esenciales en los ciclos biogeoquímicos del ecosistema acuático, contribuyendo a la descomposición de materia orgánica, la nitrificación, y el mantenimiento del equilibrio ecológico. Su presencia y actividad son indicadores importantes de la salud del ecosistema acuático y de su capacidad para sostener la vida (Tovar, et al., 2012).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

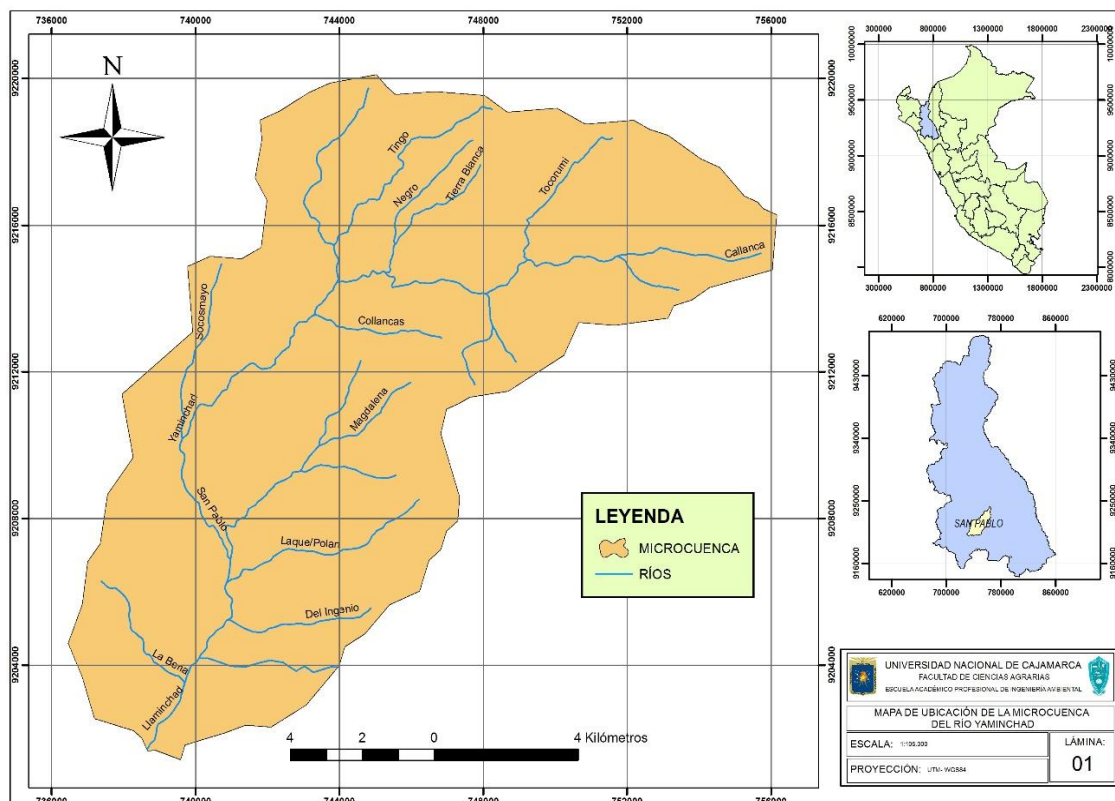
3.1 Ubicación

3.1.1 Ubicación del área de estudio

La investigación se llevó a cabo en la microcuenca del río Yaminchad, ubicada entre los distritos de San Pablo y San Bernardino, en la provincia de San Pablo, departamento de Cajamarca. Geográficamente se localiza entre las coordenadas UTM que va desde 756118 a 736324 E y de 9220033 a 9201446 Norte. Presenta una extensión de 179.8500 km² y un perímetro de 68.9175 Km. El rango altitudinal va desde los 3811 msnm hasta los 884 msnm donde se une con el río Magdalena, tiene una longitud aproximada de 30 km.

Figura 1

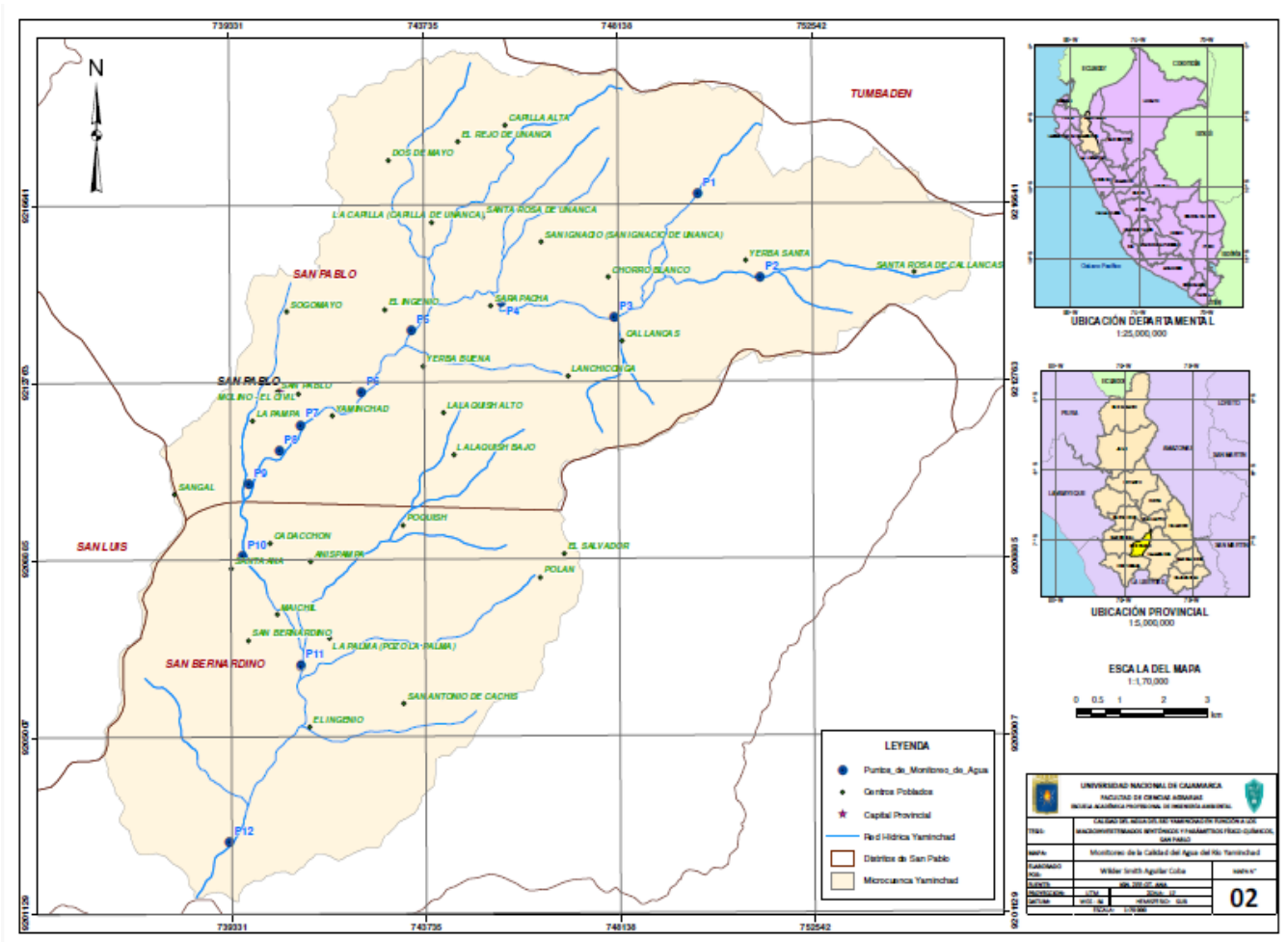
Ubicación geográfica de la microcuenca del río Yaminchad en la provincia de San Pablo



Nota. La figura muestra el mapa de ubicación de la microcuenca del Río Yaminchad.

Figura 2

Cauce principal de río Yaminchad



Nota. La figura muestra las estaciones de monitoreo del P1 al P12 incluyendo los centros poblados cercanos al cauce del río

3.1.2 Selección de las estaciones de muestreo

Para determinar la ubicación de las 12 estaciones de muestreo se realizaron salidas de campo exploratorias y se analizó cartográficamente la microcuenca hidrográfica del río Yaminchad en función a los tramos del cauce principal, según se muestra en la figura 2. La selección consideró criterios como la proximidad a centros poblados, la presencia de pasivos

mineros y la influencia de zonas agrícolas, con el fin de captar la diversidad de presiones antrópicas sobre el ecosistema acuático.

Los muestreos se llevaron a cabo durante la temporada de estiaje de 2018 y la temporada de lluvia de 2019. Las estaciones de muestreo fueron georreferenciadas utilizando el sistema de coordenadas WGS 84 (ver tabla 1). Cabe señalar que la subcuenca del río Yaminchad forma parte de la cuenca del río Jequetepeque, clasificada como de categoría III, según el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, correspondiente a agua destinada al riego de vegetales y al consumo animal. Por tanto, los parámetros físicoquímicos obtenidos fueron comparados con los estándares establecidos para dicha categoría.

La recolección de macroinvertebrados se realizó siguiendo la metodología propuesta por el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM, 2014) en su guía para la colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas. Se empleó una red tipo Surber, fabricada por el tesista conforme a lo descrito por Tejada (2019). Para su uso, el marco de la red se posicionó sobre el lecho del río, en sentido contrario a la corriente, removiendo manualmente el sustrato y volteando piedras mayores a 30 cm de diámetro. Asimismo, se recorrieron los márgenes con vegetación, permitiendo así la captura efectiva de los organismos bentónicos.

A continuación, en la tabla 1 se presentan los códigos, la ubicación y las coordenadas de las estaciones de muestreo de las estaciones del estudio (ubicación geográfica y altitud), mientras que en la tabla 2 se muestra la descripción de las estaciones de muestreo incluyendo características del entorno ribereño, con el propósito de contextualizar las condiciones ambientales que influyen en la composición de macroinvertebrados bentónicos. En efecto, en la mencionada tabla se presenta la información correspondiente a cada estación de muestreo, junto con una síntesis del estado de conservación de los bosques de ribera.

Tabla 1*Coordenadas de ubicación de las estaciones de muestreo*

CÓDIGO	UBICACIÓN	COORDENADAS (WGS 84)		ALTITUD (msnm)
P1	Patiño	749948.08 E	9216874.63 S	3313
P2	Chorro Blanco	751353.00 E	9215024.97 S	3158
P3	Callancas	748045.00 E	9214164.10 S	2850
P4	Hierba Buena	745483.66 E	9214495.93 S	2670
P5	La Laquish	743443.34 E	9213884.60 S	2502
P6	Yaminchad	742303.44 E	9212543.59 S	2446
P7	El Balcón	740915.35 E	9211834.12 S	2245
P8	El Molino	740436.99 E	9211269.53 S	2050
P9	Las Moncada	739747.88 E	9210534.86 S	1633
P10	Anispampa	739587.73 E	9208979.91 S	1320
P11	Paredones	740902.07 E	9206565.34 S	1056
P12	El Badén	739267.68 E	9202704.44 S	884

Nota. Esta tabla muestra en detalle la ubicación de las estaciones de muestreo

Tabla 2

Descripción de la caracterización edafológica y ecológica e información sintetizada sobre los bosques de ribera del río Yaminchad en cada estación de muestreo

ESTACIONES	CARACTERIZACIÓN EDAFOLÓGICA Y ECOLÓGICA	DESCRIPCIÓN SINTETIZADA DE BOSQUE DE RIBERA
P1	Predomina un suelo de textura limo arenosa. La flora es local sin especies introducidas, con presencia de pastizales, con influencia mínima antrópica.	Ribera conservada con vegetación densa (>75%), presencia de árboles nativos y escasa erosión.
P2	Tramo medio-alto con corriente suave, predominancia de terrenos de cultivo.	Ribera semi-conservada (50–70%), con cultivos cercanos y erosión leve.
P3	Tramo medio, margen derecha del cauce con una corriente moderada. Presenta una flora local sin especies introducidas.	Ribera moderadamente alterada (40–60%), con pastoreo ocasional y remanentes de vegetación natural.
P4	Zona media con pendiente suave y vegetación natural, pastizales y árboles nativos.	Ribera con buena cobertura vegetal (bandas de 5–10 m), mínima alteración.
P5	Tramo medio – bajo y con afloramientos rocoso y una corriente moderada, de pastizales y árboles.	Ribera parcialmente alterada, franja vegetal reducida y cultivos próximos al cauce.
P6	Tramo-medio alto con una corriente moderada, predomina un suelo de textura arenosa y sector con escasa presión antrópica, presencia de pastizales.	Ribera bien conservada, franja ancha (>20 m) y vegetación diversa.
P7	Tramo medio, cerca de pastos ganaderos con una corriente moderada, mayor presencia de pastizales.	Ribera fragmentada, áreas con extracción de material y pastoreo intensivo.
P8	Tramo medio-bajo con influencia antrópica moderada, con una topografía muy accidentada y con una corriente suave con arbustos aislados.	Ribera alterada, vegetación dispersa y presencia de residuos agrícolas.
P9	Tramo bajo, margen izquierda con una corriente moderada. La flora tiene mayor presencia de arbustos y árboles.	Ribera con cobertura vegetal moderada y erosión leve en sectores.
P10	Tramo bajo cercano a zona poblada, predomina un suelo de textura limo arenosa. La flora son especies locales e introducidas.	Ribera fuertemente alterada, escasa vegetación y presencia de vertimientos domésticos.
P11	Tramo bajo intermitente muy pedregoso con bastante afloramiento rocoso, con una corriente suave, presencia de graba. La flora son especies locales e introducidas.	Ribera mayormente transformada; cauce seco en estiaje.
P12	Tramo final de la cuenca, sector periurbano cerca de los límites entre las provincias de San Pablo y San Miguel con una corriente suave.	Ribera muy alterada, sin cobertura vegetal significativa; cauce seco en estiaje.

Nota. Las descripciones anteriores son síntesis de observaciones de campo (cobertura estimada, estado de conservación y presencias/ausencias de uso antrópico).

3.2 Materiales

3.2.1 Materiales y equipo de laboratorio

Para el análisis de los parámetros fisicoquímico del agua y la identificación de macroinvertebrados bentónicos, se utilizaron los siguientes materiales principales para recolección de datos y equipos de laboratorio proporcionados por el Laboratorio Regional del Agua de Cajamarca.

3.2.2 Materiales para recolección de datos

- Malla tipo Surber (Área de muestreo 0.09 m² y tamaño 500 µm)
- Wincha
- Frascos plásticos con tapa de 1 L (muestras de agua)
- Frascos con etanol al 70% (conservación de macroinvertebrados)
- Gradillas, tubos de ensayo y embudos
- Bandejas de plástico
- Etiquetas impermeables
- Soluciones patrón para calibración
- Computadora con software Microsoft, ARCGIS y el programa SPSS 28.
- Planos del área de monitoreo
- Cámara fotográfica digital
- Cuaderno de campo
- Hoja de registro de datos (formato diseñado para campo)
- Equipos de protección personal
- Mapas hidrográficos de la zona de estudio

3.2.3 Equipos

Para el análisis de los parámetros fisicoquímicos del agua, las muestras fueron recolectadas en campo y transportadas bajo condiciones controladas al laboratorio, En dicho laboratorio, se utilizaron los siguientes equipos:

- Espectrofotómetro de absorción molecular UV-Vis (para análisis de nitratos y nitritos)
- Potenciómetro digital de mesa (medición de pH)
- Conductímetro de laboratorio (conductividad eléctrica)
- Titulador automático y buretas analíticas (determinación de dureza total mediante EDTA)
- Oxímetro de laboratorio con membrana de Clark (oxígeno disuelto)
- Cámara de conservación (refrigeración de muestras)
- Estufa de secado y balanza analítica (control de condiciones del laboratorio)
- Estereoscópico de disección (para identificación taxonómica de macroinvertebrados).

3.3 Metodología

Para determinar la calidad del agua del río Yaminchad se aplicaron índices bióticos reconocidos como el EPT, ABI y el Biological Monitoring Working Party adaptado para Perú (BMWP/Perú), a partir del análisis de macroinvertebrados bentónicos. Asimismo, se consideraron los parámetros fisicoquímicos: pH, conductividad eléctrica, nitritos, nitratos, dureza total y oxígeno disuelto, durante las temporadas de lluvia y estiaje, procesados en laboratorio Regional del Agua-Cajamarca. En la tabla 3 se presenta la programación general para el monitoreo de parámetros biológicos y parámetros fisicoquímicos.

Tabla 3*Programación de monitoreos*

Parámetro	Indicador	Frecuencia de muestreo	Técnica	Repeticiones
EPT	Presencia	Temporada de lluvia y estiaje	Malla Surber	3 en cada estación de muestreo
ABI	Puntaje	Temporada de lluvia y estiaje	Malla Surber	3 en cada estación de muestreo
BMWP/Perú	Puntaje	Temporada de lluvia y estiaje	Malla Surber	3 en cada estación de muestreo
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	Temporada de lluvia y estiaje	Medición en laboratorio	1 por estación de muestreo
pH	Unidades pH	Temporada de lluvia y estiaje	Medición en laboratorio	1 por estación de muestreo
Dureza total	mg/L CaCO_3	Temporada de lluvia y estiaje	Método titulométrico	1 por estación de muestreo
Oxígeno disuelto	mg/L O_2	Temporada de lluvia y estiaje	Método de Winkler modificado	1 por estación de muestreo

Nota. Se recolectaron muestras para análisis de nitritos y nitratos. Sin embargo, sus concentraciones estuvieron por debajo del Límite de Cuantificación del Método (LCM), por lo que no fueron considerados en los análisis comparativos ni en la correlación con los índices bióticos.

3.3.1 Recolección de datos para índices biológicos

Se realizaron muestreos de macroinvertebrados bentónicos en *12 estaciones* del río Yaminchad, durante las temporadas de lluvia y estiaje. En cada estación se aplicó el método de muestreo mediante malla tipo Surber, recolectando organismos sobre sustratos representativos de fondos lóticos, como arena, grava, piedras, troncos, ramas y hojas.

Las muestras fueron conservadas en frascos con etanol al 70 % y etiquetadas con el código de estación, fecha y hora de recolección. La identificación taxonómica se realizó posteriormente en laboratorio de biología de la Universidad Nacional de Cajamarca, utilizando claves taxonómicas, hasta el nivel de familia, conforme a los requerimientos metodológicos de los índices EPT, ABI y BMWP/Perú, empleados en la evaluación de la calidad del agua.

3.3.2 Identificación de Macroinvertebrados

La identificación de los macroinvertebrados bentónicos recolectados se realizó en dicho laboratorio mediante un estereoscopio para facilitar la observación de estructuras morfológicas. Previamente, los organismos fueron enjuagados con agua destilada para eliminar sedimentos, y posteriormente separados en bandejas plásticas blancas para su clasificación preliminar.

Cada muestra fue analizada minuciosamente y los individuos fueron identificados hasta el nivel taxonómico de familia, conforme a los requerimientos metodológicos de los índices EPT, ABI y BMWP/Perú, los cuales se basan en esta resolución taxonómica. Para la identificación se utilizaron las claves taxonómicas especializadas, como las de Delgado y Castro (2020).

Respecto a los organismos fueron contabilizados manualmente, y se registró el número total de individuos por familia. Posteriormente, esta información fue sistematizada en tablas para el cálculo de los índices biológicos, de acuerdo con las escalas de interpretación respectivas.

3.3.2.1 Cálculo del índice *Ephemeroptera*, *Plecoptera*, *Trichoptera* (EPT)-versión ponderada. Para el cálculo del índice EPT se consideró una versión ponderada, en la cual se asigna un puntaje específico a cada familia perteneciente a los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, en función de su sensibilidad a la contaminación. Esta metodología permite no solo contabilizar la presencia de familias bioindicadores, sino también valorar su representatividad ecológica, otorgando mayor peso a aquellas más sensibles.

En la tabla 4 se presenta el puntaje por familia para el índice EPT (versión ponderada), donde se asigna a cada familia un puntaje entre 4 y 10, según su tolerancia a la contaminación. Así, el índice total por estación de muestreo se obtiene sumando los puntajes correspondientes a las familias identificadas. Esta versión ponderada introduce un criterio cualitativo más riguroso que la forma tradicional basada únicamente en el número de individuos o presencia/ausencia.

Tabla 4*Puntaje por familia para el índice EPT (versión ponderada)*

Orden	Familia	Puntaje EPT
Ephemeroptera	Baetidae	4
	Leptophlebiidae	10
	Leptohyphidae	7
	Oligoneuuriidae	10
Plecoptera	Perlidae	10
	Gripopterygidae	10
	Helicopsychidae	10
	Calamoceratidae	10
Trichoptera	Leptoceridae	8
	Hydroptilidae	6
	Xiphocentronidae	8
	Hydrobiosidae	8
	Glossosomatidae	7
	Hydropsychidae	5

Nota. Puntajes adaptados de estudios sobre macroinvertebrados bentónicos y calidad de agua en ríos andinos (García & Fernández, 2017).

Para determinar la calidad del agua del río Yaminchad, se utilizó la siguiente escala de valoración (tabla 5), basada en el puntaje total EPT obtenido en cada estación de muestreo:

Tabla 5*Índice EPT de calidad (versión ponderada, escala 0-10)*

Puntaje total EPT	Categoría de impacto	Calidad del agua
8.0 – 10.0	Sin impacto	Buena
6.0 -7.9	Levemente impactado	Moderada
4.0 – 5.9	Moderadamente impactado	Pobre
2.0 -3.9	Fuertemente impactado	Muy pobre
< 2.0	Severamente impactado	Crítica/muy crítica

Nota. Clasificación interpretativa adaptada de Klemm et al. (1990) y ajustada a escala normalizada (0-10) para estudios comparativos en ecosistemas altoandinos.

Esta escala de interpretación permite clasificar objetivamente el estado ecológico del río a partir del valor agregado de las familias EPT, lo que facilita la comparación entre estaciones de muestreo y la identificación de tramos con mayor presión antrópica.

3.3.2.2. Cálculo del índice Biótico Andino (ABI). El Índice Biótico Andino (ABI) como herramienta metodológica desarrollada evaluar la calidad ecológica de cuerpos de agua en ecosistemas altoandinos, mediante el análisis de macroinvertebrados bentónicos. Este índice se basa en la sensibilidad ecológica de las familias de macroinvertebrados frente a perturbaciones ambientales, especialmente la contaminación. A cada familia se le asigna un puntaje que varía entre 1 (muy tolerante) y 10 (muy sensible), de acuerdo con su tolerancia a la contaminación.

Para calcular el valor del ABI en cada estación de muestreo, se identificaron las familias de macroinvertebrados presentes y se sumaron los valores de sensibilidad correspondientes. En tal propósito, el puntaje total del ABI refleja el estado ecológico del sitio evaluado y permite la comparación entre estaciones de muestreo o entre temporadas de lluvia y estiaje.

En la tabla 6 se presenta los puntajes asignados a las principales familias identificadas durante el estudio:

Tabla 6*Puntaje por familia para el Índice Biótico Andino (ABI)*

Orden	Familia	Puntaje ABI
Ephemeroptera	Baetidae	4
	Leptophlebiidae	10
	Leptohyphidae	7
	Oligoneuuriidae	10
Plecoptera	Perlidae	10
	Gripopterygidae	10
	Helicopsychidae	10
	Calamoceratidae	10
Trichoptera	Leptoceridae	8
	Hydroptilidae	6
	Xiphocentronidae	8
	Hydrobiosidae	8
	Glossosomatidae	7
	Hydropsychidae	5
Díptera	Simuliidae	5
	Chironomidae	2
Coleoptera	Elmidae	5
Gastropoda	Pysidae	3
Odonata	Libellulidae	6
Heteroptera	Guerridae	5
Megaloptera	Corydalidae	5

Nota. Puntajes adaptados de Acosta et al., (2009) y Roldán (2003), en función a la sensibilidad ecológica observada en ecosistemas andinos.

Para la interpretación de los resultados, se emplea la siguiente escala:

Tabla 7*Índice ABI (escala 0-10 normalizada)*

Puntaje total ABI	Categoría de impacto	Calidad del agua
8.0 – 10.0	Sin impacto	Buena
6.0 – 7.9	Levemente impactado	Moderada
4.0 – 5.9	Moderadamente impactado	Pobre
2.0 – 3.9	Fuertemente impactado	Muy pobre
< 2.0	Severamente impactado	Crítica/muy crítica

Nota. Escala adaptada de Acosta et al. (2009) y normalizada de acuerdo con los valores en campo (0-10).

El índice ABI destaca por su utilidad en zonas altoandinas debido a su enfoque cualitativo, su sencillez metodológica y su capacidad para brindar una evaluación rápida, económica y ambientalmente pertinente, incluso con recursos logísticos limitados.

3.3.2.3. Cálculo del índice BMWP/Perú. Este índice se basa en la tolerancia de diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos a la contaminación orgánica y permite evaluar la calidad del agua de manera indirecta, donde cada familia recibe un puntaje entre 1 (muy tolerante) y 10 (muy sensible), basado en su respuesta ecológica a los niveles de contaminación. A diferencia de otros índices, el BMWP/Perú considera la simple presencia o ausencia de familias, sin necesidad de contar individuos ni aplicar ponderaciones. A continuación, en la tabla 8 se presenta los puntajes utilizados en este estudio:

Tabla 8

Puntaje por familia para el Índice BMWP/(versión Perú)

Orden	Familia	Puntaje BMWP/Perú
Ephemeroptera	Baetidae	4
	Leptophlebiidae	10
Plecoptera	Perlidae	10
	Gripopterygidae	10
	Helicopsychidae	10
Trichoptera	Leptoceridae	8
	Hydroptilidae	5
Coleoptera	Elmidae	5
Díptera	Simuliidae	5
	Chironomidae	2
Hemíptera	Veliidae	5
	Notonectidae	5
Gastropoda	Pysidae	3
Odonata	Libellulidae	6
Heteroptera	Guerridae	5
Megaloptera	Corydalidae	5

Nota. Puntajes adaptados del protocolo BMWP con referencias actualizadas del índice BMWP/Perú, basados en Roldán (2003).

De otro lado, el cálculo se realiza sumando los puntajes asignados a todas las familias presentes en las estaciones de muestreo. El total obtenido se interpreta según una escala que clasifica la calidad del agua en cinco categorías, desde buena hasta muy crítica, tal como se presenta en la tabla 9.

Tabla 9

Escala de interpretación del índice BMWP/Perú (escala 0-10 normalizada)

Puntaje total BMWP/Perú	Categoría de impacto	Calidad del agua
8.0 – 10.0	Sin impacto	Buena
6.0 -7.9	Levemente impactado	Moderada
4.0 – 5.9	Moderadamente impactado	Pobre
2.0 – 3.9	Fuertemente impactado	Muy pobre
< 2.0	Severamente impactado	Crítica/muy crítica

Nota. Escala adaptada de Zamora (2008) y normalizada a valores de campo (0-10) para comparación entre estaciones y temporadas en ecosistemas altoandinos.

El índice BMWP/Perú representa una alternativa eficiente y robusta para evaluar la calidad del agua en zonas andina. Su simplicidad metodológica, sumada a su respaldo empírico, lo convierte en una herramienta ampliamente aceptada en estudios de bioevaluación, tanto académicos como técnicos.

3.3.3. Recolección y análisis de datos fisicoquímicos

3.3.3.1. Parámetros evaluados y metodología de análisis. Durante el estudio se evaluaron seis parámetros fisicoquímicos del agua: pH, oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica, nitritos (NO_2^-), nitratos (NO_3^-) y dureza total. Estos indicadores fueron seleccionados por su relevancia para caracterizar la calidad ecológica de los cuerpos de agua y su posible relación con la composición y distribución de macroinvertebrados bentónicos.

Las mediciones se realizaron en dos momentos distintos: temporada de estiaje (2018) y temporada de lluvias (2019), siguiendo protocolos estandarizados.

- *Parámetros medidos in situ*: pH, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica, mediante equipos portátiles calibrados previamente (pH-metro, oxímetro y conductímetro, respectivamente).
- *Parámetros medidos en laboratorio*: nitritos, nitratos y dureza total, mediante espectrofotometría y métodos colorimétricos, en cumplimiento con los estándares de la Norma Técnica Peruana (NTP 900.058:2002) y el protocolo de la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2011).

3.3.3.2. Procedimiento de muestreo y análisis de laboratorio. Las muestras de agua fueron recolectadas en 12 estaciones de monitoreo previamente georreferenciadas. En cada estación, se obtuvieron muestras representativas utilizando frascos de vidrio de 500 ml y de plástico de 1000 ml, previamente esterilizados. Las muestras fueron conservadas en frío (aproximadamente 4 °C) y transportadas al Laboratorio Regional del Agua del Gobierno Regional de Cajamarca, donde fueron analizadas dentro de las 24 horas siguientes a su recolección.

El análisis de los parámetros fisicoquímicos se realizó según los métodos establecidos por el Manual de Técnicas Analíticas del Ministerio del Ambiente (MINAM, 2010) y el protocolo de monitoreo de calidad de agua superficial de la ANA (2011), garantizando confiabilidad y trazabilidad en los resultados.

3.4 Diseño metodológico

3.4.1 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, ya que busca resolver un problema concreto relacionado con la calidad del agua del río Yaminchad, mediante la evaluación de sus condiciones fisicoquímicas y biológicas. A través del uso de herramientas como los índices bióticos (EPT, ABI y BMWP/Perú) y técnicas de análisis estadístico, se pretende generar información útil para la gestión ambiental y la toma de decisiones en zonas altoandinas afectadas por actividades antrópicas.

Asimismo, se adopta un enfoque cuantitativo, porque se recolectan, organizan y analizan datos numéricos provenientes de mediciones estandarizadas y conteos biológicos. Este enfoque permite describir patrones, establecer comparaciones y analizar asociaciones entre variables, siguiendo una lógica empírica y objetiva.

3.4.2 Diseño de la investigación

El diseño es no experimental, transversal, descriptivo, comparativo y correlacional. Es no experimental, ya que no se manipulan las variables estudiadas, sino que se observan tal como se presentan en el ambiente natural. Es transversal, debido a que los datos fueron recolectados en dos momentos específicos del año (temporada de lluvia y temporada de estiaje), sin realizar seguimiento longitudinal. Es descriptivo, porque se caracterizan los parámetros fisicoquímicos del agua, la diversidad de macroinvertebrados y los puntajes de los índices bióticos en cada estación de muestreo. Es comparativo, al analizar las diferencias en las variables medidas entre las dos temporadas hidrológicas (lluvias vs. estiaje) y entre las zonas alta, media y baja del río; y finalmente, es correlacional, porque se explora la existencia de relaciones entre los parámetros fisicoquímicos y los índices biológicos de calidad del agua, sin establecer causalidad directa.

La unidad de análisis corresponde a las 12 estaciones de muestreo ubicadas a lo largo del cauce del río Yaminchad.

3.4.3 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento de datos se inició con la organización de la información recolectada en matrices y tablas de frecuencia, diferenciando los valores obtenidos en cada estación de muestreo, para cada temporada. Esta sistematización permitió calcular las puntuaciones de los índices bióticos EPT, ABI, BMWP/Perú, así como analizar la distribución de los parámetros fisicoquímicos (pH, OD, Conductividad eléctrica, nitratos, nitritos y dureza total).

Para el análisis estadístico, se siguió el siguiente procedimiento:

- Se aplicaron técnicas estadísticas paramétricas, al verificarse la normalidad en los datos mediante pruebas preliminares.
- Se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson, con el fin de evaluar la fuerza y dirección de la relación entre los parámetros fisicoquímicos y los índices bióticos. Este coeficiente varía entre -1 y +1, donde valores cercanos a los extremos indican mayor fuerza de asociación.
- Se aplicó también regresión lineal múltiple (RLM) para modelar la influencia conjunta de los parámetros fisicoquímicos sobre la calidad biológica del agua, representada por los valores de los índices EPT, ABI y BMWP/Perú. Esta técnica permitió identificar qué variables explican con mayor significancia las variaciones ecológicas entre estaciones y temporadas.

Además, se realizó una comparación de los valores fisicoquímicos con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales), con el fin de verificar el cumplimiento normativo.

Finalmente, los análisis fueron realizados utilizando software estadístico especializado (como Excel y SPSS 28), asegurando la precisión de los resultados y facilitando su representación gráfica.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Identificación de macroinvertebrados bentónicos

La identificación de macroinvertebrados bentónicos constituye una etapa esencial para evaluar la calidad ecológica del ecosistema acuático. Estos organismos, al estar estrechamente vinculados a las condiciones del hábitat, permiten inferir el estado de conservación del cuerpo de agua. En este apartado se presentan los resultados obtenidos de la clasificación taxonómica y frecuencia de colecta de los macroinvertebrados encontrados en las estaciones de muestreo durante las temporadas de lluvia y estiaje. Durante el estudio, se colectaron un total de 30 familias de macroinvertebrados, distribuidas en 9 órdenes y 3 clases, en las 12 estaciones de muestreo.

4.1.1 Clasificación taxonómica y distribución de macroinvertebrados bentónicos recolectados

Durante la evaluación de la calidad biológica del agua del río Yaminchad se realizó la identificación taxonómica de los macroinvertebrados bentónicos recolectados en las diferentes estaciones de muestreo. La clasificación se efectuó hasta nivel de familia, de acuerdo con claves taxonómicas estandarizadas. Asimismo, se contabilizó el número de organismos por ítem y se identificó la temporada predominante de recolección (lluvia o estiaje), a fin de establecer patrones de distribución temporal.

A continuación, en la tabla 10 se presenta con detalle las clases, órdenes, familias identificadas, número de organismos colectados y la temporada en la cual se observó mayor presencia:

Tabla10*Clasificación taxonómica y distribución de macroinvertebrados bentónicos recolectados*

Ítem	Clase	Orden	Familia	Número de organismos	Temporada predominante
1	Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	42	Estiaje
2	Euchelicerata	Trombidiformes	Hydrachnidae	9	Lluvias
3	Insecta	Díptera	Tipulidae	15	Estiaje
4			Psycodidae	11	Estiaje
5			Tabanidae	5	Lluvias
6			Ceratopogonidae	6	Lluvias
7			Psycodidae	10	Estiaje
8			Psephenidae	16	Estiaje
9			Elmidae	28	Estiaje
10		Coleoptera	Ptilodactylidae	14	Lluvias
11			Scirtidae (Helodidae)	12	Lluvias
12			Dytiscidae	7	Lluvias
13					
14		Hemiptera (Heteroptera)	Corixidae	9	Lluvias
15			Mesovellidae	6	Estiaje
16		Plecoptera	Perlidae	10	Estiaje
17			Gripopterygidae	13	Lluvias
18		Ephemeroptera	Leptohyphidae	22	Lluvias
19			Baetidae	30	Estiaje
20			Leptophlebiidae	17	Lluvias
21					
22		Trichoptera	Leptoceridae	14	Estiaje
23			Glossosomatidae	10	Estiaje
24			Hydropsychidae	32	Estiaje
25			Philopotamidae	8	Estiaje
26			Hydrobiosidae	6	Estiaje
27			Helicopsychidae	4	Lluvias
28			Calamoceratidae	3	Lluvias
29			Xiphocentronidae	2	Estiaje
30			Limnephilidae	1	Estiaje
		Odonata	Aeshnidae	6	Estiaje
			Libellulidae	8	Lluvias

Nota. Esta tabla considera 3 clases, 9 órdenes y 30 familias.

En la Tabla 10 se presenta la clasificación taxonómica de los macroinvertebrados bentónicos recolectados en el río Yaminchad, considerando únicamente aquellas familias relevantes para el análisis ecológico mediante los índices EPT, ABI y BMWP/Perú.

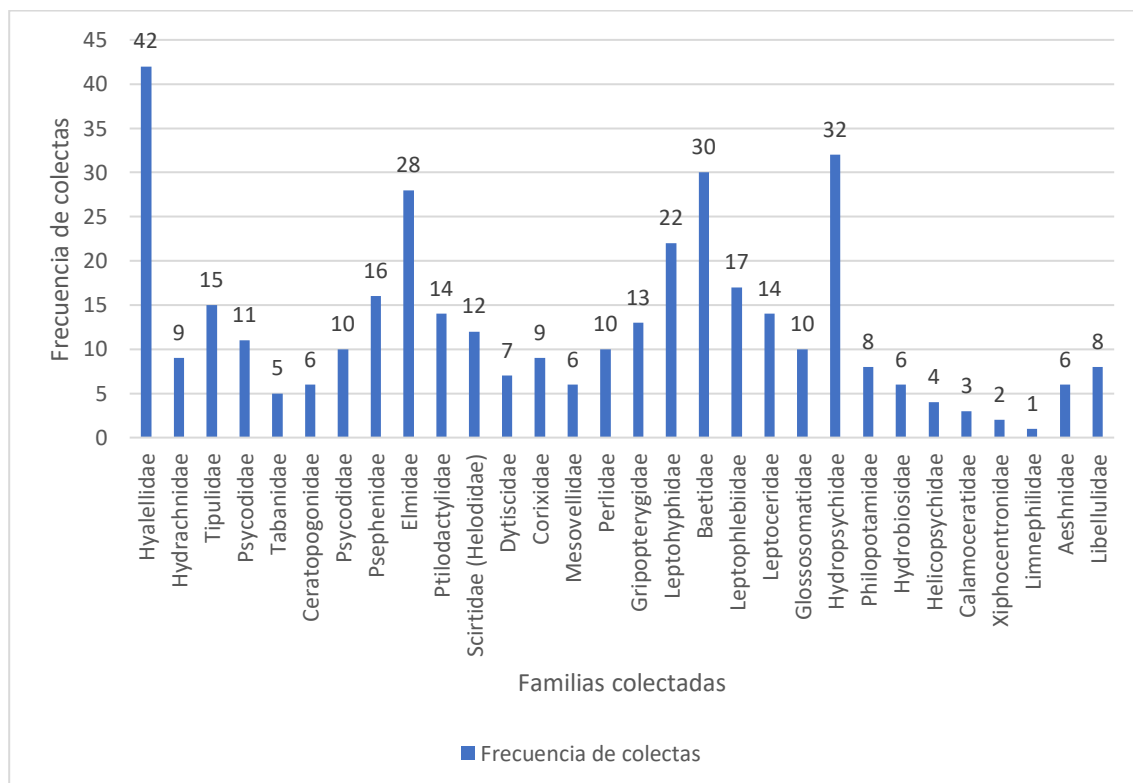
Este conjunto de datos proporciona la base para el análisis posterior mediante índices bióticos, los cuales permitirán evaluar la calidad ecológica del agua en función de la tolerancia o sensibilidad de las familias presentes.

4.1.2 Frecuencia de colecta de macroinvertebrados

A continuación, en la figura 3 se muestra la distribución de frecuencias absolutas de las familias de macroinvertebrados bentónicos recolectadas durante las temporadas de lluvia y estiaje.

Figura 3

Frecuencia de familias de macroinvertebrados bentónicos recolectadas durante las temporadas de lluvia y estiaje en el río Yaminchad



Nota. La figura muestra la frecuencia absoluta de colectas para las 30 familias identificadas.

Según lo observado en la figura 3, el análisis permite identificar los grupos taxonómicos con mayor representatividad relativa y explorar posibles variaciones estacionales en la composición de la comunidad acuática. En tal sentido, De acuerdo con los resultados, la familia *Hyalellidae* (anfípodos de agua dulce) registró la mayor frecuencia absoluta (42), lo que evidencia su amplia distribución en el ecosistema estudiado. Le siguieron *Hydropsychidae* (tricópteros constructores de redes) con 32 registros, *Baetidae* (efemerópteros) con 30 y *Elmidae* (escarabajos de agua) con 28. Estas familias, según Roldán (2003) y Acosta et al. (2009), incluyen organismos asociados generalmente a ambientes con buena oxigenación, aunque algunos pueden tolerar cierto grado de alteración.

En contraste, las familias con menor frecuencia fueron *Xiphocentronidae* (2), *Limnephilidae* (1) y *Calamoceratidae* (3), cuya presencia reducida podría indicar requerimientos de hábitat más específicos o menor tolerancia a perturbaciones hidrológicas y antrópicas.

La composición observada sugiere que el río Yaminchad mantiene un ensamble bentónico dominado por organismos de tolerancia intermedia a alta calidad del agua, combinados con especies más tolerantes, lo que refleja la heterogeneidad ambiental del sistema. Este patrón respalda el análisis posterior mediante índices bióticos, que permitirá interpretar con mayor precisión la condición ecológica del ecosistema.

Estos resultados reflejan patrones ecológicos relevantes para la interpretación del estado de salud del ecosistema acuático, ya que la composición y abundancia de macroinvertebrados bentónicos está estrechamente ligada a la calidad del agua, la disponibilidad de oxígeno disuelto y las características físicas del hábitat (Roldán, 2003).

4.2 Evaluación de la calidad del agua mediante índices bióticos

Los índices bióticos permiten estimar la calidad del agua en función de la sensibilidad ecológica de los macroinvertebrados bentónicos presentes. En este estudio se aplicaron tres índices comúnmente empleados en la bioevaluación de ríos: EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera), ABI (Índice Biótico Andino) y BMWP/Perú.

La evaluación se realizó en doce estaciones de muestreo durante las temporadas de lluvia y estiaje. Los resultados permiten identificar variaciones espaciales y estacionales en la calidad biológica del río Yaminchad. Sin embargo, cabe precisar que durante la temporada de estiaje no se registraron datos en las estaciones P11 y P12 debido a la ausencia total de agua en el cauce. Por esta razón, las tablas y figuras correspondientes desde el acápite 4.2.1 al 4.2.4 (incluyendo el análisis de la página 65), muestran estas estaciones sin valores en dicha temporada, lo cual constituye un hallazgo relevante al evidenciar la interrupción del flujo hídrico y la imposibilidad de sostener comunidades de macroinvertebrados en estos tramos.

4.2.1 Índice EPT (*Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Trichoptera*)

El índice EPT permitió evaluar la calidad del agua del río Yaminchad mediante la presencia y abundancia de organismos pertenecientes a los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera. En la temporada de lluvia, los valores del índice oscilaron entre 3.7 y 7.5 (escala normalizada 0-10), mientras que en estiaje variaron de 3.8 a 6.9.

Las estaciones de muestreo P6 y P4 registraron los valores más altos del índice EPT, correspondientes a una calidad buena a moderada, mientras que las estaciones P10, P11 y P12 presentaron los valores más bajos, clasificados como pobre o muy pobre, evidenciando un mayor grado de impacto antrópico.

De acuerdo con la tabla 5, los valores de EPT superiores a 6 reflejan una calidad buena, entre 4 y 6 una calidad moderada, y menores a 4 una calidad pobre o muy pobre. Estos resultados evidencian una tendencia descendente de la calidad hacia las zonas baja del río, donde se intensifica la influencia de las actividades agrícolas, ganaderas y domésticas.

En síntesis, el índice EPT indica que la calidad del agua del río Yaminchad varía de buena a pobre, con predominio de condiciones moderadas en la mayoría de las estaciones.

A continuación, en la tabla 11 se presentan los valores del índice EPT junto con el caudal y la velocidad media del río Yaminchad por estación y temporada. Asimismo, la figura 4 muestra gráficamente la variación del índice EPT en las estaciones de muestreo, comparando las temporadas de lluvia y estiaje.

Tabla 11

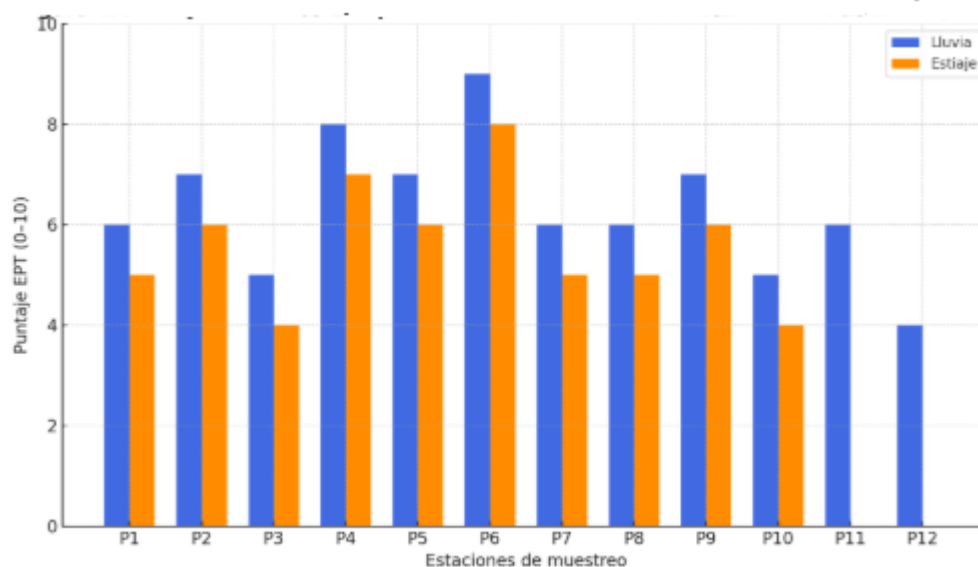
Índice EPT, caudal y velocidad media del agua por estación de muestreo en temporadas de lluvia y estiaje

Estación	EPT (lluvia)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	EPT (estiaje)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)
P1	6.0	1.50	0.60	5.0	1.00	0.45
P2	7.0	1.60	0.58	6.0	1.05	0.47
P3	5.0	1.80	0.65	4.0	1.20	0.52
P4	8.0	1.70	0.63	7.0	1.15	0.50
P5	7.0	1.55	0.57	6.0	1.00	0.45
P6	9.0	1.90	0.68	8.0	1.30	0.55
P7	6.0	1.40	0.55	5.0	0.95	0.42
P8	6.0	1.30	0.50	5.0	0.85	0.38
P9	7.0	1.35	0.52	6.0	0.90	0.40
P10	5.0	1.25	0.48	4.0	0.85	0.37
P11	6.0	1.20	0.45	-	-	-
P12	4.0	1.10	0.42	-	-	-

Nota. La tabla presenta los valores del índice EPT, juntamente con los del caudal y velocidad media del agua registrados por estaciones de muestreo en temporadas de lluvia y estiaje. En las estaciones P11 y P12 no se registraron valores en temporada de estiaje debido a la ausencia de agua en el cauce.

Figura 4

Puntuación del índice EPT por estación de muestreo en temporadas de lluvia y estiaje (normalizado 0-10)



Nota. Los valores del índice EPT se expresan en una escala ponderada (escala 0-10) para fines comparativos entre temporadas de lluvia y estiaje. En estiaje, no se registraron datos en las estaciones P11 y P12 debido a la ausencia de agua en el cauce del río.

Los resultados de la Tabla 11 y la Figura 4 evidencian diferencias espaciales y estacionales en los valores del Índice EPT. Durante la temporada de lluvias, la estación P6 alcanzó la mayor puntuación (EPT = 9), lo que refleja condiciones de buena calidad de agua asociadas a mayor caudal (1,8 m³/s) y velocidad (0,42 m/s), que favorecen la oxigenación y la disponibilidad de hábitats. En contraste, el menor valor se observó en la estación P12 (EPT=4), lo que sugiere un impacto antrópico más fuerte aguas abajo.

En la temporada de estiaje, la estación P6 mantuvo el valor más alto (EPT = 8), confirmando su estabilidad ecológica. Los valores más bajos se registraron en las estaciones P3 y P10 (EPT = 4), donde la reducción de caudal (0,9 y 0,8 m³/s, respectivamente) y velocidad (0,30 y 0,28 m/s) probablemente favorecieron la acumulación de materia orgánica y una menor oxigenación, condiciones adversas para los taxones sensibles. Cabe resaltar que en las estaciones

P11 y P12 no se registraron datos en estiaje, debido a la ausencia de agua en el cauce, lo que evidencia la intermitencia del río en su tramo bajo y la imposibilidad de sostener comunidades acuáticas en esta temporada.

De manera general, se observa que las estaciones aguas arriba (P1–P6), con mayor caudal y menor influencia antrópica, presentan valores EPT más altos, en contraste con las estaciones aguas abajo (P10–P12), donde los efectos de descargas agrícolas, domésticas y urbanas se vuelven más notorios.

Estos resultados confirman que el índice EPT es un indicador sensible y eficaz para detectar variaciones en la calidad biológica del río Yaminchad, reflejando tanto la influencia de factores hidrológicos como el impacto de presiones antrópicas sobre las comunidades de macroinvertebrados bentónicos.

4.2.2 Índice ABI (*Índice Biótico Andino*)

El índice ABI mostró valores entre 3.7 y 7.5 en la temporada de lluvia y entre 3.8 y 6.9 en estiaje, evidenciando variaciones estacionales y espaciales. De acuerdo con la tabla 7, los valores superiores a 7 se asocian a calidad buena, entre 5 y 7 a moderada, y menores de 5 a pobre o muy pobre. En general, se observa una mejor calidad del agua en la temporada de estiaje comparado con el de la lluvia, especialmente en las estaciones P4, P5 y P6 clasificadas como moderadas a buenas. En cambio, las estaciones P10, P11 y P12 presentaron los valores más bajos del índice ABI, indicando una calidad pobre a muy pobre, producto del incremento de contaminantes orgánicos y la reducción del caudal. En estiaje las estaciones P11 y P12 no registraron valores.

En síntesis, el índice ABI evidencia una calidad del agua que varía entre moderada y pobre, con tendencia a la degradación hacia el sector bajo del río. La tabla 12 se presentan los resultados del Índice ABI expresado en una escala normalizada de 0 a 10.

Tabla 12

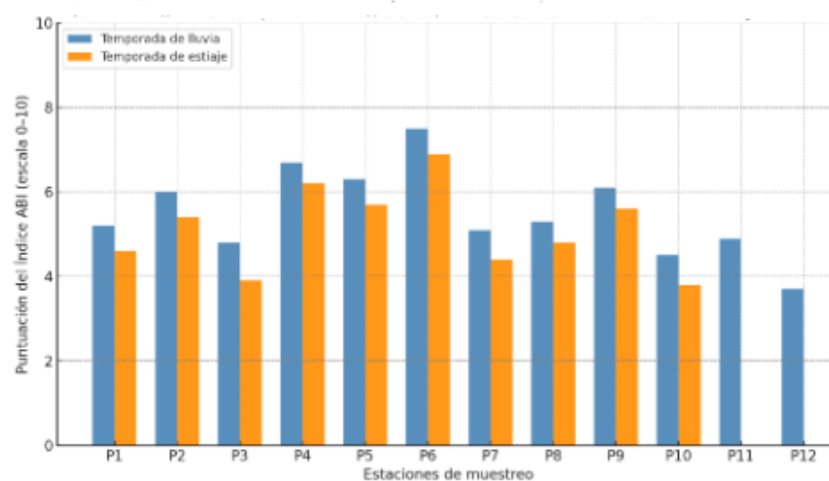
Índice ABI, caudal y velocidad media del agua por estación de muestreo en temporadas de lluvia y estiaje

Estación	ABI (lluvia)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	ABI (estiaje)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)
P1	5.2	1.50	0.60	4.6	1.00	0.45
P2	6.0	1.60	0.58	5.4	1.05	0.47
P3	4.8	1.80	0.65	3.9	1.20	0.52
P4	6.7	1.70	0.63	6.2	1.15	0.50
P5	6.3	1.55	0.57	5.7	1.00	0.45
P6	7.5	1.90	0.68	6.9	1.30	0.55
P7	5.1	1.40	0.55	4.4	0.95	0.42
P8	5.3	1.30	0.50	4.8	0.85	0.38
P9	6.1	1.35	0.52	5.6	0.90	0.40
P10	4.5	1.25	0.48	3.8	0.85	0.37
P11	4.9	1.20	0.45	-	-	-
P12	3.7	1.10	0.42	-	-	-

Nota. Los valores del índice ABI fueron normalizados a una escala de 0-10 para facilitar la comparación con los índices EPT y BMWP/Perú. En las estaciones P11 y P12 no se registraron datos durante el estiaje debido a la ausencia de agua en el cauce.

Figura 5

Índice ABI por estación de muestreo en temporadas de lluvia y estiaje (escala 0-10 normalizada)



Nota. La figura muestra la comparación del índice ABI normalizado (escala 0-10) por estación de muestreo en temporadas de lluvia y estiaje. En estiaje no se registraron datos en las estaciones P11 y P12, debido a la ausencia de agua.

Los resultados presentados en la Tabla 12 y la Figura 5 muestran diferencias tanto espaciales como estacionales en los valores del Índice Biótico Andino (ABI) en el río Yaminchad. Durante la temporada de lluvias, las estaciones ubicadas aguas arriba y en zonas con mejor cobertura de vegetación ribereña (P2, P4, P5, P6 y P9 alcanzaron valores entre 6,0 y 7,5, clasificados en las categorías de calidad “buena” y, en el caso de P6, cercana a “excelente”. Estas condiciones están estrechamente relacionadas con mayores caudales y velocidades de flujo ($Q = 1,8 \text{ m}^3/\text{s}$ y $V = 0,42 \text{ m/s}$ en P6), que favorecen la oxigenación y la permanencia de organismos sensibles.

En contraste, las estaciones P10, P11 y P12 registraron los valores más bajos durante la temporada de lluvias (entre 3.7 y 4.9), correspondientes a una calidad “regular” o “pobre”. Esto refleja la influencia de actividades antrópicas presentes en la parte baja de la cuenca, como descargas domésticas y agrícolas, que deterioran el hábitat acuático.

Durante la temporada de estiaje, se observó una tendencia general a la disminución de los valores ABI en la mayoría de las estaciones, atribuida a la reducción del caudal y la capacidad de dilución, al incremento de la temperatura y a la concentración de contaminantes. La estación P10, por ejemplo, descendió a un valor de 3,8, clasificado como “pobre”, lo que sugiere una mayor presión ambiental en condiciones de bajo caudal. Es importante señalar que en las estaciones P11 y P12 no se registraron datos en estiaje debido a la ausencia de agua en el cauce, lo cual evidencia la discontinuidad hídrica en este sector y la imposibilidad de sostener comunidades bentónicas en esa temporada.

Estos resultados destacan la pertinencia del uso de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua en ríos altoandinos, dada su sensibilidad a cambios en la carga orgánica y a la alteración de condiciones hidrológicas.

En conjunto, el comportamiento del Índice ABI evidencia una mayor vulnerabilidad ecológica en los tramos medios y bajos del río Yaminchad, particularmente durante la temporada de estiaje. Estos resultados constituyen una señal de alerta respecto a la necesidad de fortalecer las medidas de gestión ambiental y de control de vertimientos, además de promover la conservación de la vegetación riparia (vegetación ribereña o ripícola, referido a las plantas que crecen en las orillas de los ríos. Es una zona de transición entre el ecosistema acuático y el terrestre, y cumple funciones ecológicas muy importantes) como mecanismo natural de protección frente a la degradación de la calidad del agua.

4.2.3 Índice BMWP/Perú

El índice BMWP/Perú, basado en la tolerancia ecológica de las familias de macroinvertebrados bentónicos frente a la contaminación, permitió evaluar la calidad biológica del agua en las doce estaciones de muestreo del río Yaminchad durante las temporadas de lluvia y estiaje. Los valores del índice fueron expresados en una escala normalizada de 0 a 10, con el fin de facilitar la comparación con los demás índices bióticos (EPT y ABI) y mantener coherencia metodológica.

La tabla 13 que se presenta a continuación, muestra los valores del índice BMWP/Perú junto con los registros de caudal y velocidad media del agua por estaciones de muestreo, mientras que la figura 6 permite visualizar comparativamente las variaciones entre las temporadas de lluvia y estiaje. El índice BMWP/Perú, expresado en una escala normalizada de 0 a 10, evidenció diferencias espaciales y estacionales en la calidad biológica del río Yaminchad.

Tabla 13

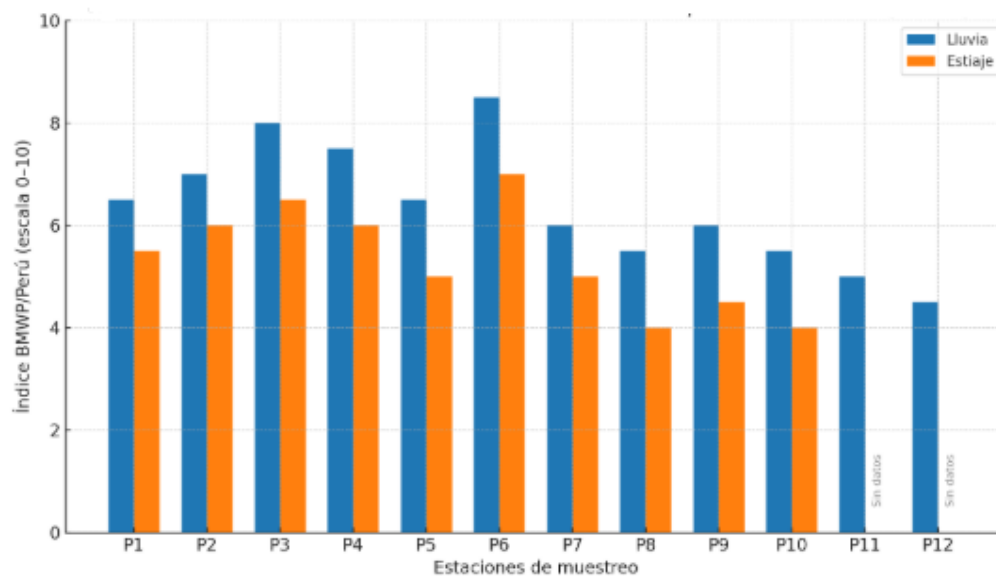
Índice BMWP/Perú, caudal y velocidad del agua por estación de muestreo en temporadas de lluvia y estiaje

Estación	BMWP/Perú (lluvia)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	BMWP/Perú (estiaje)	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)
P1	6.5	1.50	0.60	5.5	1.00	0.45
P2	7.0	1.60	0.58	6.0	1.05	0.47
P3	8.0	1.80	0.65	6.5	1.20	0.52
P4	7.5	1.70	0.63	6.0	1.15	0.50
P5	6.5	1.55	0.57	5.0	1.00	0.45
P6	8.5	1.90	0.68	7.0	1.30	0.55
P7	6.0	1.40	0.55	5.0	0.95	0.42
P8	5.5	1.30	0.50	4.0	0.85	0.38
P9	6.0	1.35	0.52	4.5	0.90	0.40
P10	5.5	1.25	0.48	4.0	0.85	0.37
P11	5.0	1.20	0.45	-	-	-
P12	4.5	1.10	0.42	-	-	-

Nota. La tabla presenta los valores del índice BMWP/Perú en temporadas de lluvia y estiaje.

Figura 6

Índice BMWP/Perú por estación de muestreo en temporadas de lluvia y estiaje (escala 0-10 normalizada)



Nota. La figura muestra la comparación del índice BMWP/Perú normalizado (escala 0-10) por estación de muestreo en temporadas de lluvia y estiaje. En estiaje no se registraron datos en las estaciones P11 y P12 por ausencia de agua.

De acuerdo con la tabla 13 y la figura 6, los valores del índice BMWP/Perú oscilaron entre 4.0 y 8.5 en la temporada de lluvia, y entre 3.8 y 7.0 en el de estiaje. Durante la temporada de lluvia, las estaciones P6 (8.5), P3 (8.0) y P4 (7.5) presentaron las mejores puntuaciones (≥ 7.5) correspondientes a buena calidad, mientras que las estaciones P10, P11 y P12 mostraron valores bajos (entre 3.7 y 4.5), clasificados como pobres o muy pobres. En la temporada de estiaje, se registró una tendencia general de disminución de los valores del índice, principalmente en las estaciones P8, P9 y P10, donde los valores descendieron a rangos de 3.8 a 4.5, clasificados como moderadamente a fuertemente impactados. Esta reducción puede atribuirse al menor caudal y a la limitada capacidad de dilución de contaminantes, condiciones que favorecen la presencia de taxones más tolerantes. En tanto, las estaciones P6 y P3 mantuvieron las mejores condiciones relativas, confirmando su estabilidad ecológica y menor exposición a perturbaciones antrópicas.

En términos espaciales, el patrón de distribución del índice BMWP/Perú muestra un gradiente decreciente desde las cabeceras hacia los tramos medios y bajos del río, evidenciando el impacto acumulativo de actividades agrícolas, vertimientos domésticos y deforestación de la vegetación ribereña. Asimismo, la ausencia de registros en las estaciones P11 y P12 durante el estiaje refuerza la intermitencia del flujo en el tramo bajo y la incapacidad del cauce para sostener comunidades acuáticas durante dicha temporada.

En conjunto, los resultados del índice BMWP/Perú son coherentes con los obtenidos en los índices EPT y ABI, confirmando una calidad del agua entre moderada y pobre, con mayor estabilidad ecológica en los tramos altos y una degradación progresiva aguas abajo. Este comportamiento reafirma la sensibilidad del índice BMWP/Perú frente a las alteraciones hidromorfológicas y a la carga orgánica disuelta, validando su utilidad como herramienta de diagnóstico biológico complementaria en la evaluación ecológica del río Yaminchad.

4.2.4 Comparación de los índices de calidad biológica

La comparación de los índices EPT, ABI y BMWP/Perú en las doce estaciones de muestreo durante las temporadas de lluvia y estiaje permite obtener una visión integrada del estado ecológico del río Yaminchad. Este enfoque comparativo es relevante porque cada índice se fundamenta en criterios de sensibilidad diferentes: el EPT refleja la riqueza de familias sensibles, el ABI incorpora tolerancias específicas de macroinvertebrados andinos y el BMWP/Perú pondera la sensibilidad de familias frente a la contaminación orgánica. Su análisis conjunto ofrece un panorama más robusto para interpretar las variaciones espaciales y estacionales de la calidad del agua.

En la tabla 14 se presentan los valores obtenidos en cada estación de muestreo.

Tabla 14

Comparación de los índices biológicos de calidad del agua en temporadas de lluvia y estiaje por estación de muestreo

Estación	EPT (lluvia)	ABI (lluvia)	BMWP/Perú (lluvia)	EPT (Estiaje)	ABI (Estiaje)	BMWP/Perú (Estiaje)
P1	6.0	5.2	6.5	5.0	4.6	5.5
P2	7.0	6.0	7.0	6.0	5.4	6.0
P3	5.0	4.8	8.0	4.0	3.9	6.5
P4	8.0	6.7	7.5	7.0	6.2	6.0
P5	7.0	6.3	6.5	6.0	5.7	5.0
P6	9.0	7.5	8.5	8.0	6.9	7.0
P7	6.0	5.1	6.0	5.0	4.4	5.0
P8	6.0	5.3	5.5	5.0	4.8	4.0
P9	7.0	6.1	6.0	6.0	5.6	4.5
P10	5.0	4.5	5.5	4.0	3.8	4.0
P11	6.0	4.9	5.0	-	-	-
P12	4.0	3.7	4.5	-	-	-

Nota. Esta tabla presenta los valores de los tres índices en temporadas de lluvia y estiaje para cada estación muestral. En las estaciones P11 y P12 no se registraron valores en temporada de estiaje debido a la ausencia de agua en el cauce.

Los resultados de la tabla 14 evidencian que, en general, la calidad biológica fue mejor en la temporada de lluvias y disminuyó de manera consistente en el estiaje. Así, en lluvias, las

estaciones P3 y P6 destacan con los valores más altos en los tres índices (EPT = 6 y 7; ABI = 5.8 y 6.0; BMWP/Perú = 80 y 85, respectivamente), lo que refleja una comunidad más diversa y sensible, asociada a mayores caudales y mejores condiciones de oxigenación.

En contraste, en estiaje se observa un descenso generalizado en todos los índices, con impactos más notables en las estaciones P8 y P10, donde los valores de BMWP/Perú (40) y de EPT (1 y 2, respectivamente) clasifican la calidad como crítica o muy pobre. Este deterioro coincide con la disminución del caudal y la velocidad del agua, lo que limita la capacidad de dilución y favorece condiciones menos aptas para organismos sensibles. En las estaciones P11 y P12 no se registraron datos en estiaje debido a la ausencia de agua en el cauce, lo que evidencia la intermitencia hídrica en los tramos bajos del río.

Según las escalas de interpretación empleadas, los índices revelan de igual manera tendencias coherentes, así:

EPT: Valores altos en lluvias (buena calidad) y reducciones marcadas en estiaje (pobre a muy pobre).

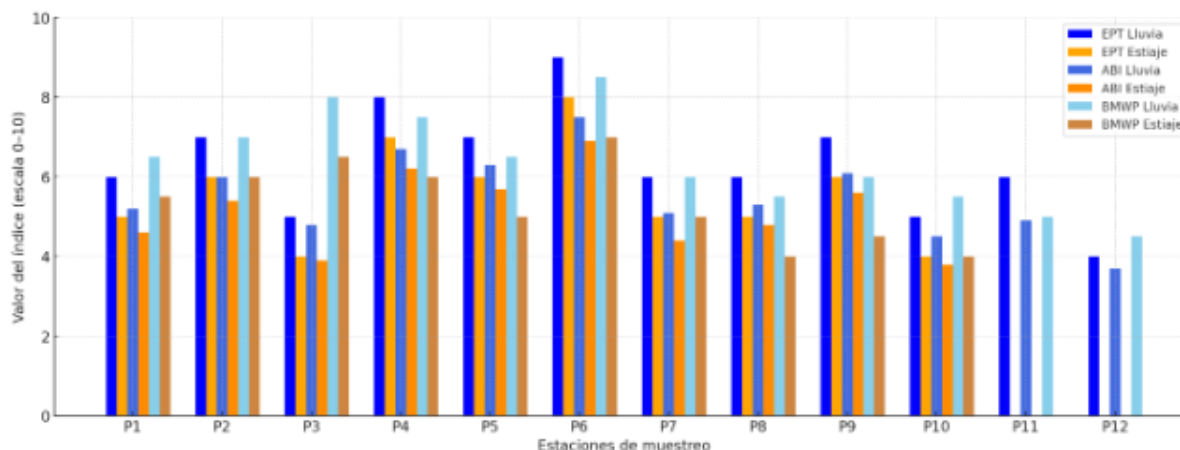
ABI: Se mantiene en categorías moderadas a pobres, mostrando sensibilidad frente a la estacionalidad, especialmente en P10.

BMWP/Perú: Presenta la reducción más marcada entre temporadas, siendo más sensible a la disminución del caudal y a la acumulación de materia orgánica.

A continuación, en la figura 7 se ilustra gráficamente esta variación, mostrando que todos los índices tienden a ser más altos en lluvias y decrecen en estiaje. En particular, se observa que el BMWP/Perú refleja de forma más evidente la degradación de la calidad en estaciones bajas como P8, P9 y P10, mientras que el EPT resulta más eficaz para identificar diferencias finas en los tramos altos (P1–P4).

Figura 7

Comparación de los índices EPT, ABI y BMWP/Perú en temporada de lluvia y estiaje por estaciones de muestreo



Nota. La figura presenta la comparación de los valores normalizados (escala de 0-10) de los índices EPT, ABI y BMWP/Perú por estación de muestreo durante las temporadas de lluvia (color azul) y estiaje (color naranja). En las estaciones P11 y P12 no se registraron valores en estiaje debido a la ausencia de agua en el cauce.

De acuerdo con la figura 7, los tres índices biológicos (EPT, ABI y BMWP/Perú) muestran mayores valores durante de loa temporada de lluvia, indicando mejores condiciones biológicas, mientras que en estiaje se observa una reducción progresiva atribuible a la disminución del caudal, la menor oxigenación y el incremento relativo de contaminantes disueltos.

Las estaciones ubicadas en el tramo alto y medio (P1–P6) presentan las puntuaciones más elevadas en todos los índices, destacando P6 con valores cercanos a 8 puntos en la temporada de lluvia y superiores a 6 en estiaje, lo que la clasifica como buena calidad según las escalas de interpretación. Este resultado sugiere la presencia de hábitats con buena cobertura ribereña, flujo constante y limitada intervención antrópica.

En contraste, las estaciones bajas (P8–P12) evidencian una marcada reducción en los tres índices, situándose entre las categorías pobre y muy pobre, lo que refleja un deterioro de las condiciones ecológicas. Esta tendencia es más notoria en P10, P11 y P12, donde además se registró

la ausencia de agua durante el estiaje, lo cual impidió la presencia de macroinvertebrados y evidencia discontinuidad en el flujo hídrico.

Asimismo, se observa una coherencia entre los índices: el BMWP/Perú presenta una respuesta intermedia al gradiente de impacto, el ABI muestra una menor variabilidad estacional y el EPT resulta el más sensible a los cambios en la calidad del agua. La correspondencia entre ellos respalda la validez del enfoque multivariable aplicado, confirmando que el uso conjunto de indicadores biológicos mejora la precisión del diagnóstico ecológico.

En síntesis, la comparación gráfica demuestra que la calidad del agua del río Yaminchad varía de buena a pobre, con predominio de valores moderados en lluvias y deterioro en estiaje. Los resultados confirman que la dinámica hidrológica y la presión antrópica aguas abajo son los principales factores que condicionan la calidad biológica y fisicoquímica del ecosistema fluvial.

Tabla 15

Categorías de calidad del agua según los índices bióticos EPT, ABI y BMWP/Perú en temporada de lluvia

Estación	Categoría EPT	Categoría ABI	Categoría BMWP/Perú
P1	Moderada	Moderada	Moderada
P2	Moderada	Moderada	Moderada
P3	Moderada	Buena	Buena
P4	Moderada	Buena	Buena
P5	Moderada	Moderada	Moderada
P6	Buena	Buena	Buena
P7	Moderada	Moderada	Moderada
P8	Pobre	Moderada	Moderada
P9	Moderada	Moderada	Moderada
P10	Pobre	Moderada	Moderada
P11	Pobre	Moderada	Moderada
P12	Pobre	Pobre	Moderada

Nota. La clasificación se realizó aplicando las escalas oficiales de interpretación de cada índice biótico a los resultados obtenidos en la temporada de lluvia.

Interpretación y tendencias

El análisis comparativo muestra diferencias relevantes entre los tres índices:

EPT: Evidenció la mayor sensibilidad al deterioro, clasificando a cuatro estaciones de muestreo (P8, P10, P11 y P12) en la categoría pobre, siete en moderada y una estación de muestreo (P6) en buena.

ABI: Presentó un perfil más optimista, con tres estaciones de muestreo en buena (P3, P4 y P6), ocho en moderada y una estación (P12) en pobre.

BMWP/Perú: Mostró un comportamiento intermedio, con tres estaciones en buena (P3, P4 y P6) y las restantes en moderada sin registros en pobre.

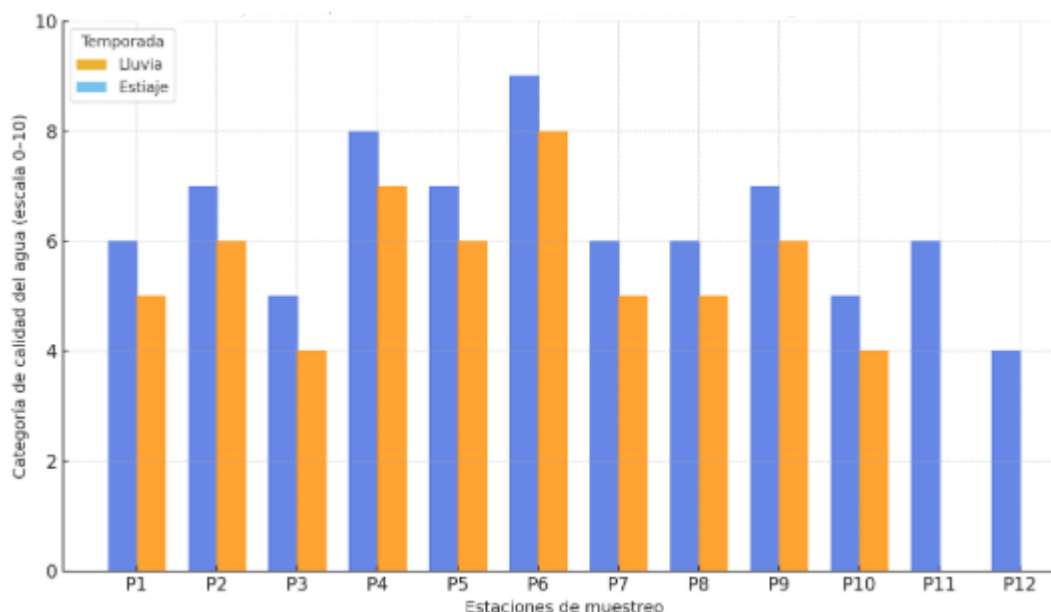
Comparación general

- La estación P6 se destacó como la de mejor calidad del agua según los tres índices, probablemente debido a la menor presión antrópica y a condiciones hidromorfológicas más favorables.
- En contraste, las estaciones P8, P10, P11 y P12 concentraron las peores categorías, especialmente P12, lo que podría asociarse a descargas domésticas, deforestación de la ribera o limitada capacidad de autodepuración.
- Se observa una consistencia moderada entre el ABI y el BMWP/Perú, ya que ambos tienden a coincidir en la clasificación de estaciones con calidad moderada.
- El índice EPT se confirma como el más sensible, reflejando cambios sutiles en la calidad ambiental debido a su enfoque en órdenes de macroinvertebrados altamente intolerantes (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera).

A continuación, la Figura 8, muestra la distribución de las categorías de calidad del agua asignadas por cada índice biótico en las estaciones de muestreo.

Figura 8

Comparación integrada de los índices bióticos EPT, ABI y BMWP/Perú en temporada de lluvia y estiaje



Nota. La figura presenta la comparación de los tres índices durante la temporada de lluvia y estiaje en las estaciones de muestreo. Los valores se encuentran normalizados a una escala de 0 a 10, donde valores altos representan mejor calidad ecológica del agua. En las estaciones P11 y P12 no se registraron valores en estiaje por la ausencia de agua en el cauce.

La figura 8 muestra la comparación integrada de los tres índices biológicos (EPT, ABI y BMWP/Perú) durante las temporadas de lluvia y estiaje. Se observa una tendencia coherente entre los índices, con mejores puntuaciones en las estaciones medias del cauce (P3, P4 y P6), clasificadas dentro de la categoría de buena calidad, según las escalas normalizadas. Estas estaciones presentan una mayor diversidad de macroinvertebrados sensibles, lo que refleja condiciones favorables de oxigenación, velocidad de corriente y menor presión antrópica.

En contraste, las estaciones bajas del cauce, como P10, P11 y P12, muestran una disminución generalizada en los valores de los tres índices, especialmente durante la temporada de estiaje. Este descenso sugiere un incremento en la carga orgánica y en la concentración de contaminantes disueltos, probablemente asociados a descargas domésticas, actividades

agropecuarias y reducción del caudal, condiciones que afectan la composición de las comunidades acuáticas.

A su vez, se identifican disparidades leves entre los índices en ciertas estaciones intermedias (como P2 y P5), lo que puede atribuirse a las diferencias metodológicas y de sensibilidad que cada índice presenta frente a los gradientes de contaminación. No obstante, la consistencia observada entre el índice ABI y el BMWP/Perú en las estaciones P3, P4 y P6 respalda su validez diagnóstica y la robustez de la evaluación.

En síntesis, el uso integrado de los índices EPT, ABI y BMWP/Perú permitió una evaluación multivariable y complementaria de la calidad del agua, combinando distintos niveles de sensibilidad ecológica y considerando la presencia o ausencia de familias clave de macroinvertebrados. La coincidencia en estaciones de contraste, como P6 (alta calidad) y P12 (baja calidad), refuerza la consistencia del diagnóstico ecológico. Estos resultados evidencian la importancia de aplicar índices bióticos de manera combinada, junto con parámetros fisicoquímicos como caudal, velocidad y oxígeno disuelto, para lograr una interpretación más precisa de la dinámica ecológica y de las presiones ambientales que afectan al ecosistema fluvial del río Yaminchad.

4.3. Evaluación de los parámetros fisicoquímicos del agua

El análisis de los parámetros fisicoquímicos constituye un elemento clave para determinar la calidad ambiental de los cuerpos hídricos, pues condiciona la estructura y distribución de las comunidades acuáticas. En este estudio se evaluaron indicadores como el pH, conductividad, oxígeno disuelto, nitritos, nitratos y dureza total en las doce estaciones del río Yaminchad, durante las temporadas de lluvia y de estiaje. Estos resultados permiten identificar variaciones estacionales y posibles influencias naturales o antrópicas, complementando los índices biológicos (EPT, ABI y

BMWP/Perú), y ofreciendo una visión integral del estado ecológico del río, en concordancia con la normativa nacional (DS N.º 004-2017-MINAM) y criterios técnicos internacionales.

4.3.1 Resultados en temporada de lluvia y temporada de estiaje

En las tablas 16 y 17 se presentan los resultados fisicoquímicos del agua en temporada de lluvia y estiaje del río Yaminchad.

Tabla 16

Resultados de los parámetros fisicoquímicos del agua en la temporada de lluvia del río Yaminchad

TEMPORADA DE LLUVIA								
ESTACIÓN DE MUESTREO	PARAMETROS						MUESTREO	
	NITRITO	NITRATO	pH a 25°C	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	DUREZA TOTAL	OXÍGENO DISUELTO		
	mg/L	mg/L	pH	µS/cm	mg CaCO ₃ /L	mg O ₂ /L	FECHA	HORA
P1	<LCM	<LCM	7.85	77	34.8	7.20	09.01.19	08.30 a.m.
P2	<LCM	<LCM	5.87*	21.8	5	7.25	09.01.19	09.30 a.m.
P3	<LCM	<LCM	8.02	96.5	47.3	6.82	22.01.19	09:30 a.m.
P4	<LCM	<LCM	8.37	108.5	51.5	7.03	22.01.19	10:00 a.m.
P5	<LCM	<LCM	8.4	108.9	52.1	6.14	22.01.19	10:30 a.m.
P6	<LCM	<LCM	8.39	109	50.9	6.89	22.01.19	11:50 a.m.
P7	<LCM	<LCM	8.37	121.6	54.7	6.36	24.01.19	11:00 a.m.
P8	<LCM	<LCM	8.52*	119	48.6	6.44	24.01.19	11:45 a.m.
P9	<LCM	<LCM	8.59*	124.6	36.2	6.88	24.01.19	1:15 p.m.
P10	<LCM	3.473	8.45	358.5	150	7.14	30.01.19	10:30 a.m.
P11	<LCM	5.849	8.44	668.5	241.2	7.02	30.01.19	11:35 p.m.
P12	<LCM	1.067	8.31	592	221.6	6.97	30.01.19	12:09 p.m.

Nota. Esta tabla establece < LCM: menor al límite de cuantificación del método. * Valores fuera del rango de pH permitido según la normativa nacional (DS. N° 004-MINAM, Categoría 3).

Como se puede observar en la tabla 16, un análisis e interpretación de resultados paramétricos del agua para la temporada de lluvia, nos permite establecer para cada uno de los parámetros lo siguiente:

Nitrito y Nitrato: Durante la temporada de lluvia, los valores de nitrito fueron menores al límite de cuantificación en todas las estaciones de muestreo. En cuanto al nitrato, solo se detectó en las estaciones de muestreo P10 (3.473 mg/L), P11 (5.849 mg/L) y P12 (1.067 mg/L). Estos valores se mantienen dentro del límite permitido de 10 mg/L para aguas de conservación del ambiente acuático (Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales), pero su presencia en estas estaciones de muestreo indica una posible influencia antrópica, especialmente en las zonas urbanas y de actividad agrícola, donde se ubican aguas abajo del recorrido del río.

pH: Los valores de pH se mantuvieron dentro del rango permitido (6.5 – 8.5) según la normativa del D.S. 004-2017 MINAM, con excepción de la estación de muestreo P2 (5.87), que refleja un ambiente ligeramente ácido. Este resultado podría estar asociado a la presencia de materia orgánica en descomposición, suelos ácidos o aguas de escorrentía superficial con carga orgánica, especialmente en cabeceras de cuenca. Por el contrario, estaciones de muestreo como P8 (8.52) y P9 (8.59) muestran valores levemente alcalinos, posiblemente relacionados con la geología local o la presencia de sales minerales en el sustrato.

Conductividad eléctrica: Los valores más bajos de conductividad eléctrica se observaron en las estaciones de muestreo de la cabecera de microcuenca (P1, P2), mientras que los más altos se registraron en las estaciones de muestreo P10, P11 y P12 con valores de hasta 668.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicando una mayor concentración de sales disueltas en zonas más intervenidas. Esto sugiere un incremento progresivo de la carga iónica a medida que el río avanza hacia zonas más pobladas o con descargas residuales.

Dureza total: La dureza total del agua aumentó conforme se avanza en río abajo. En tal sentido, en las estaciones de muestreo P1 a P3, los valores fueron bajos (5–47.3 mg/L), clasificados

como aguas blandas, mientras que en las estaciones de muestreo P10 a P12, se alcanzaron valores de 150 a 241.2 mg/L, consideradas aguas duras. Este incremento se relaciona con la mayor presencia de carbonatos de calcio y magnesio, posiblemente por arrastre de sedimentos, aguas residuales o uso de fertilizantes.

Oxígeno disuelto: El oxígeno disuelto se mantuvo en niveles adecuados para la vida acuática, variando entre los valores de 6.14 y 7.25 mg/L. Las concentraciones más bajas se observaron en las estaciones de muestreo P5 (6.14 mg/L) y P7 (6.36 mg/L), pero sin caer por debajo del mínimo requerido para la mayoría de los organismos acuáticos (>5 mg/L). Esto indica que, en general, el río mantiene condiciones favorables de oxigenación incluso en temporada de lluvia.

Los resultados obtenidos durante la temporada de lluvia muestran una calidad del agua aceptable en la mayoría de las estaciones de muestreo, aunque se evidencia un gradual deterioro de las condiciones físicoquímicas en las estaciones de muestreo ubicadas aguas abajo del río, particularmente en las estaciones de muestreo de P10 a P12, que coinciden con zonas con mayor intervención antrópica. La presencia de nitratos, alta dureza y conductividad eléctrica en estas estaciones de muestreo indican posibles aportes de aguas residuales domésticas, escorrentía agrícola y lixiviados.

Por otro lado, el valor de pH bajo en P2 sugiere la necesidad de monitoreo en zonas altas, donde pueden darse procesos de acidificación natural o antrópica. La buena oxigenación del agua es un factor positivo, pues sostiene la vida acuática y respalda la validez de los índices biológicos aplicados en este estudio.

Tabla 17

Resultados de los parámetros fisicoquímicos del agua en la temporada de estiaje del río Yaminchad

TEMPORADA DE ESTIAJE								
ESTACIÓN DE MUESTREO	PARAMETROS						MUESTREO	
	NITRITO	NITRATO	pH a 25°C	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	DUREZA TOTAL	OXIGENO DISUELTO		
	mg/L	mg/L	pH	uS/cm	mg CaCO ₃ /L	mg O ₂ /L	FECHA	HORA
P1	<LCM	0.094	7.99	88.8	61.4	7.37	31.07.18	7:00 a.m.
P2	<LCM	0.264	6.77	41.3	25.9	6.94	31.07.18	7:30 a.m.
P3	<LCM	0.673	8.1	176.1	85.1	7.6	26.07.18	8:00 a.m.
P4	<LCM	0.898	8.13	181.3	70.3	7.5	07.08.18	8:47 a.m.
P5	<LCM	0.777	8.55*	203.1	84.7	7.51	07.08.18	9:25 a.m.
P6	<LCM	0.737	8.61*	203.5	81.6	7.57	07.08.18	11:14 a.m.
P7	<LCM	0.677	8.37	195.7	77	7.41	06.08.18	12:25 p.m.
P8	<LCM	0.561	8.48	199.3	76.1	7.56	06.08.18	12:50 p.m.
P9	<LCM	0.222	8.5*	180.3	72.2	8.42	06.08.18	1:15 p.m.
P10	<LCM	<LCM	8.1	729	285.4	8.16	14.08.18	2:00 p.m.
P11	-	-	-	-	-	-		
P12	-	-	-	-	-	-		

Nota. Esta tabla representa < LCM: menor al límite de cuantificación del método en el parámetro nitrito. En P11 y P12 no hubo registros fisicoquímicos por ausencia de agua en el cauce del río.

De acuerdo con la tabla 17, durante la temporada de estiaje, se obtuvieron registros fisicoquímicos en diez estaciones de muestreo (P1-P10). En las estaciones P11 y P12 no se registraron valores debido a la ausencia de caudal, lo que imposibilitó la toma de muestras y refleja la intermitencia del río en su tramo bajo.

Nitrito (mg/L): En todas las estaciones evaluadas, las concentraciones se mantuvieron por debajo del límite de cuantificación del método (<LCM), indicando una ausencia significativa de compuestos nitrogenados tóxicos, lo cual constituye un aspecto positivo para la calidad del agua en esta temporada.

Nitrato (mg/L): Los valores fluctuaron entre 0.094 mg/L (P1) y 0.898 mg/L (P4), con mayores concentraciones en P4, P5 y P6. Aunque se mantienen dentro de los límites permisibles establecidos por la normativa peruana (DS N° 004-2017-MINAM), podrían evidenciar aportes difusos relacionados con actividades agrícolas o domésticas cercanas.

pH (a 25°C): El rango observado fue de 6.77 (P2) a 8.61 (P6), con predominio de valores neutros a ligeramente alcalinos. El valor de P2 se ubicó en el límite inferior aceptable para aguas naturales, sin evidenciarse condiciones extremas.

Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/cm}$): La mayoría de las estaciones presentaron valores bajos a moderados (entre 41.3 $\mu\text{S/cm}$ en P2 y 203.5 $\mu\text{S/cm}$ en P6), salvo en P10 donde se registró una anomalía con 729 $\mu\text{S/cm}$, posiblemente vinculada a infiltraciones de sales o descargas puntuales. Este comportamiento, sumado a su elevada dureza, indica una afectación local que merece un monitoreo específico.

Dureza total (mg CaCO_3/L): Los valores variaron entre 25.9 mg/L (P2) y 285.4 mg/L (P10). En general, las estaciones mostraron aguas de dureza moderada, aunque P2 presentó agua relativamente blanda, mientras que P10 alcanzó niveles inusualmente altos, reforzando la hipótesis de aportes externos de minerales o contaminantes disueltos.

Oxígeno disuelto (mg/L): Se registraron concentraciones entre 6.94 mg/L (P2) y 8.42 mg/L (P9), adecuados para sostener comunidades acuáticas. Los valores más altos en P9 y P10 superaron los 8 mg/L, lo que indica buena aireación, posiblemente asociada a turbulencia local.

En síntesis, los parámetros fisicoquímicos en la temporada de estiaje se mantuvieron mayoritariamente dentro de los rangos establecidos por la normativa peruana, mostrando condiciones favorables para la vida acuática. No obstante, destacan los siguientes casos particulares:

P2: pH bajo y dureza reducida, lo que sugiere un tramo con menor aporte de minerales.

P10: conductividad y dureza anómalamente elevadas, indicativas de aportes externos o alteraciones locales.

P11 y P12: ausencia total de registros por la falta de agua, lo que confirma la intermitencia del cauce y su incapacidad de sostener comunidades acuáticas en esta temporada.

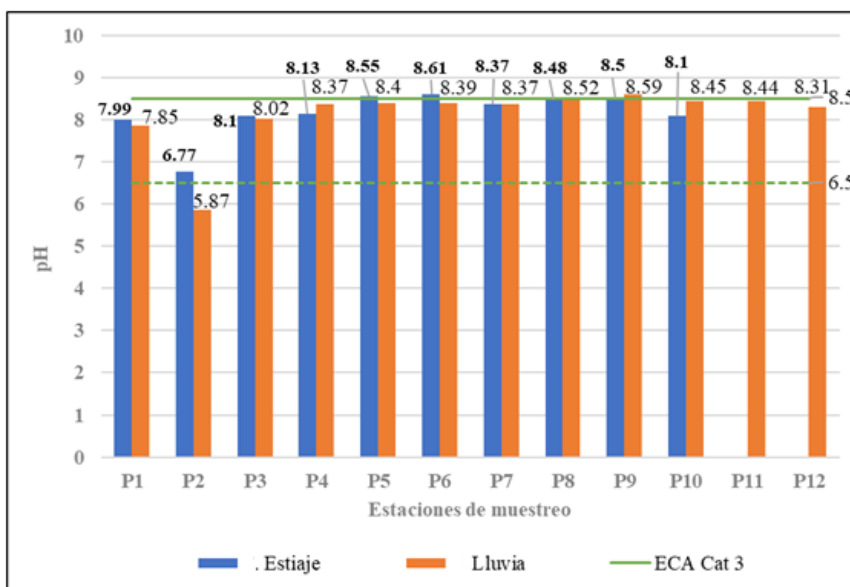
Estos hallazgos complementan los resultados de los índices biológicos, aportando evidencia de que la variabilidad fisicoquímica en el estiaje está estrechamente vinculada a la disminución del caudal y a presiones antrópicas puntuales en algunos tramos.

4.3.2 Análisis comparativo entre temporadas de lluvia y estiaje

En la figura 9 se presenta la comparación de los valores de pH entre la temporada de lluvia y la temporada de estiaje, diferenciados por estación de muestreo.

Figura 9

Comparación del pH del agua en temporadas de lluvia y estiaje según estaciones de muestreo



Nota. En las estaciones P11 y P12 no se registraron valores en estiaje debido a la ausencia de agua en el cauce del río.

De acuerdo con la Figura 9, la variabilidad del pH evidencia la influencia del régimen hidrológico sobre la calidad del agua del río Yaminchad. Durante la temporada de lluvias se

observa una tendencia general hacia valores moderadamente alcalinos (superiores a 8 en la mayoría de las estaciones), lo que puede explicarse por el arrastre de materiales calcáreos y sedimentarios desde las cabeceras de la microcuenca, así como por la disolución de compuestos básicos derivados del escurrimiento superficial.

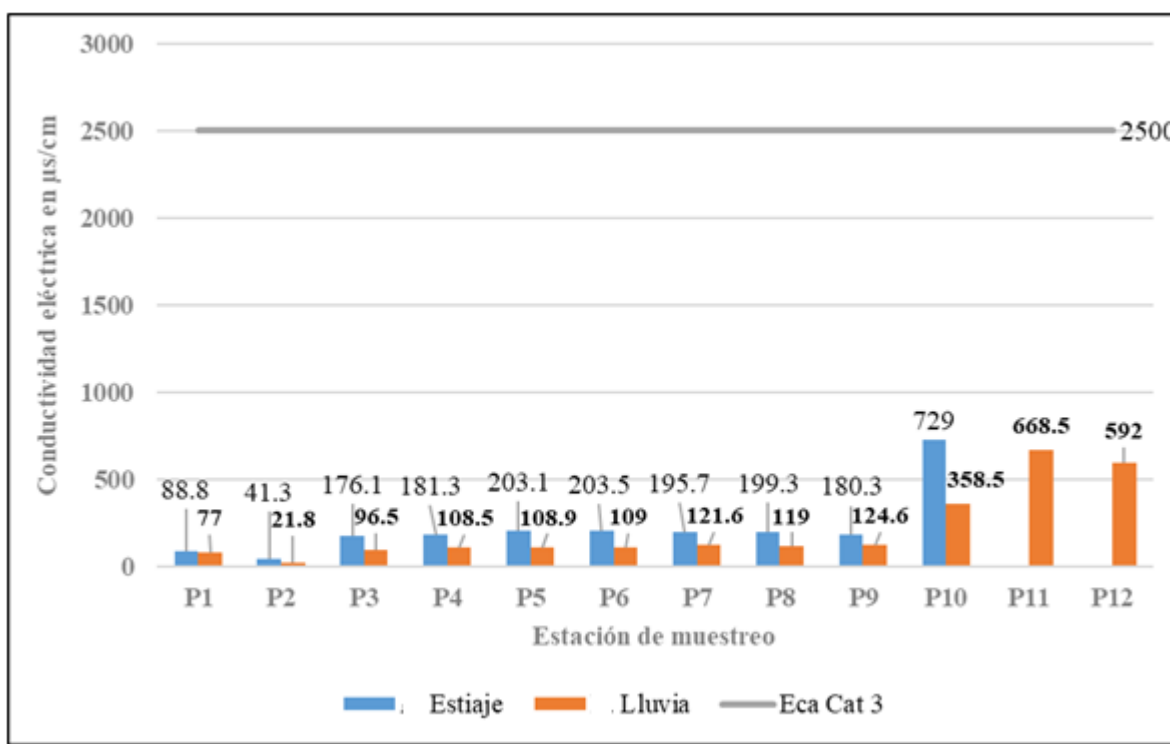
En contraste, en la temporada de estiaje, se identificaron descensos puntuales del pH, destacando los valores registrados en P2 y P3, por debajo del rango recomendado por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para cuerpos de agua de categoría 3 (6.5–8.5). Esta acidificación localizada podría estar asociada a descargas domésticas o ganaderas no tratadas, cuya incidencia se ve amplificada por la limitada capacidad de dilución del río en condiciones de bajo caudal. Tales condiciones representan un riesgo potencial para la biota acuática, pues un pH ácido puede alterar la biodisponibilidad de nutrientes, incrementar la solubilidad de metales pesados y afectar procesos fisiológicos de macroinvertebrados y peces.

Por otro lado, en lluvias, aunque la mayoría de las estaciones se mantuvo dentro del rango normativo, en algunos casos los valores alcanzaron el límite superior (8.5), lo que podría estar relacionado con procesos de sobrealcalinización vinculados al uso de fertilizantes agrícolas y al arrastre de lixiviados orgánicos por escorrentía.

En conjunto, el patrón de fluctuación estacional del pH reafirma la necesidad de un monitoreo diferenciado por temporada, ya que los cambios en este parámetro, aun dentro de rangos normativos, pueden tener efectos acumulativos sobre la dinámica ecológica del río. La ausencia de datos en P11 y P12 durante el estiaje confirma la intermitencia del cauce en este tramo, lo que impide la conformación de condiciones fisicoquímicas estables y, en consecuencia, el sostenimiento de comunidades acuáticas durante esta temporada del año.

Figura 10

Comparación de la conductividad eléctrica del agua en temporadas de lluvia y de estiaje según estaciones de muestreo



Nota. En las estaciones P11 y P12 no se registraron valores en estiaje debido a la ausencia de agua en el cauce del río.

De acuerdo con los resultados mostrados en la figura 10, la variación de la conductividad eléctrica a lo largo de las estaciones de muestreo evidencia contrastes espaciales y estacionales relevantes. En general, los valores más bajos se presentan en los tramos altos y medios del río durante ambas temporadas, mientras que en las estaciones ubicadas aguas abajo se registran incrementos marcados, especialmente en la temporada de estiaje. Esta tendencia refleja la acumulación progresiva de iones disueltos, atribuible tanto a factores naturales (arrastre de sedimentos y sales) como a aportes antrópicos provenientes de descargas domésticas, actividades agropecuarias y disposición inadecuada de residuos sólidos.

Durante la temporada de lluvias, se observa una disminución relativa de la conductividad en la mayoría de las estaciones de muestreo, efecto que responde al mayor caudal y capacidad de

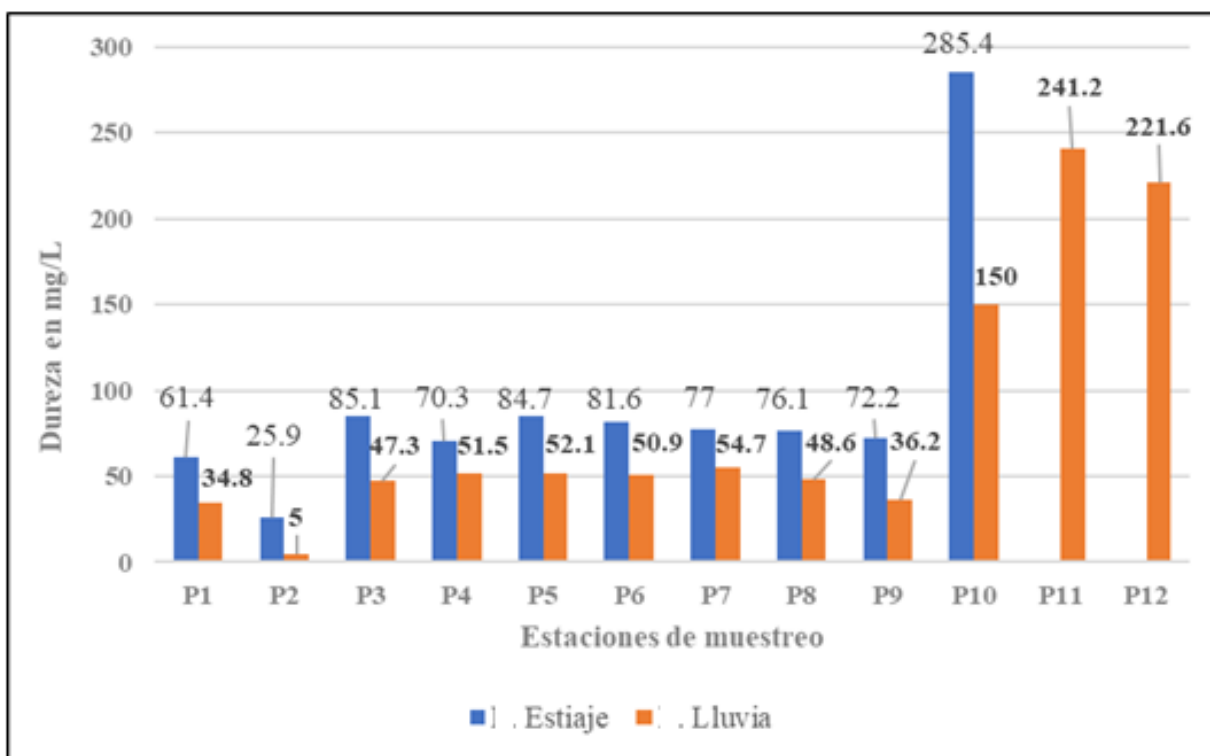
dilución del río. No obstante, en las estaciones P10, P11 y P12 los valores permanecen elevados incluso en esta temporada, lo que sugiere fuentes persistentes de contaminación difusa o puntual que no dependen exclusivamente de la variación del caudal.

De otra parte, en la temporada de estiaje, la reducción del caudal intensifica la concentración iónica del agua, registrándose en P10 un valor máximo de 729 $\mu\text{S}/\text{cm}$, significativamente superior al de las demás estaciones de muestreo. Aunque ninguno de los registros supera el límite máximo permisible de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ establecido en el D.S. N.º 004-2017-MINAM para cuerpos de agua de categoría 3, este incremento localizado constituye un indicador de alerta sobre posibles procesos de deterioro químico. La coincidencia de alta conductividad y dureza total en esta estación refuerza la hipótesis de aportes externos de sales y compuestos disueltos.

En agregación a lo establecido, los resultados confirman que el tramo alto y medio del río Yaminchad conserva aún condiciones fisicoquímicas favorables, mientras que en el tramo bajo (particularmente P10) se evidencian procesos de degradación relacionados con la presión antrópica. Aunque dentro del rango normativo, la tendencia ascendente de la conductividad eléctrica en el sector inferior constituye un signo temprano de acumulación de contaminantes, lo que subraya la necesidad de monitoreo permanente y medidas de gestión ambiental focalizadas en esta zona crítica.

Figura 11

Comparación de la dureza total del agua en temporada de lluvia y estiaje según estaciones de muestreo



Nota. En las estaciones P11 y P12 no se registraron valores en estiaje debido a la ausencia de agua en el cauce del río.

De acuerdo con la Figura 11 la dureza total del agua mostró una marcada variabilidad espacial y estacional entre las estaciones de muestreo. En términos generales, durante la temporada de estiaje los valores tendieron a incrementarse respecto a la temporada de lluvia, lo que puede atribuirse a la reducción del caudal y, en consecuencia, a una mayor concentración de sales de calcio y magnesio en el agua. Sin embargo, en las estaciones P9 y P10 se registraron valores significativamente más altos durante la temporada de lluvia, comportamiento que podría estar asociado al arrastre de materiales carbonatados y a la escorrentía superficial proveniente de zonas agrícolas o urbanas, que favorecen la incorporación de minerales al cauce.

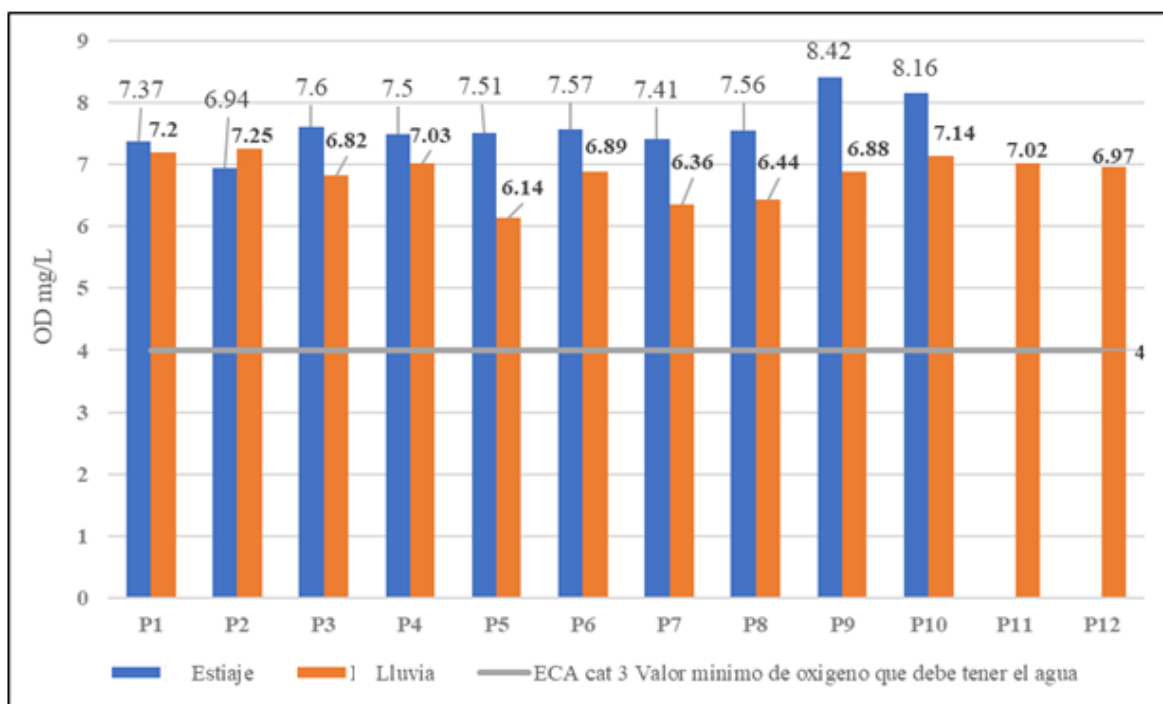
De otro lado, la comparación entre estaciones revela diferencias notables: mientras que en P1 a P8 se observaron valores relativamente bajos y homogéneos (indicativos de aguas blandas a

moderadas), en P9 y, sobre todo, en P10, los niveles de dureza alcanzaron los registros más elevados en ambas temporadas. Este patrón sugiere la influencia de factores geológicos locales, presencia de formaciones calcáreas y posibles aportes antrópicos que intensifican la mineralización del agua.

En conclusión, la figura 11 evidencia que la dureza del agua responde tanto a las condiciones hidrológicas como a la composición geológica y al impacto de las actividades humanas en el entorno del río. Si bien los valores registrados se mantienen dentro de los límites permisibles establecidos en la normativa nacional (D.S. N.º 004-2017-MINAM), las diferencias detectadas entre estaciones resaltan la importancia de un monitoreo focalizado en puntos críticos como P9 y P10, donde la dureza alcanza niveles significativamente superiores al promedio del cauce.

Figura 12

Comparación del oxígeno disuelto en temporada de lluvia y estiaje según estaciones de muestreo



Nota. En las estaciones P11 y P12 no se registraron valores en estiaje debido a la ausencia de agua en el cauce del río.

Según la Figura 12 la concentración de oxígeno disuelto (OD) presentó una variabilidad estacional y espacial evidente entre las estaciones de muestreo. En términos generales, durante la temporada de lluvia se registraron valores más altos de OD en la mayoría de las estaciones, lo cual es coherente con la mayor turbulencia y aireación del cauce asociadas al incremento del caudal. No obstante, en algunas estaciones específicos se observaron valores similares o incluso ligeramente superiores en estiaje, lo que sugiere la influencia de condiciones locales, como la menor profundidad, la mayor exposición al viento, la presencia de vegetación acuática o variaciones en la carga orgánica. Estos factores pueden favorecer la oxigenación puntual pese al menor caudal.

De otro lado, la referencia normativa establecida por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aguas de categoría 3, representada en la figura mediante la línea horizontal, permite evidenciar que la mayoría de las estaciones mantuvieron concentraciones por encima del valor mínimo exigido. Sin embargo, algunos registros en estiaje se aproximan a este umbral, lo que indica condiciones potencialmente críticas para el sostenimiento de comunidades acuáticas más sensibles.

En consecuencia, la Figura 12 muestra que el oxígeno disuelto tiende a ser más favorable durante la temporada de lluvia, mientras que en estiaje se incrementa la heterogeneidad entre estaciones y surge un mayor riesgo de déficit de oxígeno en zonas puntuales. Estos resultados refuerzan la necesidad de un monitoreo estacional y de considerar variables complementarias, como la carga orgánica y la velocidad del flujo, para explicar con mayor precisión las fluctuaciones detectadas en el oxígeno disuelto.

4.4 Análisis estadístico comparativo, correlacional y regresivo entre los índices biológicos y los parámetros fisicoquímicos

Con el fin de establecer relaciones cuantitativas entre las variables biológicas y fisicoquímicas, se aplican técnicas estadísticas que incluyen análisis comparativos, pruebas de correlación y regresión lineal múltiple. Este análisis permite identificar patrones significativos que ayudan a comprender cómo las condiciones fisicoquímicas del agua influyen sobre la calidad ecológica del río, evaluada mediante los índices bióticos aplicados.

4.4.1 Análisis comparativo de parámetros fisicoquímicos e índices bióticos

El análisis comparativo entre los parámetros fisicoquímicos y los índices bióticos durante las temporadas de lluvia y estiaje permite identificar patrones que reflejan la influencia combinada de factores hidrológicos naturales y presiones antrópicas sobre la calidad del agua del río Yaminchad.

Durante la temporada de lluvia, se registraron valores más altos de nitratos, conductividad eléctrica y dureza total, posiblemente asociados al arrastre de nutrientes, sedimentos y contaminantes desde zonas agrícolas y urbanas debido a la escorrentía superficial. Estas condiciones químicas coincidieron con una disminución en los valores de los índices bióticos, particularmente en el EPT y el ABI, lo que refleja una menor abundancia de organismos sensibles, como los órdenes *Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Trichoptera*. En consecuencia, varias estaciones de muestreo fueron clasificadas con una calidad de agua de moderada a baja.

Por el contrario, durante la temporada de estiaje se observó una reducción en las concentraciones de nitratos y conductividad eléctrica, junto con un incremento del oxígeno disuelto. Estas condiciones fisicoquímicas más estables favorecieron la presencia de macroinvertebrados menos tolerantes a la contaminación, lo que se tradujo en valores más altos en

los índices EPT, ABI y BMWP/Perú, especialmente en las estaciones localizadas en tramos medios y superiores. En tal sentido, los resultados evidencian que, aunque las lluvias incrementan la heterogeneidad ambiental del río, también generan alteraciones físicas y químicas que limitan la persistencia de especies sensibles. En contraste, el estiaje, pese a la reducción del caudal, aporta mayor estabilidad en la composición química del agua, favoreciendo la recuperación parcial de las comunidades bentónicas.

Este análisis confirma que los parámetros fisicoquímicos y los índices bióticos responden de manera complementaria a las variaciones estacionales, por lo que su monitoreo simultáneo constituye una estrategia esencial para obtener una visión integral y robusta del estado ecológico del ecosistema fluvial.

4.4.2 Correlación entre parámetros fisicoquímicos e índices biológicos

En esta sección se analizan las relaciones entre los parámetros fisicoquímicos del agua y los índices bióticos utilizados para evaluar la calidad ecológica del río Yaminchad (EPT, ABI y BMWP/Perú). Los parámetros fisicoquímicos considerados fueron pH, conductividad eléctrica, dureza total y oxígeno disuelto. Los niveles de nitritos y nitratos no se incluyeron, debido a que se encontraron por debajo del límite de detección del laboratorio.

Tabla 18

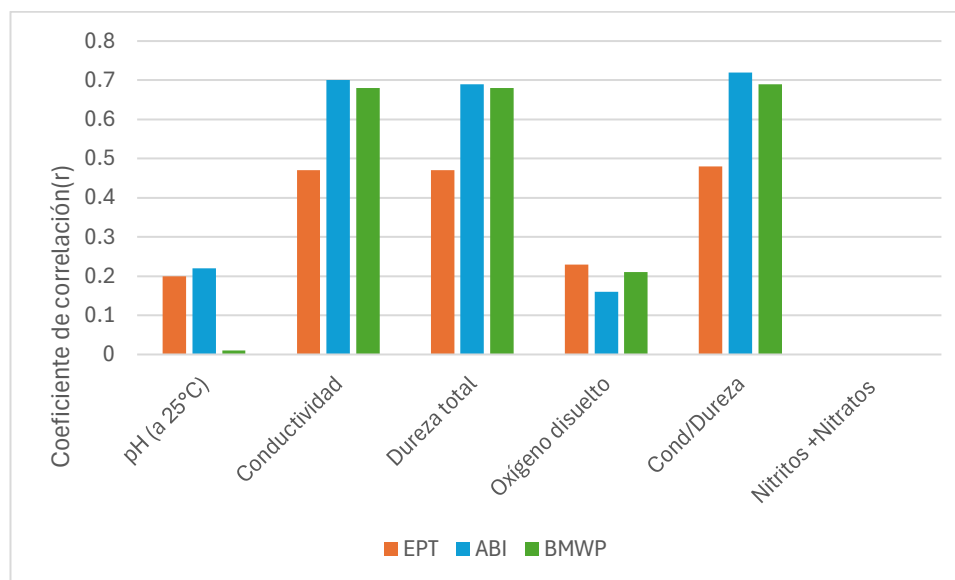
Cuadro resumen de correlación entre parámetros fisicoquímicos y los índices bióticos EPT, ABI y BMWP/Perú

Parámetro	EPT	ABI	BMWP/Perú
pH (a 25°C)	0.20	0.22	0.01
Conductividad	0.47	0.70	0.68
Dureza total	0.47	0.69	0.68
Oxígeno disuelto	0.23	0.16	0.21
Relación Cond/Dureza	0.48	0.72	0.69
Nitritos +Nitratos	ND	ND	ND

Nota. Los valores corresponden a coeficientes de correlación de Pearson. ND: No disponible.

Figura 13

Correlación entre parámetros físicoquímicos e índices bióticos



Nota. Esta figura muestra la correlación entre parámetros físicoquímicos e índices bióticos

Los resultados muestran que la conductividad eléctrica y la dureza total son los parámetros con mayor correlación, más fuerte con los índices bióticos, destacando el ABI ($r=0.70$) y el BMWP/Perú ($r=0.68$), seguidos por el EPT ($r=0.47$). Esta relación sugiere que la presencia de sales y minerales disueltos en el agua (asociada a la mineralización natural y a posibles aportes antrópicos), influye directamente en la riqueza y composición de macroinvertebrados. La correlación ligeramente superior de la relación conductividad/dureza con los índices (hasta $r=0.72$ para el ABI) refuerza la hipótesis de que estos parámetros ejercen una influencia conjunta sobre todos los organismos vivos.

En contraste, el oxígeno disuelto presentó correlaciones débiles con todos los índices ($0.16 \leq r \leq 0.23$). Aunque es un parámetro para la respiración y supervivencia de los macroinvertebrados, su variabilidad durante las campañas fue limitada, lo que reduce su peso estadístico en este análisis. Además, su naturaleza fluctuante a escala diaria podría no haberse captado completamente en mediciones puntuales.

El pH mostró correlaciones bajas o nulas, con valores prácticamente despreciables para el BMWP/Perú ($r = 0.01$) y débiles para el ABI ($r = 0.22$) y el EPT ($r = 0.20$). Esto explica por estabilidad del pH en rangos neutros durante todo el monitoreo, sin alcanzar valores extremos (<6 o >9) que pudieran impactar significativamente la comunidad bentónica. Estudios previos han evidenciado que cambios bruscos de pH, especialmente hacia la acidez, reducen de forma drástica la riqueza y diversidad de macroinvertebrados (Tovar et al., 2012; Ríos et al., 2014; Prat et al., 2011).

En síntesis, los resultados confirman que la conductividad eléctrica y la dureza (y en menor medida su relación) son los parámetros fisicoquímicos más asociados a la variabilidad de los índices bióticos en el río Yaminchad, mientras que el oxígeno disuelto y el pH, al mantenerse relativamente estables, muestran una influencia limitada en este contexto.

Cabe señalar que, en la temporada de estiaje, las estaciones P11 y P12 no fueron consideradas en los análisis de correlación debido a la ausencia de agua en el cauce, lo que imposibilitó la obtención de datos fisicoquímicos y biológicos. En consecuencia, los resultados presentados se basan únicamente en las estaciones con registros válidos, asegurando la consistencia estadística de los cálculos sin modificar la interpretación general sobre la relación entre parámetros fisicoquímicos e índices bióticos.

4.4.3 Análisis de Regresión Lineal Múltiple (RLM)

Con el propósito de evaluar la influencia de los parámetros fisicoquímicos sobre la calidad ecológica del río Yaminchad, se realizaron análisis de regresión lineal considerando como variable dependiente el Índice Biológico Andino (ABI) y como variables independientes el pH, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto, la dureza total y la concentración de nitratos. El

análisis se efectuó de manera diferenciada para las temporadas de lluvias y de estiaje, con el fin de identificar patrones estacionales.

En la presente sección, se precisa que las estaciones P11 y P12 no fueron consideradas en el análisis de regresión lineal múltiple para la temporada de estiaje, debido a la ausencia de agua y, por ende, a la falta de registros fisicoquímicos y biológicos. Esta exclusión garantiza la validez de los modelos estadísticos desarrollados, manteniendo la representatividad de las estaciones con información completa y confiable.

4.4.3.1 Regresión entre el Índice Biológico Andino (ABI) y el potencial de hidrógeno (pH). A continuación, en la figura 14 se presenta la regresión durante la temporada de lluvia, donde el pH presentó una correlación negativa muy débil ($R = -0,2054$; $R^2 = 0,0422$), con la ecuación:

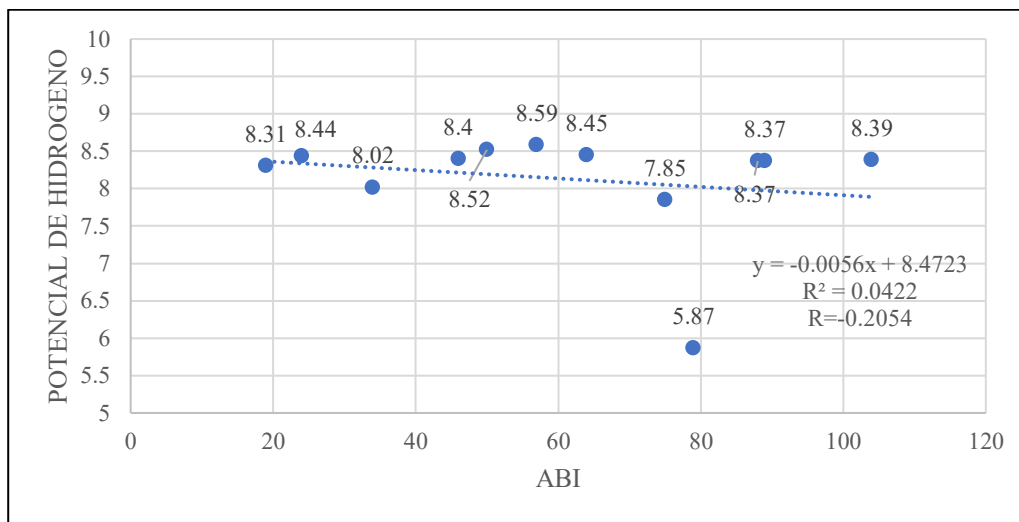
$$y = -0,0056x + 8,4723$$

Esto significa que el pH explica apenas un 4,22 % de la variabilidad del índice ABI, evidenciando la ausencia de una relación lineal no significativa en temporada de lluvia. La alta turbulencia y el incremento del caudal en esta temporada tienden a homogenizar el pH, reduciendo su influencia directa sobre la biota acuática.

En la siguiente figura 14 se puede mostrar claramente la regresión entre Índice Biológico Andino (ABI) y el pH en temporada de lluvia evidenciado la relación entre el potencial de hidrógeno pH y el Índice Biológico Andino (ABI).

Figura 14

Regresión entre el Índice Biológico Andino (ABI) y el pH en temporada de lluvia



Nota. En la figura se muestra el potencial de hidrógeno (pH) en temporada de lluvia con el índice ABI.

De acuerdo con lo establecido en la figura 14, el pH no aparece como un factor determinante de la estructura biológica del río. El aumento del caudal y la turbulencia durante la temporada de lluvia favorece la dilución de contaminantes y la homogeneización del pH, reduciendo su influencia sobre los macroinvertebrados. Además, la escorrentía superficial puede incorporar sedimentos y materia orgánica que modifican el hábitat bentónico sin alterar sustancialmente la acidez o basicidad del agua. Investigaciones en ríos andinos señalan que, bajo lluvias intensas, la composición de la biota se ve más afectada por variables hidrológicas y el arrastre de sedimentos que por el pH (Mora et al., 2024; García et al., 2017).

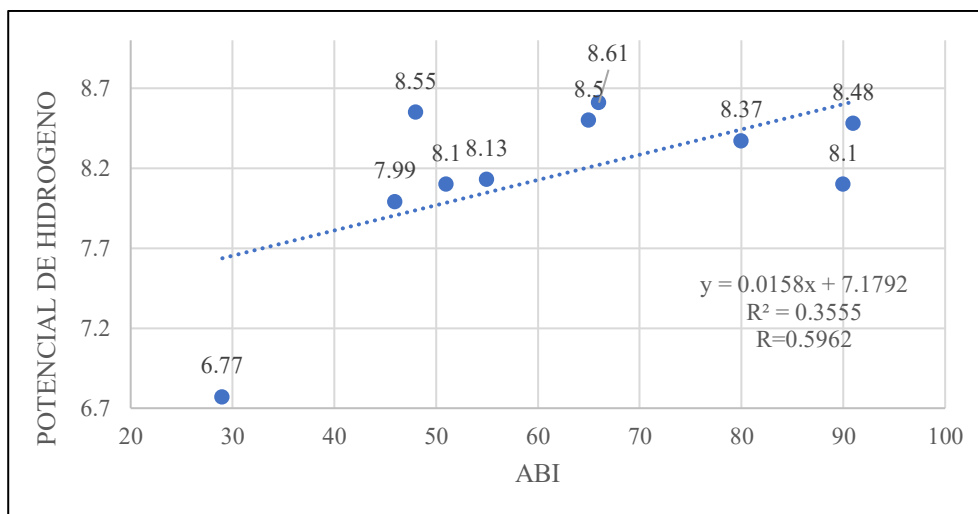
De otro lado, la figura 15 de regresión presenta la relación entre el ABI y el pH durante la temporada de estiaje, caracterizado por una mayor estabilidad hidrológica. En este caso, la regresión lineal indica una tendencia positiva moderada ($R = 0,5962$; $R^2 = 0,3555$), con la ecuación de regresión:

$$y = -0,0158 x + 7,1792$$

En esta temporada, el pH explica aproximadamente el 36% de la variabilidad del ABI, indicando que, a mayores valores de pH, el índice biológico tiende a incrementarse.

Figura 15

Regresión entre el índice biológico andino y el pH en temporada de estiaje



Nota. En la figura se muestra la regresión entre el parámetro pH y el índice ABI en temporada de estiaje.

De acuerdo con estos resultados, el pH explicaría un porcentaje mayor de la variabilidad del ABI en la temporada de estiaje que en la temporada de lluvia, lo que sugiere que, en condiciones de menor caudal, la química del agua tiene un efecto más directo sobre la biota bentónica. Valores ligeramente más altos de pH se asocian con la ausencia de procesos locales de acidificación, favoreciendo la permanencia de organismos sensibles y el incremento del ABI. Este patrón es consistente con estudios realizados en ríos de montaña, donde, en temporadas de bajo caudal, el pH adquiere un papel más determinante sobre la calidad biológica (González et al., 2020; Arroyo et al., 2017).

En conjunto, los resultados indican que el pH tiene un efecto limitado sobre el ABI durante la temporada de lluvia, pero se vuelve un factor ecológico de mayor relevancia durante la temporada de estiaje. Esto respalda la necesidad de interpretar este parámetro bajo un enfoque estacional, para no subestimar su influencia en la evaluación de la calidad ecológica del río.

4.4.3.2 Regresión entre el Índice Biológico Andino (ABI) y la conductividad eléctrica.

La figura 16 presenta la regresión entre el Índice Biológico Andino (ABI) y la conductividad eléctrica del agua durante la temporada de lluvia, mostrando la dispersión de los valores registrados en las estaciones de muestreo.

Efectuando el análisis de regresión podemos notar que existe una correlación negativa moderada ($R = -0,6521$; $R^2 = 0,4252$), con la siguiente ecuación:

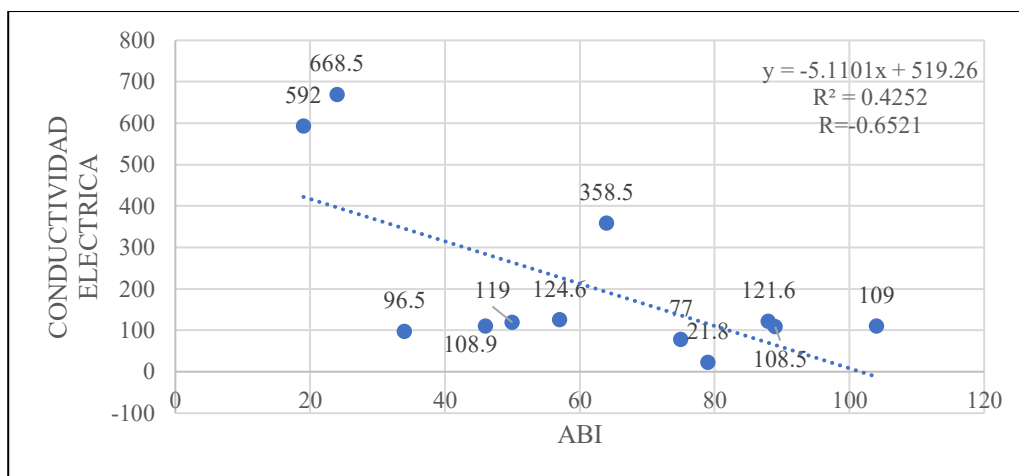
$$y = -5,1101 x + 519,26$$

Esto significa que la conductividad explica aproximadamente el 42,5 % de la variabilidad del índice ABI, sugiriendo que un incremento en la concentración de iones disueltos se asocia con una disminución de la calidad biológica en temporada de lluvia.

A continuación, se muestra la figura 16 respecto a la regresión entre el índice biológico andino y la conductividad eléctrica en temporada de lluvia.

Figura 16

Regresión entre el índice biológico andino y la conductividad eléctrica temporada de lluvia



Nota. Esta figura muestra la regresión entre el parámetro conductividad eléctrica y el índice ABI en temporada de lluvia.

Este patrón puede atribuirse a que niveles elevados de conductividad suelen reflejar la incorporación de sales y nutrientes derivados de fuentes difusas o puntuales —como escorrentía

agrícola, erosión de caminos o descargas domésticas— que afectan negativamente a los macroinvertebrados sensibles. Durante la temporada de lluvias, el aumento del caudal y la escorrentía superficial facilita el arrastre de estos compuestos hacia el cauce. Estudios previos en ríos de montaña han evidenciado una relación inversa entre conductividad y calidad biológica (Bonada et al., 2006; Acosta & Ríos, 2012; Bustos & López, 2020), lo que respalda los resultados obtenidos.

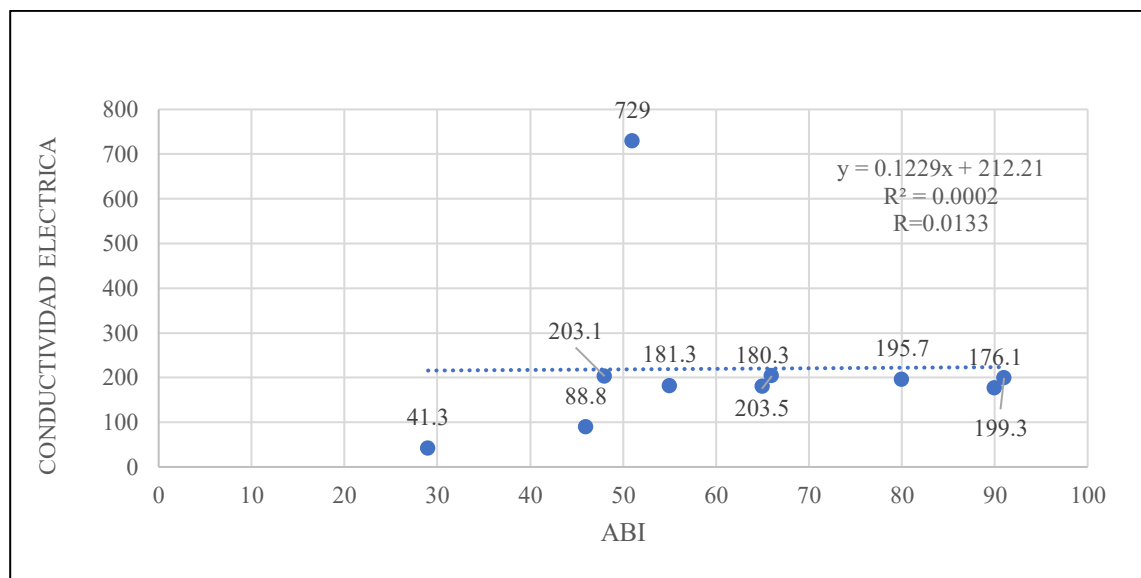
A continuación, en la figura 17 se muestra la regresión entre el ABI y la conductividad eléctrica durante la temporada de estiaje, caracterizado por un caudal más estable y una menor influencia de la escorrentía. En este caso, se obtiene una correlación prácticamente nula con valores ($R = 0,0133$; $R^2 = 0,0002$), con la ecuación:

$$y = 0,1229 x + 212,21$$

Estos valores indican que la conductividad eléctrica explica menos del 0,1 % de la variabilidad del índice ABI, sin evidenciar una tendencia lineal relevante.

Figura 17

Regresión entre el índice biológico andino y la conductividad eléctrica en la temporada de estiaje



Nota. En esta figura se muestra la regresión entre la conductividad eléctrica en temporada de estiaje.

Durante la temporada de estiaje, la reducida esorrentía limita el ingreso de sales y nutrientes externos, manteniendo la conductividad en rangos relativamente constantes. Bajo estas condiciones, este parámetro pierde capacidad para discriminar cambios en la comunidad de macroinvertebrados. Investigaciones similares señalan que, en la temporada de estiaje, la conductividad eléctrica solo adquiere relevancia cuando existen fuentes puntuales de contaminación, mientras que en escenarios estables presenta un bajo poder explicativo sobre los índices biológicos (Bustos & López, 2020; Cañedo et al., 2016; Cárdenas & Rivera, 2021).

En síntesis, la conductividad eléctrica constituye un factor influyente sobre el ABI únicamente durante la temporada de lluvias, cuando los aportes externos de sales y nutrientes impactan de forma más marcada en la estructura de la comunidad bentónica. En temporada de estiaje, su efecto es mínimo, lo que subraya la importancia de interpretar este parámetro considerando la estacionalidad del sistema fluvial.

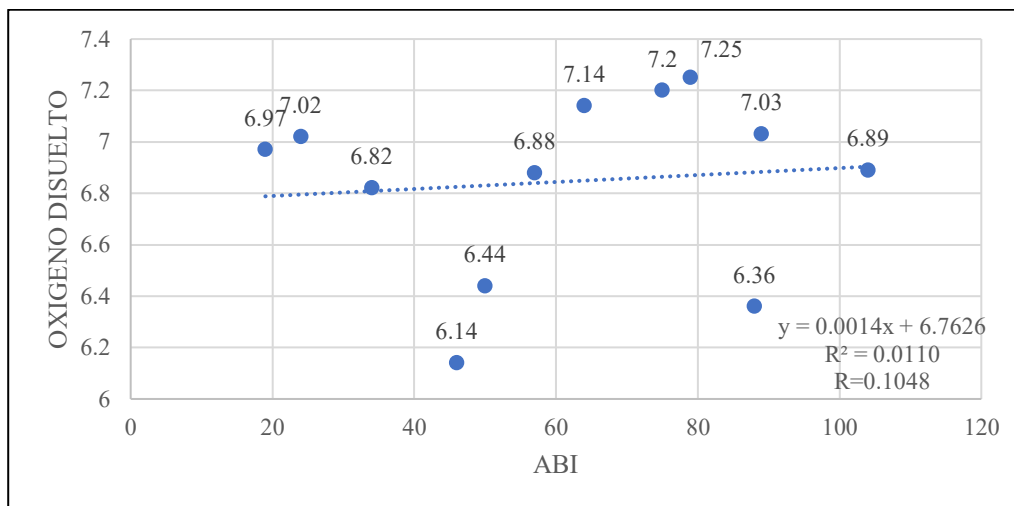
4.4.3.3 Regresión entre el Índice Biológico Andino (ABI) y el oxígeno disuelto. La Figura 18 presenta la relación entre el Índice Biológico Andino (ABI) y el oxígeno disuelto durante la temporada de lluvia. El análisis de regresión revela una correlación positiva muy débil ($R = 0,1048$; $R^2 = 0,0110$), con la ecuación de regresión:

$$y = 0,0014 x + 6,7626$$

Esto indica que el oxígeno disuelto explica apenas el 1,1 % de la variabilidad del ABI, sin evidenciar un patrón lineal significativo.

Figura 18

Regresión entre el índice biológico andino y el oxígeno disuelto en la temporada de lluvia



Nota. Esta figura muestra la regresión entre el parámetro Oxígeno disuelto y el índice ABI en temporada de lluvia

La baja correlación observada se explica porque, en época lluviosa, los ríos andinos suelen mantener niveles elevados y relativamente uniformes de oxigenación, favorecidos por el aumento del caudal, la turbulencia y la mezcla constante del agua. Estas condiciones reducen la capacidad del oxígeno disuelto para discriminar diferencias en la calidad biológica. Estudios realizados en sistemas fluviales de montaña respaldan esta tendencia, señalando que, durante las lluvias, la saturación de oxígeno es alta y deja de ser un factor limitante para la biota (Cifuentes & Medina, 2021; Delgado & Castro, 2020).

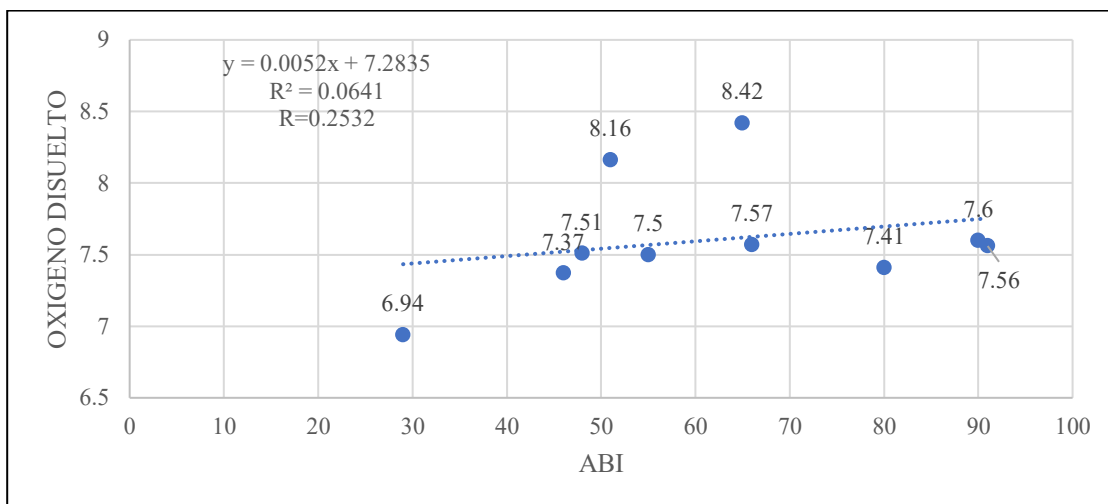
De otra parte, en la figura 19, se observa la regresión entre el ABI y el oxígeno disuelto durante la temporada de estiaje, caracterizado por caudales bajos y menor turbulencia. En este escenario, se registra una correlación positiva débil ($R = 0,2532$; $R^2 = 0,0641$), con la ecuación:

$$y = 0,0052 x + 7,2835$$

El oxígeno disuelto explica aproximadamente el 6,4 % de la variabilidad del ABI, mostrando una ligera tendencia a que mayores concentraciones de oxígeno se asocien con un aumento del índice biológico.

Figura 19

Regresión entre el índice biológico andino y el oxígeno disuelto en temporada de estiaje



Nota. Esta figura muestra la regresión entre el parámetro oxígeno disuelto y el índice ABI en temporada de estiaje

Durante la temporada de estiaje, la menor turbulencia y el incremento de la temperatura pueden reducir la disponibilidad de oxígeno en ciertos tramos del cauce, lo que hace que este parámetro sea más relevante para la estructura de la comunidad bentónica. Valores más altos de oxígeno suelen reflejar menor carga orgánica y mejores condiciones ecológicas, favoreciendo la presencia de macroinvertebrados sensibles y, en consecuencia, un mayor valor de ABI. Este comportamiento ha sido descrito en otros estudios de ríos andinos, donde el oxígeno disuelto adquiere mayor importancia ecológica en temporadas de bajo caudal (García & Fernández, 2017; González & Cardona, 2020).

En síntesis, el oxígeno disuelto ejerce una influencia limitada sobre el ABI, siendo prácticamente irrelevante en temporada de lluvia y ligeramente más influyente en temporada de

estiaje. Esta diferencia se debe a que, en lluvias, la oxigenación se mantiene alta y estable, mientras que en estiaje puede disminuir localmente, afectando a los macroinvertebrados más sensibles.

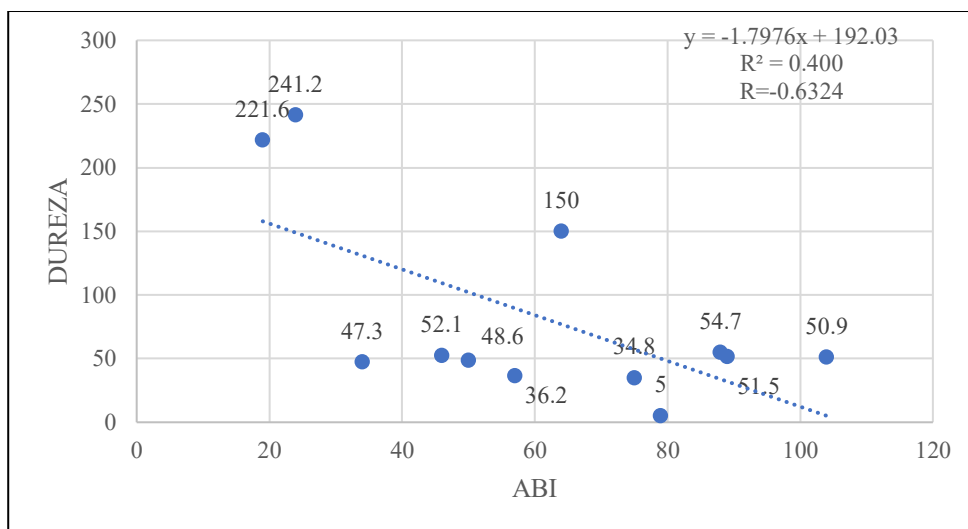
4.4.3.4 Regresión entre el Índice Biológico Andino (ABI) y la dureza total. La Figura 20 presenta la relación entre el Índice Biológico Andino (ABI) y la dureza total del agua durante la temporada de lluvia. Según el análisis efectuado podemos observar que la regresión muestra una correlación negativa moderada ($R = -0,6324$; $R^2 = 0,400$), con la ecuación de regresión:

$$y = -1,7976 x + 192,03$$

Esto indica que la dureza total explica aproximadamente el 40 % de la variabilidad del ABI, sugiriendo que, a mayores valores de dureza, el índice biológico tiende a disminuir durante la temporada lluviosa.

Figura 20

Regresión entre el índice biológico andino y la dureza total en la temporada de lluvia



Nota. En la figura se muestra la regresión entre el parámetro dureza y el índice ABI durante la temporada de lluvia

La relación inversa observada podría asociarse a que el incremento de la dureza refleja mayores concentraciones de carbonatos, calcio y magnesio, elementos que suelen aumentar por procesos de arrastre de suelos, afloramientos de aguas subterráneas o descargas agrícolas. En la

temporada de lluvia, la intensificación de la escorrentía puede movilizar estos minerales hacia el cauce, afectando la disponibilidad de microhábitats sensibles y reduciendo la diversidad de macroinvertebrados. Investigaciones en ríos andinos reportan que durezas elevadas pueden estar vinculadas a presiones antrópicas y a una menor riqueza biológica (Jacobsen & Ríos, 2006; Medina, 2024).

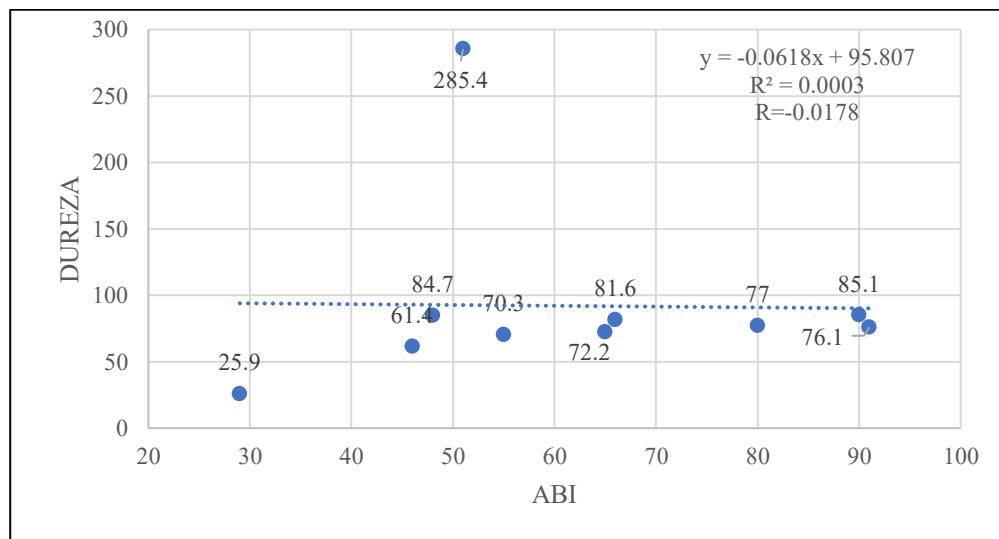
De otro lado, la figura 21 muestra la regresión entre el ABI y la dureza total durante la temporada de estiaje, caracterizada por un caudal más estable y menores aportes externos de minerales. El análisis revela una correlación negativa prácticamente nula ($R = -0,0178$; $R^2 = 0,0003$), con la ecuación:

$$y = -0,0618x + 95,807$$

En este caso, la dureza total explica menos del 1 % de la variabilidad del ABI, sin evidenciar una relación lineal definida.

Figura 21

Regresión entre el índice biológico andino y la dureza total en temporada de estiaje



Nota. La figura muestra la regresión entre el parámetro dureza y el índice ABI durante la temporada de estiaje

Durante el estiaje, la dureza se mantiene relativamente constante, ya que la reducción de la escorrentía limita el arrastre de minerales y no se producen variaciones bruscas en la química del agua. Por ello, su influencia sobre la estructura de la comunidad bentónica es mínima. Tal como señalan Hernández & Guerrero (2011), en ríos de montaña los índices biológicos muestran sensibilidad a la dureza únicamente en condiciones de incrementos súbitos, asociados generalmente a lluvias intensas o descargas localizadas.

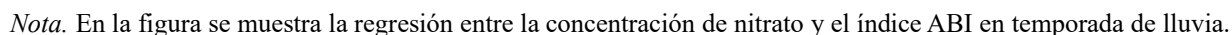
En síntesis, la dureza total ejerce un efecto relevante sobre el ABI únicamente durante la temporada de lluvia, cuando los aportes minerales son mayores. En la temporada de estiaje, su influencia es prácticamente inexistente, lo que reafirma que la estacionalidad es un factor clave para interpretar la respuesta biológica en ecosistemas fluviales de montaña.

4.4.3.5 Regresión entre el Índice Biológico Andino (ABI) y el nitrato. La Figura 22 muestra la relación entre el índice biológico andino (ABI) y la concentración de nitratos durante la temporada de lluvia, evidenciando la dispersión de los datos obtenidos. El análisis indica una correlación negativa débil ($R = -0,4417$; $R^2 = 0,1951$), con la ecuación de regresión:

$$y = -0,03x + 2,736$$

Esto significa que el nitrato explica aproximadamente 19 % de la variabilidad del ABI, lo que sugiere que, a mayores concentraciones de nitrato, el índice biológico tiende a disminuir ligeramente, aunque sin una tendencia lineal marcada.

Regresión entre el índice biológico andino y el nitrato en temporada de lluvia



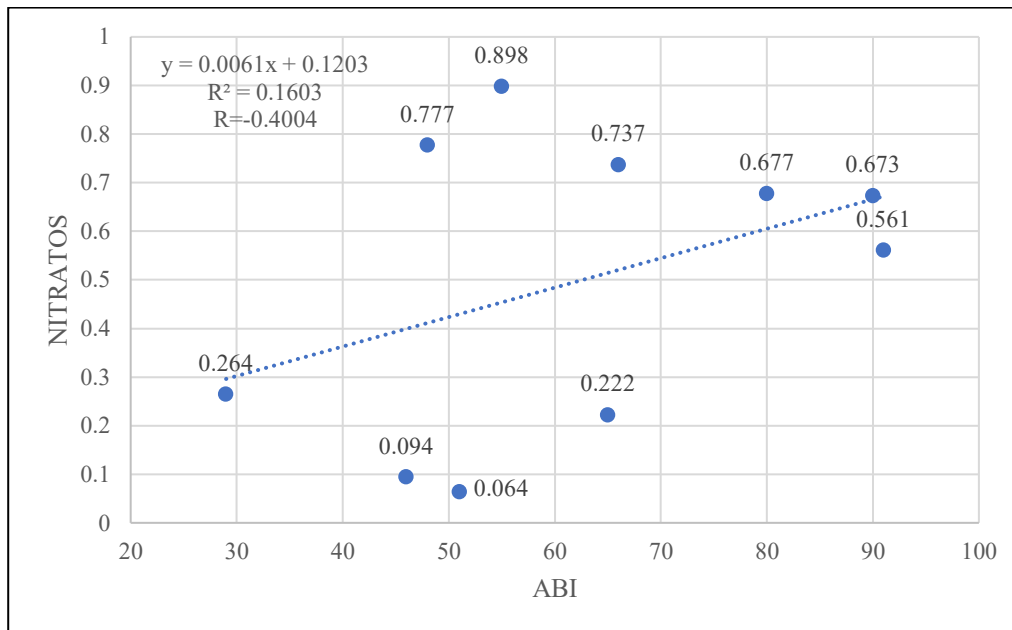
De otra parte, la figura 23 muestra la relación entre el ABI y la concentración de nitratos durante la temporada de estiaje, cuando el caudal es más estable y la influencia de la dilución es menor. El análisis realizado revela una correlación positiva débil ($R = -0,4004$; $R^2 = 0,1603$), con la ecuación de regresión:

89

Esto significa que el nitrato explica aproximadamente 16 % de la variabilidad del ABI, evidenciando que un ligero aumento en la concentración de nitratos se asocia a un incremento marginal del índice biológico, aunque sin una relación lineal clara.

Figura 23

Regresión entre el índice biológico andino y el nitrato en temporada de estiaje



Nota. Esta figura presenta la regresión entre la concentración de nitrato y el índice ABI en temporada de estiaje.

Durante el estiaje, las concentraciones de nitratos tienden a reflejar aportes constantes de origen agrícola o doméstico, ya que la capacidad de dilución del río disminuye. No obstante, los macroinvertebrados pueden tolerar estos niveles bajos a moderados sin una afectación directa en la composición biológica, lo que explica la correlación débil. Este patrón coincide con estudios donde el nitrato solo se convierte en un factor limitante cuando supera umbrales críticos de contaminación, provocando cambios estructurales en la comunidad bentónica (Prat & Ríos, 2011; Rizo-Patrón & Acosta, 2013).

En síntesis, el análisis muestra que el nitrato tiene una influencia baja sobre el ABI tanto en la temporada de lluvia como en la temporada de estiaje, siendo ligeramente más relevante en

lluvia por su relación inversa con la diversidad biológica. Sin embargo, su efecto queda en gran parte atenuado por procesos de dilución, dispersión y la resiliencia ecológica de la comunidad de macroinvertebrados.

En conjunto, los resultados indican que:

- Parámetros con mayor influencia sobre el ABI en temporada de lluvias: conductividad ($R^2 = 0,4252$) y dureza total ($R^2 = 0,4000$), seguidos del nitrato ($R^2 = 0,1951$).
- Parámetro más relevante en estiaje: pH ($R^2 = 0,3602$), con una influencia positiva moderada sobre el índice biológico.
- El oxígeno disuelto presentó bajos valores de R^2 en ambas temporadas, debido a su relativa estabilidad y a que no fue un factor limitante.

En general, la relación entre los parámetros fisicoquímicos y el ABI fue más fuerte en temporada de lluvias para conductividad y dureza, mientras que en estiaje el pH mostró mayor capacidad explicativa.

Estos hallazgos refuerzan la importancia de considerar la estacionalidad en la interpretación de las relaciones entre calidad fisicoquímica y calidad biológica del agua, dado que la influencia de cada parámetro puede variar significativamente según el régimen hidrológico.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

1. El estudio permitió evaluar de manera integral la calidad del agua del río Yaminchad mediante la aplicación combinada de índices bióticos (EPT, ABI y BMWP/Perú) y parámetros fisicoquímicos, evidenciando una calidad general moderada a aceptable, con variaciones espaciales y estacionales relacionadas con la intervención antrópica y las condiciones hidrológicas. Los resultados confirman la utilidad del enfoque conjunto-fisicoquímico para diagnosticar el estado ecológico de ecosistemas fluviales altoandinos.
2. Se identificaron 30 familias de macroinvertebrados bentónicos, agrupadas en tres clases y nueve órdenes. Los grupos *Ephemeroptera*, *Trichoptera* y *Plecoptera* predominaron en las estaciones con mejor calidad del agua, reflejando comunidades moderadamente diversas durante ambas temporadas de lluvia y estiaje.
3. Los índices EPT, ABI y BMWP/Perú mostraron variaciones espaciales y temporales coherentes con el gradiente de alteración del cauce. El índice ABI presentó mejores valores en estiaje, mientras que EPT y BMWP/Perú alcanzaron mayores puntajes en temporada de lluvia. La estación P6 destacó con la mejor calidad del agua en ambas temporadas, mientras que P11 y P12 no registraron valores en estiaje debido a la ausencia de agua. En conjunto, los índices clasificaron la calidad del agua entre moderada a pobre, con tendencia al deterioro hacia aguas abajo.
4. Los parámetros fisicoquímicos conductividad eléctrica, dureza total y pH mostraron mayores valores en los tramos bajos, especialmente durante el estiaje, superando en algunos casos los límites de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para la categoría 3. El oxígeno disuelto se mantuvo dentro de niveles adecuados para la vida acuática, con leves reducciones en sectores con mayor carga de nutrientes.

5. Se identificaron correlaciones moderadas entre la dureza total y la conductividad eléctrica con los índices bióticos ABI y BMWP/Perú, mientras que el pH mostró correlaciones débiles. El análisis de regresión lineal múltiple confirmó que la dureza total y la conductividad eléctrica actúan como variables predictoras del estado ecológico del río Yaminchad, cumpliéndose con el objetivo específico orientado a analizar la correspondencia entre los indicadores fisicoquímicos y biológicos.

RECOMENDACIONES

1. A la autoridad ambiental local (ANA, Municipalidad Provincial de San Pablo) se recomienda la implementación de un programa de monitoreo continuo de la calidad del agua del río Yaminchad. Este programa debe incluir el monitoreo regular de macroinvertebrados bentónicos (utilizando índices como EPT, ABI y BMWP/Perú) y parámetros fisicoquímicos, con el objetivo de establecer líneas de base sólidas y detectar tempranamente cualquier cambio significativo en la calidad del agua. La frecuencia del monitoreo debe ser determinada en función de la variabilidad natural del río y la influencia de las actividades humanas en la zona.
2. A los sectores agrícola y urbano cercanos al cauce se recomienda promover la adopción de prácticas de manejo ambiental responsable en el tratamiento de aguas residuales, control de escorrentías, uso de fertilizantes y pesticidas para reducir el ingreso de nutrientes y sedimentos al río, especialmente en los tramos de mayor deterioro ecológico.
3. A futuras investigaciones se les recomienda la ampliación del alcance del estudio a fin de obtener una visión más integral del ecosistema del río Yaminchad, lo cual incluye temporadas hidrológicas adicionales, ampliación de estaciones de muestreo, análisis de calidad sedimentaria y análisis de contaminantes específicos.
4. A la comunidad educativa y científica se les recomienda la difusión de los resultados de este estudio y futuras investigaciones en espacios académicos y de gestión ambiental, incentivando la aplicación de bioindicadores en la evaluación de cuerpos de agua de la región andina, dada su efectividad y bajo costo.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, R., & Ríos-Touma, B. (2012). *Índice Biótico Andino (ABI): una herramienta para evaluar la calidad ecológica del agua en los Andes tropicales*. Revista Biología Tropical, 60(4), 1447–1458.
- Acosta, R., Ríos-Touma, B., & Prat, N. (2009). *Monitoreo de la calidad del agua con macroinvertebrados: aplicaciones y adaptaciones del índice BMWP a ríos andinos tropicales*. Universidad de Barcelona / CONDESAN.
- Acosta, R., Ríos-Touma, B., Prat, N., & Encalada, A. (2009). *Aplicación del índice BMWP/PERÚ en ecosistemas andinos de Ecuador y Perú*. Universidad de Barcelona.
- APHA (American Public Health Association). (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). Washington, D.C.: APHA-AWWA-WEF.
- Arroyo, M., Pérez, J., & Rodríguez, D. (2017). *Evaluación integral de la calidad del agua mediante parámetros fisicoquímicos y biológicos*. Revista Colombiana de Ciencias Ambientales, 45(2), 55–70.
- Bonada, N., Prat, N., Resh, V. H., & Statzner, B. (2006). *Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative analysis of recent approaches*. Annual Review of Entomology, 51, 495-523.
- Buss, D. F., Baptista, D. F., Nessimian, J. L., & Egler, M. (2015). *Subsidies for the application of the EPT index in tropical regions*. Acta Limnologica Brasiliensia, 27(1), 45–56.
<https://doi.org/10.1590/S2179-975X2015000100006>
- Bustos, D., Carrasco, C., & López, M. (2020). *Hidrología ambiental y calidad del agua en ecosistemas andinos*. Lima: Fondo Editorial UNALM.

- Cañedo-Argüelles, M., Kefford, B. J., Schäfer, R. B., & Closs, G. P. (2016). *Effects of temperature and salinity on freshwater biodiversity*. *Environmental Pollution*, 218, 144–153. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.06.032>
- Cárdenas, E., Rodríguez, M., & Rivera, L. (2021). *Evaluación integrada de la calidad del agua en ríos de montaña mediante indicadores fisicoquímicos y macroinvertebrados*. *Revista Colombiana de Ciencias Ambientales*, 54(2), 105–119.
- Cifuentes, C., Gamboa, J., & Medina, L. (2021). Evaluación del oxígeno disuelto en ecosistemas fluviales altoandinos. *Revista Ecología Aplicada*, 20(1), 31–40.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua, México). (2017). *Manual de prácticas para el análisis fisicoquímico de la calidad del agua*. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Chávez, C. (2020). Calidad de agua del río Mashcon generada a partir de información climática 2019. *Revista de monitoreo de la calidad de agua Región Cajamarca*. 1(1), 24-29.
- Delgado, C., & Pacheco, A. (2021). Evaluación de la calidad fisicoquímica del agua en ríos andinos del Perú. *Revista Peruana de Biología*, 28(1), 89–98. <https://doi.org/10.15381/rpb.v28i1.18990>
- Delgado, C., Martínez, J., & Castro, V. (2020). *Monitoreo de la calidad del agua en ecosistemas andinos*. *Revista Andina de Medio Ambiente*, 12(1), 33–45.
- Díaz Acuña, O. (2024). *Calidad del agua del Río Tingo Maigasbamba al correlacionar la presencia de macroinvertebrados bentónicos y sus parámetros fisicoquímicos-Hualgayoc 2022*”, [Tesis de pregrado, Universidad nacional de Cajamarca, Perú]. Archivo digital.
- Escandón, C. & Cáceres, M. (2022). *Análisis de la calidad del agua mediante parámetros fisicoquímicos y macroinvertebrados bentónicos, presentes en la microcuenca del río San*

- Francisco- Gualaceo. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Ecuador]. Archivo digital.
- Espinoza, M., & Aráoz, W. (2019). Evaluación de parámetros hidrológicos en cuencas altoandinas del Perú. *Revista de Ciencias Ambientales*, 53(1), 21–34.
- García-Criado, F., & Fernández-Aláez, C. (2017). *Macroinvertebrados bentónicos y calidad del agua: fundamentos y aplicaciones en la bioindicación*. *Limnetica*, 36(1), 1–19.
- González-Trujillo, J., León-Sicard, T., & Cardona, J. (2020). *Relación entre índices biológicos e indicadores fisicoquímicos en ríos tropicales*. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(3), 35–48.
- Guerra, H. (2011). *Evaluación de la calidad del agua usando el índice EPT en ríos de la sierra central del Perú*. *Revista Peruana de Biología*, 18(3), 261–268.
- Hernández & Guerrero (2025). Evaluación de la calidad de agua a través de macroinvertebrados bentónicos e índices biológicos en ríos tropicales de la subcuenca del río Blanco, Ecuador. *Revista Científica Multidisciplinaria Investigo*, 6(14), 56-71.
- Jacobsen, D., & Ríos-Touma, B. (2006). Effects of wastewater on the macroinvertebrate fauna of Ecuadorian highland streams. *Environmental Pollution*, 140(3), 457–471.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.08.002>
- Jacobsen, D., Ríos-Touma, B., & Dangles, O. (2014). Environmental thresholds in the tolerance of aquatic macroinvertebrates from Andean streams: potential consequences for biodiversity in a changing climate. *Freshwater Biology*, 59(11), 2231–2243.
<https://doi.org/10.1111/fwb.12415>

- Mantilla Huaripata, R. (2024). *Comparación de cinco índices bióticos con macroinvertebrados bentónicos para conocer la calidad del agua en la cabecera del río Namora, Cajamarca*. [Tesis de posgrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Archivo digital.
- Martínez, A., Salas, R., & Bravo, M. (2022). *Oxígeno disuelto y su relación con la biodiversidad en ríos tropicales*. *Revista Latinoamericana de Hidrobiología*, 34(3), 112–125.
- Medina, Infante N. (2024). *Calidad del agua mediante la comunidad de macroinvertebrados y parámetros fisicoquímicos en el Río Jadibamba, distrito Huasmín-Celendín* [Tesis de posgrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Archivo digital.
- Ministerio del Ambiente – MINAM. (2016). *Manual de bioindicación de la calidad de agua en ecosistemas acuáticos andinos*. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente – MINAM. (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo Biológico de la Calidad del Recurso Hídrico Superficial*. Dirección General de Calidad Ambiental. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente – MINAM. (2017). *Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM: Aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua*. Diario Oficial El Peruano. <https://www.gob.pe/minam>
- Ministerio del Ambiente – MINAM. (2022). *Normas de calidad ambiental para agua*. <https://www.gob.pe/minam>
- Mora Tisnado, G., Medina Tafur, C., Polo Corro, J. & Hora Revilla., M. (2024) en su artículo científico *Calidad del agua según los macroinvertebrados y parámetros fisicoquímicos en la cuenca del río Huacamarcanga (La Libertad, Perú)*. *Revista de Investigación científica REBIOL*, 40(1), 85-98.

- Pérez, P. (2007). Evaluación de la calidad del agua mediante macroinvertebrados bentónicos usando el índice BMWP adaptado para ríos andinos del Perú. *Ecología Aplicada*, 6(1-2), 49–56. <https://doi.org/10.21704/rea.v6i1-2.432>
- Prat, N., Rieradevall, M., & Ríos-Touma, B. (2011). Guía para el muestreo y la identificación de macroinvertebrados de los ríos altoandinos. *Universidad de Barcelona & TNC*.
- Prat, N., Ríos-Touma, B., Acosta, R., & Martínez, A. (2017). Herramientas para la evaluación de la calidad ecológica de los ríos altoandinos mediante macroinvertebrados. *Revista de Biología Tropical*, 65(Supl. 1), 1–15. <https://doi.org/10.15517/rbt.v65iS1.28170>
- Ríos-Touma, B., Acosta, R., & Prat, N. (2014). The Andean Biotic Index (ABI): revised tolerance values for macroinvertebrate families and index performance in high Andes streams. *Limnetica*, 33(1), 73–88. <https://doi.org/10.23818/limn.33.07>
- Ríos-Touma, B., Acosta, R., & Prat, N. (2014). *Macroinvertebrados bentónicos y calidad del agua en ríos altoandinos de la región Andina tropical*. *Revista de Biología Tropical*, 62(Supl.2), 249–271. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i4.12913>
- Rizo-Patrón, F., Acosta, R., Gibbons, W., & Fernández, L. (2013). Calidad ecológica del agua en ecosistemas acuáticos altoandinos: evaluación mediante macroinvertebrados y el índice BMWP/PERÚ. *Ecología Aplicada*, 12(1), 15–24. <https://doi.org/10.21704/rea.v12i1.496>
- Rizo-Patrón, F., Gibbons, W., & Acosta, R. (2013). Macroinvertebrados bentónicos y calidad ecológica del agua en ríos altoandinos del Perú central. *Ecología Aplicada*, 12(1), 25–34. <https://doi.org/10.21704/rea.v12i1.497>
- Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Propuesta para el uso del índice BMWP/Col*. Universidad de Antioquia.

- Tejada, N. (2019). *Gestión del agua de escorrentía desde la perspectiva de riego en la microcuenca del Río Yaminchad, San Pablo, Cajamarca*. [Tesis de posgrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Archivo digital.
- Tovar, C., Wasson, K., Díaz, V., & Acosta, R. (2012). *Índice BMWP/PERÚ: Versión actualizada y mejorada del índice BMWP para la evaluación biológica de la calidad del agua en ríos altoandinos del Perú*. Universidad Nacional Agraria La Molina – UNALM, Facultad de Pesquería, Laboratorio de Ecología Acuática.

CAPÍTULO VII
ANEXOS

Anexo A

Frecuencia de recolección de macroinvertebrados en las temporadas y por estación de muestreo

Familia	Estaciones de muestreo																					
	Temporada de estiaje											Temporada de lluvia										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
Hyalellidae	-	-	x	-	x	x	x	-	x	-	x	-	-	x	x	-	x	-	-	-	-	-
Physidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	x	x	x	-	-	-	-	-	-
Planorbidae	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	x	-	x	-	-	-	x	-	-	-	-	-
Haplotaenidae	x	x	x	-	x	x	x	x	x	-	x	x	-	x	x	-	x	x	-	x	-	-
Hirudinidae	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Simuliidae	x	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	x	x	x	-	x	-	x	x	x	x	x
Chironomidae	-	-	x	x	x	-	-	x	-	x	x	x	-	-	x	x	x	x	-	x	-	x
Ceratopogonidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-
Tipulidae	-	-	x	x	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	-	x	-	x	-	-	-	-
Tabanidae	x	x	x	-	x	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Limoniidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ceratopogonidae	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Psycodidae	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hydrachnidae	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aeshnidae	x	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-
Libellulidae	-	-	-	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Psephenidae	x	x	-	-	-	x	x	-	x	-	-	-	-	-	-	x	-	-	x	-	-	-
Elmidae	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-	-
Ptilodactylidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-
Scirtidae	-	-	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dytiscidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	x	-	-	-	-	-	-
Corixidae	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x
Mesovellidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-
Perlidae	x	-	x	-	-	x	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gripopterygidae	-	-	-	-	-	-	x	-	x	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Leptohyphidae	-	-	-	-	-	-	x	-	x	x	x	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Baetidae	-	-	x	-	-	x	x	-	x	-	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	-
Leptophlebiidae	-	-	x	-	-	x	x	-	x	-	x	x	-	x	x	x	-	x	x	x	-	-
Leptoceridae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	x	-	-	-
Glossosomatidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	x	x	-	-	-	-	-
Hydropsychidae	-	-	-	-	-	-	x	-	x	-	-	x	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-
Philopotamidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-
Hydrobiosidae	-	-	x	-	-	x	-	-	-	-	-	-	x	-	-	x	x	-	x	-	x	-
Helicopsychidae	x	x	x	x	x	-	x	-	-	x	x	x	-	x	-	x	x	x	-	-	-	-
Calamoceratidae	-	-	x	-	x	x	x	x	x	-	-	-	-	x	-	x	-	x	-	-	-	-
Xiphocentronidae	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	x	x	-	x	x	x	x	-	-	-	-	-
Limnephilidae	-	-	x	-	-	x	x	-	x	-	-	-	-	x	-	-	x	-	-	-	-	-
TOTAL	8	6	15	10	9	10	12	5	10	8	15	14	7	15	9	16	14	10	9	7	4	4

Anexo B

Resultados de los análisis de laboratorio



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



IE 0718423

INFORME DE ENSAYO N°

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente	P1-PATÍÑO		P2-POZO SECO	-	-	-	-	
Código Laboratorio	0718423-01		0718423-02	-	-	-	-	
Matriz de Agua	NATURAL		NATURAL	-	-	-	-	
Descripción	Superficial		Superficial	-	-	-	-	
Localización de la Muestra	San Pablo		San Pablo	-	-	-	-	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Nitró (NO ₂)	mg/L	0.050	<LCM	<LCM	-	-	-	
Nitrato (NO ₃)	mg/L	0.064	0.094	0.264	-	-	-	
pH a 25°C	pH	NA	7.99	6.77	-	-	-	
Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	88.8	41.3	-	-	-	
(*) Dureza Total	mg/L	0.5	61.4	25.9	-	-	-	
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	7.37	6.94	-	-	-	

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrato, Bromuro, Sulfato, Nitrito, Fosfato, N-NO ₂ , N-NO ₃ , P-PO ₄ , N-NO ₂ -N-NO ₃)	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
pH a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed. 2017. pH Value. Electrometric Method.
Conductividad a 25°C	uS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510. B, 23rd Ed. 2017. Conductivity. Laboratory Method.
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 23rd Ed. 2017. Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340 C, 23rd Ed. 2017. Hardness EDTA Titrimetric Method.

OBSERVACIONES
 LCM: Límite de cuantificación del método, los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.
 Los Resultados Microbiológicos <1.8, 1.0; significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecia crecimiento bacteriano en la muestra.
 (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica. ND: No determinado.
 (**) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.
 Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev. N°05 Fecha: 05/06/2017

NOTAS FINALES
 ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
 ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
 ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
 ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
 ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
 ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros.
 ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
 ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realizan los ensayos se conservarán en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
 ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

Cajamarca, 08 de Agosto de 2018.



Página: 2 de 2



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0718417

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente	P3-Catancas	-	-	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	0718417-01	-	-	-	-	-	-	-
Matriz de Agua	NATURAL	-	-	-	-	-	-	-
Descripción	Superficial	-	-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	San Pablo	-	-	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Nitrato (NO ₃)	mg/L	0.050	<LCM	-	-	-	-	-
Nitrato (NO ₃)	mg/L	0.064	0.673	-	-	-	-	-
pH a 25°C	pH	NA	8.10	-	-	-	-	-
Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	176.1	-	-	-	-	-
(*) Dureza Total	mg/L	0.5	85.1	-	-	-	-	-
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	7.6	-	-	-	-	-

Ing. Qto Freddy H. López León
 Analista de Química
 CIP: 198264

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrato, Bromuro, Sulfato, Nitrato, Fosfato, N-NO ₂ , N-NO ₃ , P-P ₀₄ , N-NO ₂ +N-NO ₃)	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
pH a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B. 23rd Ed. 2017. pH Value: Electrode Method.
Conductividad a 25°C	uS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B. 23rd Ed. 2017. Conductivity: Laboratory Method.
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C. 23rd Ed. 2017. Oxygen (Dissolved): Azide Modification.
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340 C. 23rd Ed. 2017. Hardness EDTA Titrimetric Method.

OBSERVACIONES

LCM: Límite de cuantificación del método, los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.

Los Resultados Microbiológicos <1.8, 1.0; significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecia crecimiento bacteriano en la muestra.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica. ND: No determinado

(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

Código del Formato: RT1-S-10-01 Rev. N°05 Fecha: 08/08/2017

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2005.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservarán en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

Cajamarca, 02 de Agosto de 2018.

Página: 2 de 2



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0818430

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente	P4-YERBA BUENA		P5-LA QUISH	P6-YAMINCHAD	-	-	-	-
Código Laboratorio	0818430-01		0818430-02	0818430-03	-	-	-	-
Matriz de Agua	NATURAL		NATURAL	NATURAL	-	-	-	-
Descripción	Superficial		Superficial	Superficial	-	-	-	-
Localización de la Muestra	San Pablo		San Pablo	San Pablo	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Nitró (NO ₂)	mg/L	0.050	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Nitrato (NO ₃)	mg/L	0.064	0.898	0.777	0.737	-	-	-
pH a 25°C	pH	NA	8.13	8.55	8.61	-	-	-
Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	181.3	203.1	203.5	-	-	-
(*) Dureza Total	mg/L	0.5	70.3	84.7	81.6	-	-	-
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	7.50	7.51	7.57	-	-	-

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrato, Bromuro, Sulfato, Nitrito, Fosfato, N-NO ₂ , N-NO ₃ , P-PO ₄ , N-NO ₂ +N-NO ₃)	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography
pH a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed. 2017. pH Value: Electronic Method
Conductividad a 25°C	uS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 23rd Ed. 2017. Conductivity: Laboratory Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 23rd Ed. 2017. Oxygen (Dissolved): Azide Modification
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340 C, 23rd Ed. 2017. Hardness EDTA Titrimetric Method

OBSERVACIONES

LCM: Límite de cuantificación de los métodos, los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.

Los Resultados Microbiológicos <1.6, 1.0; significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecia crecimiento bacteriano en la muestra.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica. ND: No determinado.

(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev N°05 Fecha: 06/05/2017

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2005.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservarán en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

Cajamarca, 10 de Agosto de 2018.





LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084**



Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 0818433

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente	P7-El Baloón		P8-El Molino	P9-Las Moncadas	-	-	-	-
Código Laboratorio	0818433-01		0818433-02	0818433-03	-	-	-	-
Matriz de Agua	NATURAL		NATURAL	NATURAL	-	-	-	-
Descripción	Superficial		Superficial	Superficial	-	-	-	-
Localización de la Muestra	San Pablo		San Pablo	San Pablo	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Nitrato (NO ₃)	mg/L	0.050	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Nitrato (NO ₃)	mg/L	0.064	0.677	0.561	0.222	-	-	-
pH a 25°C	pH	NA	8.37	8.48	8.50	-	-	-
Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	195.7	199.3	180.3	-	-	-
(*) Dureza Total	mg/L	0.5	77.0	76.1	72.2	-	-	-
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	7.41	7.56	8.42	-	-	-

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrato, Bromuro, Sulfato, Nitrito, Fosfato, N-NO ₂ , N-NO ₃ , P-PO ₄ , N-NO ₂ +N-NO ₃)	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography
pH a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B. 23rd Ed. 2017. pH Value: Electrometric Method
Conductividad a 25°C	uS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B. 23rd Ed. 2017. Conductivity: Laboratory Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C. 23rd Ed. 2017. Oxygen (Dissolved): Azide Modification
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340 C. 23rd Ed. 2017. Hardness EDTA Titrimetric Method

OBSERVACIONES

LCM: Límite de cuantificación del método, los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.

Los Resultados Microbiológicos <1,8, 1,0; significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecia crecimiento bacteriano en la muestra.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado

(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev.N°05 Fecha: 06/06/2017

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si bene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservarán en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

Cajamarca, 13 de Agosto de 2018.





LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084**



INFORME DE ENSAYO N° IE 0818450

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente	Anispampa		-	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	0818450-01		-	-	-	-	-	-
Matriz de Agua	NATURAL		-	-	-	-	-	-
Descripción	Superficial		-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	San Pablo		-	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Nitró (NO ₂)	mg/L	0.050	<LCM	-	-	-	-	-
Nitrato (NO ₃)	mg/L	0.064	<LCM	-	-	-	-	-
pH a 25°C	pH	NA	8.1	-	-	-	-	-
Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	729.0	-	-	-	-	-
(*) Dureza Total	mg/L	0.5	285.4	-	-	-	-	-
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	8.16	-	-	-	-	-

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrato, Bromuro, Sulfato, Nitrato, Fosfato, N-NO ₂ , N-NO ₃ , P-PO ₄ , N-NO ₂ -N-NO ₃)	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
pH a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed. 2017. pH Value. Electrode Method.
Conductividad a 25°C	uS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510. B, 23rd Ed. 2017. Conductivity. Laboratory Method.
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-D C, 23rd Ed. 2017. Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340 C, 23rd Ed. 2017. Hardness EDTA Titrimetric Method.

OBSERVACIONES

LCM: Límite de cuantificación del métodos, los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.

Los Resultados Microbiológicos <1.8, 1.0; significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecia crecimiento bacteriano en la muestra.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado

(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev.N°05 Fecha: 08/06/2017

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2005.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservarán en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservación posterior a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

Cajamarca, 22 de Agosto de 2018.





LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 0119011

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código Cliente	P1 - Pozo		P2 - Pozo Seco	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	0119011-01		0119011-02	-	-	-	-	-
Matriz	NATURAL		NATURAL	-	-	-	-	-
Descripción	Superficial		Superficial	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	San Pablo		San Pablo	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Nitrito (NO ₂)	mg/L	0.050	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Nitrato (NO ₃)	mg/L	0.064	<LCM	<LCM	-	-	-	-
pH a 25°C	pH	NA	7.85	5.87	-	-	-	-
Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	77.0	21.8	-	-	-	-
(*) Dureza Total	mg/L	0.5	34.8	5.0	-	-	-	-
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	7.20	7.25	-	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrito, Bromuro, Sulfato, Nitrato, Fosfato, N-NO ₂ , N-NO ₃ , P-PO ₄ , N-NO ₂ +N-NO ₃)	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
Potencial de Hidrogeno (pH) a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 4500-H+ B. 23rd Ed. 2017. pH Value: Electrometric Method.
Conductividad a 25°C	uS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 2510. B. 23rd Ed. 2017. Conductivity: Laboratory Method.
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340 C. 23rd Ed. 2017. Hardness EDTA Titrimetric Method.
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C. 23rd Ed. 2017. Oxygen (Dissolved): Azide Modification.

NOTAS FINALES

- (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica
- (*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

Ing. Qco/Freddy H. López León
Analista de Química
CIP: 198264

Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev.N°06 Fecha : 02/01/2019

Cajamarca, 17 de Enero de 2019.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0119045

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código Cliente	P3 - Callanca		P4 - Hierba Buena	P5 - La Lagunish	P6 - Yaminchad	-	-	-
Código Laboratorio	0119045-01		0119045-02	0119045-03	0119045-04	-	-	-
Matriz	NATURAL		NATURAL	NATURAL	NATURAL	-	-	-
Descripción	Subterránea		Subterránea	Subterránea	Subterránea	-	-	-
Localización de la Muestra	San Pablo		San Pablo	San Pablo	San Pablo	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Nitrato (NO ₃)	mg/L	0.050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
Nitrato (NO ₃)	mg/L	0.064	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	-	-
pH a 25°C	pH	NA	8.02	8.37	8.40	8.39	-	-
Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	96.5	108.5	108.9	109.0	-	-
(*) Dureza Total	mg/L	0.5	47.3	51.5	52.1	50.9	-	-
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	6.82	7.03	6.14	6.89	-	-

Leyenda: LCM: Límite de cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas).

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrato, Bromuro, Sulfato, Nitrato, Fosfato, N-NO ₂ , N-NO ₃ , P-PO ₄ , N-NO ₂ +N-NO ₃)	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
pH a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 4500-H+ B, 23rd Ed. 2017. pH Value: Electrometric Method.
Conductividad a 25°C	uS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 2510. B, 23rd Ed. 2017. Conductivity: Laboratory Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 23rd Ed. 2017. Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340 C, 23rd Ed. 2017. Hardness EDTA Titrimetric Method

NOTAS FINALES

- (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica
- (*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

Ing. Freddy H. López León
Analista de Química
CIP: 198264

Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev: N°05 Fecha: 02/01/2018

Cajamarca, 29 de Enero de 2019.

Página: 2 de 2



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0119054

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código Cliente	P7 - El Balcon		P8 - El Molino	P9 - Las Moncade	-	-	-	-
Código Laboratorio	0119054-01		0119054-02	0119054-03	-	-	-	-
Matriz	NATURAL		NATURAL	NATURAL	-	-	-	-
Descripción	Superficial		Superficial	Superficial	-	-	-	-
Localización de la Muestra	San Pablo		San Pablo	San Pablo	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.050	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.054	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
pH a 25°C	pH	NA	8.37	8.52	8.59	-	-	-
Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	121.6	119.0	124.6	-	-	-
(*) Dureza Total	mg/L	0.5	54.7	48.6	36.2	-	-	-
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	6.36	6.44	6.88	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrato, Bromuro, Sulfato, Nitrato, Fosfato, N-NO ₂ , N-NO ₃ , P-PO ₄ , N-NO ₂ +N-NO ₃)	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
pH a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 4500-H+ B, 23rd Ed. 2017. pH Value: Electrometric Method.
Conductividad a 25°C	uS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 2510. B, 23rd Ed. 2017. Conductivity: Laboratory Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 23rd Ed. 2017. Oxygen (Dissolved): Azide Modification.
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340 C, 23rd Ed. 2017. Hardness EDTA Titrimetric Method

NOTAS FINALES

- (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica
- (*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.
- ✓ Los resultados indicados en este informe conciernen única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del Informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

Ing. Qc. Freddy H. López León
Analista de Química
CIP: 198264

Código del Formato: RT1-S.10-01 Rev.N°06 Fecha: 02/01/2018

Cajamarca, 04 de Febrero de 2019.

Página: 2 de 2



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0119066

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código Cliente	P10 - Anispampa		P11 - Paredones	P12 - El Badén	-	-	-	-
Código Laboratorio	0119066-01		0119066-02	0119066-03	-	-	-	-
Matriz	NATURAL		NATURAL	NATURAL	-	-	-	-
Descripción	Subterránea		Subterránea	Subterránea	-	-	-	-
Localización de la Muestra	San Pablo		San Pablo	San Pablo	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Nitró (NO ₂)	mg/L	0.050	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Nitrato (NO ₃)	mg/L	0.064	3.473	5.849	1.067	-	-	-
* pH a 25°C	pH	NA	8.45	8.44	8.31	-	-	-
Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	358.5	668.5	592.0	-	-	-
(*) Dureza Total	mg/L	0.5	150.0	241.2	221.6	-	-	-
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	7.14	7.02	6.97	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrato, Bromuro, Sulfato, Nitrato, Fosfato, N-NO ₂ , N-NO ₃ , P-PO ₄ , N-NO ₂ +N-NO ₃)	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
pH a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 4500-H+ B, 23rd Ed. 2017. pH Value: Electrometric Method.
Conductividad a 25°C	uS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 2510. B, 23rd Ed. 2017. Conductivity: Laboratory Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 23rd Ed. 2017: Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340 C, 23rd Ed. 2017: Hardness EDTA Titrimetric Method

NOTAS FINALES

- (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica
- (*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.
- ✓ Los resultados indicados en este informe conciernen única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

Ing. Qc Freddy H. López León
Analista de Química
CIP: 198264
"Fin del documento"

Código del Formato: RT1-S.10-01 Rev: N°06 Fecha: 02/01/2019

Cajamarca, 07 de Febrero de 2019.

Página: 2 de 2



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0718417

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario: **WILDER SMITH AGUILAR COBA**
Dirección: **Jr. Tomas romero N° 057 - San Pablo**
Persona de contacto: **Sol Aracey Aguilar Cobar** Correo electrónico: wsaguilar12@unc.edu.pe

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha y Hora del Muestreo: **26.07.18** Hora: **07:00**
Tipo de Muestreo: **Puntual**
Número de Muestra: **01 Muestra** N° Frascos x muestra: **03**
Ensayos solicitados: **Fisicoquímicos**
Breve descripción del estado de la muestra: **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación**
Responsable de la toma de muestra: **Las muestras fueron tomadas por el personal Usuario**
Procedencia de la Muestra: **SAN PABLO - CAJAMARCA, Tesis UNC: Río Yaminchad**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato: **SC - 457** Cadena de Custodia: **CC - 417 - 18**
N° Orden de Trabajo: **0718417**
Fecha y Hora de Recepción: **26.07.18** **11:20** Inicio de Ensayo: **26.07.18** **12:30**
Reporte Resultado: **02.08.18** **11:10**

Blgo. Enver Zulueta Santa Cruz
Responsable Técnico (e)
CBP: 9778

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

Cajamarca, 02 de Agosto de 2018.

Página: 1 de 2



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 0119011

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario: WILDER SMITH AGUILAR COBA
Dirección: Jr. Tomas romero N° 057 - San Pablo
Persona de contacto: -
Correo electrónico: wsaguilarc12@unc.edu.pe

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo: 09.01.19 Hora de Muestreo: 8:30 a 9:30
Tipo de Muestreo: Puntual
Número de Muestras: 02 N° Frascos x muestra: 03
Ensayos solicitados: Fisicoquímicos
Breve descripción del estado de la muestra: Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.
Responsable de la toma de muestra: Las muestras fueron tomadas por el personal usuario
Procedencia de la Muestra: RIO YAMINCHAD - SAN PABLO

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato: SC - 457-18
Fecha y Hora de Recepción: 09.01.19 16:49 Cadena de Custodia: CC - 011- 19
Reporte Final de Resultados: 16.01.19 16:30 Inicio de Ensayo: 09.01.19 17.10

Blgo. Enver Zulmeza Santa Cruz
Responsable Técnico (e)
CBP: 9778

Cajamarca, 17 de Enero de 2019.

Anexo C

Panel fotográfico de las estaciones de monitoreo del río Yaminchad



Figura 2 Estación P1



Figura 3 Estación P2



Figura 4 Estación P3



Figura 5 Estación P4



Figura 6 Estación P5



Figura 7 Estación P6



Figura 8 Estación P7



Figura 9 Estación P8



Figura 10 *Estación P9*



Figura 11 *Estación P10*



Figura 12 *Estación P11*



Figura 13 *Estación P12*

Anexo D

Panel fotográfico de macroinvertebrados colectados en el río Yaminchad

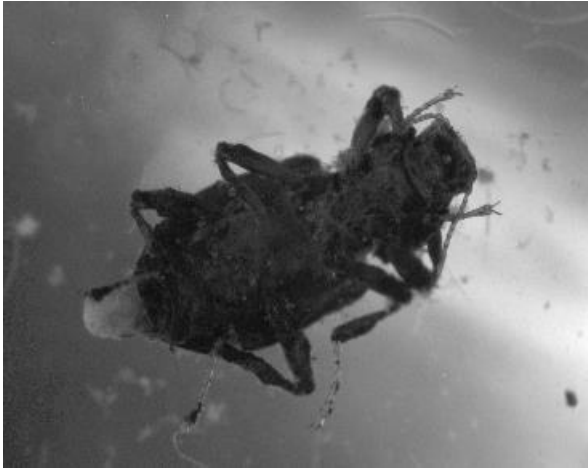


Figura 14 *Familia Elmidae*



Figura 15 *Familia Hydropsychidae*



Figura 16 *Familia Simuliidae*



Figura 17 *Familia Chironomidae*



Figura 18 *Familia Dysticidae*



Figura 19 *Familia Psycodidae*



Figura 20 *Familia Scirtidae*



Figura 21 *Familia Hydrachnidae*



Figura 22 *Familia Perlidae*



Figura 23 *Familia Calamoceratidae*