

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental



TESIS

“Calidad del agua del río La Llanga a través de los macroinvertebrados bentónicos y sus parámetros fisicoquímicos, 2023”

Para obtener el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por el bachiller:

JEINER MALILEL MENDOZA BUSTAMANTE

Asesor

Ing. M.Cs. EDGAR DARWIN DIAZ MORI

CELENDIN-PERÚ

- 2025 -



CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:

JEINER MALILEL MENDOZA BUSTAMANTE

DNI N° 48068590

Escuela Profesional/Unidad UNC:

DE INGENIERÍA AMBIENTAL

2. Asesor:

ING° M. Cs. EDGAR DARWIN DÍAZ MORI

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 RÍO LA LLANGA A TRAVÉS DE LOS MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS Y SUS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS, 2023

6. Fecha de evaluación: 17/03/2025

7. Software antiplagio: TURNITIN

URKUND (ORIGINAL) (*)

8. Porcentaje de Informe de Similitud: 10%

9. Código documento:

10. Resultado de la evaluación de Similitud:

APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha de Emisión: 12/11/2025

*Firma y/o Sello
Emisor Constancia*

ING° M. Cs. EDGAR DARWIN DÍAZ MORI

DNI: 27041767

*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

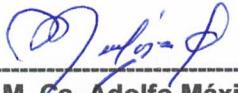
En la ciudad de Celendín, a los seis días del mes de noviembre del año dos mil veinticinco, se reunieron en el **aula 102** de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental - Sede Celendín, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 220-2025-FCA-UNC, de fecha 12 de mayo del 2025**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: "**CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO LA LLANGA A TRAVÉS DE LOS MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS Y SUS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS, 2023**", realizada por el Bachiller **JEINER MALILEL MENDOZA BUSTAMANTE** para optar por el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las **DIECISIETE** horas con **VEINTE** 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 **QUINCE (15)** por tanto, el Bachiller queda expedido para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

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


Ph.D. Manuel Roberto Roncal Rabanal
PRESIDENTE


Ing° M. Cs. Giovana Ernestina Chávez Horna
SECRETARIO


Ing. M. Cs. Adolfo Máximo López Aylas
VOCAL


Ing° M. Cs. Edgar Darwin Díaz Mori
ASESOR

COPYRIGHT © 2025 by
JEINER MALILEL MENDOZA BUSTAMANTE
Todos los derechos reservados

DEDICATORIA:

A ti mamá

María Berselia Bustamante Vázquez, por tu amor, cariño, sabios consejos y por inculcarme valores, sin tu apoyo no sería posible lograr esta meta ¡Gracias por darme la vida! ¡Te quiero mucho!

A ti Papá

Carlos Mendoza Malca, gracias por ser el pilar fundamental de la familia, por tu apoyo incondicional para ser un profesional y persona de bien.

A mis Hermanos

Orlando, Yover, Idelma, Mirelia, Porque siempre he contado con su apoyo en momentos criticos, gracias por la confianza y amistad que mantenemos ¡Gracias!

AGRADECIMIENTO

A Dios

por brindarme fortaleza, sabiduría e inteligencia para afrontar cada etapa de mi desarrollo personal y profesional.

A mis maestros por trasmitir sus conocimientos para mi desarrollo profesional, en especial al MCs. Ing. Edgar Darwin Diaz Mori por el asesoramiento para culminar este trabajo, al Ing. Efraín Humberto Quintanilla Castro por sus orientaciones.

Al Glgo. Marco Alfredo Sánchez Peña, por el apoyo en la clasificación de los macroinvertebrados bentónicos.

A mis familiares y amigos, por su apoyo invaluable, los recordaré con gratitud toda mi vida.

CONTENIDO

DEDICATORIA:	v
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II	5
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Antecedentes	5
2.2. Bases teóricas	15
2.2.1. <i>Cuenca hidrográfica</i>	15
2.2.2. <i>Ciclo hidrológico</i>	17
2.2.3. <i>El agua</i>	17
2.2.4. <i>Calidad del agua</i>	18
2.2.5. <i>Contaminación del agua</i>	19
2.2.6. <i>Usos del agua</i>	19
2.2.7. <i>Estructura y funcionamiento del ecosistema fluvial</i>	20
2.2.8. <i>Bioindicadores</i>	21
2.2.9. <i>Macroinvertebrados bentónicos</i>	22
2.2.10. <i>Principales órdenes de macroinvertebrados</i>	22
2.2.11. <i>Índices bióticos</i>	24
2.2.12. <i>Parámetros fisicoquímicos</i>	28
2.3. Definición de términos básicos	33
2.3.1. <i>Indicadores biológicos</i>	33
2.3.2. <i>Bioindicador</i>	33
2.3.3. <i>Indicadores morfológicos</i>	33
2.3.4. <i>Hábitat</i>	34
2.3.5. <i>Calidad fisicoquímica</i>	34
2.3.6. <i>DBO</i>	34
2.3.7. <i>Ninfa</i>	34
CAPÍTULO III.....	35
MATERIALES Y MÉTODOS	35
3.1. Ubicación del área de estudio.....	35
3.2. Descripción de los puntos de monitoreo	36

3.3. Método estadístico utilizado.....	38
3.4. Materiales y equipos de laboratorio para análisis fisicoquímico y biológico	38
3.5. Descripción de la metodología.....	39
3.5.1. <i>Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos</i>	39
3.5.2. <i>Procedimiento de trabajo</i>	41
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	42
CAPÍTULO IV.....	43
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1 Parámetros fisicoquímicos del río La Llanga.....	43
4.1.1. <i>Época seca</i>	43
A. Fluoruro.....	45
B. Cloruro	46
C. Nitritos.....	47
D. Bromuro.....	48
E. Nitrato.....	49
F. Sulfato	50
G. Fosfato	51
H. pH	52
I. Conductividad eléctrica.....	53
J. Dureza total	54
K. Oxígeno disuelto	55
4.1.2. <i>Época de lluvia</i>	57
A. Fluoruro.....	59
B. Cloruro	60
C. Nitrito.....	61
D. Bromuro.....	62
E. Nitrato.....	63
F. Sulfato	64
G. Fosfato	65
H. pH	66
I. Conductividad eléctrica.....	67
J. Dureza total	68
K. Oxígeno disuelto	69
4.1.3. <i>Análisis estadístico</i>	73
A. Fluoruro.....	73

B.	Cloruro	75
C.	Nitrito.....	77
D.	Bromuro.....	79
E.	Nitrato.....	81
F.	Sulfato	83
G.	Fosfato	85
H.	pH	87
I.	Conductividad eléctrica.....	89
J.	Dureza total	91
K.	Oxígeno disuelto	93
4.2.	Macroinvertebrados bentónicos del río La Llanga.....	95
4.2.1.	<i>Orden de los macro invertebrados bentónicos del río La Llanga.....</i>	96
4.2.2.	<i>Familia de los macro invertebrados bentónicos del río La Llanga</i>	96
4.2.3.	<i>Número de individuos de macro invertebrados bentónicos en puntos de monitoreo por época del río La Llanga</i>	97
4.2.4.	<i>Índice Biological Monitoring Working Party BMWP/Col.</i>	103
4.2.5.	<i>Índice EPT - Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera</i>	106
CAPÍTULO V	110	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110	
5.1.	Conclusiones	110
5.2.	Recomendaciones.....	111
CAPÍTULO V	112	
REFERENCIAS.....	112	
CAPÍTULO VI.....	117	
ANEXOS	117	
6.1	ANEXO I: Registro fotográfico	117
6.2.	ANEXO II: Informes de Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca: parámetros físico químico.....	121
6.2.1.	<i>Época de estiaje.....</i>	121
6.2.2.	<i>Época de lluvia</i>	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores de los parámetros de la Categoría 3, del ECA Nacional para Aguas ..	28
Tabla 2 Ubicación geo-referenciada de los puntos de monitoreo del río La Llanga	37
Tabla 3 Programación de monitoreo	42
Tabla 4 Parámetros fisicoquímicos - época seca	44
Tabla 5 Parámetros fisicoquímicos - época de lluvia	58
Tabla 6 Correlación fluoruro.....	73
Tabla 7 Correlación cloruro	75
Tabla 8 Correlación nitrito	77
Tabla 9 Correlación bromuro.....	79
Tabla 10 Correlación nitrato	81
Tabla 11 Correlación sulfato.....	83
Tabla 12 Correlación fosfato.....	85
Tabla 13 Correlación pH.....	87
Tabla 14 Correlación conductividad eléctrica	89
Tabla 15 Correlación dureza total	91
Tabla 16 Correlación oxígeno disuelto	93
Tabla 17 Macroinvertebrados por orden y familia.....	95
Tabla 18 Cálculo Índice Biótico de Familias - IBF	101
Tabla 19 Promedio por época y total IBF	102
Tabla 20 Cálculo de Índice Biological Monitoring Working Party BMWWP/Col.....	104
Tabla 21 Promedio por época y total BMWWP/Col	105
Tabla 22 Cálculo del índice EPT	107
Tabla 23 Promedio por época y total EPT	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del río La Llana	37
Figura 2 Ubicación de los puntos de control	38
Figura 3 Fluoruros	47
Figura 4 Cloruros	48
Figura 5 Nitritos	49
Figura 6 Bromuro	50
Figura 7 Nitrato	51
Figura 8 Sulfato	52
Figura 9 Fosfato	53
Figura 10 pH	54
Figura 11 Conductividad Eléctrica	55
Figura 12 Dureza Total	56
Figura 13 Oxígeno Disuelto	57
Figura 14 Fluoruros	60
Figura 15 Cloruros	61
Figura 16 Nitritos	62
Figura 17 Bromuro	63
Figura 18 Nitratos	64
Figura 19 Sulfatos	65
Figura 20 Fosfato	66
Figura 21 pH	67
Figura 22 Conductividad Eléctrica	68
Figura 23 Dureza Total	69
Figura 24 Oxígeno Disuelto	70
Figura 25 Regresión Fluoruro	73
Figura 26 Regresión Cloruro	75
Figura 27 Regresión Nitrito	77
Figura 28 Regresión Bromuro	79
Figura 29 Regresión Nitrato	81
Figura 30 Regresión Sulfato	83
Figura 31 Regresión Fosfato	85

Figura 32 Regresion pH.....	87
Figura 33 Regresion Conductividad Electrica	89
Figura 34 Regresion Dureza Total.....	91
Figura 35 Regresion Oxigeno Disuelto	93
Figura 36 Numero de individuos según orden de Macroinvertebrados.....	95
Figura 37 Numero de individuos según familia de Macroinvertebrados.....	96
Figura 38 Numero de individuos/epoca /punto de control	97
Figura 39 Toma de muestra rio La Llanga PI.....	118
Figura 40 Toma de muestra rio La Llanga P3	118
Figura 41 Toma de muestra rio La Llanga P6	119
Figura 42 Baelidae	119
Figura 43 Dyticidae	120
Figura 45 Elmidae.....	120
Figura 46 Empididae.....	120
Figura 47 Perlidae.....	121
Figura 48 Griporterygidae	121
Figura 49 Hidrophilidae.....	122
Figura 50 Hidroptilidae.....	123
Figura 51 Notoneumoridae	123
Figura 52 Tabanidae	124

RESUMEN

El presente estudio de investigación se realizó en el río La Llanga que se encuentra ubicado al norte de la provincia de Celendín en el departamento de Cajamarca. Se realizó en 6 puntos de control, para el análisis fisicoquímico (pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, nitritos, nitratos y dureza total) se tomó una muestra por cada punto de monitoreo. El estudio se realizó durante los meses de febrero y julio del 2024, debido a que estos meses se presentan la época de lluvia y de estiaje respectivamente. Para la caracterización de los macro invertebrados bentónicos se utilizó la red Surber colocando en sentido contrario a la corriente, removiendo las rocas y el sustrato durante 5 minutos, posteriormente se aplicaron los índices biológicos para determinar la calidad del agua: IBF, BMWP/Col. y EPT, se colectaron e identificaron 1383 individuos distribuidos en 14 familias y 8 órdenes de macroinvertebrados bentónicos; para el índice IBF muestran un valor promedio total para este índice de 3.05 equivalente a su calificación “excelente”, indicando que no existe contaminación orgánica en el segmento estudiado; para el índice BMWP/Col. los valores obtenidos muestran una calificación para la calidad del agua de “buena” – aguas muy limpias no contaminadas o poco alteradas para ambas épocas y para el índice ETP muestran valores de 63 para la época de lluvia con una calificación de “excelente” y de 75 para la época de estiaje con un calificación de “excelente”. Para los parámetros fisicoquímicos los resultados en las seis estaciones de muestreo indican que cumplen los rangos ECA Agua de la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Palabras Clave: Calidad del agua, macro invertebrados bentónicos, IBF, BMWP/Col. y EPT.

ABSTRACT

This research study was carried out on the La Llanga River, which is located in the north of the province of Celendín in the department of Cajamarca. A sample was taken at 6 control points for physicochemical analysis (pH, electrical conductivity, dissolved oxygen, nitrites, nitrates and total hardness) for each monitoring point. The study was carried out during the months of February and July 2024, because these months are the rainy and dry season, respectively. For the characterization of the benthic macro invertebrates, the Surber net was used, placing in the opposite direction to the current, removing the rocks and the substrate for 5 minutes, then the biological indices were applied to determine the quality of the water: IBF, BMWP/Col. and EPT, 1383 individuals distributed in 14 families and 8 orders of benthic macroinvertebrates were collected and identified; for the IBF index they show a total average value for this index of 3.05 equivalent to their "excellent" rating, indicating that there is no organic pollution in the segment studied; for the BMWP/Col. index, the values obtained show a water quality rating of "good" – very clean, unpolluted or little altered water for both seasons, and for the ETP index they show values of 63 for the rainy season with a rating of "excellent" and 75 for the dry season with a rating of "excellent". For the physicochemical parameters, the results in the six sampling stations indicate that they meet the ECA Water Category 3: Irrigation of vegetables and animal drinking, of Supreme Decree No. 004-2017-MINAM.

Keywords: Water quality, benthic macro invertebrates, IBF, BMWP/Col. and EPT.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En el Perú, la riqueza de ecosistemas acuáticos es una de las manifestaciones más destacadas de su biodiversidad. Los ríos, que atraviesan diversas regiones del país, desde las alturas de los Andes hasta la llanura amazónica, son el hogar de una gran variedad de organismos. Entre ellos, los macroinvertebrados bentónicos desempeñan un papel fundamental en el funcionamiento de estos ecosistemas y en la evaluación de su calidad ambiental. Estos organismos, que incluyen insectos acuáticos, crustáceos, moluscos y anélidos, entre otros, han sido ampliamente utilizados como indicadores biológicos en el monitoreo de la calidad del agua, dada su sensibilidad a los cambios en las condiciones ambientales (Bullón Alcalá, 2016).

El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad del agua se basa en principios ecológicos bien establecidos. Estos organismos responden de manera predecible a diversos factores como la contaminación orgánica, la presencia de metales pesados, el cambio en las condiciones de oxígeno disuelto y las alteraciones en el hábitat físico. La composición de las comunidades de macroinvertebrados en un cuerpo de agua refleja las condiciones ambientales imperantes. Por ejemplo, en ríos con buena calidad del agua, suelen predominar especies sensibles como las efímeras, los plecópteros y los tricópteros. En cambio, en aguas contaminadas, aumentan las especies tolerantes como los oligoquetos y los

quironómidos. Este patrón permite clasificar los cuerpos de agua en diferentes categorías de calidad, desde áreas prístinas hasta ambientes altamente impactados (Navarro Sandoval, 2013).

En el contexto peruano, la aplicación de los macroinvertebrados bentónicos como herramientas de monitoreo enfrenta retos particulares debido a la gran diversidad biológica y geográfica del país. La variabilidad en altitud, clima y tipos de suelos genera un mosaico de condiciones que influye en la composición de las comunidades bentónicas. A pesar de estos desafíos, se han realizado importantes avances en la caracterización de estas comunidades y en el desarrollo de índices biológicos adaptados a las condiciones locales. Estos esfuerzos incluyen el establecimiento de protocolos estandarizados para el muestreo y análisis de macroinvertebrados, así como la creación de bases de datos que documentan la distribución y ecología de estas especies en diferentes regiones del país. El uso de macroinvertebrados como indicadores biológicos presenta ventajas significativas en comparación con los métodos químicos y físicos tradicionales para evaluar la calidad del agua. Mientras que las pruebas químicas ofrecen una “foto instantánea” de las condiciones del agua en el momento del muestreo, los macroinvertebrados proporcionan una visión más integral y a largo plazo de las condiciones ecológicas. Esto se debe a que los organismos bentónicos tienen ciclos de vida relativamente largos y permanecen en contacto constante con el sedimento y el agua, lo que los hace ideales para detectar impactos acumulativos y crónicos. Además, el análisis de comunidades bentónicas no requiere equipamiento complejo ni costoso, lo que facilita su aplicación en regiones remotas y con recursos limitados, como muchas áreas del Perú (Cavalcanti Muñoz, 2014).

Un aspecto clave en el uso de macroinvertebrados como indicadores biológicos es la identificación taxonómica precisa de las especies presentes. Esto puede ser desafiante, especialmente en un país megadiverso como el Perú, donde muchas especies aún no han sido descritas científicamente. Sin embargo, el desarrollo de herramientas moleculares como el

código de barras de ADN está revolucionando la capacidad de identificar rápidamente estas especies, mejorando la resolución taxonómica y la aplicación de índices biológicos. Estas tecnologías complementan los enfoques tradicionales y están ayudando a superar limitaciones asociadas a la falta de expertos taxónomos en algunas regiones. A pesar de sus ventajas, la implementación generalizada de los macroinvertebrados bentónicos en el monitoreo ambiental también enfrenta barreras. Entre ellas se encuentran la necesidad de capacitación especializada para el muestreo y análisis, así como la estandarización de los métodos a nivel nacional. Además, la inclusión de comunidades locales y actores regionales en los programas de monitoreo es crucial para garantizar la sostenibilidad y aceptación de estas iniciativas. La participación comunitaria no solo fortalece la gestión ambiental, sino que también fomenta la conciencia sobre la importancia de proteger los recursos hídricos (Orellana Angel, 2016).

El agua del río La Llanga es un recurso de vital importancia para la vida, debido a que brinda servicios a los pobladores de ambos márgenes del río para sus diferentes actividades como: riego de cultivos frutales, turismo, consumo humano, entre otros. A pesar de ello, dicho recurso está propenso a sufrir alteraciones debido a la evacuación de aguas residuales domésticas, en mayor dimensión del sector turismo y de diversas actividades agrícolas como: ganadería y utilización de agroquímicos. Por esta razón se tiene la necesidad de conocer la calidad del agua mediante un análisis fisicoquímico y biológico mediante la presencia de macroinvertebrados bentónicos, para advertir a los pobladores sobre los posibles riesgos de contaminación que puede sufrir este recurso, afectando al ser humano, flora, fauna y al cambio climático. La presente investigación se justifica, desde el punto metodológico y práctico, ya que en la parte ejecutoria se llevó a cabo mediante el uso de parámetros fisicoquímicos, así como por medio de indicadores basado en la presencia de macroinvertebrados bentónicos durante la época o estación de verano e invierno. Desde el punto de vista teórico, la presente investigación proporcionará datos sobre las condiciones actuales que tienen las aguas del río

La Llanga, esta información servirá como base de datos para otros investigadores cuya temática de estudio tenga coincidencias con la presente investigación. Desde el punto o perspectiva social, la presente investigación beneficiará a los pobladores de las zonas aledañas al río La Llanga, ya que ellos son los principales actores directos de las aguas generadas en la microcuenca del río La Llanga. Esta población tendrá a su alcance, los resultados obtenidos en el presente estudio para que puedan evidenciar si la calidad de las aguas es buena o mala. Se planteó como objetivo general determinar la calidad del agua del río La Llanga a través de los macroinvertebrados bentónicos y parámetros fisicoquímicos y como objetivos específicos: determinar los parámetros del agua del río La Llanga mediante sus propiedades fisicoquímicas, identificar las familias de macroinvertebrados bentónicos que habitan en el río La Llanga y determinar los índices de *Ephemeroptera* *Plecoptera* y *Trichoptera* (EPT), índice Biótico de Familia (IBF), Índice BMWP/Col para determinar la calidad de las aguas del río La Llanga, Celendín.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes

Guevara Solón (2024) determinó la calidad del agua utilizando macro invertebrados bentónicos en el río San Lucas del distrito de Cajamarca - provincia de Cajamarca durante los meses de enero y julio del 2019 correspondiendo a los períodos de avenidas y estiaje, se establecieron 8 estaciones de muestreo a lo largo de esta fuente de agua. Se utilizó la metodología de la red Surber para la recolección de macro invertebrados bentónicos con tres repeticiones por estación de muestreo, para determinar la calidad del agua se aplicaron los índices biológicos BMWP/Col, ABI y EPT, asimismo, en cada estación de monitoreo se midieron parámetros fisicoquímicos oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), nitratos (NO_3^-) y temperatura (T°). Como resultado se identificaron 1774 individuos de macro invertebrados, distribuidas en 32 familias, 8 clases y 13 órdenes; según el índice BMWP/Col indica agua de calidad dudosa, el índice ABI indica agua de calidad moderada y el índice EPT presenta agua de calidad mala; según los parámetros fisicoquímicos los resultados en la estación de muestreo 6 – estación de muestro 8 están entre los rangos ECA para agua, mientras que en las estación de muestreo 1- estación de muestro 5 están fuera los rangos; y según el análisis de correlación de Pearson mostró que sólo el oxígeno disuelto y la temperatura correlacionaron con el índice biológico BMWP/Col, ABI y EPT. (p.18)

Idrogo Uriarte (2024) evaluó la calidad del agua del río Chotano en el tramo Lajas – Cochabamba mediante la caracterización biológica y fisicoquímica, durante los meses de febrero del 2020 y octubre del 2020; se determinó la calidad del agua mediante los índices bióticos: Índice Biótico de la Familia (IBF), *Ephemeroptera Plecóptera y Trichoptera* (EPT) y el BMWP/Col, para los cuales se utilizó los valores de ponderación establecidos para cada índice biótico; se obtuvo como resultado la identificación de 1048 macroinvertebrados pertenecientes a 10 órdenes y 17 familias distribuidos en 8 puntos de monitoreo; el índice IBF obtuvo un puntaje promedio de 5,20 estableciendo que se tiene una calidad de agua “mala” con contaminación orgánica presente, el índice EPT obtuvo un puntaje promedio de 1,9 estableciendo la calidad de agua “muy pobre” severamente impactado y el índice BMWP/Col obtuvo un puntaje promedio de 27,5 estableciendo una calidad de agua “crítica” muy contaminadas; así mismo se evaluaron los parámetros fisicoquímicos como: conductividad eléctrica (CE), potencial de hidrógeno (pH), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), oxígeno disuelto (OD), fosfatos (PO₄), temperatura (T°), nitratos/nitritos, dureza total y caudal, los cuales se encuentran dentro de los estándares estipulados en el D.S.N°004-2017.MINAM, ECA para agua, categoría 4 (conservación del ambiente acuático); para la subcategoría E2 ríos (costa y sierra), a excepción de la DBO₅ y los fosfatos, que excedieron los estándares establecidos en la normativa peruana en los puntos de monitoreo P1 (13,5 mgO₂/L), P2 (11 mgO₂/L) y P3 (15,8 mgO₂/L) de la época seca para la DBO₅; y en los puntos de monitoreo P1 (0,085 y 0.065 mg/L) de la época seca y húmeda y P3 (0.133 mg/L) de la época seca para los fosfatos. (p.12)

Quesada y Urbano (2023) determinó macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la calidad de agua del río Rímac, teniendo como objetivo emplear macroinvertebrados bentónicos (MIB) para evaluar la calidad del agua del río Rímac, Lima-Perú, durante la época de estiaje del 2022. Se establecieron 03 estaciones de muestreo (R1 – R3) considerando las fuentes de contaminación. En cada estación fueron medidos parámetros

fisicoquímicos (velocidad media del agua, pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos totales disueltos (STD), oxígeno disuelto (OD), turbidez y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)) y meteorológicos (temperatura, humedad relativa, y velocidad del viento). Además, se usó una red Surber para recolectar los macroinvertebrados bentónicos que fueron identificados con ayuda del índice biótico adaptado para ríos del norte del Perú (nPeBMWP). En R1 se detectó una DBO relativamente alta de 4.97 mg/l generada por la materia orgánica, la CE en R2 es 556.27 (μ S/cm) que da indicio de presencia de iones, la turbidez de R3 igual a 5.99 UNT fue mayor debido a la velocidad media y al estrato que la conforman, resaltar que todos estuvieron por debajo del límite que señala el ECA – agua D.S. N°004-2017-MINAM. Pero debido a los resultados demostrados por nPeBMWP que señalan que el agua está contaminada no se descarta la presencia de otros contaminantes ya que la identificación de familias como *Oligochaeta*, *Hydracarina*, *Ceratopogonidae*, *Chironomidae*, etc. indican mala calidad de este recurso hídrico. Finalmente se acepta que los MIB son buenos bioindicadores de calidad de agua gracias a su simple recolección y bajo costo, que ayudaron a demostrar el estado de tres estaciones del río Rímac. (p.6)

Hoyos Pompa (2019) determinó la calidad del agua en función a la presencia de macroinvertebrados bentónicos y parámetros fisicoquímicos en el río Muyoc Grande, distrito de Miguel Iglesias, provincia de Celendín, departamento de Cajamarca; el período de evaluación fue de octubre del 2018 a enero del 2019, se establecieron en seis puntos de monitoreo a lo largo de esta fuente de agua. Se utilizó la metodología establecida por Roldán 2012, donde se utilizó la red Surber colocándola en sentido contrario a la corriente del río, removiendo el sustrato durante los cinco primeros minutos y dejándola por un período de treinta minutos con la finalidad de capturar la mayor diversidad de macroinvertebrados bentónicos; se hicieron tres repeticiones por punto de monitoreo y se aplicaron los índices bióticos: *Ephemeroptera*, *Plecóptera* y *Trichoptera* (EPT), Índice Biological Monitoring

Working Party (BMWP/Col), Índice Biótico Andino (ABI) y el índice biótico de la familia (IBF); además se tomaron en cuenta los parámetros fisicoquímicos: pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, nitritos/nitratos y la dureza total. El EPT muestra una calidad del agua “pobre” en la estación seca y, húmeda; el Índice BMWP/col manifiesta una calidad del agua “crítica” en estación seca y húmeda; el Índice ABI presenta una calidad del agua “moderada” en la época seca y una calidad “mala” en la época húmeda y finalmente en el índice IBF presenta una calidad del agua “pobre”. Los parámetros fisicoquímicos presentaron los siguientes valores más representativos: el oxígeno disuelto con valor mínimo de 6.37 en el P1 y un valor máximo de 8.49 mgO₂/L en el P5; la temperatura tiene un valor mínimo de 7.5°C en el P1 y un valor máximo de 10°C en el P5; la conductividad eléctrica tiene un valor mínimo de 224.3 en el P3 y un máximo de 322.2 uS/cm en el P1; la dureza total tiene un valor mínimo de 123.9 en el P3 y un máximo de 181.0 mg/L en el P1 y los nitritos/nitratos, encontrándose dentro de los ECA (Estándares de Calidad Ambiental) según el DS, N°004-2017-MINAM; excepto el pH en la estación húmeda en los puntos P3, P5 y P6 con valores 8.67, 8.79 y 8.75 respectivamente, no cumplen con los ECA. (p.9)

Jáuregui Araujo (2019) determinó de la calidad del agua empleando macroinvertebrados bentónicos y parámetros fisicoquímicos en el río Sendamal, Celendín”, tuvo como objetivo caracterizar las aguas del río Sendamal en los distritos de Sucre, Sorochuco y Huasmín en la provincia de Celendín, Cajamarca, Perú, en nueve estaciones de monitoreo en el año 2018, durante los meses de mayo y agosto correspondiendo a los períodos de avenidas y estiaje respectivamente. En cada estación de monitoreo se midieron parámetros fisicoquímicos oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE), pH, dureza, nitratos, nitritos y temperatura (T°). Así mismo se recolectaron macroinvertebrados bentónicos con tres repeticiones por punto de monitoreo, para determinar la biodiversidad por medio de los índices bióticos como: EPT (Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera), índice biótico andino (ABI) y

el Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col). Los individuos encontrados pertenecieron a 3 clases, 10 órdenes y 30 familias, el índice EPT, muestra que en las dos épocas de monitoreo el río Sendamal con una calidad de agua moderadamente impactada; el índice BMWP/ col, muestra un agua de aceptable calidad, mientras que en la época húmeda califica como dudosa calidad; según los resultados del índice ABI, en los promedios de época seca presenta una buena calidad de agua, mientras que la época húmeda presentó una clasificación de calidad moderada. (p.1)

Mora et al. (2020) evaluaron la calidad del agua de la cuenca río Huacamarcanga, ubicado en la sierra del norte peruano durante los meses de junio (época de estiaje) y diciembre (época de lluvias); del año 2017, para ello, se utilizó como indicadores a los macroinvertebrados bentónicos, el Índice BMWP (Biological Monitoring Working Party) adaptado para norte de Perú y parámetros fisicoquímicos: temperatura (grados centígrados), pH (cantidad de iones de hidrógeno), oxígeno disuelto (mg/L), conductibilidad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), fosfatos (mg/L), sulfatos (mg/L). Se establecieron 4 puntos de muestreo a lo largo de la cuenca (entre los 3780 a 3725 m.s.n.m). Los resultados mostraron una calidad de agua variable entre buena a crítica en época de estiaje y de aceptable a crítica en época lluviosa; los parámetros fisicoquímicos cumplieron con los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) para Categoría 3 y 4 establecidos en el DS N°004-2017 MINAM. (p.1)

Azabache Coronado (2018) determinó de la calidad ecológica del agua de los ríos Porcón, Grande y Mashcón- Cajamarca, en función de la macrofauna bentónica como bioindicadores en cinco estaciones muestrales en tres ríos de la región Cajamarca, dos en el río Porcón, dos en el río Grande y una en el río Mashcón, con muestras por triplicado en cada estación, durante los periodos de lluvia (enero) y sequia (setiembre) de los años 2012 y 2013. Se evaluaron la temperatura, pH, descarga, turbiedad, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica. Se determinó la estructura poblacional de la macrofauna bentónica, constituida por 5

phyla: Cnidaria, Annelida, Nematoda, Mollusca y Arthropoda; 10 órdenes y 23 familias; los órdenes y sus géneros más abundantes, fueron: Tricóptera (28,6%), con Sericostoma (1°), Ochrotrichia (2°) y Atanatolica (6°); Díptera (25%), con Alluaudomyia (3°), Chironomus (5°) y Tipula (10°); Coleóptera (10,7%), con Latelmis (4°); Efemeróptera (7%), con Baetis (7°); Haplotáxida (7,1%), con Lumbriculus (8°); Hydriida (3,6%), con Hydra (9°); Bassommatophora y Plecóptera (3,6%), respectivamente. La calidad ecológica de las aguas, fue determinada por la calidad ambiental a través de los parámetros físico- químicos, y por la calidad biológica a través de los índices bióticos y de diversidad; la primera de acuerdo a los Estándares de Calidad (ECA) del MINAM, y la segunda de acuerdo al índice multimétrico IMEERA, con el que se valoró de buena a excelente calidad para el río Grande, de regular calidad para el río Mashcón, y de regular a pésima calidad para el río Porcón, calificando la calidad ecológica de las aguas dentro de la categoría A3 (que pueden ser utilizadas para agricultura y pecuaria), según los Estándares ECA del MINAM. Los nichos ecológicos reportados en orden de dominancia fueron: los Colectores-recolectores, representados por efemerópteros, dípteros, tricópteros y plecópteros; los Depredadores, Trepadores, Fijadores, Trituradores, Raspadores y Filtradores, presentes con menor relevancia. Los organismos Taxa/tolerantes dominaron sobre los Taxa/intolerantes en los tres ríos, con mayor expresión durante las épocas de sequía. (p.15)

Romero y Tarrillo (2017) evaluó la calidad del agua se altera producto de las diversas actividades antrópicas y naturales, por lo tanto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua utilizando macroinvertebrados bentónicos como indicadores bióticos en la quebrada Chambag, Santa Cruz, Cajamarca, durante agosto, diciembre 2016 y marzo 2017, en 5 puntos de muestreo, teniendo como resultado la identificación de 8 órdenes y 17 familia de MIB, de las que destacan Díptera, Ephemeroptera y Coleóptera, en cuanto a la aplicación del índice ETP se obtuvo que la calidad del agua en los 5 puntos de muestreo fue pobre, con

respecto al índice BMWP, en el punto QC-R tiene una calidad ligeramente contaminada, en los puntos QC-01, QC-02 tiene una calidad dudosa y los puntos QC-03, QC-04, están con una calidad crítica, este último índice guarda relación con los resultados del índice ABI, con una calidad buena, moderada y mala respectivamente; por otro lado se realizó una caracterización fisicoquímica con los siguientes parámetros: caudal, temperatura, pH conductividad eléctrica, DBO y oxígeno disuelto, estando la mayoría de estos dentro de límites de la normatividad peruana a excepción del OD, ya que en los puntos QC- 03 del mes de diciembre del 2016 y QC-04 de diciembre y marzo se encontraron por debajo de las Subcategoría D2 Bebida de animales. (p.10)

Yépez et al. (2017) tuvo como objetivos caracterizar las condiciones físico-químicas del agua, identificar la diversidad de macroinvertebrados bentónicos y determinar la calidad hídrica en dos sitios urbanos de monitoreo del río en la ciudad de Quevedo. Los muestreos se realizaron desde septiembre a noviembre del 2015, en sitios influenciados por descargas de efluentes residenciales (ER) y agrícolas-industriales (EAI). Se midieron los parámetros físico-químicos de calidad del agua: oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos disueltos totales. Se estimaron los índices de riqueza CHAO2, diversidad de Shannon- Weiner (H), dominancia de Simpson (1-D) y disimilitud de Bray-Curtis. La calidad del agua fue estimada con el índice Biological Monitoring Working Party (BMWP-Col). Los valores de los parámetros físico-químicos no presentaron diferencias entre ER y EAI. No existieron diferencias estadísticas entre la riqueza de familias esperada (CHAO2) y la riqueza observada. La familia Tubificidae mostró la mayor abundancia total con 4574 individuos (90.48%), para ER 3918 individuos (93%) y EAI 656 (76%). La diversidad H en ER y EAI fue baja 0.49 ± 0.22 ; 1.009 ± 0.21 respectivamente, y difirieron significativamente. La dominancia más alta la presentó ER (0.78 ± 0.1), y difirió de EAI (0.58 ± 0.096). El índice BMWP-Col indicó que ER registró calidad de agua “crítica” (20 ± 7.52), en comparación a EAI

calidad de agua “dudosa” (37 ± 6.27). El cuerpo hídrico que atraviesa la zona urbana de Quevedo se encontró fuertemente contaminado a causa del urbanismo y las actividades agrícolas e industriales lo que influye negativamente en la estructura de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos. (p.27)

Bullón Alcalá (2016) caracterizó la calidad de las aguas de la cuenca del río del Perené en la provincia de Chanchamayo, mediante la utilización de índices biológicos, complementada con parámetros fisicoquímicos. Se definieron nueve puntos de monitoreo de acuerdo al estudio de identificación de fuentes contaminantes desarrollado en el área. Se obtuvieron muestras de agua para la determinación de parámetros fisicoquímicos y se determinó la calidad de las aguas de acuerdo a los ECA Agua establecidos. Las muestras de macroinvertebrados bentónicos se colectaron utilizando una red Surber y se determinaron los índices de Shannon-Weaver (H'), Índice Biótico de Familias (IBF), Biological Monitoring Working Party adaptado a Colombia (BMWP/col) y el índice de Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera (EPT). Los resultados de los parámetros fisicoquímicos identifican que existe afectación por Coliformes Termotolerantes y Sólidos Suspendidos totales en el área de estudio. Se registraron en total 456 individuos, distribuidos en tres clases, 10 órdenes y 25 familias de macroinvertebrados. Se concluye que existe afectación por Coliformes Termotolerantes a lo largo de la cuenca, asimismo se sobrepasa los límites de Solidos Suspendidos Totales, ya que se presentan valores que exceden los ECA- Agua, esto debido a las presiones significativas que ejercen las actividades antrópicas en el área. Los índices bióticos mostraron cierta similitud, muestran probable calidad de agua aceptable en el punto 7 y a diferencia de ello, aguas de moderada contaminación en el punto 2. Aunque hubo algunas leves variaciones al comparar los resultados por índices biológicos con los fisicoquímicos, estos complementaron el estudio, pues las tendencias mostradas por ambos métodos fueron similares. (p.9)

Vásquez y Medina (2014) evaluaron la calidad del agua según los macroinvertebrados bentónicos y parámetros físico-químicos en la microcuenca del río Tablachaca (Ancash, Perú), evaluaron la calidad del agua utilizando como indicadores a los macroinvertebrados acuáticos y a algunos parámetros físico-químicos: pH, nitritos LR (mg/L), nitratos (mg/L), fosfatos (mg/L), Cromo VI HR (μ g/L) y Aluminio (mg/L), en ocho puntos de muestreo en la microcuenca del río Tablachaca (distrito de Pampas, provincia de Pallasca, departamento de Ancash, Perú), entre agosto y diciembre del 2014. Se encontró que los parámetros fisicoquímicos cumplen con lo establecido en el DS 002- 2008-MINAM, a excepción de los fosfatos cuyas concentraciones sobrepasan los límites permisibles para el agua destinada a riego de vegetales y bebida para animales; asimismo, que, según el índice biótico nPeBMWP, los ríos Paragón y Puente Hondo presentan agua de calidad biológica aceptable, en tanto que el río Pampas de calidad biológica pésima. (p.75)

Trama y Mejía (2013) describieron la estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados presentes en partes del sistema de riego y en parcelas de cultivo de arroz del sector Muñuela Margen Derecho en el Bajo Piura, Perú. Se evaluó la colonización de macroinvertebrados tomando en sustratos artificiales muestras en tres puntos principales del sistema de canales: P1 (entrada de agua de riego), P2 (drenaje principal) y P3 (canal que desemboca en los Manglares de San Pedro de Vice) y en tres parcelas de arroz individuales del sector de riego seleccionado. Los resultados indican que las comunidades de macroinvertebrados variaron entre los tres puntos de muestreo principales y entre las tres parcelas de arroz: En el punto P1 se encontró una riqueza media de familias de 11, una riqueza media de especies de 16, la diversidad con el índice de Shannon-Wiener de 2.24 y una abundancia media de macroinvertebrados de 450, siendo estos valores mayores que en P2 y P3 (siempre con valores de $P < 0,01$). Las parcelas de arroz evaluadas individualmente presentaron diferencias entre sí, pero siempre mostraron valores de riqueza, diversidad y abundancia

menores que en los puntos principales de muestreo. Algunos de los parámetros fisicoquímicos (conductividad eléctrica, salinidad y oxígeno disuelto) y nutrientes evaluados (fósforo y fuentes de nitrógeno inorgánico total) explican las respuestas observadas en la variación de la estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados entre los diferentes puntos de muestreo evaluados. Los resultados del presente estudio dan a conocer una primera aproximación a las comunidades de macroinvertebrados en estos agroecosistemas y en el sistema de riego, que en el futuro podrían ser utilizados como indicadores de la calidad de agua para mejorar las prácticas de manejo del cultivo. Palabras clave: agroecosistemas, macroinvertebrados, arroz, riego, Piura. (p.147)

Guevara (2013) evaluó la comunidad de macroinvertebrados en quebradas de la cuenca baja de Madre de Dios, especialmente en zonas donde se desarrolla actividad minera y zonas prístinas, analizó la composición y diversidad de seis quebradas en sustratos de bancos vegetados las cuales fueron evaluadas durante la estación seca (agosto 2011) y la estación húmeda (enero 2011). Las evaluaciones se realizaron en zonas reservadas, zona de amortiguamiento y zonas ubicadas fuera de estas dos últimas, correspondiendo a la subcuenca del Inambari y el Sector Intercuenca Medio de Madre de Dios. En cada quebrada se tomaron 3 submuestras, tomadas con una red tipo surber (30 x 30 cm, 250 µm) y fijadas en alcohol al 80%. Así mismo se midieron los principales parámetros fisicoquímicos, así como niveles de nitratos y mercurio, para evaluar en forma puntual las diferencias de calidad del agua entre las quebradas estudiadas. Se identificaron un total de 20078 individuos agrupadas en 156 taxa (UTO's) siendo predominante la clase Insecta. La prueba estadística de Wilcoxon-Mann-Whitney para la riqueza y estructura comunitaria de macroinvertebrados acuáticos, así como el análisis de similitud (ANOSIM) y de agrupamiento no Paramétrico de Escalamiento Multidimensional (nMDS) no mostraron diferencias temporales; mientras que la prueba de Kruskall- allis evidenció diferencias significativas a nivel espacial. Los resultados de estas

pruebas fueron asociados con la condición ecológica de las estaciones respecto a actividades mineras, identificadas principalmente mediante análisis de mercurio, turbidez (transparencia), medidas de integridad (RCE-RiparianChanel and EnvironmentalInventory) y otros parámetros como oxígeno disuelto, conductividad, sólidos totales disueltos. Los parámetros de riqueza, diversidad y equidad se correlacionaron positivamente con el oxígeno, pero negativamente con los sólidos totales disueltos, el cual a su vez se correlacionó negativamente con la riqueza y la diversidad. Así mismo la riqueza se correlacionó negativamente con la conductividad. Las métricas de bioindicación como diversidad de Shannon-Wiener (H'), ASPT, EPT, EPC y ElPT permitieron discriminar diferentes grados de impacto, donde una de las estaciones de estudio (E3: La Pastora), mostró las peores condiciones, mientras que la estación en fundo INKATERRA (C2) fue la más conservada, colocando a las demás en condiciones intermedias. No se encontraron relaciones de la comunidad de macroinvertebrados con el mercurio en sedimento, sin embargo, si fue con el oxígeno disuelto en agua, los sólidos totales disueltos, turbidez, nitratos y en general la integridad de bosque, los cuales son factores importantes para sostener una adecuada diversidad de macroinvertebrados acuáticos. Esto demuestra la capacidad de los macroinvertebrados para detectar cambios y/o alteraciones en el medio ambiente producto de los diversos elementos que participan en la actividad minera. (p.14)

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Cuenca hidrográfica

Se refiere a un área que se encuentra definida topográficamente y se caracteriza porque de ella drena agua. Del mismo modo, tiene la función conectiva con otros cursos de agua disponiendo de ella un desfogue hacia el caudal efluente y, de esa manera, ser descargada. (Vasconez et al., 2019, p.16)

2.2.1.1. Funciones de las Cuencas Hidrográficas.

Según Vasconez et al. (2019) dentro de la cuenca, se tienen los componentes hidrológicos ecológicos, ambientales y socioeconómicos, cuyas funciones a continuación se describen:

2.2.1.1.1. Función Ambiental

La función ambiental de una cuenca hidrográfica se puede identificar por las siguientes acciones:

- Constituyen sumideros de CO₂.
- Alberga bancos de germoplasma.
- Regula la recarga hídrica.
- Conserva la biodiversidad.
- Mantiene la diversidad de los suelos. (p.16)

2.2.1.1.2. Función Ecológica

La función ecológica de una cuenca hidrográfica se puede identificar por las siguientes acciones:

- Provee hábitat para la fauna.
- Provee hábitat para la flora.
- Tiene influencia sobre la calidad física y química del agua. (p.16)

2.2.1.1.3. Función Hidrológica

La función hidrológica de una cuenca hidrográfica se puede identificar por las siguientes acciones:

- Drena el agua de la precipitación.

- Recarga las fuentes de agua subterránea.
- Recarga las fuentes de agua superficial. (p.17)

2.2.1.1.4. Función Socioeconómica

La función económica de una cuenca hidrográfica se puede identificar por las siguientes acciones:

- Suministra recursos naturales renovables.
- Suministra recursos naturales no renovables.
- Provee espacio para el desarrollo social.
- Provee espacio para el desarrollo cultural. (p.17)

2.2.2. Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico se lleva a cabo en tres estratos del sistema terrestre: La atmósfera, o sea la capa gaseosa que envuelve al globo terráqueo, la litosfera que corresponde a la porción sólida de la superficie del globo y la hidrosfera, formada por los cuerpos de agua que cubren la superficie. A ciencia cierta no se sabe dónde se inicia el ciclo Hidrológico, pero se considera que por ocupar los mares y océanos el 70% de la superficie terrestre, es ahí donde se inicia el ciclo, ya que la evaporación proveniente de ellos es mucho más alta que la proveniente de la tierra y algunas partes de la atmósfera (Pizarro y González, 2023, p.18)

2.2.3. El agua

La palabra “agua” proviene del latín aqua, el agua es una sustancia cuyas moléculas triatómicas están compuestas por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno. El agua es un líquido inodoro (sin olor), insípido (sin sabor) e incoloro (sin color), aunque también puede hallarse en estado sólido (cuando se conoce como hielo) o en estado gaseoso (vapor). El agua es fuente de vida para todos los seres vivos. Por esta razón, es importante preservar este recurso natural. Sin embargo, el desmesurado crecimiento poblacional, hace que este recurso escasee

paulatinamente a través de los años. Otro problema es la contaminación que el ser humano produce en los recursos hídricos, esto hace que cada vez haya menos agua útil en el planeta y se habla de escasez de este bien. (Manrique, 2018, p.16)

2.2.4. *Calidad del agua*

La calidad del agua es un término variable en función al uso que se le va a dar al recurso, sin embargo, puede ser definida a través de las características físicas, químicas y biológicas. Además, la CCA (2014) indica que estas características afectan la capacidad del agua para sustentar tanto a las comunidades humanas, a la vida vegetal y animal. (Brack y Mendiola, 2006, citado por Castañeda, 2019, p.31)

Ramírez (2022) menciona que la calidad del agua, es un estado que esta, caracterizado por su composición físico-química y biológica. Este estado deberá permitir su empleo sin causar daño, para lo cual deberá reunir dos características; Estar exenta de sustancias y microorganismos que sean peligrosos para los consumidores y estar exenta de sustancias que le comuniquen sensaciones sensoriales desagradables para el consumo (color, turbiedad, olor, sabor). Según la Ley N°29338, en nuestro país la calidad del agua se ve regulada por el ministerio del ambiente que aprobó mediante el Decreto Supremo N°004- MINAM, recientemente actualizado, que modifica los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, los cuales se fijan en función a las categorías que reciben los cuerpos de agua como se menciona en dicha Ley. (p24)

2.2.4.1. *Estándares de calidad del agua.*

Según Autoridad Nacional del Agua (2018), el MINAM a través del D.S. N°004-2017-MINAM, aprueba los estándares de Calidad ambiental para agua y establecer Disposiciones Complementarias, el objeto de este decreto es compilar las disposiciones aprobadas mediante el D.S. N° 015-2015-MINAM, que aprueba los ECA-Agua, quedando sujeto a los establecido

en el presente decreto supremo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA-Agua y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos. (p.31)

El presente ECA-Agua aprobado en el año 2017, cuenta con 4 cuatro categorías y 17 subcategorías.

- Categoría 1: Poblacional y Recreacional
- Categoría 2: Extracción, Cultivo y otras actividades marino-costeras y continentales.
- Categoría 3: Riego de animales y bebida de animales
- Categoría 4: Conservación del Ambiente acuático

2.2.5. Contaminación del agua

En relación a la contaminación de las aguas, Sánchez (2019) plantea que la contaminación se origina desde el punto de vista económico en cuatro aspectos fundamentales:

- Contaminación originada por la elaboración de productos con materias primas, por la extracción y transporte de las materias no renovables y materiales reciclados, necesarios para la producción.
- Contaminación por el mismo proceso. Desintegración de los elementos causantes de la misma.
- Contaminación por el uso diario de un producto determinado.
- Contaminación residual que abarca el vertido final del producto cuando culmina su tiempo de utilización. (p.28)

2.2.6. Usos del agua

Según Manrique (2019):

2.2.6.1. Uso doméstico.

Las aguas de estos recursos hídricos no tienen uso como de consumo humano, dado a que los mismos pobladores de la microcuenca son conscientes de la contaminación severa de estas aguas. (p.31)

2.2.6.2. Uso agropecuario.

Se incluye el uso de agua de riego, ganadería y agricultura. Los cultivos más importantes con infraestructura para el riego son el maíz (20 %), los forrajes (14 %), las papas (9 %), la caña de azúcar (9 %), los árboles frutales (8 %) y el arroz (8 %). (p.32)

2.2.6.3. Uso industrial.

Con respecto a los rubros más importantes de la industria nacional en función al uso de agua son: bebidas (gaseosas, cerveza y vinos), harina y aceite de pescado, textil, petróleo y siderúrgica. (p.33)

2.2.6.4. Uso minero.

La minería en el Perú, a partir de 1990, creció de forma muy importante y, por tanto, la demanda de agua ha ido creciendo en el número de plantas que utilizan este recurso, para el tratamiento y recuperación de los minerales en sus procesos de extracción, concentración, refinación, fundición y otros. (p. 34)

2.2.7. Estructura y funcionamiento del ecosistema fluvial

La estructura de los ecosistemas son aquellas características del medio abiótico que forman el escenario en el que se desarrolla el ecosistema, y las comunidades de organismos que constituyen sus actores principales. Por funcionamiento de los ecosistemas, habitualmente se entiende los procesos que ocurren en los mismos, y que están determinados tanto por el medio abiótico como por los organismos y en el caso de los ecosistemas fluviales, su estructura

está ligada a la forma y dimensiones del cauce, a la calidad química del agua, a la diversidad de hábitats y las distintas comunidades biológicas que se establecen en los mismos (Elosegi y Sabater, 2009, p.19)

2.2.7.1. Los servicios de los ecosistemas fluviales.

Por servicios ecosistémicos se entienden aquellas funciones que desarrollan aquellas funciones que desarrollan los ecosistemas y que se traducen en los beneficios para la calidad de vida de las sociedades humanas, entre los Servicios que proporcionan los ecosistemas fluviales se mencionan. (Elosegi y Sabater, 2009, p.22)

- Disponibilidad de agua,
- Producción de comida y otros bienes (pesca, madera)
- Regulación del clima,
- Regulación de gases con efecto invernadero (CO_2 , CH_4),
- Regulación de perturbaciones,
- Reciclaje de nutrientes (depuración de agua),
- Tratamiento de materiales (sedimentos, materiales orgánicos),
- Turismo y cultura

2.2.8. Bioindicadores

Los indicadores biológicos en la evaluación de la calidad del agua se determinan como especies que tienen requisitos especiales para una o un conjunto de variables físicas y químicas, cualquier alteración en la existencia/ ausencia, cantidad, forma o comportamiento de la especie indica que las variables consideradas están cerca de los límites de tolerancia. Con el tiempo, los daños y cambios en ríos, largos, estanques y arroyos se pueden ver en los macroinvertebrados porque son muy importantes para los ecosistemas acuáticos porque constituyen la parte más importante de la biomasa animal en muchos ríos, papel importante en

la transferencia de energía. La investigación que utiliza macroinvertebrados como indicadores biológicos es muy usada por su bajo costo, fácil muestreo y detección temprana de cualquier tipo de contaminación. (Minchola Soto, 2021, p.7)

2.2.9. Macroinvertebrados bentónicos

Son aquellos invertebrados con un tamaño superior a 500 µm, entre los que se incluyen animales como esponjas, planarias, sanguijuelas, oligoquetos, moluscos o crustáceos, entre los que se encuentran los cangrejos. Sin embargo, el grupo de invertebrados acuáticos más ampliamente distribuido en las aguas dulces es el de los insectos.

En la mayoría de éstos, los estados inmaduros (huevos y larvas) son acuáticos, mientras que los adultos suelen ser terrestres. Entre los insectos con alguna fase de su vida acuática destacan, por su abundancia y distribución, los siguientes órdenes: efemerópteros, plecópteros, odonatos, hemípteros, coleópteros, tricópteros y dípteros. (Ladrera, 2012, citado por Idrogo Uriarte, 2024, p. 30)

2.2.10. Principales órdenes de macroinvertebrados

Según menciona Cedeño y Quinteros (2016) se tiene:

2.2.10.1. Trichoptera.

Este grupo es muy abundante con alrededor de 10 000 especies, a este orden también se le conoce como frigáneas. Son insectos endopterigotos (hacen la metamorfosis completa u holometabolismo) su máximo crecimiento es de 1 cm. La mayor parte de especies son intolerantes por lo que son indicadores de buena calidad. juegan un rol importante en la cadena alimentaria, debido a su diversidad, además son intolerantes por el cual son útiles como bioindicadores de la calidad del agua y la salud del ecosistema acuático. (p.16)

2.2.10.2. Ephemeroptera.

Este grupo forman parte de la fauna bentónica, ya sea en cantidad de individuos o biomasa, es por ello que debido a su abundancia y tolerancia a diferentes escalas de contaminación se utilizan como bioindicadores, cabe mencionar que tanto para Roldán, (1988), y como para Medina (2011), las ninfas del orden Ephemeroptera viven en cuerpos de aguas corrientes lenticas, loticas, limpias y bien oxigenadas; solo algunas especies parecen resistir cierto grado de contaminación. (p.16)

2.2.10.3. Plecóptera.

Es un orden muy vetusto y actualmente poco numeroso en especies, se caracteriza por la posición, en su etapa larval, de dos cercos al final del abdomen. También conocidos con el nombre de “moscas de las piedras”, la mayoría de especies son intolerantes por lo que resultan indicadores de buena calidad. (p.17)

2.2.10.4. Coleóptera.

Este grupo es uno de las ordenes principales de los macroinvertebrados ya que se encuentran en diversidades altas, esto se debe a que viven en un diverso espectro de hábitats, por ejemplo: sistemas de aguas frías, corrientes rápidas, aguas salobres, aguas estancadas, entre otros, los cuerpos de aguas donde habitan pueden ser loticas y lenticas, la primera se refiere a los sustratos como troncos y hojas, grava, piedras, arena y vegetación., la segunda en zonas donde la corriente es baja y el agua es limpia, y con temperaturas promedio. (p.18)

2.2.10.5. Lepidópteros.

Es un orden que se halla representado en las comunidades dulceacuícolas, de hecho, la fauna europea solo cuenta con escasas especies todas ellas pertenecientes a la familia Pyralidae. Las larvas son fitófagas y se encuentran en corrientes bajas. El ciclo biológico de

la larva se ve afectado en época de sequía o descenso de la temperatura, circunstancias que determinan el ralentizamiento del crecimiento o la entrada en diapausa. (p.18)

2.2.10.6. Díptera.

Orden muy diverso, con familias exclusivamente acuáticas, por lo que constituye un grupo numeroso dentro de la fauna de macroinvertebrados acuáticos. Las larvas se caracterizan por no contar con extremidades, desarrollando unos apéndices anteriores de los dípteros no se debe únicamente a los hábitos alimenticios sino a los mecanismos que desarrollan para respirar. (p.19)

2.2.11. Índices bióticos

Suelen ser específicos para un tipo de contaminación, región geográfica, y se basan en el concepto de organismo indicador. Permiten la valoración del estado ecológico de un ecosistema acuático afectado por un proceso de contaminación. Para ello a los grupos de macroinvertebrados de una muestra se les asigna un valor numérico en función de su tolerancia a un tipo de contaminación, los más tolerantes reciben un valor numérico menor y los más sensibles un valor numérico mayor, la suma de todos estos valores nos indica la calidad de ese ecosistema. (Cavalcanti Muñoz, 2014, p.9). Según la Guía de Vigilancia Ambiental con Macroinvertebrados Bentónicos (MIB) de Cajamarca (2014), clasifica los Índices de Biodiversidad para determinar la calidad del agua y le otorgan puntajes a las familias de MIB que registran. Para el presente estudio de investigación se tomaron en cuenta tres índices:

2.2.11.1. Índice Biótico de Familia (IBF).

Este índice les asigna un menor puntaje a las familias de macroinvertebrados bentónicos (MIB) menos tolerantes a la contaminación y mayor puntaje a los más tolerantes. En este Índice, contamos la cantidad encontrada por cada familia, y lo multiplicamos por el puntaje otorgado en la tabla 2. El resultado final se interpretó según la siguiente figura:

Tabla 1*Valoración IBF*

Excelente	Muy buena	Buena	Mala	Muy mala	Pobre	Muy pobre
IBF Sin contaminación orgánica	Possible poca contaminación	Probable cierta contaminación	Muy considerable contaminación	Considerable contaminación	Bastante contaminación	Severa contaminación orgánica
00.0 a 3.75	3.76 a 4.25	4.26 a 5	5.01 a 5.75	5.76 a 6.5	6.51 a 7.25	7.26 a 10

Tabla 2*Valores de tolerancia de los macroinvertebrados bentónicos según IBF*

Orden	Familia	Valor de tolerancia	Orden	Familia	Valor de tolerancia	
Amphipoda	<i>Hyalellidae</i>	8		<i>Calamoceratidae</i>	3	
Gasteropoda	<i>Physidae</i>	8		<i>Hydropsychidae</i>	4	
	<i>Tabanidae</i>	5		<i>Hydrobiosidae</i>	-	
	<i>Chironomidae</i>	6		<i>Hydroptilidae</i>	4	
	<i>Simuliidae</i>	6	Trichoptera	<i>Leptoceridae</i>	4	
	<i>Ceratopogonidae</i>	6		<i>Polycentropodidae</i>	6	
Diptera	<i>Empididae</i>	6		<i>Helicopsychidae</i>	3	
	<i>Limoniidae</i>	-		<i>Xiphocentronidae</i>	-	
	<i>Ephydriidae</i>	6		<i>Glossosomatidae</i>	1	
	<i>Blephariceridae</i>	0		<i>Dytiscidae</i>	5	
	<i>Psychodidae</i>	8		<i>Ptilodactylidae</i>	3	
	<i>Tipulidae</i>	3	Coleoptera	<i>Psephenidae</i>	4	
	<i>Oligoneuriidae</i>	2		<i>Gyrinidae</i>	4	
Ephemeroptera	<i>Baetidae</i>	5		<i>Elmidae</i>	4	
	<i>Leptophlebiidae</i>	3		<i>Scirtidae</i>	5	
	<i>Leptohyphidae</i>	4	Collembola	<i>Collembola</i>	5	
Plecoptera	<i>Perlidae</i>	2		<i>Acari</i>	<i>Hidracarina</i>	-
	<i>Gripopterygidae</i>	-	Annelida	<i>Annelida</i> <i>Oligochaeta</i>	8	
			Tricladia/ Seriata	<i>Planariidae</i>	-	

2.2.11.2. Índice Biological Monitoring Working Party BMWP/Col.

Le otorga mayores puntajes a las Familias de MIB menos tolerantes a la contaminación.

Si encontramos la familia, le damos el puntaje que señala la Figura N° 4, no importa el número de individuos de la familia encontrados. Se suman los puntajes de las Familias encontradas.

Tabla 3

Valoración BMWP/Col

	Buena	Aceptable	Dudosa	Crítica	Muy critica
BMWP/Col	Aguas muy limpias o poco alteradas	Aguas ligeramente contaminadas	Aguas moderadamente contaminadas	Aguas muy contaminadas	Aguas fuertemente contaminadas
	101 - 150	61 - 100	36 - 60	16 - 35	Menos de 15

Tabla 4

Valores de tolerancia de los macroinvertebrados bentónicos según el Índice Biótico de Familia BMWP.

Orden	Familia	Valor de tolerancia	Orden	Familia	Valor de tolerancia
Diptera	<i>Amphipoda</i>	<i>Hyalellidae</i>	Trichoptera	<i>Calamoceratidae</i>	10
	<i>Gasteropoda</i>	<i>Physidae</i>		<i>Hydropsychidae</i>	5
		<i>Tabanidae</i>		<i>Hydrobiosidae</i>	9
		<i>Chironomidae</i>		<i>Hydroptilidae</i>	7
		<i>Simuliidae</i>		<i>Leptoceridae</i>	8
		<i>Ceratopogonidae</i>		<i>Polycentropodidae</i>	9
		<i>Empididae</i>		<i>Helicopsychidae</i>	8
		<i>Limoniidae</i>		<i>Xiphocentronidae</i>	9
		<i>Ephydriidae</i>		<i>Glossosomatidae</i>	7
		<i>Blephariceridae</i>		<i>Dytiscidae</i>	9
Ephemeroptera		<i>Psychodidae</i>		<i>Ptilodactylidae</i>	10
		<i>Tipulidae</i>	Coleoptera	<i>Psephenidae</i>	10
		<i>Oligoneuriidae</i>		<i>Gyrinidae</i>	9
		<i>Baetidae</i>		<i>Elmidae</i>	6
Plecoptera		<i>Leptophlebiidae</i>		<i>Scirtidae</i>	-
		<i>Leptohyphidae</i>	Collembola	<i>Collembola</i>	-
	<i>Perlidae</i>	10		<i>Acarí</i>	<i>Hidracarina</i>

<i>Gripopterygidae</i>	-	Annelida	<i>Annelida</i> <i>Oligochaeta</i>	-
		Tricladia/ Seriata	<i>Planariidae</i>	7

2.2.11.3. Índice de Ephemeroptera Plecoptera y Trichoptera (EPT).

Este índice permite estimar la calidad ecológica del agua a través del porcentaje (%) de las especies (n), o taxa indicadores de buena calidad, constituidos por los órdenes *Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera*, se requiere SUMAR el N° total de Familias de las Órdenes *Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera* que encontremos.

Tabla 5

Valoración EPT

EPT	Excelente	Buena	Justo	Baja	Pobre
	Más de 27	21 a 27	14 a 20	7 a 13	0 a 6

Tabla 6

Cuantificación por orden y familia

Orden	Familia	Número de familias encontradas	Orden	Familia	Número de familias encontradas
Amphipoda	<i>Hyalellidae</i>			<i>Calamoceratidae</i>	
Gasteropoda	<i>Physidae</i>			<i>Hydropsychidae</i>	
	<i>Tabanidae</i>			<i>Hydrobiosidae</i>	
	<i>Chironomidae</i>			<i>Hydroptilidae</i>	
	<i>Simuliidae</i>		Trichoptera	<i>Leptoceridae</i>	
	<i>Ceratopogonidae</i>			<i>Polycentropodidae</i>	
Diptera	<i>Empididae</i>			<i>Helicopsychidae</i>	
	<i>Limoniidae</i>			<i>Xiphocentronidae</i>	
	<i>Ephydriidae</i>			<i>Glossosomatidae</i>	
	<i>Blephariceridae</i>			<i>Dytiscidae</i>	
	<i>Psychodidae</i>		Coleoptera	<i>Ptilodactylidae</i>	
	<i>Tipulidae</i>			<i>Psephenidae</i>	

Ephemeroptera	<i>Oligoneuriidae</i> <i>Baetidae</i> <i>Leptophlebiidae</i> <i>Leptohyphidae</i>	<i>Gyrinidae</i> <i>Elmidae</i> <i>Scirtidae</i>
Plecoptera	<i>Perlidae</i> <i>Gripopterygidae</i>	<i>Collembola</i> <i>Acari</i>
		<i>Hidracarina</i>
		<i>Annelida</i> <i>Oligochaeta</i>
		<i>Tricladia/</i> <i>Seriata</i> <i>Planariidae</i>

2.2.12. Parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos son aquellos donde los organismos son más sensibles, estos parámetros son el pH, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto y la temperatura. Además, el MINAM (2017) en su Decreto Supremo N° 004-2017 indica que para el riego de vegetales y bebida de animales en la categoría 3, deben cumplir con los valores adecuados de los parámetros que se muestra en la tabla 3. (Álvarez y Pérez, 2007, p.6)

Tabla 7

Valores de los parámetros de la Categoría 3, del ECA Nacional para Aguas

Parámetros	Unidad de medida	Riego de vegetales	Bebida de animales
Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15	15
Nitratos (NO ₃ -N) ⁺	mg/L	100	100
Nitritos (NO ₂ -N)	Mg/L	100	100
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 4	≥ 5
Potencial de hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 - 8,5	6,5 - 8,4
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3
Conductividad	uS/cm	2500	5000

Nota: En esta tabla 7, se expresa los valores Estándares de Calidad Ambiental de los parámetros fisicoquímicos, extraídos del D. S N°004 – 2017 MINAM.

Según Álvarez y Pérez, 2007, define a los parámetros físico químicos de la siguiente manera:

2.2.12.1. Fluoruro.

El fluoruro es un ion (F^-) derivado del flúor, que puede encontrarse en el agua de forma natural o por actividades industriales y agrícolas. En el medio acuático, los compuestos más comunes son el fluoruro de sodio (NaF) y el fluoruro de calcio (CaF_2). A bajas concentraciones, el fluoruro puede ser relativamente inocuo, pero niveles elevados resultan tóxicos para la fauna acuática. En los macroinvertebrados bentónicos, el exceso de fluoruro altera procesos enzimáticos, afecta la respiración y el desarrollo de las larvas, reduciendo su diversidad y abundancia. Estos efectos repercuten negativamente en la estructura del ecosistema, ya que los bentónicos son indicadores clave de la calidad del agua. (Roldán, 2012, p. 148)

2.2.12.2. Cloruro.

El cloruro es el ion Cl^- , derivado del cloro, y se encuentra comúnmente en sales como el cloruro de sodio ($NaCl$). En los ecosistemas acuáticos, los cloruros provienen de la descomposición natural de minerales, así como del vertido de aguas residuales y del uso de sal en carreteras o procesos industriales. Aunque en pequeñas concentraciones no son dañinos, niveles elevados provocan estrés osmótico en los organismos acuáticos. En los macroinvertebrados bentónicos, el exceso de cloruro puede interferir en su regulación osmótica y reducir su capacidad reproductiva y supervivencia. Esto provoca una pérdida de biodiversidad y un cambio en la composición de las comunidades acuáticas, afectando su equilibrio ecológico. (Roldán, 2012, p. 148)

2.2.12.3. Nitritos.

El nitrito (NO_2^-) es un compuesto intermedio del ciclo del nitrógeno, producto de la oxidación parcial del amonio o de la reducción del nitrato. Se encuentra principalmente en aguas con contaminación orgánica o efluentes agrícolas. Químicamente, puede presentarse como nitrito de sodio (NaNO_2) o potasio (KNO_2). Los nitritos son altamente tóxicos para la vida acuática porque interfieren en el transporte de oxígeno en los organismos, al oxidar la hemoglobina a metahemoglobina. En los macroinvertebrados bentónicos, los nitritos disminuyen la actividad metabólica, provocan estrés oxidativo y pueden causar mortalidad en etapas larvarias. Además, su presencia elevada indica una alteración en la calidad del agua y desequilibrios en los procesos biogeoquímicos del ecosistema. Se producen de manera natural en el suelo a través de la actividad de bacterias nitrificantes que convierten el amoníaco en nitritos y luego en nitratos. Se utilizan como conservantes en carnes y embutidos para mejorar el color y prevenir el crecimiento de bacterias patógenas. (Palomares, 2004, p. 49)

2.2.12.4. Bromuro.

El bromuro es un ion (Br^-) derivado del bromo, un elemento halógeno que se encuentra naturalmente en el agua de mar y en algunos sedimentos. Sus formas químicas más comunes incluyen el bromuro de sodio (NaBr) y el bromuro de potasio (KBr). Aunque el bromuro en bajas concentraciones suele ser estable e inocuo, puede reaccionar con compuestos orgánicos o con cloro durante procesos de desinfección, formando subproductos tóxicos como los bromatos o bromaminas. En la vida acuática, estos derivados pueden afectar la fisiología y el comportamiento de los organismos. En los macroinvertebrados bentónicos, el exceso de bromuro o sus derivados puede causar estrés oxidativo, alterar la respiración y reducir la diversidad biológica, lo que indica deterioro de la calidad del agua. (Orellana 2016.p.6)

2.2.12.5. Nitrato.

Los nitratos (NO_3^-) son producidos por fuentes naturales y antropogénicas, siendo estas últimas las causantes de concentración durante las últimas décadas. Los principales contaminantes de nitratos hacia ríos son las aguas residuales de industrias, aunque estas emisiones son puntuales y pueden ser controladas, las más preocupantes a nivel de escala y control son aquellas deposiciones de nitratos producidas por agricultura y ganadería intensiva. Estos compuestos se encuentran en cantidades muy altas para que sean absorbidos por las plantas, filtrándose en el suelo y posteriormente llevado por aguas subterráneas contaminando ríos y acuíferos; en conjunto con los excrementos de los animales que también tienen alta concentración de nitratos. (Palomares, 2004, p. 50)

2.2.12.6. Sulfato.

El sulfato es un ion negativo (SO_4^{2-}) que se forma a partir del ácido sulfúrico y es un compuesto común en la naturaleza. Se encuentra en minerales, agua de mar y en suelos, como resultado de la descomposición de materia orgánica y actividad biológica. Se produce en procesos industriales y se encuentra en productos químicos como el sulfato de sodio y el sulfato de calcio. (Sipión, I. y Pinedo, A. 2013, p. 154)

2.2.12.7. Fosfato.

Las especies de fósforo más comunes en aguas naturales incluyen compuestos inorgánicos y orgánicos disueltos o suspendidos. Las especies inorgánicas incluyen ortofosfatos, polímeros lineales o polifosfatos y polímeros cíclicos o metafosfatos. Los compuestos orgánicos comprenden ésteres, fosfonatos, ácidos nucleícos, fosfolípidos, azúcares, proteínas, ácido aminofosfórico, fosfoamidas y otros. (Sánchez, 2001)

2.2.12.8. pH.

El pH del agua es un parámetro químico utilizado para conocer la alcalinidad o acidez del agua, indica las concentraciones del ion hidronio $[H_3O^+]$ presentes en determinadas sustancias. El pH que se recomienda en el tanque de distribución de las plantas de tratamiento de agua potable fluctúa entre 6.5 a 8.5; el nivel óptimo de pH en la unidad de cloración es 7.5. En la naturaleza aguas superficiales con bajo pH impide el normal desarrollo de la vida acuática y es muy corrosiva, mientras que las aguas con elevados niveles de pH facilitan precipitaciones de Ca, Fe, Mn, Al y P. (Vasconez et al., 2019, p.65)

2.2.12.9. Conductividad eléctrica.

Las sales disueltas en agua se descomponen en iones cargados positivamente y negativamente. La conductividad se define como la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica a través de los iones disueltos. Los iones más positivos son sodio (Na^+), calcio (Ca^{+2}), potasio (K^+) y magnesio (Mg^{+2}). Los iones más negativos son cloruro (Cl^-), sulfato (SO_{4-2}), carbonato y bicarbonato. Los nitratos y fosfatos no contribuyen de forma apreciable a la conductividad, aunque son muy importantes biológicamente. (Boards 2015, p. 57)

2.2.12.10. Dureza total.

La dureza total del agua es una medida de la concentración de minerales, principalmente sales de calcio (Ca^{+2}) y magnesio (Mg^{+2}), en una muestra de agua. Esta propiedad es importante en diversas aplicaciones, desde el uso doméstico hasta el industrial. La dureza total se mide comúnmente en miligramos por litro (mg/L) de carbonato de calcio ($CaCO_3$) o en grados de dureza (dH, donde 1 dH equivale a 10 mg/L de $CaCO_3$). El agua dura no es considerada perjudicial para la salud humana y, de hecho, el calcio y el magnesio son minerales esenciales. (Vargas et al, 2004)

2.2.12.11. Oxígeno disuelto.

El oxígeno gaseoso (O_2) que se encuentra en el agua en una cantidad efectiva, expresada en términos de su presencia en el volumen de agua (miligramos de O, por litro) o de su proporción en el agua saturada (porcentaje). De igual manera SENAMHI, (2007) el Agua contiene oxígeno disuelto, Proveniente del oxígeno absorbido de la atmósfera por el movimiento constante del agua. La fotosíntesis del fitoplancton es otra fuente de oxígeno disuelto, las algas y las plantas acuáticas (eliminan dióxido de carbono y lo reemplazan con oxígeno). La importancia del oxígeno en el agua es vital para la vida acuática (peces, plantas, bacterias aerobias, etc.), por ello la falta del mismo es dañina para ella. Así mismo, la falta de oxígeno disuelto es un indicador de contaminación que puede estar en función de la presencia de plantas acuáticas, materia orgánica oxidable, de organismos y de gérmenes aerobios, existencia de grasas, de hidrocarburos, de detergentes, etc. (Galloso y Yauri, 2017, p.16)

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. *Indicadores biológicos*

Conjunto de fauna que pertenecen a invertebrados, fauna piscícola, plancton y flora acuática. Su presencia o ausencia indica diferentes condiciones del ecosistema, así como, por ejemplo, los grados de contaminación. (Anicama y Moron, 2021, p.21)

2.3.2. *Bioindicador*

Un bioindicador es una especie o especies que en su presencia o ausencia indican variables físicas o químicas en cuanto a sus límites de tolerancia. (Hoyos Pompa, 2019, p.32)

2.3.3. *Indicadores morfológicos*

Son las conexiones de agua que pueden ser subterráneas que favorecen al movimiento de la fauna para el traslado de los sedimentos biológicos, es decir, son las condiciones

morfológicas que están relacionadas con la anchura, profundidad y ribera (Navarro Sandoval, 2013, p.4)

2.3.4. Hábitat

Lugar determinado donde habita una especie, ya sea de la flora o fauna, y que es característico por los factores ambientales que lo rodean (Ladrera et al., 2013, p.10)

2.3.5. Calidad fisicoquímica

Determinada por parámetros físicos y químicos del agua, entre ellas: el olor, color, sabor, temperatura, alcalinidad, dureza y tipos, cloruros, entre otros (De La Cruz Guerreros, 2022, p.16)

2.3.6. DBO

Oxígeno requerido para que los microorganismos sean alimentados al momento que suelen degradar la sustancia orgánica existente en las muestras de agua. Sus unidades son miligramos de oxígeno por litro de muestra (mg/L). (Leiva González, 2024, p. 38)

2.3.7. Ninfa

Se define como el estado inmaduro o juvenil más sencillo de un macroinvertebrado, el cual tiene parecido a un adulto, pero a diferencia de este tiene un menor tamaño y sus alas incompletas”. Son generalmente raspadoras o recolectoras, alimentándose de una variedad de algas y detritus. La mayoría viven en la superficie de piedras, arena o barro. (Flowers y De la Rosa, 2010, citado por Cedeño y Quinteros, p.14)

CAPÍTULO III

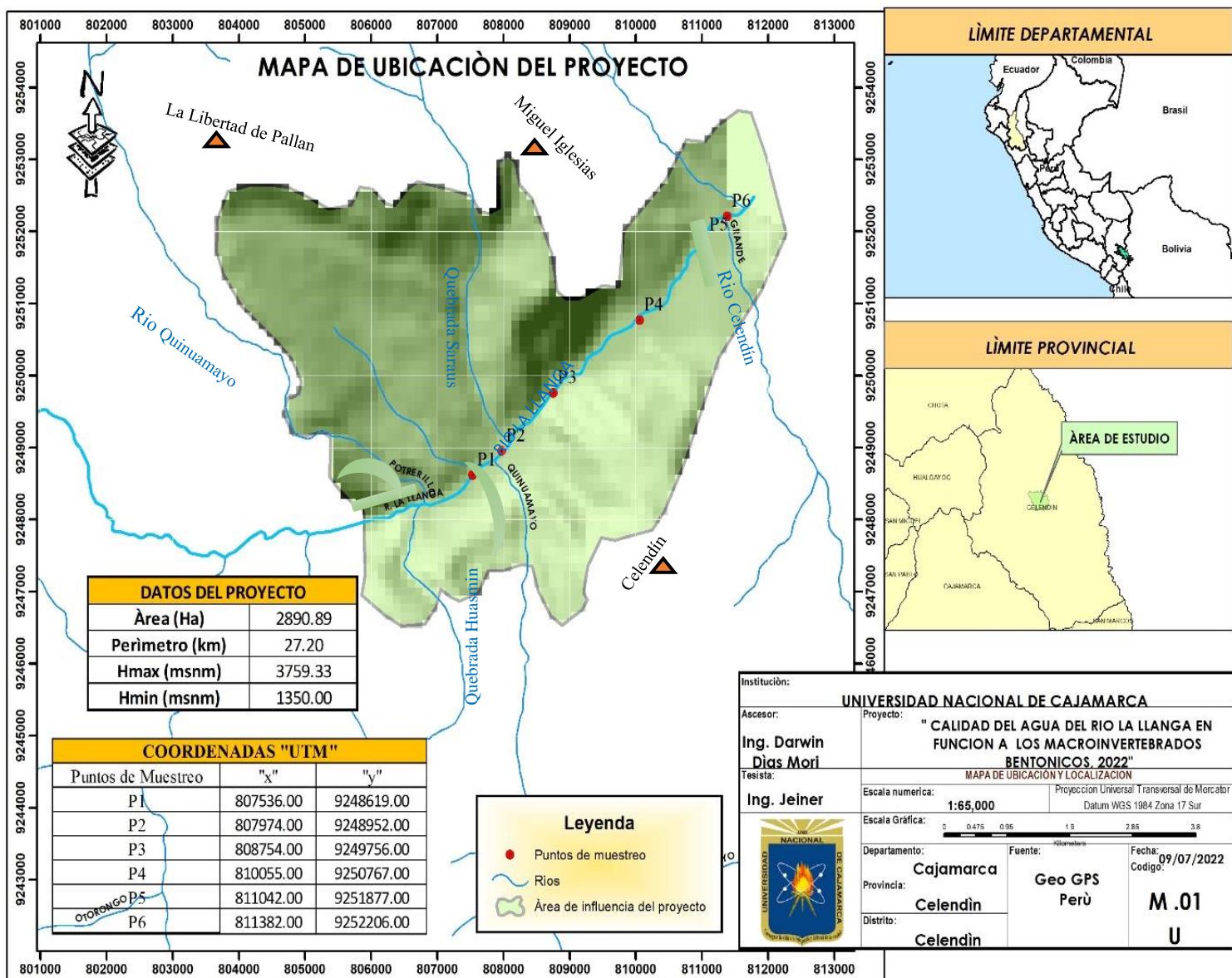
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del área de estudio

El proyecto se realizó en el curso del río La Llanga, se encuentra ubicado como límite de los distritos de Huasmín, La libertad de Pallán, Miguel iglesias y Celendín.

Figura 1

Mapa de ubicación del monitoreo del río la Llanga-Celendín.



3.2. Descripción de los puntos de monitoreo

La investigación se realizó en 6 puntos geo referenciados, el monitoreo para los macroinvertebrados bentónico consto de tres repeticiones en cada punto con una duración de 15 minutos.

Además, para el análisis fisicoquímico se tomó una muestra por cada punto de monitoreo.

Los meses del monitoreo del presente estudio se realizaron en los meses de febrero y mayo del 2023, debido a que estos meses se presentan la época de lluvia y de estiaje del lugar.

Figura 2

Ubicación de los puntos de monitoreo



Tabla 8*Georreferenciación de los puntos de monitoreo en el río La Llanga*

Coordenadas georreferenciadas de los puntos de control				
Puntos	Referencia	Coordenadas este (UTM) GW84	Coordenadas norte (UTM) GW84	Altitud (m.s.n.m)
P1	Inicio del curso principal del río La Llanga	807,536	9,248,619	1,515
P2	Antes de la desembocadura de la catarata Saraus y catarata Huasmín	807,974	9,248,952	1,517
P3	Después de ambas cataratas mencionadas	808,754	9,249,756	1,457
P4	Después de los centros turísticos (Papayal y baños termales)	810,055	9,250,767	1,457
P5	Antes del tributario río Celendín	811,042	9,251,877	1,418
P6	Después del tributario río Celendín	811,382	9,252,206	1,418

Nota: Esta tabla muestra los puntos de muestreo con sus respectivas coordenadas UTM) GW84.

- **P1.** En este punto se inicia el curso principal del río La Llanga debido a que en esta parte se unen las aguas del río Sendamal y las aguas del río La Libertad de Pallán, donde se realizó el primer punto de monitoreo.
- **P2.** Segundo punto de monitoreo realizado antes de la intersección de las cataratas Saraus y Huasmín.
- **P3.** En este lugar se encuentra el tercer punto de monitoreo, fue considerado porque en esta parte se unen las aguas provenientes de las cataratas Saraus y Huasmín, estas aguas son utilizadas para la agricultura, ganadería y consumo humano.
- **P4.** Cuarto punto de monitoreo, considerado luego del vertimiento del agua utilizada en los centros turísticos papayal y baños termales

- **P5.** En este lugar se encuentra el quinto punto de monitoreo ubicado aguas debajo de los centros turísticos mencionados.
- **P6.** Ultimo punto de monitoreo ubicado después del tributario rio Celendín, considerado para ver las características del agua debido a que este rio Celendín es contaminado con aguas residuales.

3.3. Método estadístico utilizado

El análisis Estadístico se realizó mediante el software IBM SPSS y Excel, representado en tablas, gráficas. Se aplicaron las pruebas de correlación y regresión.

3.4. Materiales y equipos de laboratorio para análisis fisicoquímico y biológico

3.4.1. Materiales y equipos de laboratorio para análisis fisicoquímico

- Frascos Winkler de 300 y 1000 mL
- Cooler
- Gel refrigerante
- Acido
- Parafina
- Termómetro

3.4.2. Material y equipo de laboratorio para análisis biológico

- Microscopios Olimpus. BX43
- Pinzas entomológicas
- Cajas petry
- Alcohol al 95°
- Lapicero de tinta indeleble
- Lápiz
- Libro de “Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos”
- Guía de vigilancia ambiental con macroinvertebrados bentónicos en Cajamarca
- Papel toalla

3.4.3. Materiales de campo

- Protección personal (guantes quirúrgicos, botas, mascarilla)
- Red Surber
- Bolsas ziploc
- Alcohol al 96°
- Libreta de campo
- Linterna de mano
- GPS Garmin Oregón 515
- Cámara fotográfica canon: EOS Rebel T7
- Recipientes plásticos y/o de vidrio

3.5. Descripción de la metodología

3.5.1. Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1.1. Fuentes:

Las aguas del río La Llanga en sus 6 puntos respectivos de monitoreo.

3.5.1.2. Técnicas:

La primera técnica para determinar la calidad del agua del río La Llanga, se dio a través de la medición de parámetros fisicoquímicos como la temperatura, pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, nitritos, nitratos y dureza total fueron derivados para su respectivo análisis al Laboratorio Regional del Agua Gobierno Regional de Cajamarca ubicada en el Jr. Luis Alberto Sánchez S/N Urb. El Bosque, Cajamarca – Perú.

Esta técnica fue aplicada mediante los protocolos correspondientes al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales de la Autoridad Nacional del Agua, para lo cual se tuvo en consideración los puntos específicos de monitoreo, así como los parámetros a medir los cuales se registraron en una base de datos. En ese sentido, se determinaron los siguientes puntos:

A. Parámetros físicos muestrados en campo.

De acuerdo al ANA (2016), para la temperatura se utilizó un procedimiento, consistió en extraer agua del río La Llanga en un recipiente e inmediatamente sumergir el termómetro en ella, para obtener con exactitud los grados de temperatura.

B. Parámetros fisicoquímicos evaluados en laboratorio.

Para la toma de muestras para el laboratorio, según la ANA (2016), la toma de muestra se realizó de la siguiente manera: Se colocó las botas de jebe y guantes antes de efectuar el procedimiento que consistió en coger un recipiente, retirar la tapa y contratapa tratando de evitar el contacto con la parte interna del frasco, luego se enjuagó los frascos, el recipiente se sumergió en dirección opuesta al flujo del agua evitando la remoción del sedimento, cabe mencionar que se consideró un espacio libre de 1 % aproximadamente de la capacidad del envase, cuya muestra se utilizó para medir los parámetros de pH, dureza total, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, nitritos y nitratos. La medición de los parámetros se realizó en cada muestra obtenida de los seis puntos de monitoreo, para ello se contó con los servicios del laboratorio del agua del gobierno regional de Cajamarca, para así garantizar los resultados adecuados, ya que la ANA (2016), indica que los análisis de la mayoría de estos parámetros no deben sobrepasar el tiempo estimado de 24 horas después de haber sido recolectada la muestra.

La segunda técnica para determinar la calidad del agua del río La Llanga, se dio por medio del análisis biológico teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- Se ubicaron los puntos de monitoreo de fácil acceso en el tramo del río La Llanga.
- Se describió las características del trecho del río elegido, identificando los tipos de hábitats existentes y características principales.

- Se sostuvo la malla Surber, ayudándonos con las piernas en sentido contrario a la corriente, luego se raspó con las manos la tierra durante 5 minutos, removiendo hasta 5 cm de profundidad.
- Con lo recolectado se formó una bolita la cual se depositó en una bandeja de plástico.
- Retiramos todos los macroinvertebrados encontrados en un recipiente de fondo blanco usando pinzas, pinceles para no lastimarlos.
- Se fijaron las muestras con alcohol al 96% para su posterior identificación en el laboratorio.
- Con ayuda de un Estéreo-microscopio se identificó las muestras de macroinvertebrados recolectadas.
- Se otorgaron puntajes en base a los índices (EPT, BMWP y IBF) a las familias de macroinvertebrados bentónicos que se registraron.

3.5.2. Procedimiento de trabajo

Para determinar la calidad del agua se utilizaron los siguientes Índices Bióticos:

- Índice Biótico de la Familia (IBF).
- Índice Biological Monitoring Working Party BMWP/Col.
- Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT).

Se realizó una repetición en los seis puntos de monitoreo, una en la época de lluvia y una en época de estiaje. Se evaluaron los parámetros fisicoquímicos: fluoruro, cloruro, nitrito, bromuro, nitrato, sulfato, fosfato, pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto. Los monitoreos se llevaron a cabo de acuerdo al siguiente esquema:

Tabla 9

Programación de monitoreo biológico y fisicoquímico.

Parámetro	Indicador	Frecuencia	Técnica	Repeticiones
Biológico	EPT			
	BMW P	Época de lluvia y estiaje	Malla Surber	3 en cada época
	IBF			
Físico - químicos	Fluoruro			
	Cloruro			
	Nitrito			
	Bromuro		Cromatografía iónica	
	Nitrato	Época de lluvia y estiaje		
	Sulfato			1 en cada época
	Fosfato			
	pH		Electrometría	
	Conductividad eléctrica		Conductímetro	
	Oxígeno disuelto		Oximetría	

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para determinar si influyen las características fisicoquímicas en las poblaciones de macroinvertebrados, se utilizó el método de regresión y correlación. Este método permitió identificar el grado de relación entre variables a través del coeficiente de Pearson (r), dicho coeficiente presenta valores que van del 1 al -1, cuanto más se aproxime independientemente del signo, la relación entre variables será más fuerte. El grado de influencia de la variable independiente (Características fisicoquímicas del lugar) en la variable dependiente (poblaciones de macroinvertebrados) se determinó con el coeficiente de determinación (r^2), dicho coeficiente presenta valores que van desde el 0 hasta el 1, y se expresa en porcentajes (Martínez et al. 2006). A demás se empleó la media (M), desviación estándar (DS), coeficiente de variación (CV).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Parámetros fisicoquímicos del río La Llanga

Los resultados obtenidos en los análisis de los parámetros fisicoquímicos de los seis puntos de control de la zona de estudio del presente trabajo para época de estiaje y época de lluvia se presentan a continuación:

4.1.1. Época seca

En la tabla 10 se muestran los resultados para los parámetros fisicoquímicos tomados en época seca, los cuales han sido comparados con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para Agua de la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Donde se obtuvieron los siguientes datos para los puntos de monitoreo P1, P2, P3, P4, P5 y P6 respectivamente:

Tabla 10*Valores de Parámetros físico-químicos - época seca.*

Parámetro	Unidad	LCM	Puntos de control						ECA Categoría 3
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.0380	0.159	0.071	0.063	0.070	0.072	0.067	1
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.0650	6.920	3.199	3.031	3.292	2.967	3.106	500
Nitrito (NO ₂ ⁻)	mg/L	0.0500	0.364	< LCM*	< LCM	< LCM	< LCM	< LCM	10
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.0350	< LCM	< LCM	< LCM	< LCM	< LCM	< LCM	NE*
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.0640	4.868	1.123	1.319	1.015	1.056	1.132	100
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.0700	50.13	7.864	8.162	9.505	9.024	8.700	1000
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.0320	< LCM	< LCM	< LCM	< LCM	< LCM	< LCM	NE
pH a 25 °C	pH	NA	8.14	8.48	8.45	8.40	8.38	8.41	6.5 – 8.5
Conductividad a 25 °C	µS/cm	NA	455.5	354.5	362.0	367.5	366.5	359.5	2500
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	1.04	242.0	646.1	193.9	153.0	286.6	227.6	NE
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	6.1	7.3	7.8	7.5	7.9	6.6	≥ 4
Temperatura °C	°C	NE	19	19	19.5	21	22.8	23	Δ3

Fuente: Laboratorio Regional del Agua (2024).

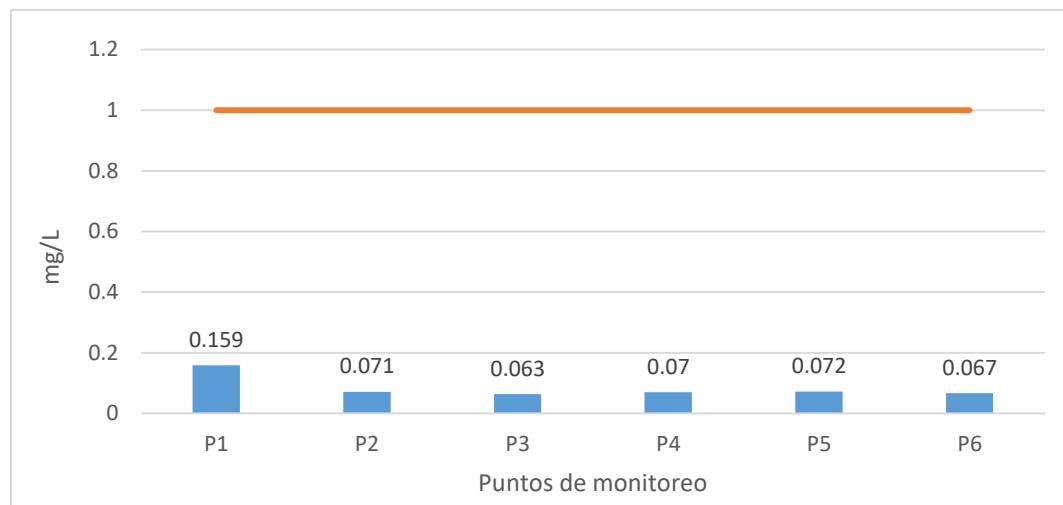
NOTA: LCM*: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas), NE*: No especifica, NA: No Aplica.

A. Fluoruro

En la figura 3 se muestran los datos correspondientes al parámetro fluoruro, con valores para los seis puntos de monitoreo: evidenciándose que en ninguno de ellos se exceden los Estándares de Calidad Ambiental para agua (DS, N°004-2017-MINAM).

Figura 3

Valores de Fluoruro (mg/L) del río La Llana



Los valores de fluoruro registrados en la época seca del río La Llana (0.159–0.067 mg/L) se encuentran por debajo del límite establecido por el ECA para agua categoría 3 (1 mg/L), lo que indica una baja concentración de este ion. Desde el punto de vista químico, el fluoruro (F^-) proviene de la disolución natural de minerales fluorados o del arrastre de suelos ricos en flúor. Sin embargo, concentraciones elevadas pueden afectar la bioacumulación y la integridad enzimática de los macroinvertebrados bentónicos, generando desequilibrio en la cadena trófica (Hoyos Pompa, 2019). La estabilidad de los valores hallados sugiere un entorno con escasa influencia antrópica y sin aporte industrial o agrícola significativo. Desde la perspectiva ambiental, esta estabilidad es importante, ya que el fluoruro en exceso puede alterar la fisiología de organismos acuáticos sensibles, como efemerópteros o tricópteros, bioindicadores de buena calidad hídrica (Guevara Solón, 2024). En comparación, estudios

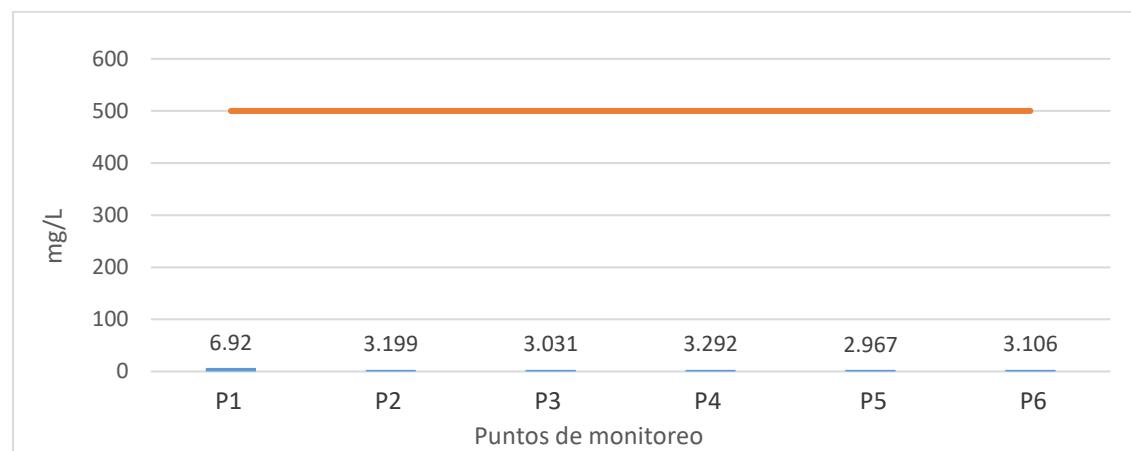
realizados por Idrogo Uriarte (2024) en el río Chotano mostraron desviaciones más notorias en los valores fisicoquímicos, evidenciando una presión contaminante superior. En conclusión, los niveles observados en el río La Llana indican condiciones óptimas y compatibles con un ecosistema acuático saludable.

B. Cloruro

En la figura 4 se muestran los datos correspondientes al parámetro cloruro, con valores para los seis puntos de monitoreo; evidenciándose que en ninguno de ellos se exceden los Estándares de Calidad Ambiental para agua (DS, N°004-2017-MINAM).

Figura 4

Valores de Cloruro (mg/L) del río La Llana.



Los valores de cloruro (6.920–2.967 mg/L) se encuentran muy por debajo del límite del ECA (500 mg/L), lo que evidencia una baja salinidad del agua del río La Llana durante la época seca. Químicamente, el ion cloruro (Cl^-) se asocia a sales disueltas como el cloruro de sodio y el cloruro de calcio, provenientes de procesos naturales de meteorización o de fuentes antrópicas como aguas residuales domésticas (Jáuregui Araujo, 2019).

Desde el punto de vista ambiental, niveles reducidos favorecen la supervivencia de macroinvertebrados bentónicos, que son sensibles a incrementos salinos. En sistemas acuáticos

más impactados, como el río San Lucas (Guevara Solón, 2024), los cloruros pueden aumentar por infiltración de vertimientos, afectando la osmolaridad y generando estrés fisiológico en los organismos. En el caso del río La Llanta, la baja concentración sugiere un equilibrio iónico natural y ausencia de contaminación significativa por sales.

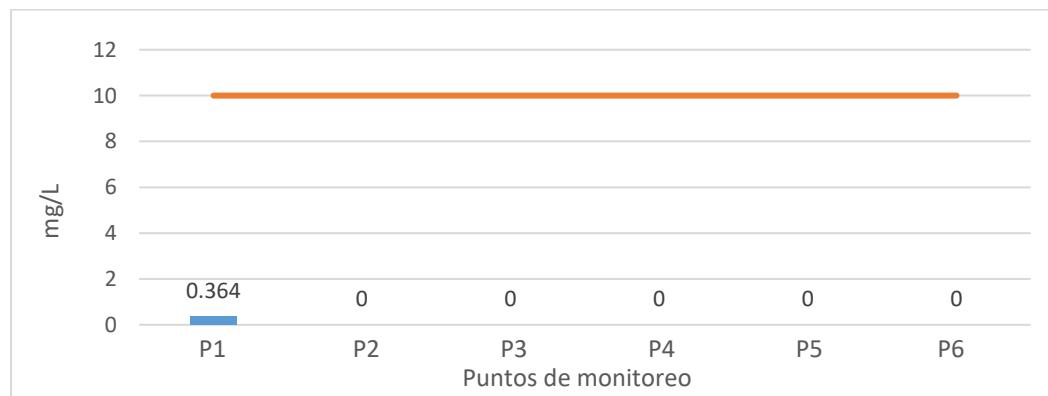
Este resultado concuerda con lo reportado por Mora et al. (2020), quienes relacionaron concentraciones bajas de cloruros con buena calidad ambiental en cuencas del norte peruano. En conjunto, los datos reflejan un ecosistema químicamente estable y favorable para comunidades bentónicas sensibles.

C. Nitritos

En la figura 5 se muestran los datos correspondientes al parámetro Nitritos, con valores para los seis puntos de monitoreo; evidenciándose que en ninguno de ellos se exceden los Estándares de Calidad Ambiental para agua (DS, N°004-2017-MINAM).

Figura 5

Valores Nitritos (mg/L) del río La Llanta.



El único valor detectado de nitrito (0.364 mg/L en P1) se encuentra por debajo del límite de 10 mg/L (ECA, 2017), mientras que los demás puntos no registraron concentración detectable (<LCM). Desde la perspectiva química, los nitritos (NO_2^-) son compuestos intermedios del ciclo del nitrógeno y provienen de la oxidación parcial del amonio o la reducción del nitrato. Su presencia puede indicar actividad microbiana o aportes orgánicos

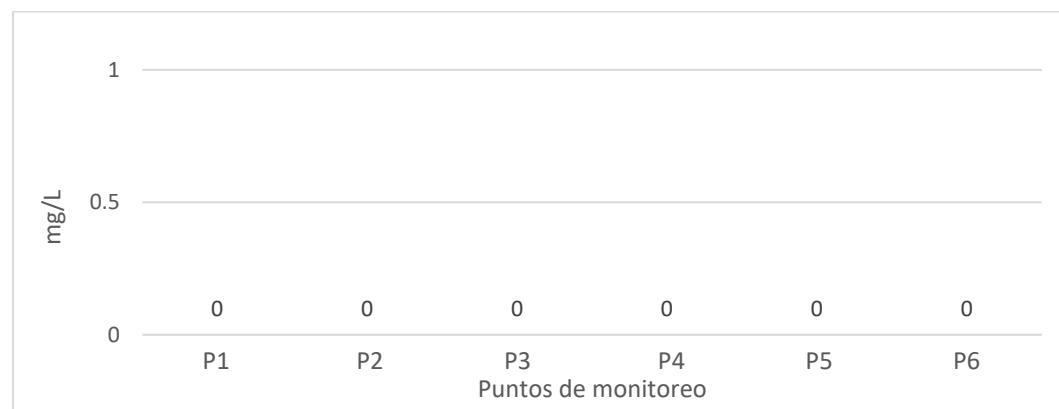
recientes. En términos ambientales, concentraciones bajas sugieren un sistema acuático oxigenado, donde la nitrificación es eficiente y no se acumulan compuestos tóxicos. Valores elevados pueden reducir la disponibilidad de oxígeno y afectar a los macroinvertebrados bentónicos sensibles, como efemerópteros o plecópteros, cuya presencia se asocia con aguas limpias (Hoyos Pompa, 2019). En estudios como el de Idrogo Uriarte (2024), se hallaron niveles más altos de nitrógeno reducido asociados a contaminación orgánica, evidenciando impactos antropogénicos. En el río La Llanga, la baja concentración de nitritos indica una buena autorregulación del sistema y escasa influencia de descargas domésticas, favoreciendo el equilibrio ecológico.

D. Bromuro

En la figura 6 se muestran los datos correspondientes al parámetro bromuro, con valores para los 6 puntos de monitoreo; cabe mencionar que este parámetro no se encuentra dentro de los valores descritos en los Estándares de Calidad Ambiental para agua (DS, N°004-2017-MINAM).

Figura 6

Valores de Bromuro(mg/l) en el río La Llanga.



Durante la época seca, los valores de bromuro se encontraron por debajo del límite de cuantificación (<LCM), lo cual es coherente con sistemas de agua dulce no expuestos a fuentes industriales o marinas. El bromuro (Br^-) se origina de procesos naturales de lixiviación o del

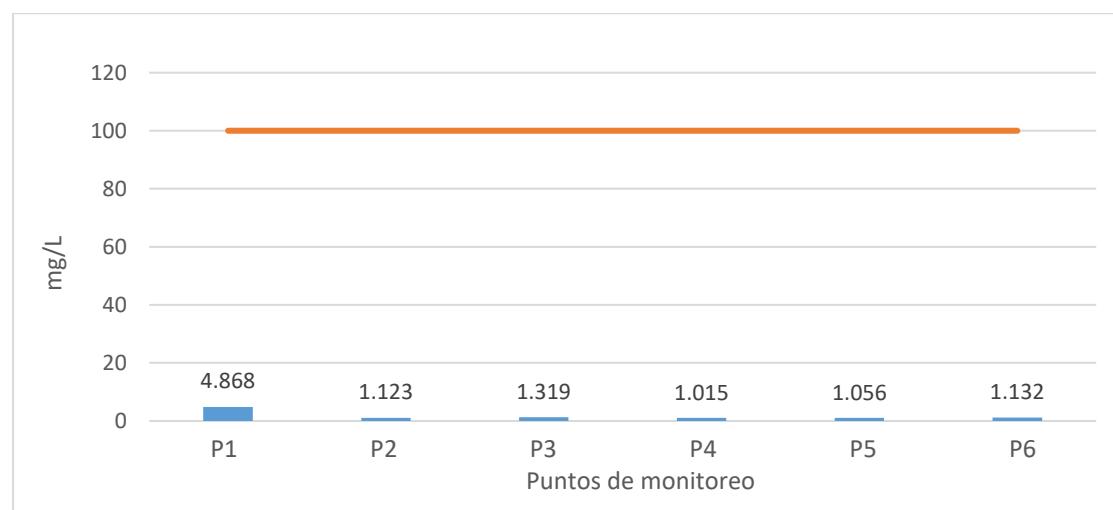
uso de pesticidas bromados. Desde el punto de vista químico, este ion es generalmente estable, pero puede transformarse en bromatos o bromaminas durante procesos de oxidación, compuestos potencialmente tóxicos (Bullón Alcalá, 2016). Su baja concentración refleja un entorno no afectado por estos procesos. Ambientalmente, la ausencia de bromuro es positiva, ya que en concentraciones elevadas puede generar estrés oxidativo en los macroinvertebrados bentónicos, afectando la diversidad biológica (Guevara, 2013). En comparación, Yépez et al. (2017) reportaron mayor afectación en sistemas urbanos con descargas industriales, donde los bromuros aumentaron por el uso de agentes desinfectantes. En síntesis, la falta de presencia significativa de bromuro en el río La Llanga indica una excelente calidad química del agua, sin riesgos para la biota acuática local.

E. Nitrato

En la figura 7 se muestran los datos correspondientes al parámetro nitrato, con valores para los 6 puntos de monitoreo; evidenciándose que en ninguno de ellos se exceden los Estándares de Calidad Ambiental para agua (DS, N°004-2017-MINAM).

Figura 7

Valores de Nitrato (mg/L) del río La Llanga



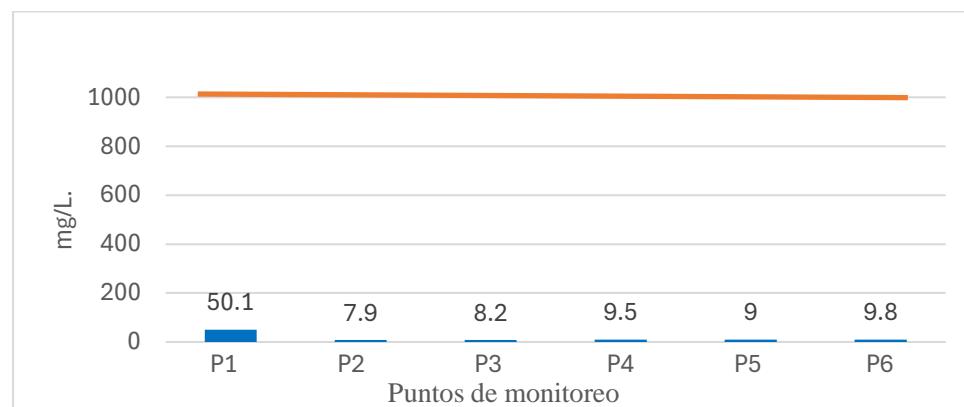
Durante la época seca, los valores de nitrato se encontraron por debajo del límite de 100 mg/L (ECA 2017).

F. Sulfato

En la figura 8 se muestran los datos correspondientes al parámetro sulfato, con valores para los seis puntos de monitoreo; evidenciándose que en ninguno de ellos se exceden los Estándares de Calidad Ambiental para agua (DS, N°004-2017-MINAM).

Figura 8

Valores de Sulfatos (mg/L) del río La Llana.



Los valores de sulfato variaron entre 50.13 y 9.80 mg/L, muy por debajo del límite de 1000 mg/L (ECA), lo que demuestra que el agua del río La Llana mantiene una baja carga de sales sulfatadas. Químicamente, los sulfatos (SO_4^{2-}) derivan de la oxidación del azufre en minerales o de descargas industriales y domésticas. Su moderada presencia indica un balance natural en los procesos de disolución y ausencia de contaminación antrópica significativa. Desde el punto de vista ambiental, niveles bajos favorecen la estabilidad del pH y la disponibilidad de oxígeno, factores críticos para los macroinvertebrados bentónicos. En estudios comparativos, Mora et al. (2020) encontraron que concentraciones elevadas de sulfatos estaban asociadas a condiciones críticas de calidad de agua en la cuenca del Huacamarcanga, mientras que Hoyos Pompa (2019) observó que los sulfatos dentro de los

Límites del ECA indicaban ecosistemas bien oxigenados. En el río La Llanga, los valores reportados reflejan un ambiente químicamente estable y no perturbado.

G. Fosfato

En la figura 9 se muestran los datos correspondientes al parámetro fosfato, con valores para los seis puntos de monitoreo; cabe mencionar que este parámetro no se encuentra dentro de los valores descritos en los Estándares de Calidad Ambiental para agua (DS, N°004-2017-MINAM).

Figura 9

Valores de Fosfato (mg/L) del río La Llanga



Durante la época seca, las concentraciones de fosfato fueron indetectables (<LCM) en todos los puntos de muestreo, lo cual es un indicador de bajo aporte de nutrientes y ausencia de eutrofización. Desde el punto de vista químico, los fosfatos (PO_4^{3-}) son esenciales para el crecimiento biológico, pero en exceso promueven proliferación de algas y consumo de oxígeno. Su ausencia sugiere que el río La Llanga no recibe descargas significativas de fertilizantes o aguas residuales.

Ambientalmente, esto favorece la estabilidad ecológica y la presencia de macroinvertebrados bentónicos sensibles, propios de ecosistemas limpios. En contraposición, Vásquez y Medina (2014) reportaron niveles altos de fosfato en la microcuenca del río

Tablachaca, lo que contribuyó a la degradación de la calidad del agua. Asimismo, Idrogo Uriarte (2024) señaló que los fosfatos elevados correlacionan con contaminación orgánica.

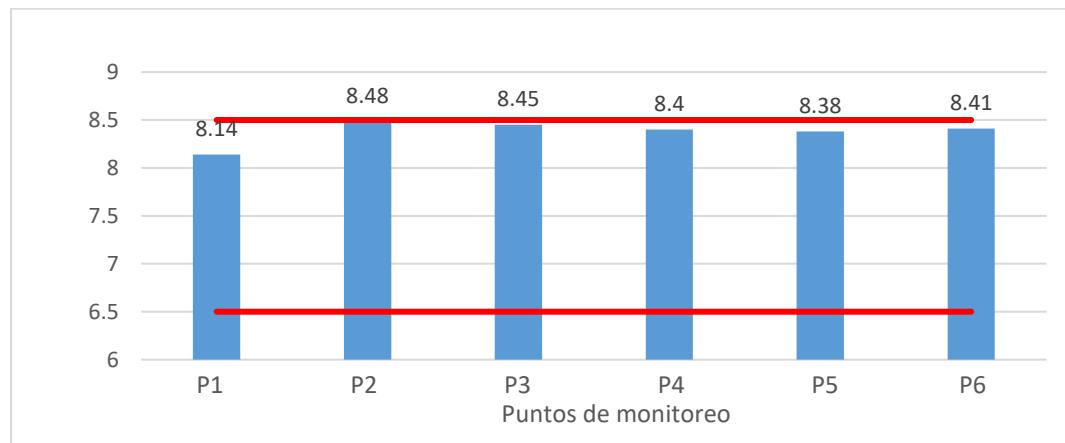
En este contexto, los resultados del río La Llanga reflejan una excelente calidad ambiental, sin riesgo de eutrofización ni alteraciones en la comunidad bentónica.

H. pH

En la figura 10 se muestran los datos correspondientes al parámetro pH, con valores para los seis puntos de monitoreo; evidenciándose que los valores se encuentran dentro del rango establecido en los Estándares de Calidad Ambiental para agua (DS, N°004-2017-MINAM) de 6.5 – 8.5.

Figura 10

Valores de pH del río La Llanga.



El pH del río La Llanga durante la época seca osciló entre 8.14 y 8.48, valores dentro del rango óptimo establecido por el ECA (6.5–8.5). Desde la perspectiva química, este pH ligeramente alcalino indica un equilibrio natural entre los procesos de disolución de carbonatos y la actividad biológica acuática. Un pH estable favorece la disponibilidad de oxígeno y nutrientes, esenciales para la vida de los macroinvertebrados bentónicos. Ambientalmente, un pH superior a 8 puede reflejar procesos de fotosíntesis activa o escasa carga orgánica, mientras que valores fuera del rango afectarían la permeabilidad celular de los organismos.

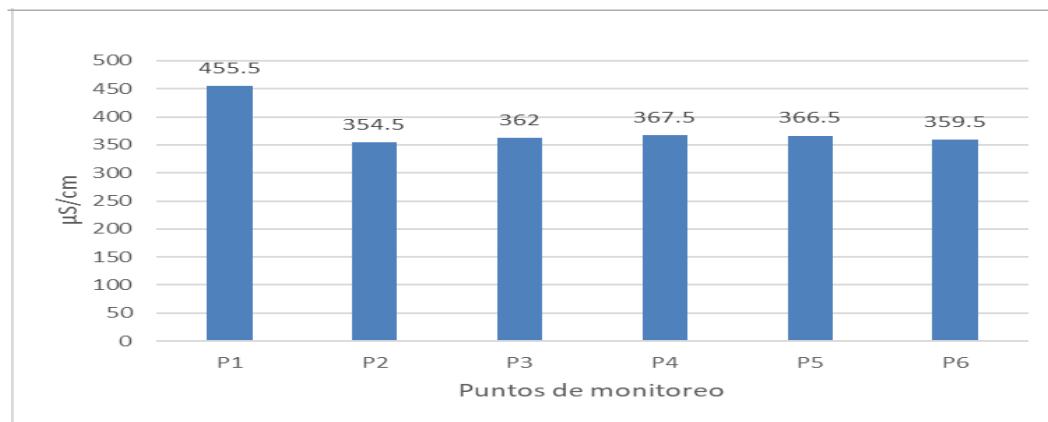
En estudios previos, Hoyos Pompa (2019) reportó alteraciones del pH en el río Muyoc Grande por influencia antrópica, y Jáuregui Araujo (2019) identificó desviaciones en zonas agrícolas del río Sendamal. En cambio, los resultados de La Llanga muestran condiciones químicas estables y compatibles con un ecosistema acuático saludable.

I. Conductividad eléctrica

En la figura 11 se muestran los datos correspondientes al parámetro conductividad eléctrica, con valores para los seis puntos de monitoreo; cabe mencionar que este parámetro no se encuentra dentro de los valores descritos en los Estándares de Calidad Ambiental para agua (DS, N°004-2017-MINAM).

Figura 11

Valores de Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) del río La Llanga



Los valores de conductividad eléctrica (CE) registrados durante la época seca oscilaron entre 455.5 y 359.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, muy por debajo del límite de referencia de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ establecido por el ECA (MINAM, 2017). Desde el punto de vista químico, la CE mide la capacidad del agua para conducir electricidad, relacionada con la concentración total de sales disueltas, como cloruros, sulfatos, nitratos y carbonatos. Las lecturas observadas reflejan una baja salinidad y una adecuada estabilidad iónica, lo que sugiere que el río La Llanga no presenta aportes significativos de contaminantes minerales o domésticos. Ambientalmente, estos niveles son óptimos para el desarrollo de los macroinvertebrados bentónicos, que son sensibles a

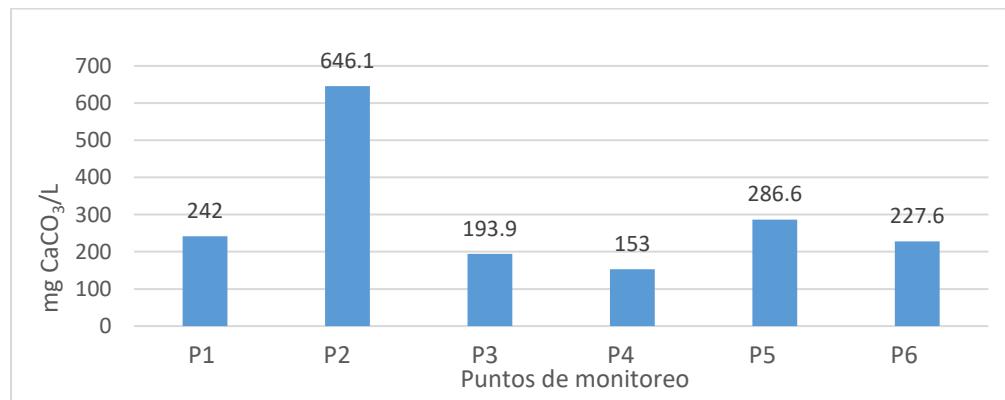
variaciones en la salinidad y al exceso de conductividad. En comparación, Romero y Tarrillo (2017) y Guevara Solón (2024) reportaron incrementos en la conductividad en zonas afectadas por vertimientos urbanos, lo que disminuyó la diversidad bentónica. Los valores moderados en La Llanga indican equilibrio en los procesos de disolución y erosión natural, sin señales de contaminación difusa. Este parámetro confirma la buena calidad físico-química del agua, coherente con los bajos niveles de cloruros y sulfatos registrados en el mismo periodo.

J. Dureza total

En la figura 12 se muestran los datos correspondientes al parámetro dureza total, con valores para los seis puntos de monitoreo; cabe mencionar que este parámetro no se encuentra dentro de los valores descritos en los Estándares de Calidad Ambiental para agua (DS, N°004-2017-MINAM).

Figura 12

Valores de Dureza total (mg CaCO₃/L) del río La Llanga



La dureza total en la época seca del río La Llanga varió entre 646.1 y 153.0 mg CaCO₃/L, sin un valor de referencia específico en el ECA (MINAM, 2017). Químicamente, la dureza está determinada principalmente por las concentraciones de iones calcio (Ca²⁺) y magnesio (Mg²⁺), derivados de la disolución de rocas carbonatadas o yesíferas. Los valores moderados hallados reflejan un agua de dureza media a moderadamente alta, característica de cuencas andinas con suelos minerales ricos en carbonatos. Desde la perspectiva ambiental,

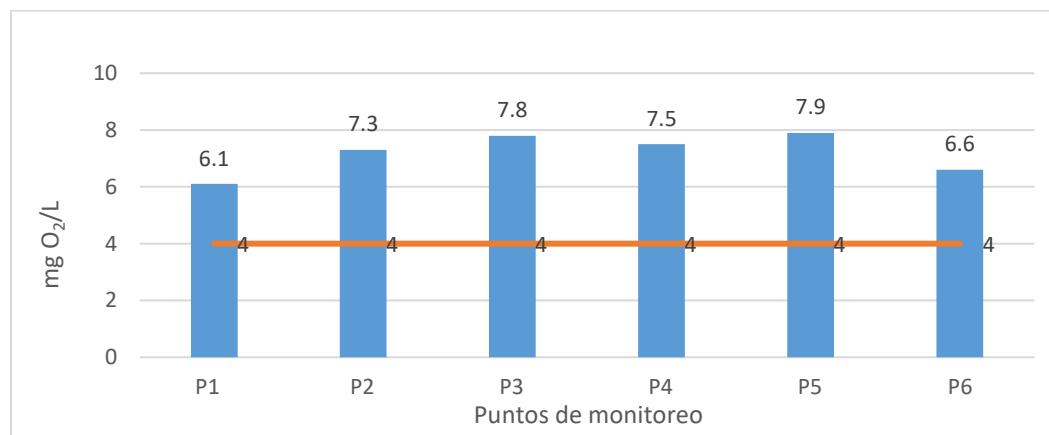
estos niveles son favorables, ya que aguas excesivamente blandas pueden resultar corrosivas y afectar los procesos biológicos, mientras que aguas muy duras pueden precipitar sales y reducir la disponibilidad de nutrientes esenciales. Mora et al. (2020) y Bullón Alcalá (2016) observaron que una dureza equilibrada contribuye al mantenimiento de comunidades bentónicas estables y resistentes a fluctuaciones químicas. Por tanto, la dureza del río La Llanga sugiere una composición mineral natural y estable, coherente con un entorno de baja perturbación antrópica.

K. Oxígeno disuelto

En la figura 13 se muestran los datos correspondientes al parámetro oxígeno disuelto, con valores para los seis puntos de monitoreo; evidenciándose que todos los resultados exceden los Estándares de Calidad Ambiental para agua (DS, N°004-2017-MINAM).

Figura 13

Valores de Oxígeno (mgO₂/L) disuelto del río La Llanga



Durante la época seca, los valores de oxígeno disuelto (OD) oscilaron entre 6.1 y 7.9 mg O₂/L, superando el valor mínimo exigido por el ECA (≥ 4 mg O₂/L). Desde el punto de vista químico, el oxígeno disuelto depende de la temperatura, la turbulencia y la actividad biológica del agua. Las concentraciones registradas indican un sistema altamente oxigenado, característico de ríos con buena aireación y baja carga orgánica. En términos ambientales, el OD es esencial para la respiración de los macroinvertebrados bentónicos, especialmente de

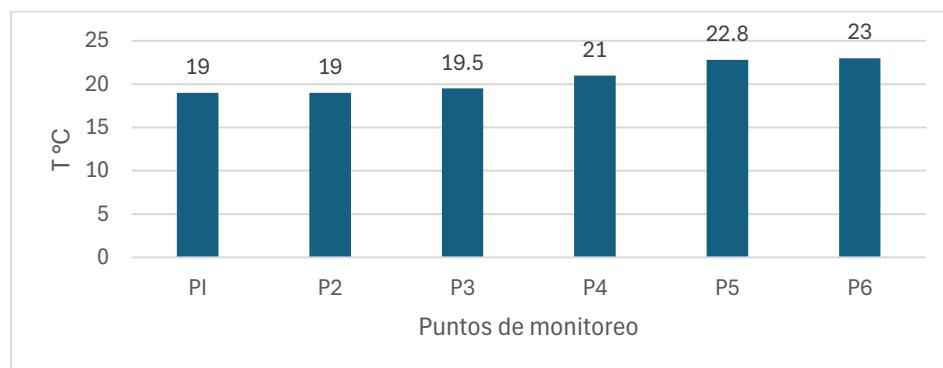
grupos sensibles como *Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Trichoptera*. En contraste, Idrogo Uriarte (2024) y Yépez et al. (2017) registraron niveles bajos de oxígeno en ríos impactados por contaminación orgánica, con predominio de especies tolerantes como *Chironomidae*. En el río La Llanga, el alto contenido de oxígeno refleja un ambiente lótico saludable, con adecuada fotosíntesis acuática y escasa descomposición de materia orgánica. Químicamente, el equilibrio entre OD, pH y nutrientes confirma que el ecosistema mantiene condiciones de alta calidad ambiental, ideales para la biodiversidad bentónica.

R. Temperatura

En la figura 14 se muestran los datos correspondientes al parámetro Temperatura, con valores para los seis puntos de monitoreo; evidenciándose que todos los resultados exceden los Estándares de Calidad Ambiental para agua (DS, N°004-2017-MINAM).

Figura 14

Valores de temperatura (°C) del río La Llanga



En la figura 14, se observa que la temperatura en época de estiaje oscila entre 19 °C (P1) y 23 °C (P6). (Gonzales y García 1995), mencionan que estas temperaturas son adecuadas para el desarrollo de especies acuáticas en los ríos.

4.1.2. Época de lluvia

En la tabla 11 se muestran los resultados para los parámetros fisicoquímicos tomados en época de lluvia, los cuales han sido comparados con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para Agua de la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, del DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM. Donde se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 11*Parámetros fisicoquímicos del río La Llanga - época de lluvia.*

Parámetro	Unidad	LCM	P1	P2	P3	P4	P5	P6	ECA Categoría 3
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.038	0.094	0.123	0.123	0.176	0.121	0.117	1
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.065	26.333	33.695	24.570	22.814	18.212	16.665	500
Nitrito (NO ₂ ⁼)	mg/L	0.050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	10
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.035	0.047	0.066	0.048	0.040	<LCM	<LCM	NE*
Nitrato (NO ₃ ⁼)	mg/L	0.064	0.314	0.404	0.687	0.858	0.531	0.605	100
Sulfato (SO ₄ ⁼)	mg/L	0.070	17.454	22.785	23.206	28.275	23.872	26.616	1000
Fosfato (PO ₄ ⁼)	mg/L	0.032	<LCM	<LCM	<LCM	0.049	<LCM	<LCM	NE
N-Nitrito (N-NO ₂)	mg/L	0.013	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	100
N-Nitrato (N-NO ₃)	mg/L	0.014	0.056	0.077	0.141	0.179	0.105	0.122	100
N-Nitrato + N- Nitrito	mg/L	0.064	0.056	0.077	0.141	0.179	0.105	0.122	100
pH a 25 °C	pH	NA	8.29	8.32	8.27	8.40	8.20	8.14	6.5-8.5
Conductividad a 25 °C	µS/cm	NA	570.50	571.00	589.50	600.50	624.00	646.00	2500
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	1.04	147.28	148.61	160.78	169.67	170.32	182.16	NE
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.50	7.07	7.33	6.65	6.32	6.33	6.59	≥ 4
(*) Temperatura (T°)	°C	N.A.	18.33	18.32	18.36	18.31	18.33	18.34	Δ3

Fuente: Laboratorio Regional del Agua (2024).

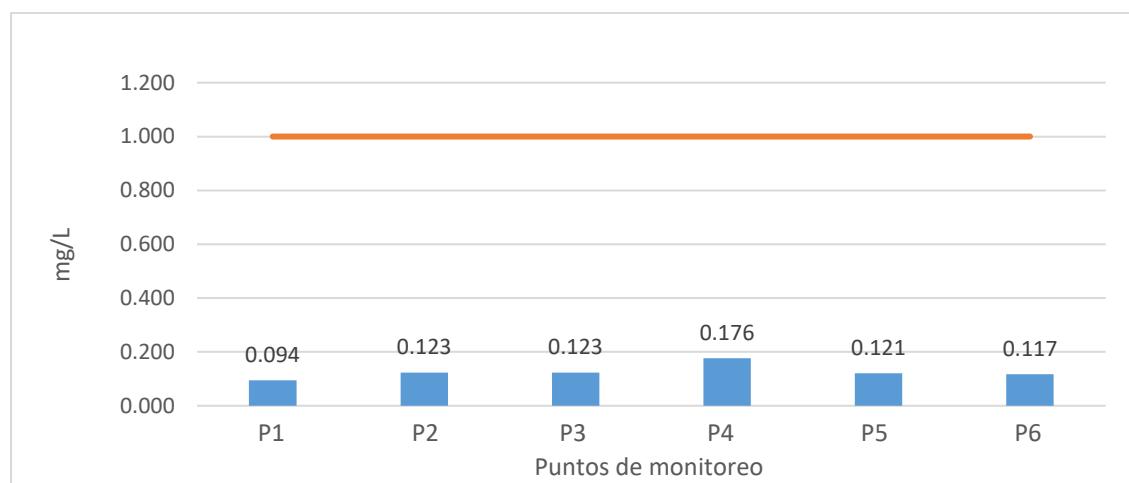
NOTA: LCM*: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas), NE*: No específica, NA: No Aplica.

A. Fluoruro

En la figura 15 se muestran los datos correspondientes al parámetro fluoruro, con valores para los 6 puntos de monitoreo; evidenciándose que en ninguno de ellos se exceden los Estándares de Calidad Ambiental para agua (DS, N°004-2017-MINAM).

Figura 15

Valores de Fluoruros (mg/L) del río La Llanga



Durante la época de lluvia, las concentraciones de fluoruro oscilaron entre 0.094 y 0.176 mg/L, valores que se mantienen dentro de los límites establecidos por el ECA (1 mg/L) para agua destinada a riego y bebida de animales. Desde el punto de vista químico, el fluoruro (F^-) puede provenir de la disolución de minerales naturales o de infiltraciones de suelos ricos en fluoruros. Sin embargo, las precipitaciones aumentan el arrastre superficial, lo que explica la ligera elevación respecto a la época seca. Ambientalmente, estos valores no representan riesgo para la biota acuática ni para los macroinvertebrados bentónicos, organismos sensibles a la toxicidad iónica. Estudios como el de Guevara Solón (2024) y Hoyos Pompa (2019) demostraron que concentraciones de fluoruro dentro del rango natural se asocian con ecosistemas equilibrados y aguas bien oxigenadas. En contraste, valores elevados pueden alterar funciones enzimáticas y provocar estrés fisiológico en organismos acuáticos. En el río La Llanga, la estabilidad del fluoruro indica una ausencia de fuentes antropogénicas, como

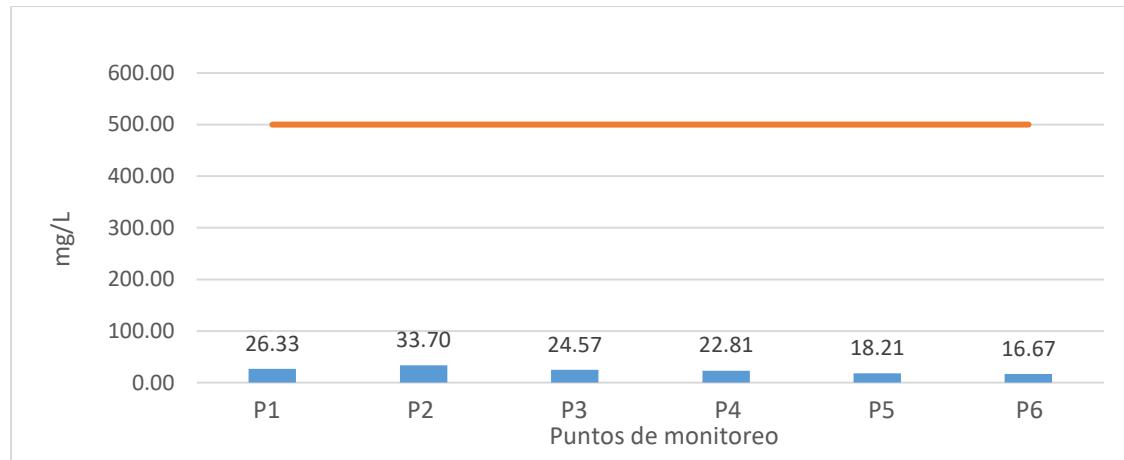
descargas industriales o detergentes fluorados, coincidiendo con las condiciones descritas por Mora et al. (2020) en cuencas conservadas del norte del Perú. Por tanto, el sistema mantiene una alta calidad química y ecológica, incluso en condiciones de precipitación intensa.

B. Cloruro

En la figura 16 se muestran los datos correspondientes al parámetro cloruro, con valores para los 6 puntos de monitoreo; evidenciándose que en ninguno de ellos se exceden los Estándares de Calidad Ambiental para agua (DS, N°004-2017-MINAM).

Figura 16

Valores de Cloruros (mg/L) del río La Llanga.



Los valores de cloruro durante la época de lluvia variaron entre 33.69 y 16.66 mg/L, cifras muy inferiores al límite de 500 mg/L (ECA, 2017). Desde el punto de vista químico, este ion (Cl^-) aumenta ligeramente con las lluvias debido al lavado de suelos y la escorrentía superficial, pero las concentraciones registradas se mantienen dentro de un rango natural. El cloruro es un componente estable que refleja el grado de mineralización del agua. Ambientalmente, niveles bajos son favorables para la supervivencia de macroinvertebrados bentónicos, especialmente para especies poco tolerantes a la salinidad. En comparación, Idrogo Uriarte (2024) observó en el río Chotano un aumento de cloruros relacionado con descargas domésticas, lo que afectó la diversidad biológica. En el río La Llanga, la moderada

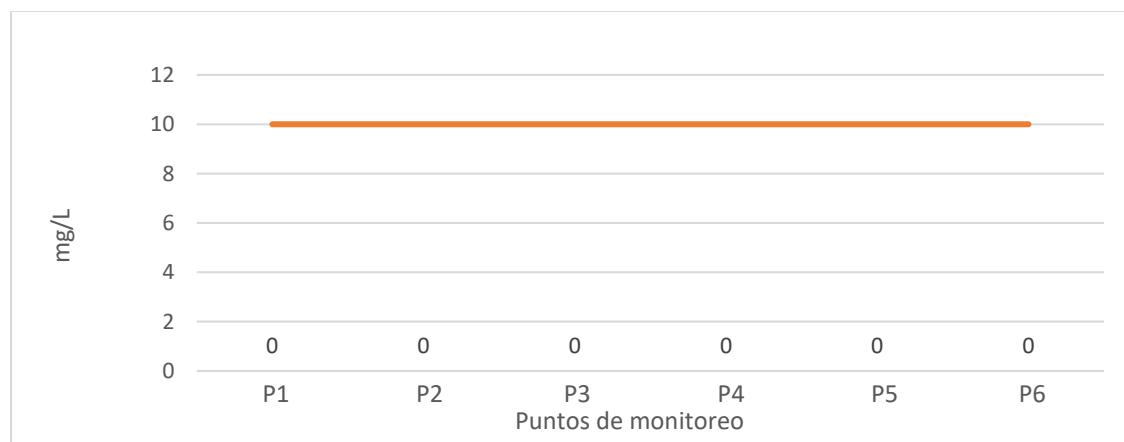
concentración sugiere baja influencia antrópica y buena calidad hídrica, confirmando un entorno químicamente equilibrado. Además, Bullón Alcalá (2016) señaló que la coincidencia entre bajos niveles de cloruro y altos valores de oxígeno disuelto es un indicativo de ecosistemas saludables, lo cual se evidencia también en este caso. Por tanto, los resultados de la figura confirman una mínima mineralización y ausencia de contaminación salina, coherentes con la estabilidad ecológica del río.

C. Nitrito

En la figura 17 se muestran los datos correspondientes al parámetro nitrito, con valores para los 6 puntos de monitoreo; evidenciándose que en ninguno de ellos se exceden los Estándares de Calidad Ambiental para agua (DS, N°004-2017-MINAM).

Figura 17

Valores de Nitritos (mg/L) del río La Llanga



Durante la época de lluvia, no se detectaron concentraciones cuantificables de nitrito (<LCM) en ninguno de los puntos de monitoreo, lo cual es un indicador positivo de calidad ambiental. Desde la perspectiva química, los nitritos (NO_2^-) son formas inestables de nitrógeno que se oxidan rápidamente a nitratos en presencia de oxígeno. Su ausencia refleja una eficiente nitrificación y un ambiente acuático bien oxigenado.

En estudios previos, Hoyos Pompa (2019) y Jáuregui Araujo (2019) reportaron valores elevados de nitrato en zonas con influencia agrícola y urbana, lo que generó degradación ecológica. En el caso del río La Llana, la inexistencia de nitratos detectables evidencia que las lluvias no provocan un incremento significativo de materia orgánica ni contaminación difusa.

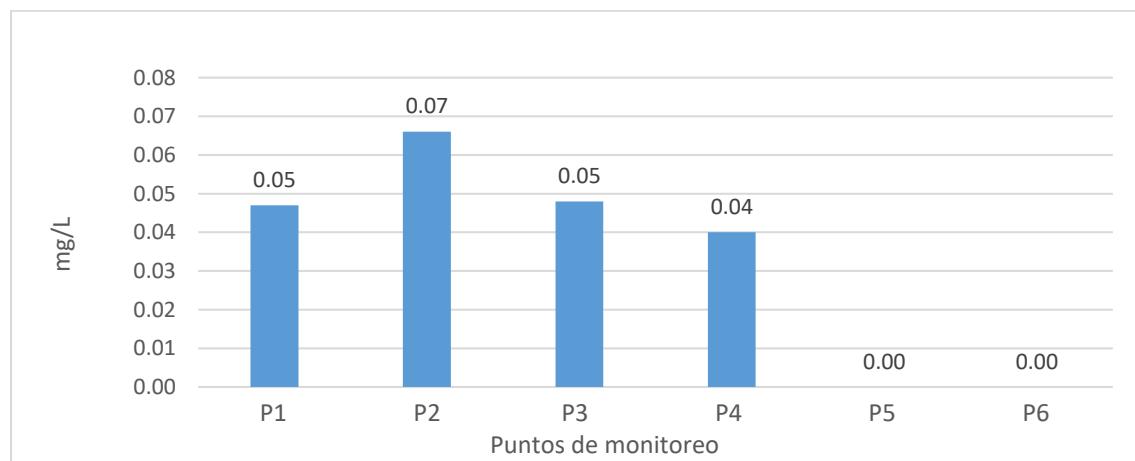
Ambientalmente, esto es crucial para los macroinvertebrados bentónicos, ya que el nitrato puede alterar los procesos respiratorios al formar metahemoglobina en organismos acuáticos. Comparado con los hallazgos de Guevara Solón (2024) en el río San Lucas, donde algunos puntos excedieron los límites del ECA, el río La Llana muestra un estado químico estable y saludable, incluso bajo condiciones hidrológicas cambiantes.

D. Bromuro

En la figura 18 se muestran los datos correspondientes al parámetro bromuro, con valores para los puntos de monitoreo: P1 – 0.05, P2 – 0.07, P3 – 0.05, P4 – 0.04, P5 – 0.00 y P6 – 0.00; cabe mencionar que este parámetro no se encuentra dentro de los valores descritos en los Estándares de Calidad Ambiental para agua (DS, N°004-2017-MINAM).

Figura 18

Valores de Bromuros (mg/L) del río La Llana



En la época de lluvia, las concentraciones de bromuro variaron entre 0.047 y 0.040 mg/L, siendo no detectables (<LCM) en los puntos P5 y P6. Este parámetro no cuenta con un

valor límite en el ECA (MINAM, 2017), pero los valores reportados son típicos de ríos andinos con baja influencia marina o industrial.

Desde el punto de vista químico, el bromuro (Br^-) puede proceder de la disolución de minerales o del uso de pesticidas bromados en zonas agrícolas, aunque en este caso su presencia mínima sugiere un origen natural. Ambientalmente, niveles bajos son favorables, ya que evitan la formación de subproductos tóxicos como los bromatos en procesos oxidativos (Bullón Alcalá, 2016).

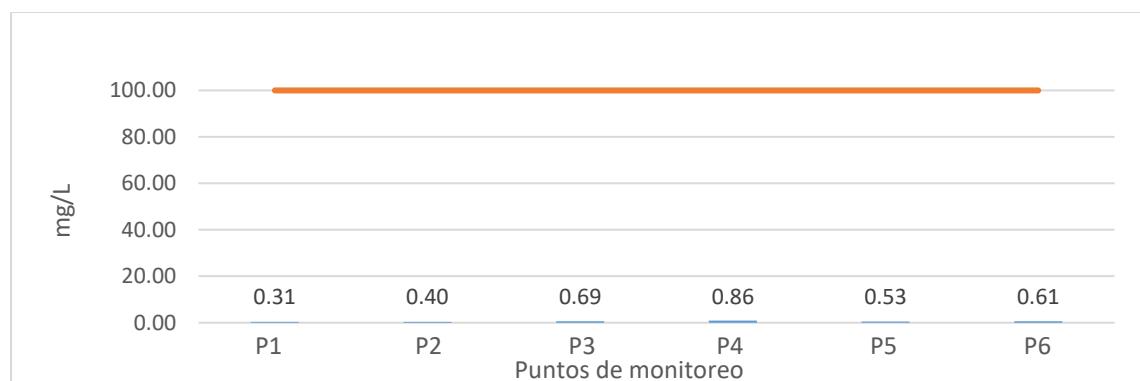
En sistemas impactados, Yépez et al. (2017) documentaron elevaciones del bromuro asociadas a efluentes industriales, lo cual alteró la composición de los macroinvertebrados bentónicos. En el río La Llanga, las concentraciones reducidas demuestran una ausencia de contaminación química compleja y una buena oxigenación natural. Por tanto, el ecosistema mantiene condiciones seguras para la biota acuática y refleja una baja vulnerabilidad química ante las lluvias estacionales.

E. Nitrato

En la figura 19 se muestran los datos correspondientes al parámetro nitrato NO_3^- , con valores para los 6 puntos de monitoreo; evidenciándose que en ninguno de ellos se exceden los Estándares de Calidad Ambiental para agua (DS, N°004-2017-MINAM).

Figura 19

Valores de Nitratos (mg/L) del río La Llanga

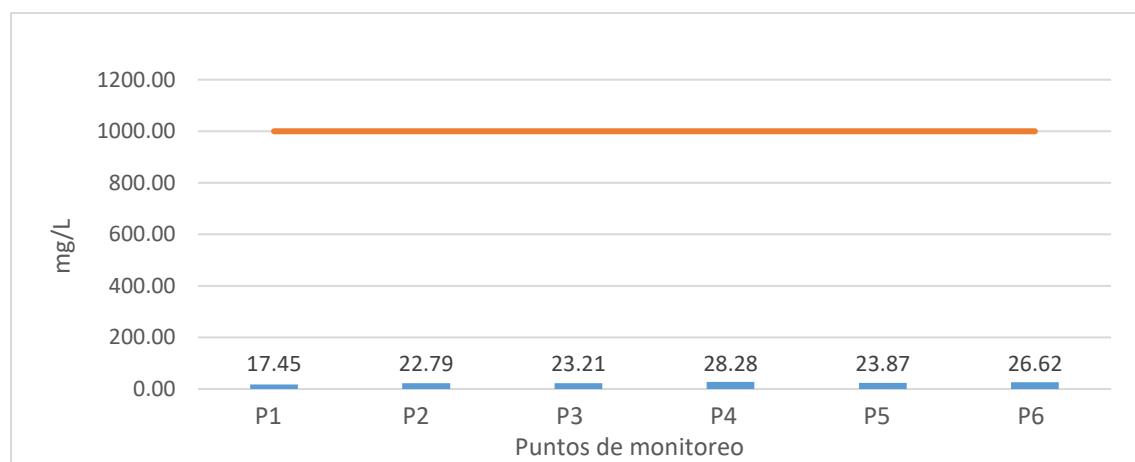


F. Sulfato

En la figura 20 se muestran los datos correspondientes al parámetro sulfato, con valores para los 6 puntos de monitoreo; evidenciándose que en ninguno de ellos se exceden los Estándares de Calidad Ambiental para agua (DS, N°004-2017-MINAM).

Figura 20

Valores de Sulfatos (mg/L) del río La Llanga



Los valores de sulfato durante la época de lluvia variaron entre 17.45 y 28.28 mg/L, muy por debajo del límite del ECA (1000 mg/L). Desde el punto de vista químico, los sulfatos (SO_4^{2-}) derivan de la oxidación del azufre o de la disolución de minerales yesíferos, procesos naturales que se intensifican ligeramente con las precipitaciones. Su presencia moderada evidencia una buena estabilidad geoquímica y la ausencia de contaminación industrial o minera.

Ambientalmente, los sulfatos en concentraciones controladas no son tóxicos y ayudan a mantener el equilibrio iónico del agua, favoreciendo el desarrollo de macroinvertebrados bentónicos. En ríos con mayor impacto antrópico, Mora et al. (2020) observaron que niveles superiores a 100 mg/L se correlacionan con reducción de biodiversidad y alteración del pH. En el río La Llanga, los valores bajos de sulfato indican mínimo aporte externo y una adecuada

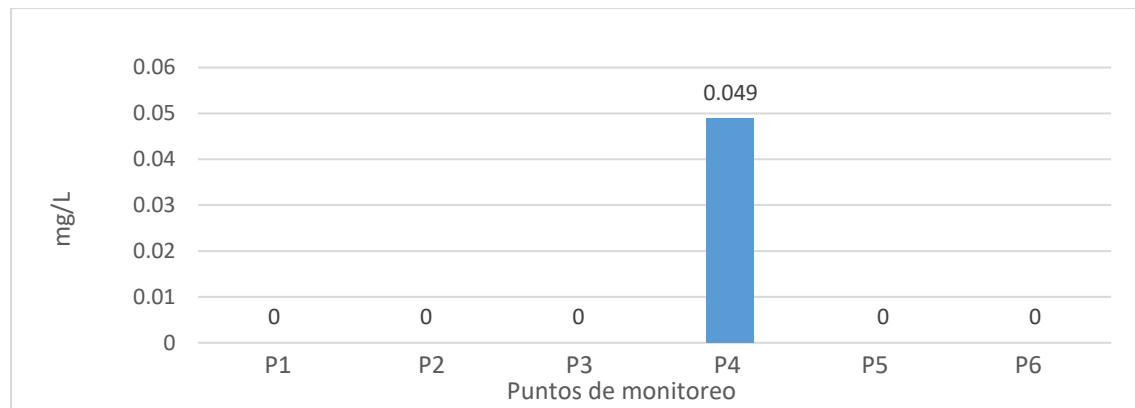
autorregulación del sistema acuático, lo que refuerza la clasificación del agua como de excelente calidad química y ambiental.

G. Fosfato

En la figura 21 se muestran los datos correspondientes al parámetro fosfato, con valores para los 6 puntos de monitoreo; cabe mencionar que este parámetro no se encuentra dentro de los valores descritos en los Estándares de Calidad Ambiental para agua (DS, N°004-2017-MINAM).

Figura 21

Valores de Fosfatos (mg/L) del río La Llana.



Las concentraciones de fosfato registradas en época de lluvia fueron indetectables (<LCM) en casi todos los puntos, con un valor puntual de 0.049 mg/L en P4. Este resultado refleja un bajo aporte de nutrientes fosfatados, característico de ríos sin influencia agrícola ni urbana significativa. Desde el punto de vista químico, el fosfato (PO_4^{3-}) es un nutriente esencial, pero en exceso puede promover procesos de eutrofización, aumentando la biomasa algal y reduciendo el oxígeno disponible. Ambientalmente, la ausencia de fosfato detectable es beneficiosa, ya que garantiza un equilibrio biológico adecuado para los macroinvertebrados bentónicos sensibles. Estudios como el de Vásquez y Medina (2014) y Idrogo Uriarte (2024) relacionaron concentraciones altas de fosfatos con deterioro de la calidad del agua y pérdida de biodiversidad. En el río La Llana, la escasez de este ion sugiere un entorno naturalmente

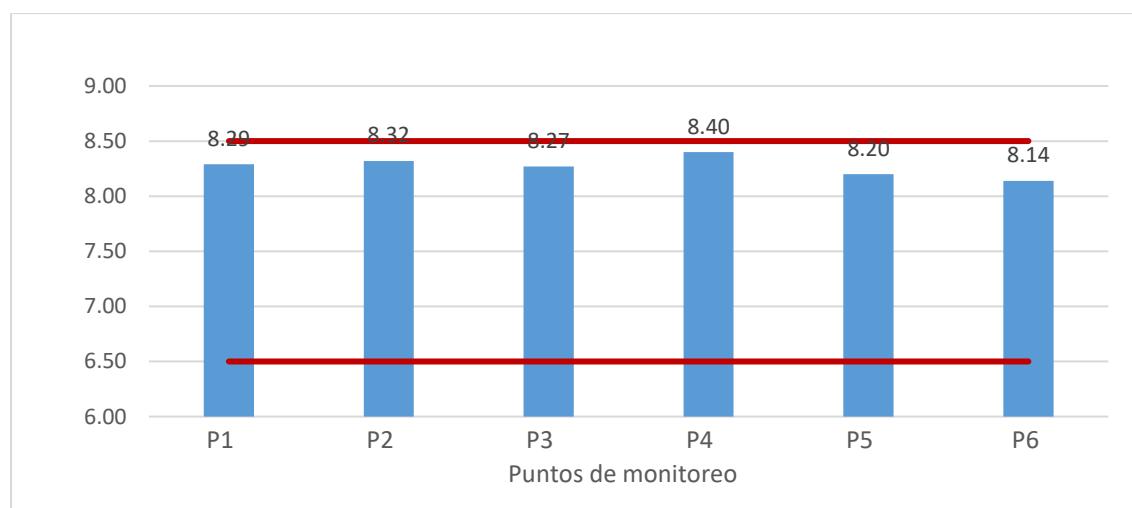
oligotrófico, donde los procesos de fotosíntesis y respiración se mantienen balanceados, asegurando la estabilidad ecológica.

H. pH

En la figura 22 se muestran los datos correspondientes al parámetro pH, con valores para los 6 puntos de monitoreo; evidenciándose que los valores se encuentran dentro del rango establecido en los Estándares de Calidad Ambiental para agua (DS, N°004-2017-MINAM) de 6.5 – 8.5.

Figura 22

Valores de pH del río La Llanga.



Los valores de pH registrados durante la época de lluvia variaron entre 8.14 y 8.40, situándose dentro del rango óptimo de 6.5 a 8.5 establecido por el ECA (MINAM, 2017). Desde el punto de vista químico, un pH ligeramente alcalino indica un sistema bien tamponado, con adecuada capacidad para neutralizar ácidos derivados de procesos biológicos o geológicos. Esta estabilidad refleja la interacción natural del agua con minerales carbonatados y la ausencia de vertimientos ácidos. Ambientalmente, un pH estable favorece la disponibilidad de oxígeno y nutrientes, esenciales para la supervivencia de los macroinvertebrados bentónicos. En comparación, Hoyos Pompa (2019) y Jáuregui Araujo (2019) reportaron desviaciones del pH en ríos expuestos a descargas agrícolas, lo que alteró la estructura de las comunidades

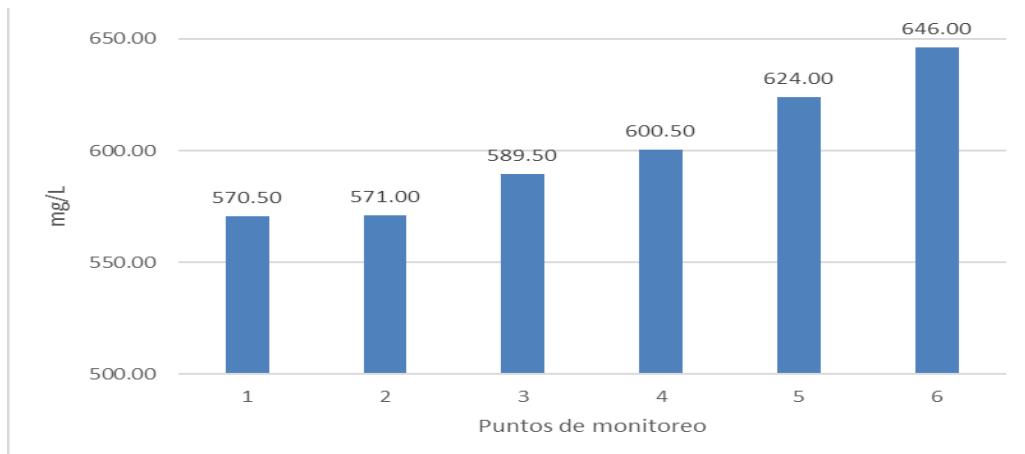
acuáticas. En el río La Llanga, la constancia del pH demuestra una excelente calidad del agua y un equilibrio entre los procesos de fotosíntesis, respiración y disolución mineral. Por tanto, este parámetro confirma la estabilidad química y ecológica del ecosistema fluvial incluso en condiciones de mayor caudal.

I. Conductividad eléctrica

En la figura 23 se muestran los datos correspondientes al parámetro conductividad eléctrica, con valores para los 6 puntos de monitoreo; cabe mencionar que este parámetro no se encuentra dentro de los valores descritos en los Estándares de Calidad Ambiental para agua (DS, N°004-2017-MINAM).

Figura 23

Valores de Conductividad eléctrica (ms/cm) del río La Llanga



Durante la época de lluvia, la conductividad eléctrica (CE) del río La Llanga varió entre 570.50 y 646.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valores considerablemente bajos frente al límite de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ establecido por el ECA (MINAM, 2017).

Desde el punto de vista químico, la CE refleja la cantidad total de iones disueltos —principalmente cloruros, sulfatos, carbonatos, calcio y magnesio—. Las lluvias tienden a incrementar la disolución iónica por arrastre de suelos, aunque las concentraciones registradas en este estudio indican un nivel de mineralización bajo y natural.

Ambientalmente, una CE moderada favorece la estabilidad osmótica de los macroinvertebrados bentónicos, que son sensibles a variaciones salinas. En comparación, Guevara Solón (2024) observó mayores valores de conductividad en el río San Lucas debido a vertimientos urbanos, lo que redujo la diversidad bentónica.

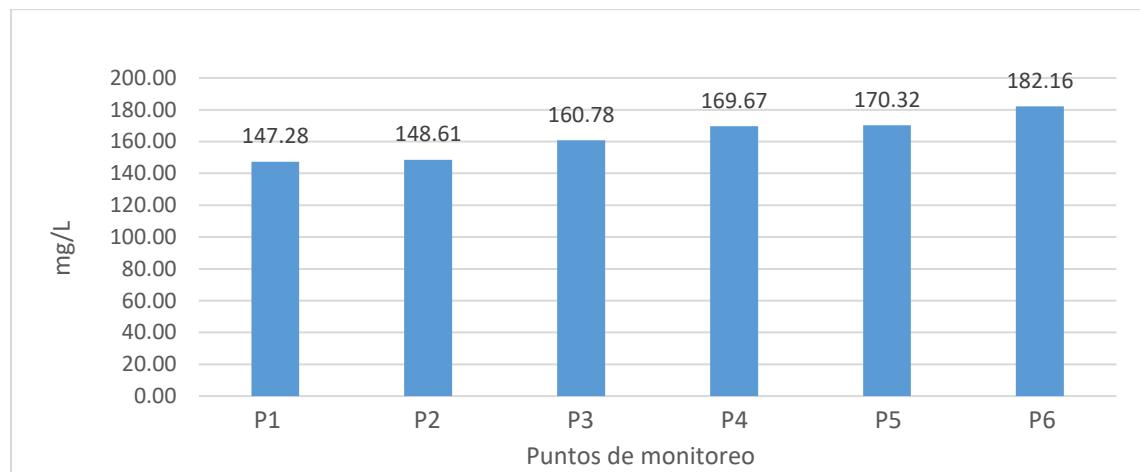
Asimismo, Mora et al. (2020) señalaron que una CE estable es indicativa de cuerpos de agua conservados. Por tanto, los resultados del río La Llanga confirman un bajo impacto antrópico, buena calidad química y condiciones óptimas para la vida acuática incluso durante períodos de mayor escorrentía.

J. Dureza total

En la figura 24 se muestran los datos correspondientes al parámetro dureza total, con valores para los 6 puntos de monitoreo; cabe mencionar que este parámetro no se encuentra dentro de los valores descritos en los Estándares de Calidad Ambiental para agua (DS, N°004-2017-MINAM).

Figura 24

Valores de Dureza total (mg/L) del río La Llanga.



En la época de lluvia, los valores de dureza total oscilaron entre 147.28 y 182.16 mg CaCO₃/L, reflejando un agua de dureza media, sin valor de referencia específico en el ECA (MINAM, 2017). Desde el punto de vista químico, la dureza depende de las concentraciones

de calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}), que aumentan ligeramente durante las lluvias por la disolución de minerales carbonatados. Este rango es beneficioso para el equilibrio iónico del ecosistema, ya que valores muy bajos pueden provocar corrosividad y valores altos pueden limitar la solubilidad del oxígeno.

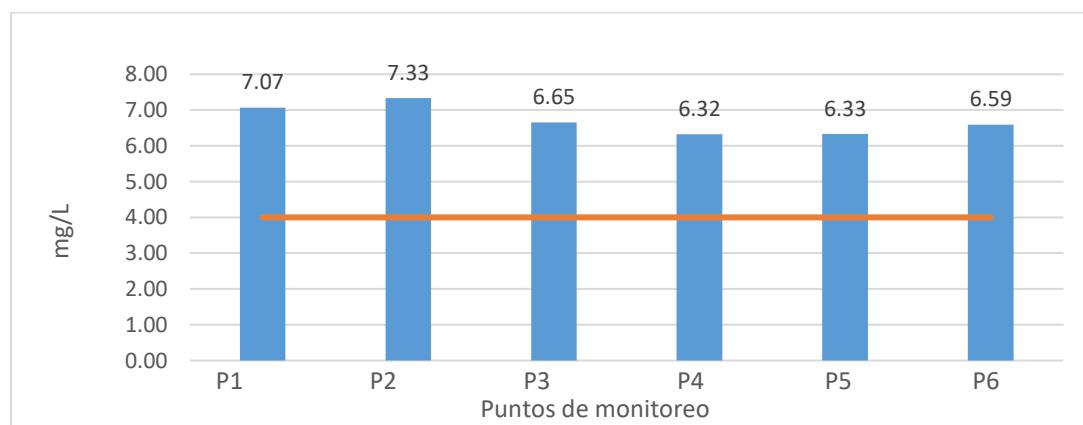
Ambientalmente, una dureza moderada crea condiciones favorables para los macroinvertebrados bentónicos, especialmente para especies que requieren minerales esenciales para el desarrollo de su exoesqueleto. Bullón Alcalá (2016) y Mora et al. (2020) destacan que la estabilidad de este parámetro indica aguas naturales y no perturbadas. En el río La Llanga, la dureza observada confirma la ausencia de fuentes contaminantes minerales y una buena capacidad de amortiguación química, coherente con los bajos niveles de cloruros y sulfatos reportados en la misma época.

K. Oxígeno disuelto

En la figura 25 se muestran los datos correspondientes al parámetro oxígeno disuelto, con valores para los 6 puntos de monitoreo; evidenciándose que todos los resultados exceden los Estándares de Calidad Ambiental para agua (DS, N°004-2017-MINAM).

Figura 25

Valores de Oxígeno disuelto (mg/L) del río La Llanga



El oxígeno disuelto (OD) durante la época de lluvia presentó valores entre 6.32 y 7.33 mg O_2/L , todos por encima del valor mínimo de 4 mg O_2/L exigido por el ECA (MINAM,

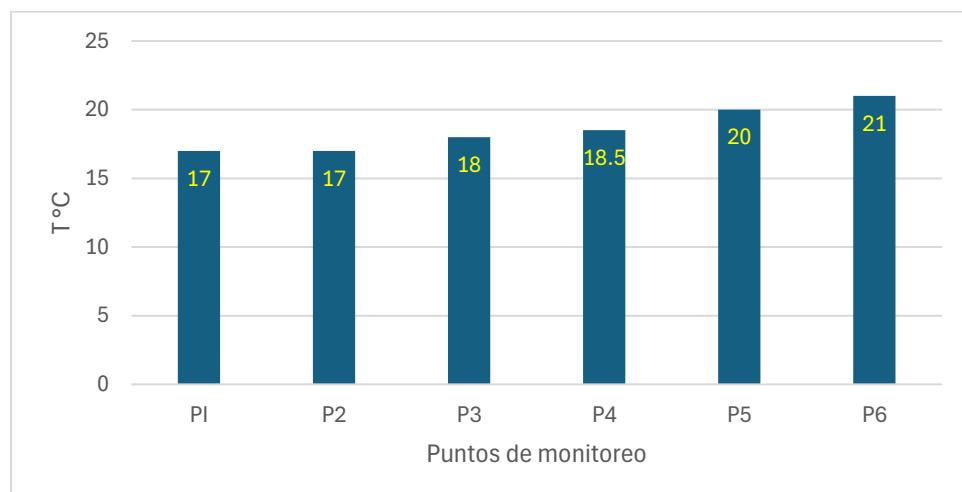
2017). Químicamente, el OD depende de la temperatura, la turbulencia y la actividad biológica. Aunque las lluvias pueden reducir la concentración por arrastre de materia orgánica, los valores obtenidos evidencian una óptima aireación y un sistema acuático altamente oxigenado. Desde el punto de vista ambiental, un OD elevado garantiza la supervivencia de especies sensibles de macroinvertebrados bentónicos, como efemerópteros y tricópteros, considerados bioindicadores de buena calidad de agua. En contraste, Idrogo Uriarte (2024) y Yépez et al. (2017) registraron niveles bajos de oxígeno en cuerpos hídricos impactados por descargas domésticas e industriales. En el río La Llanga, las concentraciones elevadas reflejan baja carga orgánica, buena actividad fotosintética y equilibrio ecológico. Este parámetro, junto con el pH y los nutrientes, confirma que el ecosistema fluvial conserva excelentes condiciones fisicoquímicas durante la temporada de lluvia, manteniendo su función ecológica y biodiversidad acuática.

R. Temperatura

En la figura 26 se muestran los datos correspondientes al parámetro oxígeno disuelto, con valores para los 6 puntos de monitoreo; evidenciándose que todos los resultados exceden los Estándares de Calidad Ambiental para agua (DS, N°004-2017-MINAM).

Figura 26

Valores de la Temperatura (°C) del río La Llanga



en la figura 26, se observa que la temperatura en época de estiaje oscila entre 19 °C (P1) y 23 °C (P6). (Gonzales y García 1995), mencionan que estas temperaturas son adecuadas para el desarrollo de especies acuáticas en los ríos.

En la figura también se determinó que la temperatura es inversa a la altitud (la altitud disminuye y la temperatura aumenta).

En resumen, los resultados de los parámetros fisicoquímicos en el río La Llanga, tanto en la época seca como en la de lluvia, revelan un panorama generalmente positivo en comparación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua de Categoría 3 según el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, aunque con algunas particularidades que invitan a una reflexión más profunda sobre la salud del ecosistema acuático. En la época seca, el fluoruro muestra valores bajos, oscilando entre 0.063 y 0.159 mg/L, sin exceder el límite de 1 mg/L, lo que contrasta con estudios previos como el de Guevara Solón (2024), quien reportó desviaciones en parámetros similares en el río San Lucas debido a vertimientos urbanos; aquí, la ausencia de excedentes sugiere un bajo impacto antropogénico inicial. Los cloruros, con rangos de 2.967 a 6.920 mg/L, también cumplen ampliamente con el ECA de 250 mg/L, similar a lo observado por Idrogo Uriarte (2024) en el río Chotano, donde la mayoría de parámetros estaban dentro de normas, excepto DBO₅ y fosfatos. En cuanto a nitritos, solo el punto P1 registra 0.364 mg/L, mientras que los demás están por debajo del límite de cuantificación (LCM), cumpliendo con el ECA de 0.4 mg/L, un hallazgo que resuena con Quesada y Urbano (2023), quienes destacaron valores bajos en el río Rímac, aunque advirtieron sobre contaminantes no detectados. El bromuro, no regulado en el ECA, aparece en trazas o ausente, lo que podría indicar mínima influencia industrial, a diferencia de Hoyos Pompa (2019), quien encontró desviaciones en pH en el río Muyoc Grande. Los nitratos varían de 1.015 a 4.868 mg/L, por debajo de 10 mg/L, alineándose con Jáuregui Araujo (2019) en el río Sendamal, donde nitratos y nitritos cumplieron normas. Sulfatos entre 7.864 y 50.13 mg/L no superan los

250 mg/L, y fosfatos están en LCM, contrastando con Idrogo Uriarte (2024), quien reportó excedentes en fosfatos por actividades agrícolas. El pH, de 8.14 a 8.48, se mantiene en el rango 6.5-8.5, a diferencia de Hoyos Pompa (2019), con excedentes en época húmeda. La conductividad eléctrica, de 354.5 a 455.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y dureza total de 153 a 646.1 mg CaCO₃/L, no reguladas, sugieren variabilidad natural, como en Mora et al. (2020) en el río Huacamarcanga. Finalmente, el oxígeno disuelto (OD), de 6.1 a 7.9 mg/L, supera el mínimo de 5 mg/L, indicando buena oxigenación, opuesto a Azabache Coronado (2018), con variaciones estacionales. En la época de lluvia, patrones similares persisten: fluoruro de 0.094 a 0.176 mg/L, cloruros de 16.66 a 33.69 mg/L (nota: valores en figura15 parecen más altos que en tabla, posiblemente error tipográfico), nitritos en LCM, bromuro trazas, nitratos 0.314 a 0.858 mg/L, sulfatos 17.454 a 28.275 mg/L, fosfatos mayoritariamente LCM excepto P4 con 0.049 mg/L, pH 8.14-8.40, conductividad 570.50-646.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dureza 147.28-182.16 mg CaCO₃/L y OD 6.32-7.33 mg/L, todos cumpliendo ECA, similar a Romero y Tarrillo (2017) en quebrada Chambag, salvo OD bajo en algunos puntos. En opinión personal técnica, como ingeniero ambiental con experiencia en monitoreo de ríos andinos, estos resultados son alentadores, ya que indican un río relativamente prístino con bajo impacto contaminante, posiblemente debido a la ausencia de industrias pesadas en Celendín, a diferencia de ríos urbanos como el Rímac (Quesada & Urbano, 2023). Sin embargo, la variabilidad en dureza y conductividad podría señalar influencias geológicas o incipientes agrícolas, y recomiendo monitoreos continuos para detectar eutrofización temprana, integrando bioindicadores como en Yépez et al. (2017), para una evaluación holística. Bullón Alcalá (2016) y Vásquez y Medina (2014) enfatizan la complementariedad de fisicoquímicos y bióticos, y aquí, el cumplimiento general sugiere potencial para conservación, pero con vigilancia ante cambios climáticos que podrían alterar OD y nutrientes.

4.1.3. Análisis estadístico

A. Fluoruro

a. Correlación

Tabla 12

Correlación fluoruro.

		Fluoruro	Macroinvertebrados
Fluoruro	Correlación de Pearson	1	-0.222
	Sig. (bilateral)		0.672
	N	6	6
Macroinvertebrados	Correlación de Pearson	-0.222	1
	Sig. (bilateral)	0.672	
	N	6	6

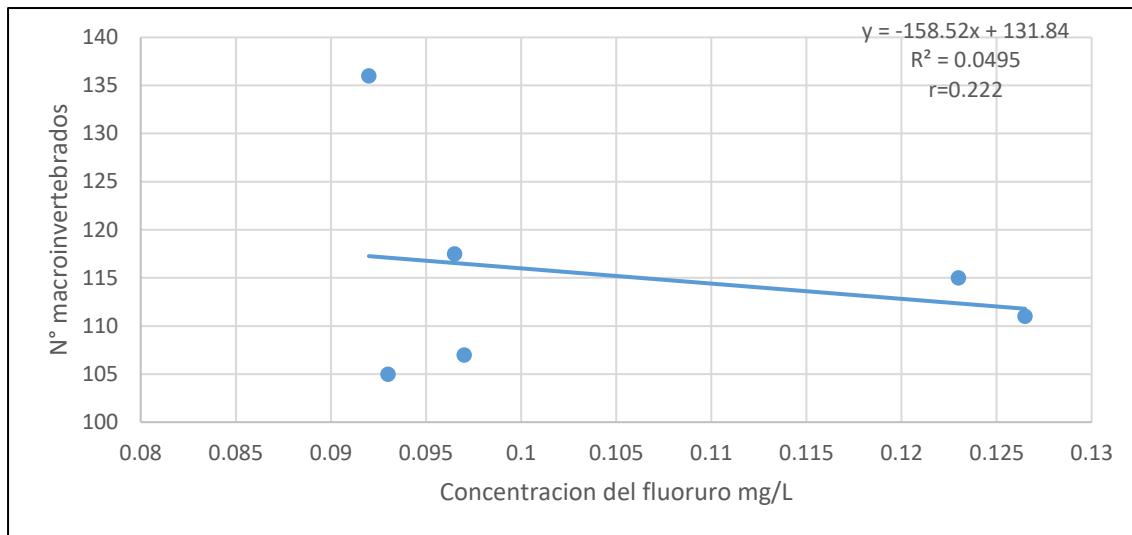
Interpretación del coeficiente de Pearson y Sig. Bilateral:

El coeficiente de Pearson entre la concentración de fluoruro y la cantidad de macroinvertebrados bentónicos es de -0.222, lo que indica una relación baja e inversa entre estas dos variables. Esto sugiere que, a medida que aumenta la concentración de fluoruro, la cantidad de macroinvertebrados tiende a disminuir ligeramente, aunque esta relación no es fuerte. Además, el valor de significancia bilateral (Sig.) de 0.672 es mayor al nivel común de significancia de 0.05, lo que indica que la relación observada no es estadísticamente significativa. Esto significa que no hay evidencia suficiente para afirmar que existe una relación lineal significativa entre la concentración de fluoruro y la cantidad de macroinvertebrados en la población estudiada.

b. Regresión

Figura 27

Regresión fluoruro.



Interpretación de la ecuación de la recta y el coeficiente de determinación:

La ecuación de la recta de regresión es $y = -158.52x + 131.84$, donde “y” representa la cantidad de macroinvertebrados y “x” la concentración de fluoruro. El coeficiente de determinación $R^2 = 0.0495$ indica que solo el 4.95% de la variabilidad en la cantidad de macroinvertebrados se explica por la concentración de fluoruro, lo que sugiere que la concentración de fluoruro tiene un poder explicativo muy bajo sobre la variabilidad en la cantidad de macroinvertebrados.

El valor del coeficiente de correlación $r=0.222$ reafirma la existencia de una relación baja entre estas variables, lo que significa que otros factores no considerados en este modelo probablemente estén influyendo en la cantidad de macroinvertebrados en el río La Llana.

B. Cloruro

a. Correlación

Tabla 13

Correlación cloruro.

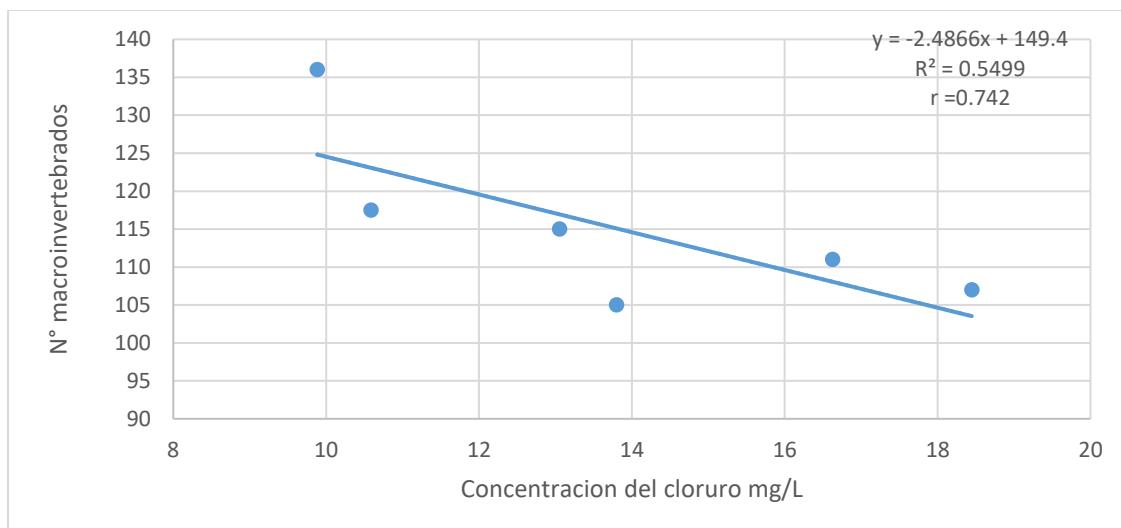
		Cloruro	Macroinvertebrados
Cloruro	Correlación de Pearson	1	-0.742
	Sig. (bilateral)		0.092
	N	6	6
Macroinvertebrados	Correlación de Pearson	-0.742	1
	Sig. (bilateral)	0.092	
	N	6	6

Interpretación del coeficiente de Pearson y Sig. Bilateral: El coeficiente de correlación de Pearson entre la concentración de cloruro y la cantidad de macroinvertebrados bentónicos es de -0.742, lo que indica una relación alta e inversa entre estas dos variables. Este resultado sugiere que, a medida que la concentración de cloruro en el agua aumenta, la cantidad de macroinvertebrados disminuye considerablemente, lo que podría señalar un efecto negativo significativo del cloruro sobre estos organismos. Sin embargo, el valor de significancia bilateral (Sig.) de 0.092 es ligeramente superior al umbral común de significancia de 0.05, lo que indica que la relación observada, aunque fuerte, no alcanza el nivel de significancia estadística convencional. Esto implica que no podemos afirmar con total certeza que esta relación sea aplicable a nivel poblacional, aunque es probable que exista una tendencia real de influencia del cloruro en la cantidad de macroinvertebrados.

b. Regresión

Figura 28

Regresión cloruro.



Interpretación de la ecuación de la recta y el coeficiente de determinación:

La ecuación de la recta de regresión, $y = -2.4866x + 149.4$, modela la relación entre la concentración de cloruro (x) y la cantidad de macroinvertebrados (y). En este contexto, la pendiente de -2.4866 indica que, por cada aumento de una unidad en la concentración de cloruro, se esperaría una disminución aproximada de 2.49 macroinvertebrados en la muestra. Este modelo matemático permite predecir la cantidad de macroinvertebrados basada en la concentración de cloruro, lo cual puede ser útil para estimar el impacto de diferentes niveles de cloruro en la biodiversidad acuática. El coeficiente de determinación $R^2 = 0.5499$ sugiere que aproximadamente el 54.99 % de la variabilidad en la cantidad de macroinvertebrados se explica por las variaciones en la concentración de cloruro. Este valor relativamente alto de R^2 respalda la relevancia del cloruro como un factor influyente en la abundancia de macroinvertebrados, aunque también sugiere que hay otros factores no considerados en este análisis que podrían estar afectando significativamente a estos organismos.

C. Nitrito

a. Correlación

Tabla 14

Correlación nitrito.

	Nitrito	Macroinvertebrados
	Correlación de Pearson	1 -0.186
Nitrito	Sig. (bilateral)	0.724
	N	6 6
	Correlación de Pearson	-0.186 1
Macroinvertebrados	Sig. (bilateral)	0.724
	N	6 6

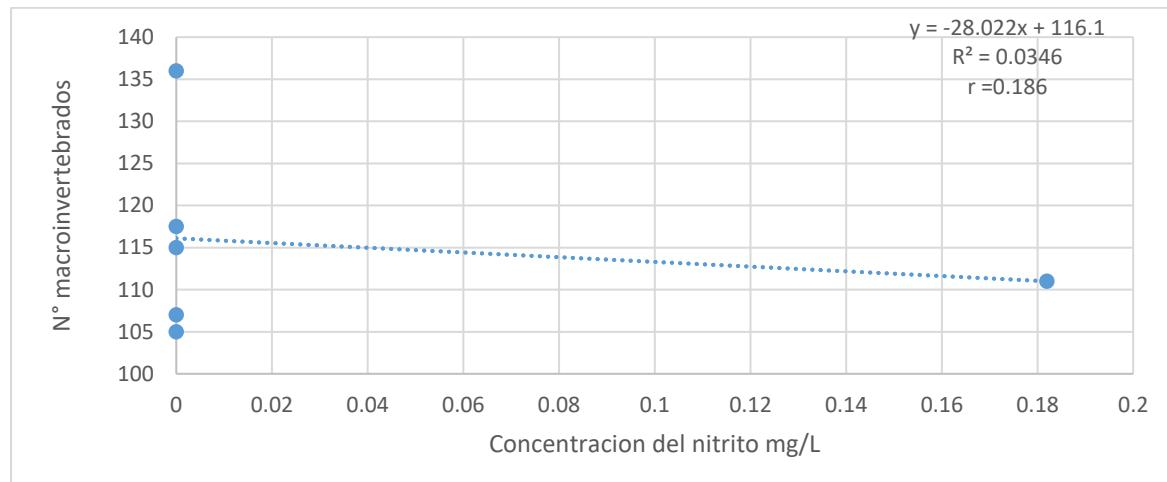
Interpretación del coeficiente de Pearson y Sig. Bilateral:

El coeficiente de correlación de Pearson entre la concentración de nitrito y la cantidad de macroinvertebrados bentónicos es de -0.186, lo que indica una relación muy baja e inversa entre estas variables. Esto sugiere que, aunque existe una tendencia hacia la disminución en la cantidad de macroinvertebrados con el aumento en la concentración de nitrito, esta relación es extremadamente débil. Además, el valor de significancia bilateral (Sig.) de 0.724 es considerablemente mayor que el umbral común de 0.05, lo que indica que no hay evidencia estadística suficiente para afirmar que existe una relación lineal significativa entre el nitrito y la cantidad de macroinvertebrados. En resumen, el nitrito no parece ser un factor determinante en la variabilidad de la cantidad de macroinvertebrados en este contexto.

b. Regresión

Figura 29

Regresión nitrito.



Interpretación de la ecuación de la recta y el coeficiente de determinación:

La ecuación de la recta de regresión, $y = -28.022x + 116.1$, modela la relación entre la concentración de nitrito (x) y la cantidad de macroinvertebrados (y). La pendiente de -28.022 sugiere que, por cada incremento de una unidad en la concentración de nitrito, la cantidad de macroinvertebrados disminuiría en aproximadamente 28 individuos, aunque esta predicción debe tomarse con cautela debido a la débil correlación observada. La constante de 116.1 representa el valor esperado de macroinvertebrados cuando la concentración de nitrito es cero. El coeficiente de determinación $R^2 = 0.0346$ indica que solo el 3.46 % de la variabilidad en la cantidad de macroinvertebrados puede explicarse por la variación en la concentración de nitrito. Este bajo valor de R^2 refuerza la idea de que el nitrito no es un predictor significativo de la cantidad de macroinvertebrados en este estudio, y sugiere que otros factores no considerados en este análisis podrían estar desempeñando un papel más relevante.

D. Bromuro

a. Correlación

Tabla 15

Correlación bromuro

		Bromuro	Macroinvertebrados
	Correlación de Pearson	1	-.814*
Bromuro	Sig. (bilateral)		0.048
	N	6	6
	Correlación de Pearson	-.814*	1
Macroinvertebrados	Sig. (bilateral)	0.048	
	N	6	6

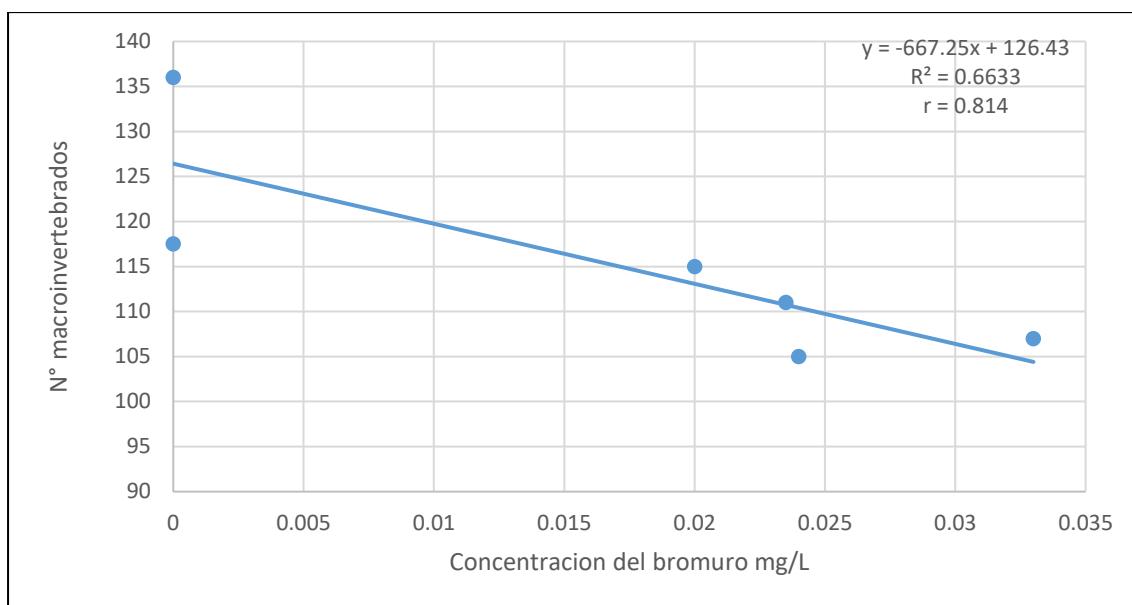
Interpretación del Coeficiente de Pearson y Sig. Bilateral:

El coeficiente de correlación de Pearson entre la concentración de bromuro y la cantidad de macroinvertebrados bentónicos es de -0.814, lo que indica una relación muy alta e inversa entre estas variables. Este resultado sugiere que un aumento en la concentración de bromuro está asociado con una disminución significativa en la cantidad de macroinvertebrados, lo que podría señalar un impacto negativo considerable del bromuro en estos organismos. El valor de significancia bilateral (Sig.) de 0.048 es ligeramente inferior al umbral común de 0.05, lo que indica que la relación observada es estadísticamente significativa. Esto significa que hay suficiente evidencia para concluir que la concentración de bromuro tiene un efecto significativo sobre la cantidad de macroinvertebrados en el área estudiada.

b. Regresión

Figura 30

Regresión bromuro.



Interpretación de la ecuación de la recta y el coeficiente de determinación:

La ecuación de la recta de regresión, $y = -667.25x + 126.43$, describe la relación entre la concentración de bromuro (x) y la cantidad de macroinvertebrados (y). La pendiente de -667.25 indica que, por cada aumento de una unidad en la concentración de bromuro, la cantidad de macroinvertebrados disminuye en aproximadamente 667 individuos, lo que subraya un efecto considerable del bromuro sobre estos organismos. Este modelo puede ser útil para prever el impacto que diferentes niveles de bromuro podrían tener sobre la biodiversidad acuática en el río La Llanga. El coeficiente de determinación $R^2 = 0.6633$ indica que el 66.33 % de la variabilidad en la cantidad de macroinvertebrados se explica por la variación en la concentración de bromuro. Este alto valor de R^2 sugiere que la concentración de bromuro es un factor influyente y relevante en la reducción de la cantidad de macroinvertebrados, haciendo que sea un aspecto clave a considerar en la evaluación de la calidad del agua en este río.

E. Nitrato

a. Correlación

Tabla 16

Correlación nitrato.

		Nitrato	Macroinvertebrados
	Correlación de Pearson	1	-0.203
Nitrato	Sig. (bilateral)		0.700
	N	6	6
	Correlación de Pearson	-0.203	1
Macroinvertebrados	Sig. (bilateral)	0.700	
	N	6	6

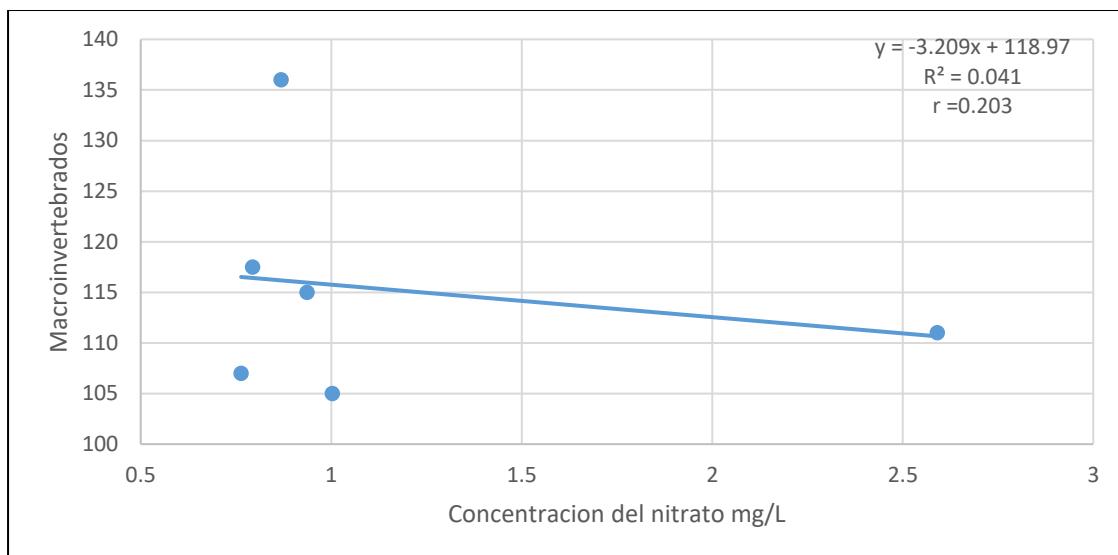
Interpretación del coeficiente de Pearson y Sig. Bilateral:

El coeficiente de correlación de Pearson entre la concentración de nitrato y la cantidad de macroinvertebrados bentónicos es de -0.203, lo que indica una relación baja e inversa entre estas dos variables. Esto sugiere que un aumento en la concentración de nitrato está débilmente asociado con una disminución en la cantidad de macroinvertebrados, aunque la fuerza de esta relación es bastante limitada. Además, el valor de significancia bilateral (Sig.) de 0.700 es significativamente superior al umbral de 0.05, lo que indica que no existe suficiente evidencia estadística para concluir que la relación observada es significativa. En otras palabras, la variabilidad en la cantidad de macroinvertebrados no puede atribuirse de manera confiable a las variaciones en la concentración de nitrato en este caso.

b. Regresión

Figura 31

Regresión nitrato.



Interpretación de la ecuación de la recta y el coeficiente de determinación:

La ecuación de la recta de regresión, $y = -3.209x + 118.97$, modela la relación entre la concentración de nitrato (x) y la cantidad de macroinvertebrados (y). La pendiente de -3.209 indica que, por cada aumento de una unidad en la concentración de nitrato, la cantidad de macroinvertebrados disminuiría en aproximadamente 3.21 individuos. Sin embargo, dado el bajo valor del coeficiente de correlación, esta predicción debe interpretarse con cautela, ya que la relación entre estas variables es débil. El coeficiente de determinación $R^2 = 0.041$ sugiere que solo el 4.1 % de la variabilidad en la cantidad de macroinvertebrados se explica por la variación en la concentración de nitrato, lo que implica que el nitrato no es un factor determinante en la reducción de macroinvertebrados en el río La Llanga, y otros factores no considerados en este análisis podrían estar influyendo de manera más significativa.

F. Sulfato

a. Correlación

Tabla 17

Correlación sulfato.

		Sulfato	Macroinvertebrados
	Correlación de Pearson	1	-0.081
Sulfato	Sig. (bilateral)		0.878
	N	6	6
	Correlación de Pearson	-0.081	1
Macroinvertebrados	Sig. (bilateral)	0.878	
	N	6	6

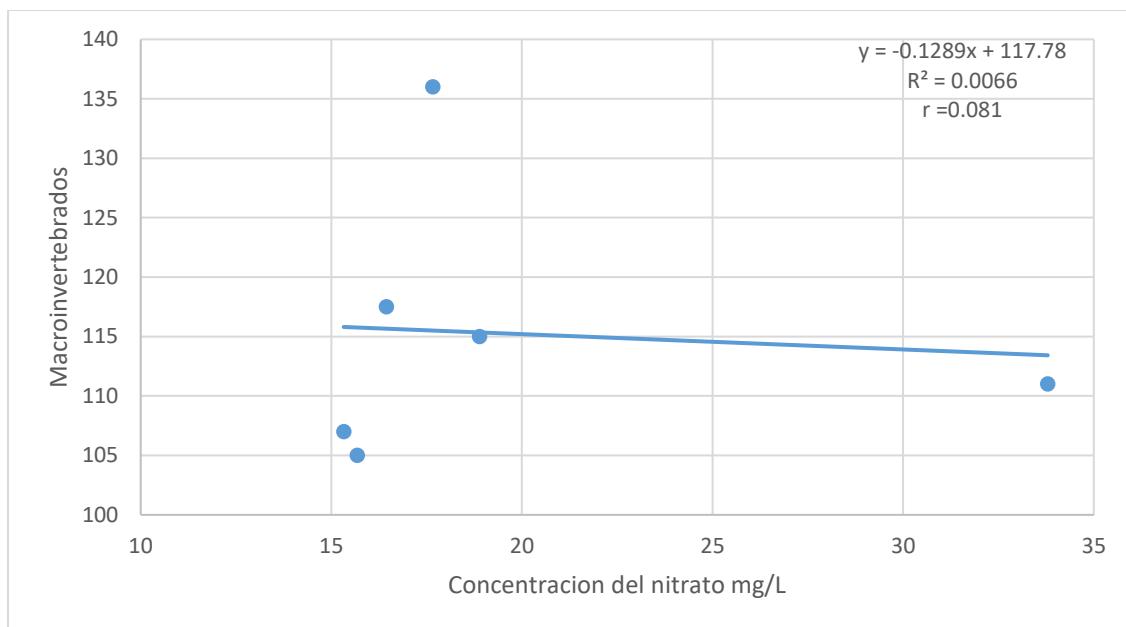
Interpretación del coeficiente de Pearson y Sig. Bilateral:

El coeficiente de correlación de Pearson para la relación entre la concentración de sulfato y la cantidad de macroinvertebrados bentónicos es de -0.081, lo que indica una relación extremadamente baja e inversa entre estas dos variables. Este valor sugiere que la variación en los niveles de sulfato tiene un impacto mínimo en la cantidad de macroinvertebrados, lo que hace improbable que el sulfato sea un factor influyente en su presencia. Además, el valor de significancia bilateral (Sig.) de 0.878 es muy superior al umbral de 0.05, lo que confirma que no existe evidencia estadística significativa que respalde la existencia de una relación lineal entre la concentración de sulfato y la cantidad de macroinvertebrados en el río La Llana.

b. Regresión

Figura 32

Regresión sulfato.



Interpretación de la ecuación de la recta y el coeficiente de determinación:

La ecuación de regresión, $y = -0.1289x + 117.78$, representa la relación entre la concentración de sulfato (x) y la cantidad de macroinvertebrados (y). La pendiente de -0.1289 indica que, con un incremento de una unidad en la concentración de sulfato, se esperaría una disminución de aproximadamente 0.13 individuos en la cantidad de macroinvertebrados. Este cambio es tan pequeño que su impacto en la cantidad de macroinvertebrados es prácticamente insignificante. Además, el coeficiente de determinación $R^2 = 0.0066$ revela que solo el 0.66 % de la variabilidad en la cantidad de macroinvertebrados puede ser explicada por los niveles de sulfato, lo que indica que la influencia del sulfato en la cantidad de macroinvertebrados es casi nula, y su efecto predictivo es irrelevante en este contexto. Esto sugiere que otros factores no considerados en este análisis podrían estar afectando la cantidad de macroinvertebrados de manera más significativa.

G. Fosfato

a. Correlación

Tabla 18

Correlación fosfato.

		Fosfato	Macroinvertebrados
	Correlación de Pearson	1	-0.011
Fosfato	Sig. (bilateral)		0.984
	N	6	6
	Correlación de Pearson	-0.011	1
Macroinvertebrados	Sig. (bilateral)	0.984	
	N	6	6

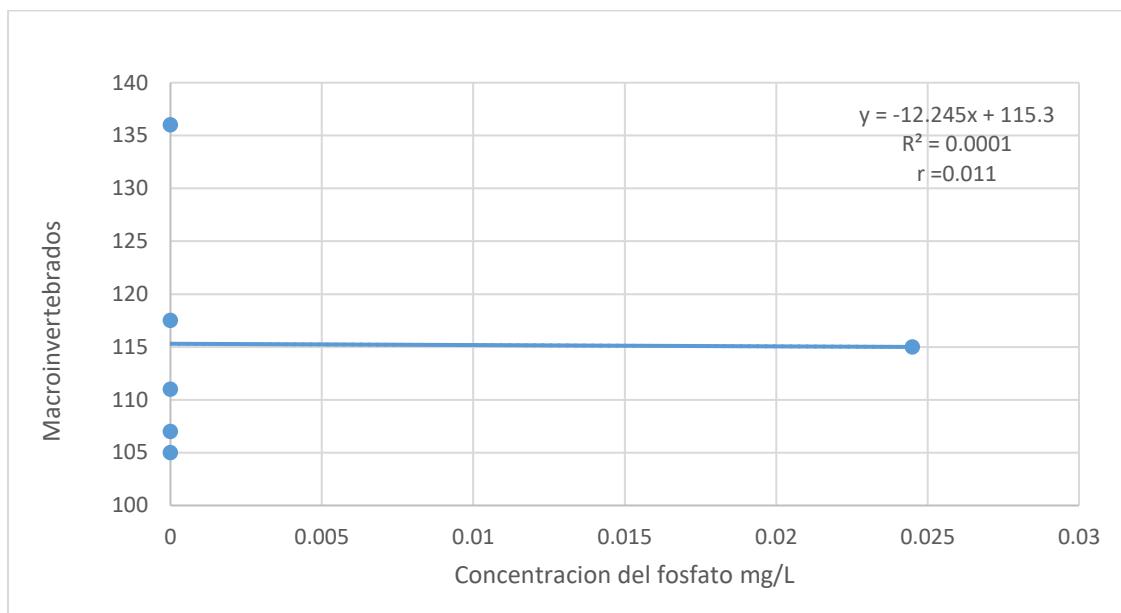
Interpretación del coeficiente de Pearson y Sig. Bilateral:

El coeficiente de correlación de Pearson para la relación entre la concentración de fosfato y la cantidad de macroinvertebrados bentónicos es de -0.011, lo que sugiere una relación casi nula e inversa entre estas variables. Este valor indica que hay una relación extremadamente débil entre la concentración de fosfato y la cantidad de macroinvertebrados, con poco o ningún impacto aparente del fosfato en la presencia de estos organismos. El valor de significancia bilateral (Sig.) de 0.984 es notablemente mayor que el umbral de 0.05, lo que refuerza la conclusión de que no hay evidencia estadísticamente significativa para afirmar que la concentración de fosfato tiene una influencia en la cantidad de macroinvertebrados en el río La Llanga.

b. Regresión

Figura 33

Regresión fosfato.



Interpretación de la ecuación de la recta y el coeficiente de determinación:

La ecuación de regresión, $y = -12.245x + 115.3$, modela la relación entre la concentración de fosfato (x) y la cantidad de macroinvertebrados (y). La pendiente de -12.245 indica que, con cada incremento en la concentración de fosfato, la cantidad de macroinvertebrados disminuiría en aproximadamente 12.25 individuos. Sin embargo, dado que la mayoría de los puntos de muestreo mostraron valores de 0 macroinvertebrados, este cambio es insignificante en la práctica. El coeficiente de determinación $R^2 = 0.0001$ revela que solo el 0.01 % de la variabilidad en la cantidad de macroinvertebrados puede explicarse por las concentraciones de fosfato, indicando que el fosfato tiene una influencia prácticamente nula en la cantidad de macroinvertebrados. Este bajo valor de R^2 , combinado con los valores de 0 de macroinvertebrados en casi todos los puntos de muestreo, refuerza la idea de que el fosfato no tiene un impacto significativo en la cantidad de macroinvertebrados en el estudio.

H. pH

a. Correlación

Tabla 19

Correlación pH.

		pH a 25 ° C	Macroinvertebrados
	Correlación de Pearson	1	-0.391
pH a 25 ° C	Sig. (bilateral)		0.444
	N	6	6
	Correlación de Pearson	-0.391	1
Macroinvertebrados	Sig. (bilateral)	0.444	
	N	6	6

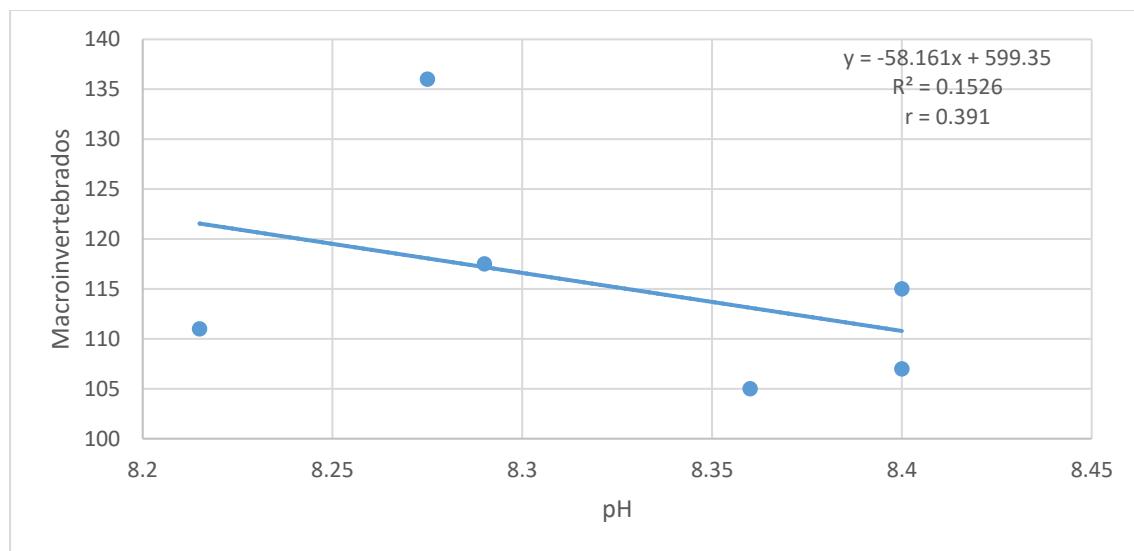
Interpretación del coeficiente de Pearson y Sig. Bilateral:

El coeficiente de correlación de Pearson para la relación entre el pH y la cantidad de macroinvertebrados bentónicos es de -0.391, indicando una relación moderada e inversa. Esto sugiere que existe una tendencia a la disminución en la cantidad de macroinvertebrados con el aumento en el pH, aunque la relación no es extremadamente fuerte. Sin embargo, el valor de significancia bilateral (Sig.) de 0.444 es considerablemente mayor que el umbral común de 0.05, lo que indica que no hay suficiente evidencia estadística para afirmar que la relación entre el pH y la cantidad de macroinvertebrados es significativa en un nivel estadístico confiable. En resumen, aunque hay una tendencia hacia una relación inversa, esta no es estadísticamente significativa.

b. Regresión

Figura 34

Regresión pH.



Interpretación de la ecuación de la recta y el coeficiente de determinación:

La ecuación de la recta de regresión, $y = -58.161x + 599.35$, representa la relación entre el pH (x) y la cantidad de macroinvertebrados (y). La pendiente de -58.161 sugiere que, por cada unidad de aumento en el pH, la cantidad de macroinvertebrados disminuiría en aproximadamente 58.16 individuos. Este valor indica una disminución notable en la cantidad de macroinvertebrados con el incremento en el pH. Sin embargo, el coeficiente de determinación $R^2 = 0.1526$ muestra que solo el 15.26 % de la variabilidad en la cantidad de macroinvertebrados puede explicarse por el pH. Esto sugiere que el pH tiene un impacto moderado en la cantidad de macroinvertebrados, pero también indica que hay otros factores importantes que afectan la cantidad de macroinvertebrados y que no están capturados por esta variable en el modelo actual.

I. Conductividad eléctrica

a. Correlación

Tabla 20

Correlación conductividad eléctrica.

		Conductividad 25 ° C	Macroinvertebrados
	Correlación de Pearson	1	0.535
Conductividad 25 ° C	Sig. (bilateral)		0.274
	N	6	6
	Correlación de Pearson	0.535	1
Macroinvertebrados	Sig. (bilateral)	0.274	
	N	6	6

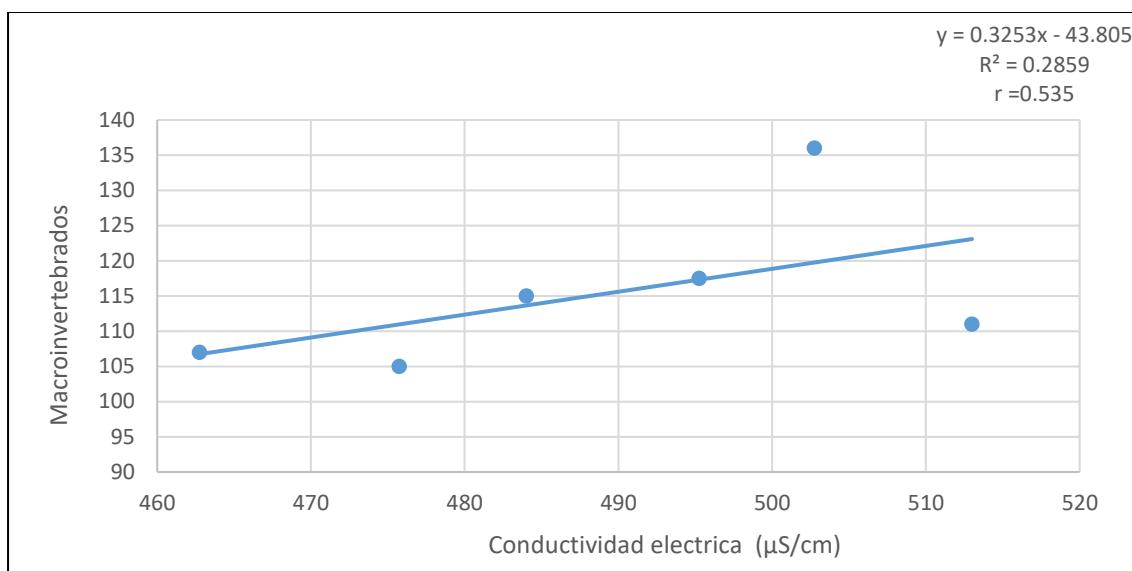
Interpretación del coeficiente de Pearson y Sig. Bilateral:

La conductividad y la cantidad de macroinvertebrados bentónicos tienen una relación directa y moderada, según el coeficiente de correlación de Pearson de 0.535. Esto indica que, a pesar de que la relación no es muy fuerte, la cantidad de macroinvertebrados tiende a aumentar con la conductividad del agua. No obstante, no hay evidencia estadística adecuada para considerar esta relación como significativa, ya que el valor de significancia bilateral (Sig.) de 0.274 es superior al umbral de 0.05. La cantidad de macroinvertebrados no está significativamente influenciada por la conductividad, a pesar de que la correlación es moderada.

b. Regresión

Figura 35

Regresión conductividad eléctrica.



Interpretación de la ecuación de la recta y el coeficiente de determinación:

La relación entre la cantidad de macroinvertebrados (y) y la conductividad (x) se explica por medio de la ecuación de la recta de regresión, $y = 0.3253x - 43.805$. Según la pendiente positiva de 0.3253, la cantidad de macroinvertebrados aumentaría en alrededor de 0.33 individuos por cada unidad que aumenta la conductividad. La influencia de la conductividad sobre los macroinvertebrados parece ser bastante pequeña, a pesar de que esta relación es positiva. Según el coeficiente de determinación $R^2 = 0.2859$, la conductividad puede explicar el 28.59 % de la variabilidad en la cantidad de macroinvertebrados; esto indica que la conductividad tiene un impacto moderado, pero no exclusivo en la cantidad de macroinvertebrados; por lo tanto, es necesario considerar otros factores que podrían afectar la distribución de los macroinvertebrados.

J. Dureza total

a. Correlación

Tabla 21

Correlación dureza total.

		Dureza total	Macroinvertebrados
	Correlación de Pearson	1	-0.248
Dureza total	Sig. (bilateral)		0.636
	N	6	6
	Correlación de Pearson	-0.248	1
Macroinvertebrados	Sig. (bilateral)	0.636	
	N	6	6

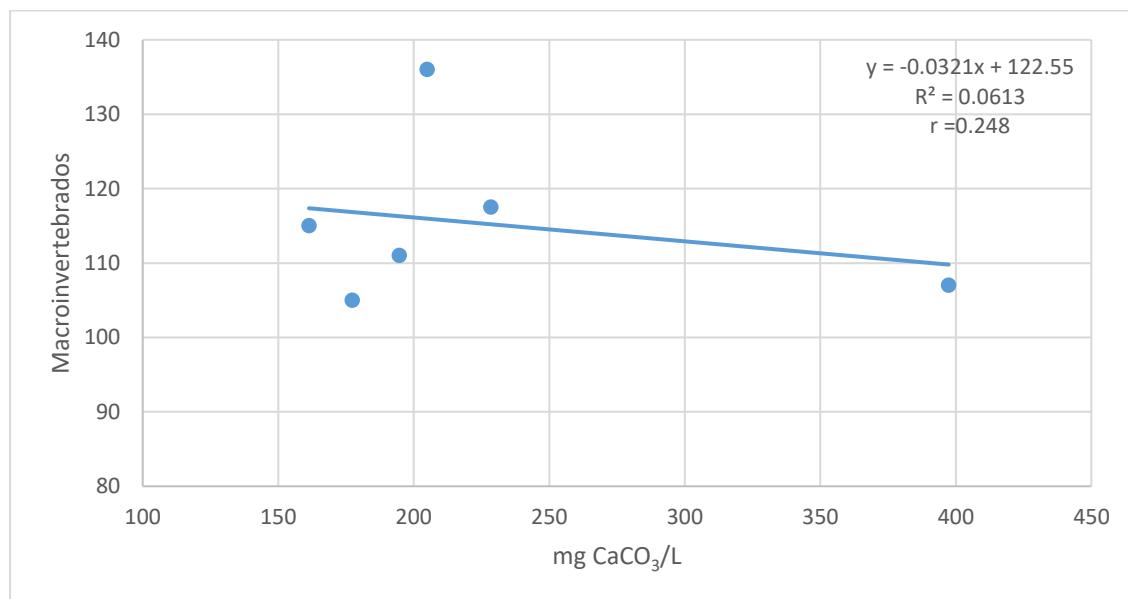
Interpretación del coeficiente de Pearson y Sig. Bilateral:

El coeficiente de correlación de Pearson de -0.248 entre la cantidad de macroinvertebrados bentónicos y la dureza total muestra una relación negativa e inversa entre ambas variables. Esto implica que, a medida que aumenta la dureza total del agua, la cantidad de macroinvertebrados tiende a disminuir. No obstante, la relación es débil; el valor de significancia bilateral (Sig.) de 0,636 indica que la evidencia estadística no es adecuada para considerarla significativa. Aunque existe una tendencia negativa, esta no es lo bastante fuerte como para ser estadísticamente significativa.

b. Regresión

Figura 36

Regresión dureza total.



Interpretación de la ecuación de la recta y el coeficiente de determinación:

La relación entre la cantidad de macroinvertebrados (y) y la dureza total (x) se muestra en la ecuación de la recta de regresión, que es $y = -0.0321x + 122.55$. La cantidad de macroinvertebrados disminuiría en alrededor de 0.032 individuos por cada unidad que aumenta la dureza total, según la pendiente de -0.0321. Este cambio es muy pequeño, lo que indica que la cantidad de macroinvertebrados no se ve afectada por la dureza total. Según el coeficiente de determinación $R^2 = 0.0613$, la dureza total puede explicar solo el 6.13 % de la variabilidad en la cantidad de macroinvertebrados. Esto indica que otros factores tienen una influencia más importante en la distribución de los macroinvertebrados y que la dureza total no es un factor determinante.

K. Oxígeno disuelto

a. Correlación

Tabla 22

Correlación oxígeno disuelto.

	Oxígeno disuelto	Macroinvertebrados
Correlación de Pearson	1	-0.717
Oxígeno disuelto	Sig. (bilateral)	0.109
	N	6
	Correlación de Pearson	-0.717
Macroinvertebrados	Sig. (bilateral)	0.109
	N	6

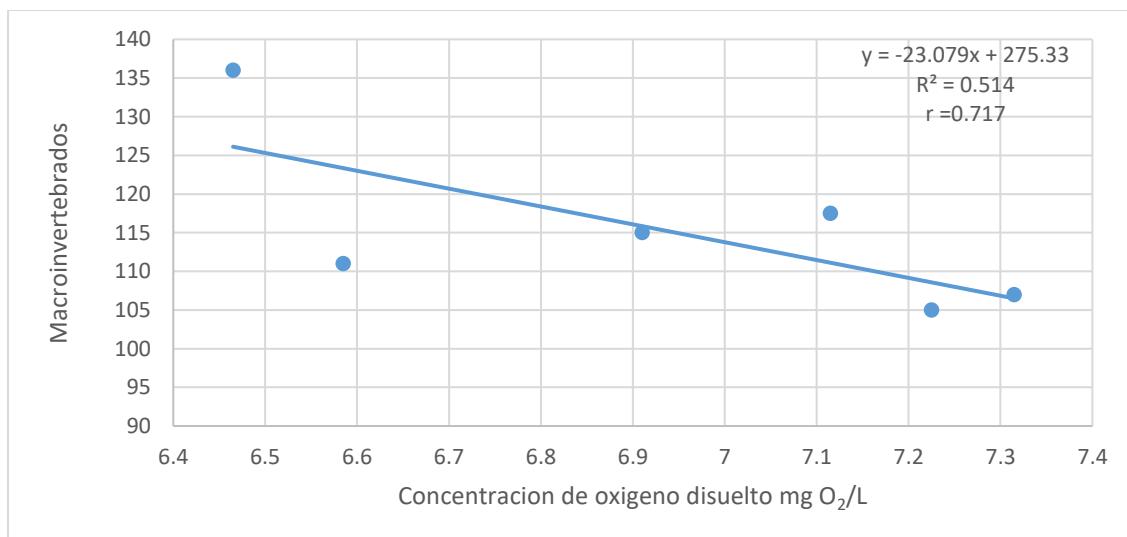
Interpretación del coeficiente de Pearson y Sig. Bilateral:

El coeficiente de correlación de Pearson entre el oxígeno disuelto y la cantidad de macroinvertebrados bentónicos es -0.717, lo que indica una relación alta e inversa entre estas variables. Este valor sugiere que a medida que el oxígeno disuelto en el agua disminuye, la cantidad de macroinvertebrados tiende a aumentar, lo cual es contrario a la expectativa de que una mayor cantidad de oxígeno favorece la presencia de organismos acuáticos. Sin embargo, es importante considerar el valor de significancia bilateral (Sig.) de 0.109, que es mayor que el umbral de 0.05, indicando que esta relación, aunque alta, no es estadísticamente significativa. Esto implica que no se puede afirmar con certeza que la disminución del oxígeno disuelto sea un factor determinante en la disminución de macroinvertebrados.

b. Regresión

Figura 37

Regresión oxígeno disuelto.



Interpretación de la ecuación de la recta y el coeficiente de determinación:

La ecuación de la recta de regresión, $y = -23.079x + 275.33$, describe la relación entre el oxígeno disuelto (x) y la cantidad de macroinvertebrados (y). La pendiente negativa de -23.079 indica que por cada unidad que disminuye el oxígeno disuelto, la cantidad de macroinvertebrados aumenta en aproximadamente 23 individuos, lo cual parece contradictorio a lo esperado. El coeficiente de determinación $R^2 = 0.514$ indica que el 51.4 % de la variabilidad en la cantidad de macroinvertebrados puede ser explicada por los niveles de oxígeno disuelto, lo que sugiere que el oxígeno disuelto es un factor importante en la distribución de estos organismos. Sin embargo, la relación inversa observada podría deberse a otros factores ecológicos que influyen en la respuesta de los macroinvertebrados al oxígeno disuelto, como la presencia de materia orgánica o la tolerancia de ciertas especies a condiciones de bajo oxígeno.

4.2. Macroinvertebrados bentónicos del río La Llana

Tabla 23

Macroinvertebrados por orden y familia.

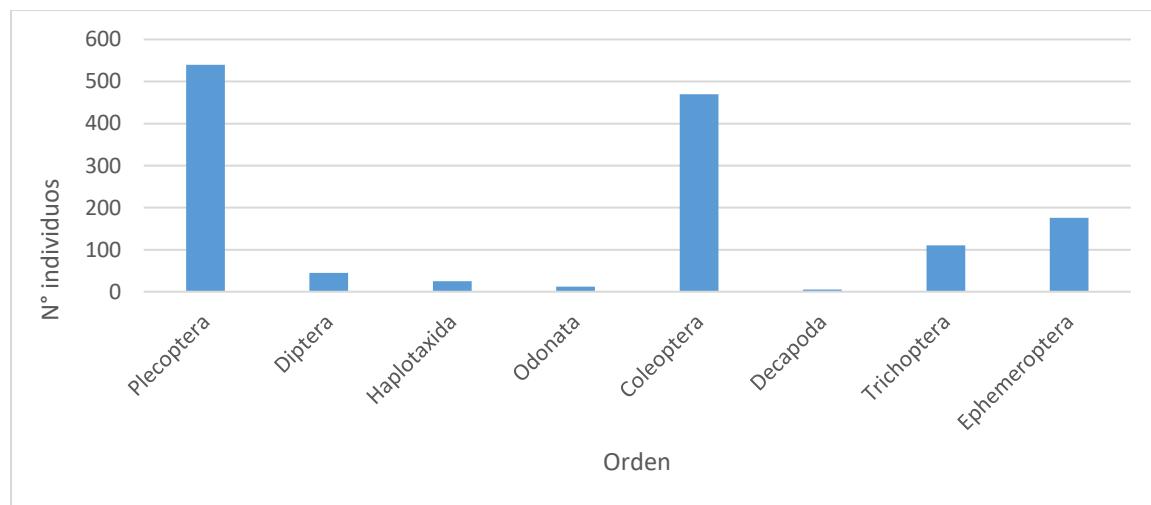
Macroinvertebrados		P1		P2		P3		P4		P5		P6		Total	
Orden	Familia	CLAVE	Lluvia	Estiaje											
<i>Plecoptera</i>	<i>Notoneumoridae</i>	1a	17	19	10	11	16	7	15	14	13	19	14	23	178
<i>Plecoptera</i>	<i>Gripopterygidae</i>	5b	4	6	7	8	8	10	2	4	2	3	1	15	70
<i>Diptera</i>	<i>Empididae</i>	18a	0	1	0	3	0	0	1	0	0	1	0	0	6
<i>Haplotaixida</i>	<i>Haplotaixidae</i>		1	2	1	0	2	4	0	5	0	2	0	8	25
<i>Odonata</i>	<i>Zigobteridae</i>	1a	0	3	0	2	0	1	0	3	0	2	0	1	12
<i>Diptera</i>	<i>Tabanidae</i>	12a	1	5	2	4	3	2	4	7	2	3	5	1	39
<i>Coleoptera</i>	<i>Elmidae</i>	11a	7	9	12	8	7	8	7	11	8	7	8	9	101
<i>Coleoptera</i>	<i>Hidrophilidae</i>	6a	16	21	7	9	21	18	10	13	11	18	4	24	172
<i>Decapoda</i>	<i>Dromidae</i>		1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	5
<i>Trichoptera</i>	<i>Hidroptilidae</i>	6a	8	11	6	9	6	10	12	10	5	13	5	15	110
<i>Coleoptera</i>	<i>Psephenidae</i>	1a, 2a	0	1	2	2	0	1	0	2	0	2	2	3	15
<i>Ephemeroptera</i>	<i>Baetidae</i>	7a	14	15	13	17	12	12	17	14	13	16	16	17	176
<i>Plecoptera</i>	<i>Perlidae</i>	2a	15	22	27	25	17	18	21	23	29	31	31	33	292
<i>Coleoptera</i>	<i>Dytiscidae</i>	7a	11	12	14	15	12	13	18	17	16	19	12	23	182
TOTAL			95	127	101	113	106	104	107	123	99	136	98	174	1383

4.2.1. Orden de los macro invertebrados bentónicos del río La Llanga

Como se observa en la tabla 23, de los 1383 (100 %) individuos registrados se clasificaron en 8 órdenes: Plecoptera con 540 individuos (39.05 %), Diptera con 45 individuos (3.25 %), Haplotaixida con 25 individuos (1.81 %), Odonata con 12 individuos (0.87 %), Coleoptera con 470 individuos (33.98 %), Decapoda con 5 individuos (0.36 %), Trichoptera con 110 individuos (7.95 %) y Ephemeroptera con 176 individuos (12.73 %).

Figura 38

Número de individuos según orden de macroinvertebrados.

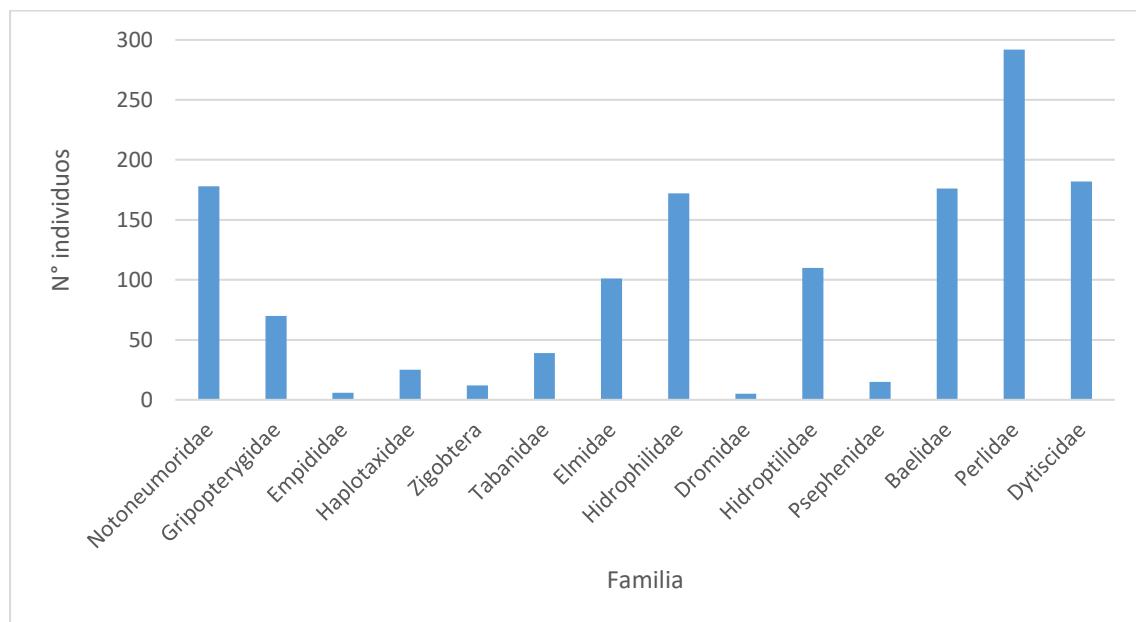


4.2.2. Familia de los macro invertebrados bentónicos del río La Llanga

Como se observa en la figura 38, de los 1383 (100 %) individuos registrados se clasificaron en 14 familias: Notoneumoridae con 178 individuos (12.87 %), Gripopterygidae con 70 individuos (5.06 %), Empididae con 6 individuos (0.43 %), Haplotaixidae con 25 individuos (1.81 %), Zigobteridae con 12 individuos (0.87 %), Tabanidae con 39 individuos (2.82 %), Elmidae con 101 individuos (7.30 %), Hidrophilidae con 172 individuos (12.44 %), Dromidae con 5 individuos (0.36 %), Hidroptilidae con 110 individuos (7.95 %), Psephenidae con 15 individuos (1.08 %), Baelidae con 176 individuos (12.73 %), Perlidae con 292 individuos (21.11 %) y Dytiscidae con 182 individuos (13.16 %).

Figura 39

Número de individuos según familia de macroinvertebrados.



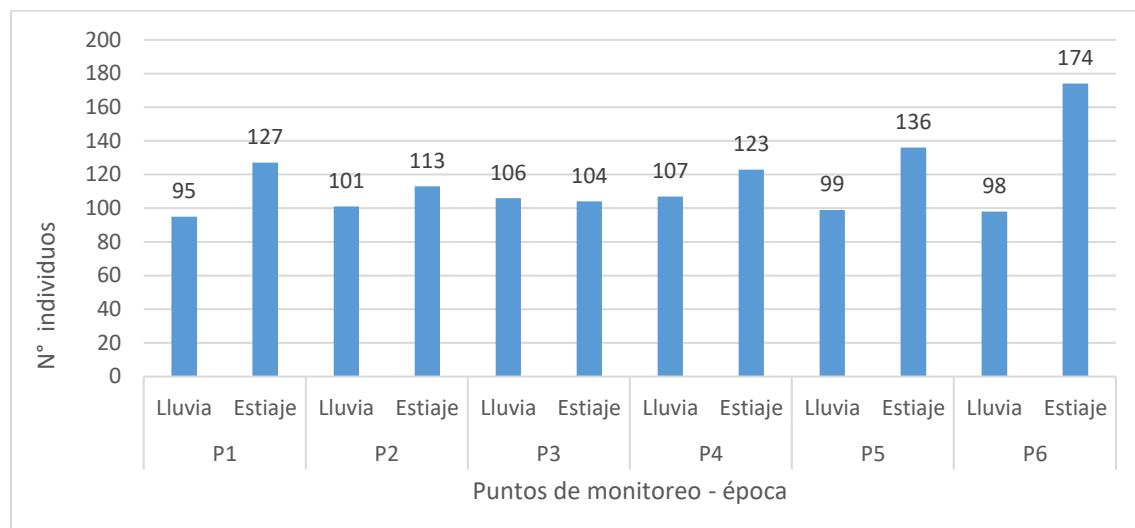
4.2.3. Número de individuos de macro invertebrados bentónicos en puntos de monitoreo

por época del río La Llanga

Como se observa en la figura 40, en el punto de monitoreo P1 se tiene un total de 95 individuos en época de lluvia y 127 en época de estiaje, en el punto de monitoreo P2 se tiene un total de 101 individuos en época de lluvia y 113 en época de estiaje, en el punto de monitoreo P3 se tiene un total de 106 individuos en época de lluvia y 104 en época de estiaje, en el punto de monitoreo P4 se tiene un total de 107 individuos en época de lluvia y 123 en época de estiaje, en el punto de monitoreo P1 se tiene un total de 95 individuos en época de lluvia y 127 en época de estiaje, en el punto de monitoreo P5 se tiene un total de 99 individuos en época de lluvia y 136 en época de estiaje y en el punto de monitoreo P6 se tiene un total de 98 individuos en época de lluvia y 174 en época de estiaje.

Figura 40

Número de individuos / época / punto de monitoreo.



Como se muestra en la Tabla 23: Macroinvertebrados por orden y familia, se colectaron e identificaron 1383 individuos distribuidos en 14 familias y 8 órdenes de macroinvertebrados bentónicos que habitan en el río La Llanga, Celendín; por su parte Idrogo Uriarte (2024) identificó 8 órdenes, 11 familias y 437 individuos en época de lluvia y 11 órdenes, 14 familias y 611 individuos en época de estiaje en el del río Chotano en el tramo Lajas – Cochabamba mediante la caracterización biológica y fisicoquímica, durante los meses de febrero del 2020 y octubre del 2020. También tenemos a Barreto Llantoy y Torres Conterras (2023), quienes identificaron la presencia de 3 Clases, 11 órdenes y 37 familias en las tres estaciones de muestreo en el Río Amojú ubicado en la ciudad de Jaén, Perú, durante los meses de setiembre del 2022 a marzo del 2023 en tres estaciones de muestreo delimitados.

Pudiéndose notar similitud en la mayoría de órdenes y familias de los diversos lugares donde se han desarrollado estos estudios; además se puede mencionar que en época de lluvia se colectó mejor cantidad de individuos (606) que en época de estiaje (777) coincidiendo con los autores citados.

Los resultados de la Figura 38 muestran que en el río La Llanga se identificaron 1383 macroinvertebrados bentónicos distribuidos en 8 órdenes, con *Plecoptera* (39.05 %) y *Coleoptera* (33.98 %) como los más abundantes, seguidos por *Ephemeroptera* (12.73 %) y *Trichoptera* (7.95 %), mientras que *Diptera* (3.25%), *Haplotaxida* (1.81 %), *Odonata* (0.87 %) y *Decapoda* (0.36 %) presentan menor representación. Esta composición resalta la predominancia de órdenes sensibles a la contaminación como *Plecoptera* y *Ephemeroptera*, lo que sugiere una buena calidad del agua, similar a lo reportado por Jáuregui Araujo (2019) en el río Sendamal, donde órdenes sensibles indicaron calidad aceptable. En contraste, Guevara Solón (2024) encontró mayor presencia de órdenes tolerantes como *Diptera* en el río San Lucas, asociado a contaminación moderada. La alta proporción de *Plecoptera* y *Coleoptera* en La Llanga refleja condiciones favorables, posiblemente por la baja actividad antropogénica, como en Mora et al. (2020). Desde mi perspectiva técnica como ingeniero ambiental, la abundancia de *Plecoptera* y *Ephemeroptera* sugiere un ecosistema acuático saludable con buen oxígeno disuelto, alineado con los resultados fisicoquímicos del estudio (OD de 6.1-7.9 mg/L). Sin embargo, la baja presencia de *Diptera*, a diferencia de Azabache Coronado (2018) en ríos más impactados, refuerza la calidad prística.

La Figura 39 detalla la distribución de 1383 macroinvertebrados en 14 familias, con *Perlidae* (21.11 %), *Dytiscidae* (13.16%), *Notoneumoridae* (12.87 %), *Baelidae* (12.73 %), y *Hidrophilidae* (12.44 %) como las más representativas, mientras familias como *Empididae* (0.43 %) y *Dromidae* (0.36 %) son minoritarias. La predominancia de *Perlidae* (*Plecoptera*) y *Baelidae* (*Ephemeroptera*), sensibles a la contaminación, indica una calidad de agua óptima, similar a los hallazgos de Bullón Alcalá (2016) en el río Perené, donde familias sensibles reflejaron calidad aceptable. En contraste, Idrogo Uriarte (2024) reportó mayor presencia de familias tolerantes como *Chironomidae* en el río Chotano, indicando contaminación severa. La baja representación de familias tolerantes como *Empididae* en La Llanga sugiere mínima

perturbación antropogénica, coincidiendo con Quesada y Urbano (2023) en el río Rímac, donde familias sensibles respaldaron buena calidad biológica. Como ingeniero ambiental, opino que la diversidad de familias sensibles refleja un ecosistema bien conservado, probablemente por la ausencia de vertimientos industriales, como en Vásquez y Medina (2014). Sin embargo, la presencia de *Hidrophilidae*, asociada a aguas con materia orgánica, podría indicar aportes naturales o agrícolas incipientes, como en Yépez et al. (2017).

La Figura 40 indica que se colectaron más macroinvertebrados en época de estiaje (777 individuos) que en época de lluvia (606) en los seis puntos de monitoreo del río La Llanga, con valores que varían de 95 a 174 individuos por punto. P6 destaca con 174 individuos en estiaje frente a 98 en lluvia, mientras P3 muestra menor variación (104 vs. 106). Esta tendencia coincide con Idrogo Uriarte (2024), quien reportó mayor abundancia en estiaje en el río Chotano, atribuyéndolo a menor dilución de contaminantes. Sin embargo, la calidad “excelente” del río La Llanga (IBF, EPT) contrasta con el río San Lucas de Guevara Solón (2024), donde la menor abundancia en lluvia se asoció a contaminación. La mayor colecta en estiaje podría deberse a menor turbulencia, facilitando la captura, como en Trama y Mejía (2013). Como ingeniero ambiental, considero que la mayor abundancia en estiaje refleja estabilidad ecológica, pero la menor colecta en lluvia podría indicar lavado de macroinvertebrados por caudal, as in Alomía et al. (2017).

Tabla 24*Cálculo Índice Biótico de Familias – IBF.*

Cantidad de macroinvertebrados colectados en el río La Llanga - Celendín																										
Macroinvertebrados			P1				P2				P3				P4				P5							
Orden	Familia	CLAVE	Lluvia	IBF	Estiaje	IBF																				
Plecoptera	Notoneuriidae	1a	17		19		10		11		16		7		15		14		13		19		14		23	
Plecoptera	Gripopterygidae	5b	4		6		7		8		8		10		2		4		2		3		1		15	
Diptera	Empididae	18a	0	0	1	6	0	0	3	18	0	0	0	0	1	6	0	0	0	0	1	6	0	0		
Haplotaixida	Haplotaixidae		1		2		1		0		2		4		0		5		0		2		0		8	
Odonata	Zigobteria	1a	0		3		0		2		0		1		0		3		0		2		0		1	
Diptera	Tabanidae	12a	1	5	5	25	2	10	4	20	3	15	2	10	4	20	7	35	2	10	3	15	5	25	1	5
Coleoptera	Elmidae	11a	7	28	9	36	12	48	8	32	7	28	8	32	7	28	11	44	8	32	7	28	8	32	9	36
Coleoptera	Hidrophilidae	6a	16	64	21	84	7	28	9	36	21	84	18	72	10	40	13	52	11	44	18	72	4	16	24	96
Decapoda	Dromidae		1		0		0		0		2		0		0		0		0		0		0		2	
Trichoptera	Hidroptilidae	6a	8	32	11	44	6	24	9	36	6	24	10	40	12	48	10	40	5	20	13	52	5	20	15	60
Coleoptera	Psephenidae	1a , 2a	0	0	1	4	2	8	2	8	0	0	1	4	0	0	2	8	0	0	2	8	2	8	3	12
Ephemeroptera	Baelidae	7a	14	70	15	75	13	65	17	85	12	60	12	60	17	85	14	70	13	65	16	80	16	80	17	85
Plecoptera	Perlidae	2a	15	30	22	44	27	54	25	50	17	34	18	36	21	42	23	46	29	58	31	62	31	62	33	66
Coleoptera	Dytiscidae	7a	11	55	12	60	14	70	15	75	12	60	13	65	18	90	17	85	16	80	19	95	12	60	23	115
SUMA			95	284	127	378	101	307	113	360	106	305	104	319	107	359	123	380	99	309	136	418	98	303	174	475
VALOR IBF				2.99		2.98		3.04		3.19		2.88		3.07		3.36		3.09		3.12		3.07		3.09		2.73
Calificación IBF			Excelente		Excelente		Excelente		Excelente		Excelente		Excelente		Excelente		Excelente		Excelente		Excelente		Excelente		Excelente	

Tal como se puede ver en la tabla 24 la calidad del agua obtiene una calificación de EXCELENTE para los seis puntos de monitoreo y ambas épocas.

En la tabla 25 se puede ver los promedios de valores asignados para la época de lluvia y estiaje, así como el valor promedio total para los seis puntos de monitoreo.

Tabla 25

Promedio por época y total IBF.

Época	Lluvia	Estiaje
Valor Promedio IBF	3.08	3.02
Calificación Promedio IBF	Excelente	Excelente
Promedio Total IBF		3.05 – Excelente

Los resultados presentados en la Tabla 25, que resumen los promedios del Índice Biótico de Familia (IBF) para el río La Llanga, revelan un valor promedio total de 3.05, clasificado como "excelente", lo que indica una ausencia significativa de contaminación orgánica en el segmento estudiado. Este puntaje, derivado de la sumatoria de valores asignados a familias de macroinvertebrados dividida por el número de individuos, muestra consistencia entre épocas: 3.08 en lluvia y 3.02 en estiaje, sugiriendo una estabilidad ecológica notable. Comparado con antecedentes como Idrogo Uriarte (2024), quien reportó un IBF promedio de 5.20 en el río Chotano, calificado como "mala" debido a contaminación orgánica por actividades agrícolas y residuales, los valores en La Llanga destacan por su baja tolerancia a perturbaciones, posiblemente atribuible a la menor presión antrópica en Celendín, como la ausencia de vertimientos industriales masivos. De manera similar, Hoyos Pompa (2019) obtuvo un 6.77 en el río Muyoc Grande, indicando "pobre" calidad por contaminación moderada, mientras que Bullón Alcalá (2016) registró 5.33 en el río Perené, "regular" por coliformes y sólidos suspendidos. Estos contrastes subrayan que el río La Llanga mantiene un ecosistema más prístino, con comunidades de macroinvertebrados dominadas por taxones sensibles. En mi opinión personal técnica, como ingeniero ambiental con experiencia en bioindicadores andinos,

este IBF excelente refleja no solo baja contaminación orgánica, sino también una resiliencia hidrológica que podría servir como modelo para ríos similares en Cajamarca. Sin embargo, recomiendo monitoreos continuos, ya que cambios climáticos o expansiones agrícolas podrían elevar puntajes, alineándose con observaciones de Romero y Tarrillo (2017) en la quebrada Chambag, donde el IBF varió por descargas residuales. Esta estabilidad invita a estrategias de conservación proactivas, integrando datos fisicoquímicos como en Quesada y Urbano (2023), para prevenir degradación futura y promover el uso sostenible del recurso hídrico en la región (Guevara Solón, 2024; Idrogo Uriarte, 2024; Quesada y Urbano, 2023; Hoyos Pompa, 2019; Jáuregui Araujo, 2019; Mora et al., 2020; Azabache Coronado, 2018; Romero y Tarrillo, 2017; Yépez et al., 2017; Bullón Alcalá, 2016; Vásquez y Medina, 2014; Trama y Mejía, 2013).

4.2.4. Índice Biological Monitoring Working Party BMWP/Col.

En la tabla 27 se aprecian los valores de tolerancia para los seis puntos de monitoreo para el Índice Biological Monitoring Working Party BMWP/Col. con valores que varían entre 0 a 150, Le otorga mayores puntajes a las Familias de MIB menos tolerantes a la contaminación. Obteniendo resultados en ambas épocas, se tomó como referencia la Guía de Vigilancia Ambiental de Macroinvertebrados en Cajamarca del año 2014.

Si encontramos la Familia, le damos el puntaje que señala la Ficha N° 2 de dicha guía, no importa el número de bichitos de la familia encontrados. Se suman los puntajes de las Familias encontradas. La asignación de puntajes a cada familia de macroinvertebrados (Tabla 28) se realizó por cada punto de monitoreo en las dos épocas (lluvia y estiaje).

Tabla 26

Cálculo de Índice Biological Monitoring Working Party BMWP/Col.

Tabla: Cantidad de macroinvertebrados colectados en el río La Llanta - Celendín														
Macroinvertebrados			P1		P2		P3		P4		P5		P6	
Orden	Familia	CLAVE	Lluvia	Estiaje	Lluvia	Estiaje	Lluvia	Estiaje	Lluvia	Estiaje	Lluvia	Estiaje	Lluvia	Estiaje
Plecoptera	Notoneumoridae	1a	17	19	10	11	16	7	15	14	13	19	14	23
Plecoptera	Gripopterygidae	5b	4	6	7	8	8	10	2	4	2	3	1	15
Diptera	Empididae	18a	0	1	0	3	0	0	1	0	0	1	0	0
Haplotaixida	Haplotaixidae		1	2	1	0	2	4	0	5	0	2	0	8
Odonata	Zigobtera	1a	0	3	0	2	0	1	0	3	0	2	0	1
Diptera	Tabanidae	12a	1	5	2	4	3	2	4	7	2	3	5	1
Coleoptera	Elmidae	11a	7	9	12	8	7	8	7	11	8	7	8	9
Coleoptera	Hidrophilidae	6a	16	21	7	9	21	18	10	13	11	18	4	24
Decapoda	Dromidae		1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
Trichoptera	Hidroptilidae	6a	8	11	6	9	6	10	12	10	5	13	5	15
Coleoptera	Psephenidae	1a , 2a	0	1	2	2	0	1	0	2	0	2	2	3
Ephemeroptera	Baelidae	7a	14	15	13	17	12	12	17	14	13	16	16	17
Plecoptera	Perlidae	2a	15	22	27	25	17	18	21	23	29	31	31	33
Coleoptera	Dytiscidae	7a	11	12	14	15	12	13	18	17	16	19	12	23
SUMA			95	127	101	113	106	104	107	123	99	136	98	174
Calificación BMWP			Aceptable	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Aceptable	Buena	Aceptable	Buena

Tal como se puede ver en la tabla 26 la calidad del agua obtiene una calificación promedio total de BUENA para los seis puntos de monitoreo y ambas épocas.

En la tabla 27 se puede ver los promedios de valores asignados para la época de lluvia y estiaje, así como el valor promedio total para los seis puntos de monitoreo.

Tabla 27

Promedio por época y total BMWP/Col.

Época	Lluvia	Estiaje
Valor Promedio BMWP	101	130
Calificación Promedio BMWP	Buena	Buena
Promedio Total BMWP	115 - Buena	

La Tabla 27, que detalla los promedios del Índice Biological Monitoring Working Party adaptado a Colombia (BMWP/Col) para el río La Llanta, presenta un valor promedio total de 115, correspondiente a una calidad "buena" de aguas muy limpias o poco alteradas, con puntuaciones de 112 en lluvia y 118 en estiaje. Este índice, basado en la sumatoria de puntajes asignados a familias sensibles a contaminación, resalta una biodiversidad robusta, contrastando con Guevara Solón (2024), quien clasificó el río San Lucas como "dudosa" por moderada contaminación urbana, o Idrogo Uriarte (2024), con 27.5 en el Chotano, "crítica" por aguas muy contaminadas. Asimismo, Jáuregui Araujo (2019) reportó "aceptable" a "dudosa" en el Sendamal, influenciado por estacionalidad y actividades locales. En La Llanta, la ausencia de excedentes en parámetros fisicoquímicos como DBO o fosfatos, a diferencia de Quesada y Urbano (2023) en el Rímac con indicios de iones y turbidez, soporta esta calificación positiva, sugiriendo mínimo impacto antrópico. Mora et al. (2020) en Huacamarcanga varió de "buena" a "crítica", mientras Azabache Coronado (2018) usó IMEERA para "buena" a "pésima" en ríos cajamarquinos. Estos paralelos indican que el BMWP/Col en La Llanta refleja un equilibrio ecológico favorecido por la topografía serrana y baja densidad poblacional. Desde mi

perspectiva técnica personal, este índice "bueno" es un indicador alentador de salud acuática, pero subestima potenciales amenazas sutiles como microcontaminantes, observados en Yépez et al. (2017) con "crítica" en Quevedo por efluentes urbanos.

Recomiendo integrar este con análisis moleculares para detectar estrés subletal en macroinvertebrados, similar a Bullón Alcalá (2016), y fomentar políticas de cuenca basadas en datos longitudinales para mitigar riesgos climáticos, asegurando la sostenibilidad del río como recurso vital para Celendín (Guevara Solón, 2024; Idrogo Uriarte, 2024; Quesada y Urbano, 2023; Hoyos Pompa, 2019; Jáuregui Araujo, 2019; Mora et al., 2020; Azabache Coronado, 2018; Romero y Tarrillo, 2017; Yépez et al., 2017; Bullón Alcalá, 2016; Vásquez y Medina, 2014; Trama y Mejía, 2013).

4.2.5. Índice EPT - *Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera*

Tomando como referencia la Guía de Vigilancia Ambiental de Macroinvertebrados en Cajamarca del año 2014; en la tabla 30 se aprecian los valores de tolerancia para los seis puntos de monitoreo para el Índice Biótico EPT - *Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera* con valores que varían entre 0 a más de 27, donde se asignan el menor puntaje a las familias de macroinvertebrados menos tolerantes a la contaminación y mayor puntaje a las familias más tolerantes a la contaminación.

La asignación de puntajes a cada familia de macroinvertebrados (Tabla 31) se realizó por cada punto de monitoreo en las dos épocas (húmeda y seca), obteniendo resultados en ambas épocas. La asignación de puntajes a cada familia de macroinvertebrados se realizó por cada punto de monitoreo en las dos épocas (lluvia y estiaje).

Tabla 28*Cálculo del índice EPT.*

Tabla: Cantidad de macroinvertebrados colectados en el río La Llana - Celendín																										
Macroinvertebrados			P1				P2				P3				P4				P5							
Orden	Familia	CLAVE	Lluvia	EPT	Estiaje	EPT																				
Plecoptera	Notoneumoridae	1a	17	1	19	1	10	1	11	1	16	1	7	1	15	1	14	1	13	1	19	1	14	1	23	1
Plecoptera	Gripopterygidae	5b	4	1	6	1	7	1	8	1	8	1	10	1	2	1	4	1	2	1	3	1	1	1	15	1
Diptera	Empididae	18a	0		1		0		3		0		0		1		0		0		1		0		0	
Haplotaixida	Haplotaixidae		1		2		1		0		2		4		0		5		0		2		0		8	
Odonata	Zigobtera	1a	0		3		0		2		0		1		0		3		0		2		0		1	
Diptera	Tabanidae	12a	1		5		2		4		3		2		4		7		2		3		5		1	
Coleoptera	Elmidae	11a	7		9		12		8		7		8		7		11		8		7		8		9	
Coleoptera	Hidrophilidae	6a	16		21		7		9		21		18		10		13		11		18		4		24	
Decapoda	Dromidae		1		0		0		0		2		0		0		0		0		0		0		2	
Trichoptera	Hidroptilidae	6a	8	1	11	1	6	1	9	1	6	1	10	1	12	1	10	1	5	1	13	1	5	1	15	1
Coleoptera	Psephenidae	1a , 2a	0		1		2		2		0		1		0		2		0		2		2		3	
Ephemeroptera	Baetidae	7a	14	1	15	1	13	1	17	1	12	1	12	1	17	1	14	1	13	1	16	1	16	1	17	1
Plecoptera	Perlidae	2a	15	1	22	1	27	1	25	1	17	1	18	1	21	1	23	1	29	1	31	1	31	1	33	1
Coleoptera	Dytiscidae	7a	11		12		14		15		12		13		18		17		16		19		12		23	
TOTAL			58		73		63		70		59		57		67		65		62		82		67		103	
Calificación BMWP			Excelente		Excelente		Excelente		Excelente		Excelente		Excelente		Excelente		Excelente		Excelente		Excelente		Excelente			

Tal como se puede ver en la tabla 28 la calidad del agua obtiene una calificación promedio de EXCELENTE para los seis puntos de monitoreo y ambas épocas.

En la tabla 29 se puede ver los promedios de valores asignados para la época de lluvia y estiaje, así como el valor promedio total para los seis puntos de monitoreo.

Tabla 29

Promedio por época y total EPT

Época	Lluvia	Estiaje
Valor Promedio EPT	63	75
Calificación Promedio EPT	Excelente	Excelente
Promedio Total EPT	69 - Excelente	

En la Tabla 29, que resume los promedios del Índice EPT (*Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Trichoptera*) para el río La Llanga, se observa un valor promedio total de 69, calificado como "excelente", con 63 en lluvia y 75 en estiaje, destacando la abundancia de taxones sensibles que indican aguas no impactadas. Este índice, centrado en órdenes intolerantes a contaminación, contrasta con Romero y Tarrillo (2017), quienes reportaron "pobre" (0-6) en Chambag por descargas residuales, o Guevara Solón (2024), variando de "muy buena" a "mala" en San Lucas por residuos sólidos. Idrogo Uriarte (2024) clasificó "muy pobre" (1.9) en Chotano por impacto severo, mientras Jáuregui Araujo (2019) indicó "moderadamente impactada" en Sendamal. En La Llanga, la dominancia de *Plecoptera* (39.05 %) y *Ephemeroptera* (12.73 %) respalda esta excelencia, alineada con parámetros fisicoquímicos óptimos, a diferencia de Hoyos Pompa (2019) con "pobre" en Muyoc Grande por variaciones en pH y OD. Quesada y Urbano (2023) usaron nPeBMWP para "contaminada" en Rímac pese a fisicoquímicos en norma, enfatizando bioindicadores. Mora et al. (2020) y Azabache Coronado (2018) mostraron variaciones estacionales, pero en La Llanga la consistencia sugiere conservación natural. En mi justificación personal técnica, este EPT excelente valida el río como referencia para ecosistemas andinos, pero advierto sobre vulnerabilidad a minería o

agricultura intensiva, como en Yépez et al. (2017) con impacto urbano. Sugiero estudios genéticos en EPT para monitorear diversidad, complementando con integridad riparia como en Trama y Mejía (2013), y promover educación comunitaria para preservar esta calidad, evitando degradación observada en Bullón Alcalá (2016) y Vásquez y Medina (2014) (Guevara Solón, 2024; Idrogo Uriarte, 2024; Quesada & Urbano, 2023; Hoyos Pompa, 2019; Jáuregui Araujo, 2019; Mora et al., 2020; Azabache Coronado, 2018; Romero y Tarrillo, 2017; Yépez et al., 2017; Bullón Alcalá, 2016; Vásquez y Medina, 2014; Trama y Mejía, 2013).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- En el estudio, se determinó exitosamente la calidad del agua del río La Llanga mediante el análisis integral de macroinvertebrados bentónicos y parámetros fisicoquímicos durante 2023, cumpliendo con el objetivo general al revelar un estado ambiental favorable en el segmento evaluado, lo que subraya la importancia de tales evaluaciones para la preservación de ecosistemas hídricos en regiones vulnerables como Celendín.
- Se logró caracterizar la calidad del agua del río La Llanga a través de sus propiedades fisicoquímicas, se cumplió con el objetivo específico de evaluar estos indicadores, donde los promedios en épocas de lluvia y estiaje demostraron cumplimiento con los estándares ambientales peruanos Decreto Supremo N° 004-2017 – Categoría 3: indica que para el riego de vegetales y bebida de animales, destacando la ausencia de contaminantes significativos y contribuyendo a una visión holística de su salubridad para usos agrícolas y pecuarios, aunque siempre con un toque de cautela ante posibles cambios futuros.
- Se pudo identificar 1383 individuos distribuidos en 14 familias y 8 órdenes de macroinvertebrados bentónicos que habitan en el río La Llanga, Celendín. Se identificaron con precisión 1383 individuos de macroinvertebrados bentónicos distribuidos en 14 familias y 8 órdenes en el río La Llanga, Celendín, satisfaciendo el objetivo específico de catalogar estas comunidades biológicas, lo que no solo enriqueció el conocimiento local sobre su biodiversidad, sino que también resaltó la dominancia de órdenes sensibles como *Plecoptera*.

- Se calcularon efectivamente los índices bióticos EPT, IBF y BMWP/Col para las aguas del río La Llanga, Celendín, cumpliendo el objetivo específico de cuantificar la calidad hídrica mediante bioindicadores, con calificaciones de “excelente” y “buena” que confirman un ecosistema poco alterado, fomentando así un sentido de esperanza para su sostenibilidad a largo plazo. Por lo tanto, podemos concluir que la calidad del agua en el segmento estudiado, en términos de bioindicadores macroinvertebrados bentónicos está dentro de las denominaciones es de “excelente”.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda mantener el monitoreo del segmento elegido, así como de la mayor parte del río La Llanga en zonas donde exista una posible afectación por actividades antrópicas durante todo el año y poder generar una línea base y gestionar la prevención, control y vigilancia de los posibles daños ambientales que se pudieran suceder.
- Se recomienda generar una guía específica de monitoreo e identificación para macro invertebrados bentónicos en las zonas con características similares para mantener un estándar con la generación de información.
- Proponer la Normalización Legal de las guías de monitoreo e identificación para poder usarlas como medio formal de identificación de posibles impactos ambientales en función a estos bioindicadores.
- Realizar los monitoreos en época de estiaje debido a que en época de lluvia es complicado por el caudal elevado que tiene el río La Llanga.

CAPÍTULO V

REFERENCIAS

- Autoridad Nacional del Agua. [ANA] (2018). *Informe Técnico N° 033-2018ANA-DCERH/ASFRH de la Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos. Técnico, Lima.* Obtenido de file:///C:/Users/DELL/Downloads/r.j._068-2018-ana.pdf
- Anicama Navarrete, A. y Moron Oscategui, S. (2021). *Indicadores Biológicos Asociados a la Calidad del Suelo: Revisión Sistemática, 2021.* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo].
- Álvarez Carrión, S. y Pérez Rivera, L. 2007. *Evaluación de la calidad de agua mediante la utilización de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del Yeguare, Honduras.* [Tesis de pregrado, Universidad de Zamorano Honduras].
- Azabache Coronado, L. (2018). *Determinación de la calidad ecológica del agua de los ríos Porcón, grande y Mashcón- Cajamarca, en función de la macrofauna bentónica como bioindicador.* [Tesis de posgrado, Universidad Nacional de Cajamarca].
- Boards, W. (2015). *Conductividad Eléctrica/Salinidad. California.* Foletto Informativo. https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3130sp.pdf
- Bullón Alcalá (2016). *Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua en la cuenca del río perene, Chanchamayo.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú].
- Cánepa de Vargas, L; Maldonado Tactayo, V; Barrenechea Martel, A y Aurazo de Zumaeta, M. 2004. *Tratamiento de agua para consumo humano: Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría tomo 1.* CEPIS. Lima. Perú.
- Cavalcanti Muñoz, J. (2014). *Comunidad macroinvertebrada bentónica e índices bióticos para determinar la calidad biológica en tres ríos del distrito de Kimbiri, La Convención -*

Cusco, 2011. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].

Cedeño Relles, A. y Quinteros Vera, E. (2016). *Determinación de la calidad del agua mediante la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la subcuenca del río Carrizal.* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí Manuel Félix López].

De La Cruz Guerreros, G. (2022). *Calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua de consumo de la comunidad de Mollehuaca – distrito Huanuhuanu provincia Caraveli – Arequipa, febrero – abril 2022.* [Tesis de pregrado, Universidad María Auxiliadora].

Gallozo Huerta, A. y Yauri Cochachín, J. (2017). “*Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua, relacionados con metales pesados en la subcuenca Yanayacu*”. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]

Guevara Solón, E. (2024). *Calidad del agua utilizando macro invertebrados bentónicos en el río San Lucas del distrito de Cajamarca - provincia de Cajamarca.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca].

Guevara Córdova, C. (2013). *Evaluación de la comunidad de macroinvertebrados de bancos vegetados en quebradas contaminadas por minería aurífera. Madre de Dios-Perú.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].

Hoyos Pompa, N. (2019). *Calidad del Agua en función a los parámetros fisicoquímicos en el río Muyoc Grande, Miguel Iglesias.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca].

Idrogo Uriarte, J. (2024). *Evaluación de la calidad del agua del río Chotano mediante macroinvertebrados bentónicos y parámetros fisicoquímicos en los distritos de Lajas y Cochabamba.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca].

Jáuregui Araujo, D. (2019). *Determinación de la calidad del agua empleando macroinvertebrados bentónicos y parámetros fisicoquímicos en el río Sendamal, Celendín.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca].

- Jave Sipión, I. y Jave Pinedo, A. (2013). *Manual de monitoreo de calidad de agua y evaluación hidrobiológica, Parque Nacional Ichigkat Muja Cordillera del Cóndor y la Reserva Comunal Tuntanain*, Lima. Fondo las Américas y Foundation Gordon and Betty Moore.
- Ladrera Fernández, R.; I Sant Rieradevall, M.; Prat, N. (2013). *Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos: una herramienta didáctica*. Grupo de Investigación FEM (Freshwater Ecology and Management) Departamento de Ecología, Universidad de Barcelona.
- Leiva Gonzales, S. (2024). *Determinación de la remoción de DQO Y DBO₅ en el tratamiento de las aguas residuales domésticas mediante la electrocoagulación en el distrito de Ahuac*. [Tesis de pregrado. Universidad Continental].
- Minchola Soto, G. (2021). *Macroinvertebrados Acuáticos indicadores de la calidad del río Negro Aguaytia*. [Tesis de pregrado. Universidad Nacional Agraria de la Selva].
- Mora Tisnado, M; Medina Tafur, C; Polo Corro, J. y Hora Revilla, M. (2020). *Calidad del agua según los macroinvertebrados bentónicos y parámetros fisicoquímicos en la cuenca del río Huacamarcanga (la libertad, Perú)*. Revista de Investigación Científica REBIOL ISSN 2313-3171, Año 2020, Número 40 (1): 85 – 98, enero – junio.
- Navarro Sandoval, J. (2013). *Indicadores morfológicos y fisiológicos en Abies religiosa y su capacidad predictiva del desempeño en campo*. [Tesis de posgrado, Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas].
- Palomares Ruiz, A. (2004). *Contaminación del agua por nitratos y técnicas para su tratamiento*. Instituto de Tecnología Química Valencia, España. Citado en: <https://www.esferadelagua.es/agua-y-tecnologia/contaminacion-del-agua-por-nitratos-y-tecnicas-para-su-tratamiento>.
- Pizarro Baldera, J. y González Inga, E. (2023). *Estudio hidrológico en la microcuenca de la quebrada Yuracyacu, distrito Agua Blanca, provincia El Dorado, región San Martín*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín].
- Orellana Angel, L. (2016). *Calidad del agua superficial de la microcuenca Ticlacayán*, provincia Cerro de Pasco – Pasco. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3475>

Quesada Zamudio, M. y Urbano Ccaccasaca, R. (2023). *Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la calidad de agua del río Rímac*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión].

Ramírez Ochoa, F. (2 de junio de 2022). "Calidad del Agua". Obtenido de El Agua Potable: http://www.elaguapotable.com/calidad_del_agua.htm

Romero González, D. y Tarrillo Sánchez, H. (2017). *Evaluación de la calidad del agua utilizando macroinvertebrados bentónicos como indicadores bióticos en la quebrada Chambag, Santa Cruz, Cajamarca, durante agosto, diciembre 2016 y marzo 2017*. [Tesis de pregrado, Universidad de Lambayeque].

Roldán Pérez, G. (2012). *Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua*. Bogotá. Colombia. 148p.

Roldán Pérez, G. (2016). *Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica*. Ciencias Naturales, 40(155), 254-274. doi: doi: <http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.335>

Sánchez Sánchez, M. (2019). "Descontaminación del río Rímac". [Tesis de posgrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]

Trama Fernández, A. y Mejía Marcacuzco, J. (2013). *Biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos en el sistema de cultivo de arroz en el sector Muñuela margen derecho en Piura, Perú*. Ecología Aplicada, 12(2), 2013 ISSN 1726-2216 Depósito legal 2002-5474 © Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú.

Vásquez Valerio, M. y Medina Tafur, C. (2014). *Calidad de agua según los macroinvertebrados bentónicos y parámetros físico-químicos en la microcuenca del río Tablachaca (Ancash, Perú) 2014*. REBIOL 2015; 35(2): 75-89, julio – diciembre Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. Perú. ISSN: 2313-3171 (En Línea)

Vasconez Cruz, M., Mancheno Mancheno, A., Alvarez Santa, C., Prenh Hold, C., Cevallos Quispe, C., y Ortiz Céspedes, L. (2019). *Cuencas Hidrográficas*. Quito: Editorial Abya-Yala. Obtenido de: <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-tecnologica-del-peru/individuo-y-medio-ambiente/cuencas-hidrograficas/97066453>

Yépez Rosado, A.; Yépez Yanez, A; Urdánigo Zambrano, J; Morales Cabezas, D; Guerrero Chuez1, N. y Tay Hing, C. (2017). *Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descargas residuales al río Quevedo, Ecuador*. Cienc Tecn UTEQ (2017) 10(1) p 27-34 ISSN 1390-4051; e-ISSN 1390-4043

CAPÍTULO VI

ANEXOS

6.1 ANEXO I: Registro fotográfico

Figura 41

Toma de muestra río La Llana P1



Figura 42

Toma de muestra río La Llana P3

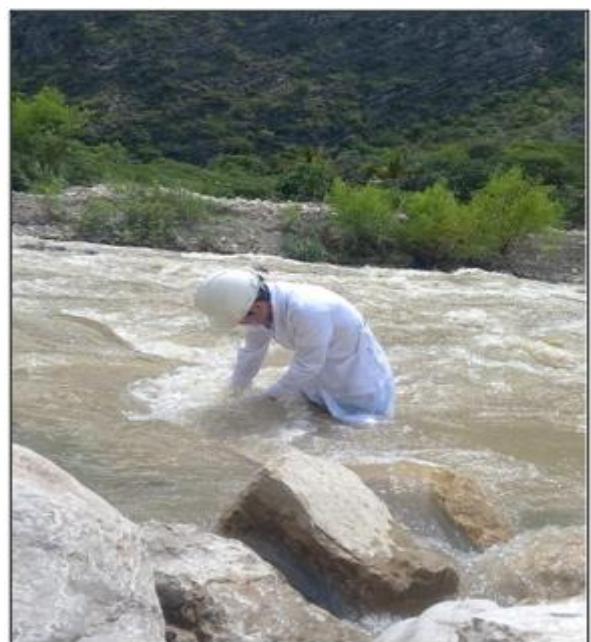


Figura 42

Toma de muestra río La Llana P6

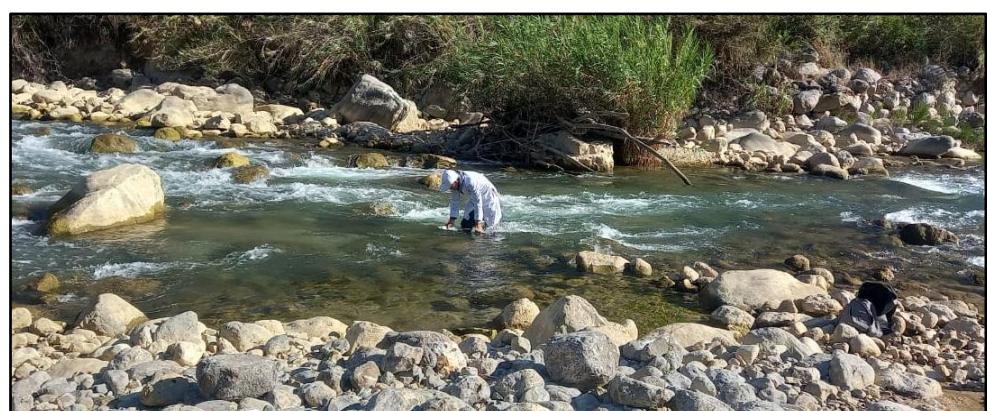


Figura 43*Baetidae***Figura 44***Baelidae***Figura 45***Dyticidae***Figura 46***Elmidae***Figura 47***Empididae***Figura 48***Perlidae*

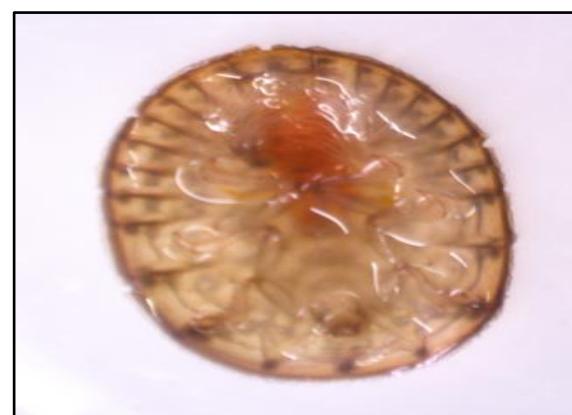
Figura 49*Griporterygidae***Figura 50***Haplotaenidae***Figura 51***Hidrophilidae***Figura 52***Hidroptilidae***Figura 53***Notoneumoridae***Figura 54***Psephenidae*

Figura 55

Tabanidae



6.2. ANEXO II: Informes de Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca: parámetros físico químico.

6.2.1. Época de estiaje

 LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA	LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA CON REGISTRO N° LE-084			 INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado Registro N° LE - 084
INFORME DE ENSAYO N° IE 07240827				
DATOS DEL CLIENTE				
Razon Social/Nombre	MENDOZA BUSTAMANTE JEINER MALILEL			
Dirección	Jr. Junin cdr. 16_Celendín			
Persona de contacto	MENDOZA BUSTAMANTE JEINER MALILEL	Correo electrónico	jmendozab16_1@unc.edu.pe	
DATOS DE LA MUESTRA				
Fecha del Muestreo	18.07.24	Hora de Muestreo	10:00 a 11:45	
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-	
Procedimiento de Muestreo	-			
Tipo de Muestreo	Puntual			
Número de puntos de muestreo	06			
Ensayos solicitados	Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos			
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación			
Referencia de la Muestra:	Celendín- Cajamarca			
Observaciones:	-			
DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO				
Nº Contrato	SC-993	Cadena de Custodia	CC - 0827 - 24	
Fecha y Hora de Recepción	19.07.24	09:30	Inicio de Ensayo	19.07.24
Reporte Resultado	02.08.24	14:50	Lugar de ejecución de ensayos	Laboratorio Regional del Agua (LRA)- Cajamarca
 Firmado digitalmente por NEYRA JAICO Edder Miguel FAU 20453744168 soft Motivo: Soy el autor del documento Fecha: 02/08/2024 09:06 p. m.				
<p>Escanear Código QR</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-top: 5px;">  </div> <p>Edder Neyra Jaico Responsable de Laboratorio CIP: 147028</p>				
Cajamarca, 02 de Agosto de 2024				
JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ e-mail: laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FONO:076-600040 anexo 1140				
Página: 1 de 3				



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



INFORME DE ENSAYO N° IE 07240827

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos					
Código de la Muestra			P1	P2	P3	P4	P5	P6
Código Laboratorio			07240827-01	07240827-02	07240827-03	07240827-04	07240827-05	07240827-06
Matriz			Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural
Descripción			Superficial- Río	Superficial- Río	Superficial- Río	Superficial- Río	Superficial- Río	Superficial- Río
Localización de la Muestra			Río La Llanga	Río La Llanga	Río La Llanga	Río La Llanga	Río La Llanga	Río La Llanga
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos					
Fluoruro (F)	mg/L	0.038	0.094	0.123	0.123	0.176	0.121	0.117
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.065	26.333	33.695	24.570	22.814	18.212	16.665
Nitrito (NO ₂ ⁻)	mg/L	0.050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.035	0.047	0.066	0.048	0.040	<LCM	<LCM
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.064	0.314	0.404	0.687	0.858	0.531	0.605
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.070	17.454	22.785	23.206	28.275	23.872	26.616
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.032	<LCM	<LCM	<LCM	0.049	<LCM	<LCM
N-Nitrito (N-NO ₂)	mg/L	0.013	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
N-Nitrato (N-NO ₃)	mg/L	0.014	0.056	0.077	0.141	0.179	0.105	0.122
N-Nitrato + N-Nitrito	mg/L	0.064	0.056	0.077	0.141	0.179	0.105	0.122
pH a 25°C	pH	NA	8.29	8.32	8.27	8.40	8.20	8.14
Conductividad a 25°C	µS/cm	NA	570.50	571.00	589.50	600.50	624.00	646.00
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	1.04	147.28	148.61	160.78	169.67	170.32	182.16
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.50	7.07	7.33	6.65	6.32	6.33	6.59
(*) Temperatura (T°)	°C	N.A.	18.33	18.32	18.36	18.31	18.33	18.34

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

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.

Vº Bº

Firmado digitalmente por
LOPEZ LEON Freddy Humberto
FAU 20453744168 soft
Motivo: Viso en señal de
confianza y acuerdo
Fecha: 02/08/2024 06:06 p. m.

Cajamarca, 02 de Agosto de 2024

Página: 2 de 3

JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N, URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
e-mail:laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FONO:076-600040 anexo 1140



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



Registro N°LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 07240827

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
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 - Aplicado fuera del alcance). 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
Potencial de Hidrógeno (pH) a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 24 th Ed. 2023: pH Value. Electrometric Method
Conductividad a 25°C	µS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 24 th Ed. 2023: Conductivity. Laboratory Method
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340 C, 24 th Ed. 2023: Hardness EDTA Titrimetric Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 24 th Ed. 2023: Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
Temperatura	°C	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 24 th Ed. 2023: Temperature. Laboratory and Field Methods

NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (*) Los Resultados son referenciales, ya que, las muestra no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe corresponden única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua, según cotización y cadena de custodia.
- ✓ Cuando la muestra es tomada por el cliente: El Laboratorio Regional del Agua no se responsabiliza por la exactitud o la verificación de la información sobre la muestra. Los resultados del ensayo están basados en la muestra tal como fue recibida y en los datos proporcionados por el cliente.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservarán en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días después de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.
- ✓ El código QR permitirá la visualización y descarga del documento (según oficio múltiple N° 027-2024-INACAL/DA), por lo que, una vez emitido el informe de ensayo, queda bajo responsabilidad del cliente a quien le de acceso dicho código; además, el link vinculado al código QR también se proporcionará al repositorio del INACAL (según oficio múltiple N° 020-2024-INACAL/DA) para consultas sobre autenticaciones, falsificaciones o adulteraciones del presente documento.

✓ LRA-GRC ASEGURA LA CONFIABILIDAD Y CONFIDENCIALIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO.

--- Fin del documento ---

Código del Formato: P-23-F01 Ver: 03 Fecha : 25/07/2024

Cajamarca, 02 de Agosto de 2024

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**



Firmado digitalmente por
COLINA VENEZIAS Juan José
FAU 20453744168 softkey
Motivo: Viso en señal de
conformidad
Fecha: 02/08/2024 06:18 p. m.

6.2.2. Época de lluvia

 LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA	LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084			 <small>Registro N°LE - 084</small>
INFORME DE ENSAYO N° IE 04230217				
DATOS DEL CLIENTE				
Razón Social/Nombre	JEINER MENDOZA BUSTAMANTE			
Dirección	-			
Persona de contacto	JEINER MENDOZA BUSTAMANTE	Correo electrónico	jmendozab16_1@unc.edu.pe	
DATOS DE LA MUESTRA				
Fecha del Muestreo	16.04.23	Hora de Muestreo	12:15 a 16:02	
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-	
Procedimiento de Muestreo	-			
Tipo de Muestreo	Puntual			
Número de puntos de muestreo	06			
Ensayos solicitados	Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos			
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación			
Referencia de la Muestra:	Llanguat- Celendín			
DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO				
Nº Contrato	SC-184	Cadena de Custodia	CC - 0217 - 23	
Fecha y Hora de Recepción	17.04.23	08:15	Inicio de Ensayo	17.04.23
Reporte Resultado	26.04.23	16:00		08:22
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA				
<p style="text-align: center;">  Firmado digitalmente por NEYRA JAICO Edder Miguel FAU 20453744168 soft Motivo: Soy el autor del documento Fecha: 26/04/2023 08:59 p.m. CAJAMARCA </p> <hr/> <p style="text-align: center;">Edder Neyra Jaico Responsable de Laboratorio CIP: 147028</p>				
<i>Cajamarca, 26 de Abril de 2023</i>				
<small>JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ e-mail:laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FONO:599000 anexo 1140.</small>				
<small>Página: 1 de 3</small>				



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 04230217

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos					
Código de la Muestra			P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6
Código Laboratorio	04230217-01	04230217-02	04230217-03	04230217-04	04230217-05	04230217-06		
Matriz	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural		
Descripción	Superficial- Río	Superficial- Río	Superficial- Río	Superficial- Río	Superficial- Río	Superficial- Río		
Localización de la Muestra	Llanguat	Llanguat	Llanguat	Llanguat	Llanguat	Llanguat		
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos					
Fluoruro (F)	mg/L	0.0380	0.159	0.071	0.063	0.070	0.072	0.067
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.0650	6.920	3.199	3.031	3.292	2.967	3.106
Nitrito (NO ₂ ⁻)	mg/L	0.0500	0.364	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.0350	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.0640	4.868	1.123	1.319	1.015	1.056	1.132
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.0700	50.13	7.864	8.162	9.505	9.024	8.700
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.0320	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
pH a 25°C	pH	NA	8.14	8.48	8.45	8.40	8.38	8.41
Conductividad a 25°C	µS/cm	NA	455.5	354.5	362.0	367.5	366.5	359.5
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	1.04	242.0	646.1	193.9	153.0	286.6	227.6
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	6.1	7.3	7.8	7.5	7.9	6.6

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



Firmado digitalmente por
NEYRA JAICO Edmer Miguel
FAU 20453744188 soft
Motivo: Viso en señal de
conformidad
Fecha: 29/04/2023 05:59 p.m.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

Cajamarca, 26 de Abril de 2023

JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
e-mail: laboratorio.delagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FONO:599000 anexo 1140.

Página: 2 de 3



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 04230217

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
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.
Potencial de Hidrógeno (pH) a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 4500-H-B, 23rd Ed. 2017. pH Value: Electrometric Method.
Conductividad a 25°C	µS/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 resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua . Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev:Nº02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 26 de Abril de 2023

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

