

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA



**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y
AMBIENTAL**

**MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS COMO
BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AGUA DE LA
QUEBRADA HUAHUAYA, SAN JOSÉ DEL ALTO, PERÚ**

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

Autores: Bach. Jerson Jair Manchay Adrianzen

Bach. Edinson Joel Ramirez Nayra

Asesor: Dr. Alexander Huamán Mera

**Línea de Investigación: Conservación, manejo y aprovechamiento
de los recursos naturales.**

Jaén-Perú

NOMBRE DEL TRABAJO

**MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS
COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD D
E AGUA DE LA QUEBRADA HUAHUAYA,
SAN JO**

AUTOR

**Jerson Jair Manchay Adrianzen Edinson
Joel Ramirez Nayra**

RECUENTO DE PALABRAS

9656 Words

RECUENTO DE CARACTERES

55376 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

59 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.3MB

FECHA DE ENTREGA

Nov 5, 2024 1:53 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Nov 5, 2024 1:54 PM GMT-5

● **8% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 7% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dr. Alexander Huamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

ACTA DE SUSTENTACIÓN

El día 21 de noviembre del año 2024, siendo las 11:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado evaluador de manera presencial, en la sala de docentes de la escuela de Ingeniería Forestal y Ambiental.

Presidente: Dr. Luis Arturo Gil Ramírez

Secretario: M. Sc. Gustavo Adolfo Martínez Sovero

Vocal: Dra. Mariela Núñez Figueroa, para evaluar la sustentación del:

- () Informe final de tesis
() Proyecto de tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado:

“Macroinvertebrados Bentónicos como bioindicadores de calidad de agua de la quebrada Huahuaya, San José del Alto, Perú” presentado por las estudiantes **Jerson Jair Manchay Adrianzen** y **Edinson Joel Ramirez Nayra** de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

() Aprobar () Desaprobar () Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

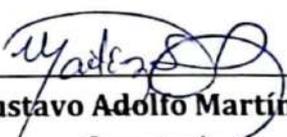
- | | | |
|----------------|------------|---|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | (<input type="checkbox"/>) |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (<input checked="" type="checkbox"/>) |
| c) Bueno | 14, 15 | (<input type="checkbox"/>) |
| d) Regular | 13 | (<input type="checkbox"/>) |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | (<input type="checkbox"/>) |

Siendo las 11:46 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Jaén, 21 de noviembre del 2024



Dr. Luis Arturo Gil Ramírez
Presidente



M. Sc. Gustavo Adolfo Martínez Sovero
Secretario



Dra. Mariela Núñez Figueroa
Vocal

FORMATO 04: DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Yo, Jerson Jair Manchay Adrianzen,
identificado con DNI N° 73321555, estudiante de la Escuela Profesional de
Ingeniería Forestal y Ambiental
de la Universidad Nacional de Jaén; declaro bajo juramento que soy autor del Trabajo
de investigación:
"Macraivertebrados Bentónicos como bioindicadores de
calidad de agua de la quebrada Huahyaya, San José del
Alto, Perú"

1. El mismo que presento para optar: () Grado Académico de Bachiller (x) Título Profesional
2. El Trabajo de investigación no ha sido plagiado ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
El Trabajo de investigación presentado no atenta contra derechos de terceros.
El Trabajo de investigación no ha sido publicado ni presentado anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados. Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido del Trabajo de investigación, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para la UNJ en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido del Trabajo de investigación.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción se deriven.

Jaén, 26 de Febrero del 2025.



Firma - Huella Digital

FORMATO 04: DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Yo... Eclinson Joel Ramirez Nayra.....
identificado con DNI Nº 72366815..... estudiante de la Escuela Profesional de
Ingeniería Forestal y Ambiental.....
.....de la Universidad Nacional de Jaén; declaro bajo juramento que soy autor del Trabajo
de investigación:
....."Macroinvertebrados Bentónicos como bioindicadores de
Calidad de agua de la quebrada Huahuaya,.....
San José del Alto, Perú".....
.....

1. El mismo que presento para optar: () Grado Académico de Bachiller (X) Título Profesional
2. El Trabajo de investigación no ha sido plagiado ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
El Trabajo de investigación presentado no atenta contra derechos de terceros.
El Trabajo de investigación no ha sido publicado ni presentado anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados. Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido del Trabajo de investigación, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para la UNJ en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido del Trabajo de investigación.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción se deriven.

Jaén, 26 de Febrero del 2025.

 
Firma - Huella Digital

ÍNDICE

I	INTRODUCCIÓN	9
II	MATERIALES Y MÉTODOS	13
2.1	Población, Muestra y Muestreo	13
2.1.1	Población	13
2.1.2	Muestra	13
2.1.3	Muestreo	13
2.2	Área de estudio	13
2.3	Métodos.....	15
2.3.1	Selección de los puntos de muestreo	15
2.3.2	Recolección y caracterización de los macroinvertebrados bentónicos presentes en la quebrada Huahuaya	17
2.3.3	Determinación de la calidad del agua de los puntos muestreado mediante el índice biótico nPeBMWP.	20
2.3.4	Análisis de los parámetros fisicoquímicos de los puntos de muestreo	22
2.3.5	Medición del caudal.....	23
2.3.6	Determinación del índice de diversidad en los puntos seleccionados	25
III	RESULTADOS	26
3.1.1	Identificación de Macroinvertebrados bentónicos de la quebrada Huahuaya.	26
3.1.2	Abundancia de macroinvertebrados recolectados por Muestreo.	29
3.1.3	Calidad del agua mediante el índice nPeBMWP	34
3.1.4	Calidad del agua según las variables Fisicoquímicas	35
3.1.5	Índice Shannon- Wiener	37
IV	DISCUSIÓN	39
V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
5.1	CONCLUSIONES	43

5.2 RECOMENDACIONES.....	43
VI REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas UTM de los puntos de muestreo seleccionados.....	17
Tabla 2. Valores establecidos a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para ríos nortes del Perú (nPeBMWP) (Medina et al., 2010).....	20
Tabla 3. Rangos de calidad del agua, según los valores del índice nPeBMWP (Prat <i>et al.</i> , 2000).	22
Tabla 4. Macroinvertebrados bentónicos identificados en los diferentes puntos de muestreo en la época seca (ES) y época húmeda (EH).....	27
Tabla 5. Calidad del agua según el índice nPeBMWP..	35
Tabla 6. Valores de los parámetros fisicoquímicos y caudal en los puntos de muestreo de la quebrada Huahuaya	37
Tabla 7. Macroinvertebrados bentónicos encontrados en la quebrada Huahuaya.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio.....	14
Figura 2. Crianza de animales como fuente de alteración antrópica en el cauce de la quebrada en el punto de muestreo 1 (PM1).....	15
Figura 3. Ubicación de los puntos de muestreo.	17
Figura 4. Esquema general del muestreo	18
Figura 5. Identificación de Macroinvertebrados bentónicos en el estereoscopio	19
Figura 6. Metodología de medición del caudal	24
Figura 7. Variación en la abundancia de macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo.....	29
Figura 8. Distribución de los órdenes de macroinvertebrados según el número de individuos	29
Figura 9. Familias de Macroinvertebrados con mayor abundancia (> 5 individuos) en el primer muestreo (ES).....	33
Figura 10. Familias de Macroinvertebrados con menor abundancia (\leq 5 individuos) en el primer muestreo (ES).....	33
Figura 11. Familias de Macroinvertebrados con mayor abundancia (> 5 individuos) en el segundo muestreo (EH).	33
Figura 12. Familias de Macroinvertebrados con menor abundancia (\leq 5 individuos) en el segundo muestreo (EH).	32
Figura 13. Riqueza de familias en el primer muestreo (ES).....	38
Figura 14. Riqueza de familias del segundo muestreo (EH).....	38
Figura 15. Calidad del Agua según el Índice nPeBMWP en los cuatro puntos de Muestreo en las dos épocas.	35
Figura 16. Variación del índice Shannon-Wiener del primer muestreo.	38
Figura 17. Variación del índice Shannon-Wiener del segundo muestreo.	38
Figura 18. Selección de puntos de muestreo por actividades antropogénicas.....	51
Figura 19. Marcando con el GPS los puntos seleccionados.....	51
Figura 20. Captura de macroinvertebrados bentónicos con la red D net.....	52
Figura 21. Analizando parámetros fisicoquímicos in situ.	52
Figura 22. Analizando parámetros fisicoquímicos ex situ.....	54

Figura 23. Medición del caudal.....	52
Figura 24. Identificación de macroinvertebrados en el estereoscopio.....	52
Figura 25. Determinación del índice de Shannon-Wiener en Rstudio.	53

RESUMEN

Los macroinvertebrados bentónicos son organismos que habitan en el fondo de los cuerpos de agua y su presencia, abundancia y diversidad son indicadores sensibles de las condiciones ambientales y de la calidad del agua. El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad del agua mediante la identificación de estos organismos en cuatro puntos de muestreo, durante dos muestreos, uno en temporada seca y otro en temporada lluviosa. Se colectaron un total de 1255 individuos; 608 en la época seca y 647 en época lluviosa. La clase Insecta fue la predominante, encontrándose 8 órdenes, siendo las predominantes Ephemeroptera, Tricoptera y Plecoptera. En cuanto a los parámetros fisicoquímicos, el pH osciló dentro de los rangos adecuados con un promedio de 8.1. La temperatura osciló entre 17.6 °C y 26 °C, aumentando a medida que el nivel altitudinal disminuía, mientras que el oxígeno disuelto disminuía a medida que el grado altitudinal también lo hacía. Según los resultados del índice nPeBMWP, el punto 1 y 2 fueron de calidad buena en el primer muestreo, y aceptable en el segundo muestreo, mientras que los puntos 3 y 4 fueron de calidad aceptable en ambos muestreos. Concluyendo que el agua de la quebrada Huahuaya se encuentra dentro de los rangos aceptables establecidos por los ECA, con una calidad que varía entre aceptable y buena.

Palabras clave: Monitoreo ambiental, Biodiversidad acuática, Índice nPeBMWP

ABSTRACT

Benthic macroinvertebrates are organisms that inhabit the bottom of water bodies and their presence, abundance and diversity are sensitive indicators of environmental conditions and water quality. The objective of this research was to evaluate water quality by identifying these organisms in four sampling points, during two samplings, one in the dry season and the other in the rainy season. A total of 1255 individuals were collected; 608 in the dry season and 647 in the rainy season. The Insecta class was the predominant one, with 8 orders, the predominant ones being Ephemeroptera, Trichoptera and Plecoptera. As for the physicochemical parameters, the pH oscillated within the appropriate ranges with an average of 8.1. Temperature ranged from 17.6 °C to 26 °C, increasing as the altitudinal level decreased, while dissolved oxygen decreased as the altitudinal gradient decreased. According to the results of the nPeBMWP index, points 1 and 2 were of good quality in the first sampling, and acceptable in the second sampling, while points 3 and 4 were of acceptable quality in both samplings. The conclusion is that the water of the Huahuaya stream is within the acceptable ranges established by the ECAs, with a quality that varies between acceptable and good.

Translated with DeepL.com (free version)

Key words: Environmental monitoring, Aquatic biodiversity, nPeBMWP index.

I INTRODUCCIÓN

El agua, elemento vital para la supervivencia de los organismos y un derecho fundamental para la humanidad, ha sido objeto de interés a nivel de calidad desde finales de la década de 1960, a partir de la cual la calidad del agua se consideró tan importante como su gestión de disponibilidad, esto debido al alto grado de contaminación que se ha visto en las últimas décadas (Abassi y Abassi, 2012). En este periodo, el aumento significativo de la contaminación hídrica ha generado una nueva perspectiva sobre la importancia de las condiciones del agua, especialmente en arroyos y ríos, los ecosistemas de agua dulce más susceptibles a las alteraciones antropogénicas (Allan, 2004).

En el Perú, la contaminación de ríos, lagos y arroyos ha aumentado debido al crecimiento acelerado de las comunidades humanas y a actividades que descuidan el medio ambiente, generando consecuencias negativas tanto para la salud humana como para la diversidad de los ecosistemas acuáticos (Villanueva y Esquivel, 2012).

Según el Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) (2015) la quebrada Huahuaya, afluente del río Tabaconas, enfrenta desafíos significativos, debido a que su cauce es utilizado para riego de cultivos, acuicultura, ganadería, y descarga de aguas residuales; además, el cauce de esta quebrada se encuentra entre laderas de montañas utilizadas para la agricultura, en la cual se utilizan agroquímicos como fertilizantes, herbicidas y pesticidas para mejorar la productividad de los cultivos. Estos productos químicos pueden ser arrastrados por la escorrentía y llegar a la quebrada, contaminando el agua e incidiendo en la fauna y flora acuática (Hernández y Hansen, 2011). Esta problemática plantea la necesidad de evaluar la calidad del agua en la quebrada Huahuaya, considerando la presencia y abundancia de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores clave. La calidad del agua es un aspecto crucial, ya que su deficiente estado puede tener consecuencias directas en la salud humana y en la integridad de los ecosistemas acuáticos (Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2021).

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) (2013), a partir del año 2009 ha llevado a cabo inspecciones regulares para la medición de la calidad del agua en las diversas cuencas hidrográficas, basándose en los Estándares Nacionales de Calidad de Agua. No obstante, en sus registros no se ha encontrado ningún estudio biológico previo realizado en la quebrada Huahuaya; lo cual es sumamente necesario, puesto que en las laderas del cauce de esta quebrada se realiza una agricultura intensiva, con uso de fertilizantes y pesticidas, los cuales pueden afectar la biodiversidad ecosistémica debido a la escorrentía de estos agroquímicos hacia el cuerpo de agua.

Aunque la legislación peruana busca asegurar el acceso a agua de calidad a largo plazo, la falta de estudios previos en la quebrada Huahuaya destaca la necesidad de una evaluación integral. Se propone utilizar macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos, aprovechando su sensibilidad y capacidad para responder rápidamente a las alteraciones ambientales (Wang y Tan, 2017).

Los macroinvertebrados bentónicos son pequeños animales que viven debajo de rocas, troncos, sedimentos, escombros y plantas acuáticas sumergidas durante todo o parte de su ciclo biológico. Los macroinvertebrados representan diversos grupos de organismos acuáticos que tienen una amplia gama de respuestas a contaminantes orgánicos, sedimentos y materiales tóxicos. La presencia de solo unos pocos tipos de macroinvertebrados bentónicos, pero en gran número puede ser indicativo de la existencia de estrés o perturbación (Patrick *et al.*, 2014).

Según Sarang y Sharma (2015), la diversidad y la dominancia de los macroinvertebrados se pueden expresar mediante métricas. Las métricas de macroinvertebrados incluyen riqueza, diversidad o abundancia de taxones, algunos taxones son sensibles a la contaminación y otros son tolerantes. Estas métricas se han utilizado como bioindicadores de la calidad del agua.

En Sudamérica, numerosos estudios han utilizado macroinvertebrados bentónicos para evaluar la calidad del agua, destacando la importancia de estos organismos como bioindicadores efectivos. Estos estudios subrayan la relevancia de los macroinvertebrados en la monitorización y evaluación de los ecosistemas acuáticos

(Gomez y Molineri, 2021; Jaramillo *et al.*, 2022; Polo *et al.*, 2022; Medina *et al.*, 2010).

En la investigación llevada a cabo por Gómez y Molineri (2021) en la provincia de Jujui, Argentina, evaluaron la calidad biológica de las aguas del Río Grande. Para este propósito, se efectuaron cuatro campañas de muestreo y se identificaron un total de 133 taxones, siendo la mayoría de ellos insectos (66%). Haciendo uso del índice BMWP, se determinó que la mayor parte de los sitios evaluados presentaban condiciones de agua buenas. Los parámetros fisicoquímicos de la cuenca mostraron gradientes naturales, mostrando valores más altos en la naciente y valores más bajos en la desembocadura de la cuenca. Según el índice EPT y su correlación con los parámetros de oxígeno disuelto, temperatura y pH no fueron significativas, a la vez al utilizar el índice BMWP, su desempeño coincidió con las variables fisicoquímicas

En el estudio realizado por Jaramillo *et al.* (2022) en Colombia, se recolectó un total de 4.752 individuos pertenecientes a cuatro filos, seis clases, un total de 12 órdenes y 40 familias. De las cuales el más abundante de los tres puntos muestreados fue el orden Diptera. Las variables fisicoquímicas medidas fueron: conductividad, pH, oxígeno disuelto, temperatura y el caudal. Los niveles de pH en las tres estaciones de muestreo oscilaron entre 6.8 y 7.5. El oxígeno disuelto en el punto de muestreo de alteración media fue de 2.9 siendo el valor más bajo de las tres estaciones, y a la vez fue donde el índice BMWP/Col tuvo menor puntaje (110 y 96).

Polo *et al.* (2022) en las aguas del río temporal Llantén (La Libertad), reportaron la presencia de 8 clases, 18 órdenes y 30 familias. Siendo las ordenes mayomermente encontradas: Collembola, Diptera, Coleoptera, Hemiptera y Ephemeroptera. De acuerdo con el índice BMWP, se evaluaron 3 sitios de muestra y se encontró que el primer sitio se caracterizaba por ser aguas de calidad aceptable, indicador de que las aguas están contaminadas ligeramente. Tanto el sitio 2 como el 3 presentaron una calidad buena de agua (aguas limpias).

Medina *et al.* (2010) evaluaron la calidad biológica de las aguas de tres microcuencas de Alto Chicama en La Libertad, realizaron una modificación y adaptación del índice BMWP, para los ríos del norte del Perú. En las cuales identificaron la presencia de un total de 7 Clases, alrededor de 13 órdenes, así como 46 familias, siendo las clases más

características: Insecta, Crustacea, Turbellaria Gastropoda, Bivalvia, y Oligoquetos, mediante el índice BMWP adaptado (nPeBMWP) establecieron que las partes alta de las microcuencas tienen una calidad biológica entre buena y regular, mientras que en la parte baja una calidad biológica mala.

Dado el panorama mencionado, el objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad del agua de la quebrada Huahuaya, mediante el uso de macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos clave en el análisis. Estos organismos acuáticos mantendrán información valiosa sobre la salud y el estado de la quebrada, permitiendo una apreciación integral de la calidad del agua basada en indicadores biológicos. Para el cumplimiento de este objetivo se cumplieron con cinco objetivos específicos: Selección los puntos de muestreo, identificación de los macroinvertebrados bentónicos en los puntos de muestreo, análisis de los parámetros fisicoquímicos en los puntos de muestreo, determinación de la calidad del agua de los puntos muestreados mediante el índice biótico nPeBMWP, y determinación del índice de diversidad de los puntos muestreados.

II MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Población, Muestra y Muestreo

2.1.1 Población

La población estuvo conformada por los macroinvertebrados bentónicos de la quebrada Huahuaya, San José del Alto, Perú.

2.1.2 Muestra

La muestra estuvo compuesta por cuatro puntos de muestreo. Siguiendo las pautas establecidas por Sanabria y Barriga (2020), se consideró la inclusión de 1 punto de muestreo en la parte alta de la quebrada, 2 puntos de muestreo en la zona intermedia, y 1 punto de muestreo en la parte baja.

2.1.3 Muestreo

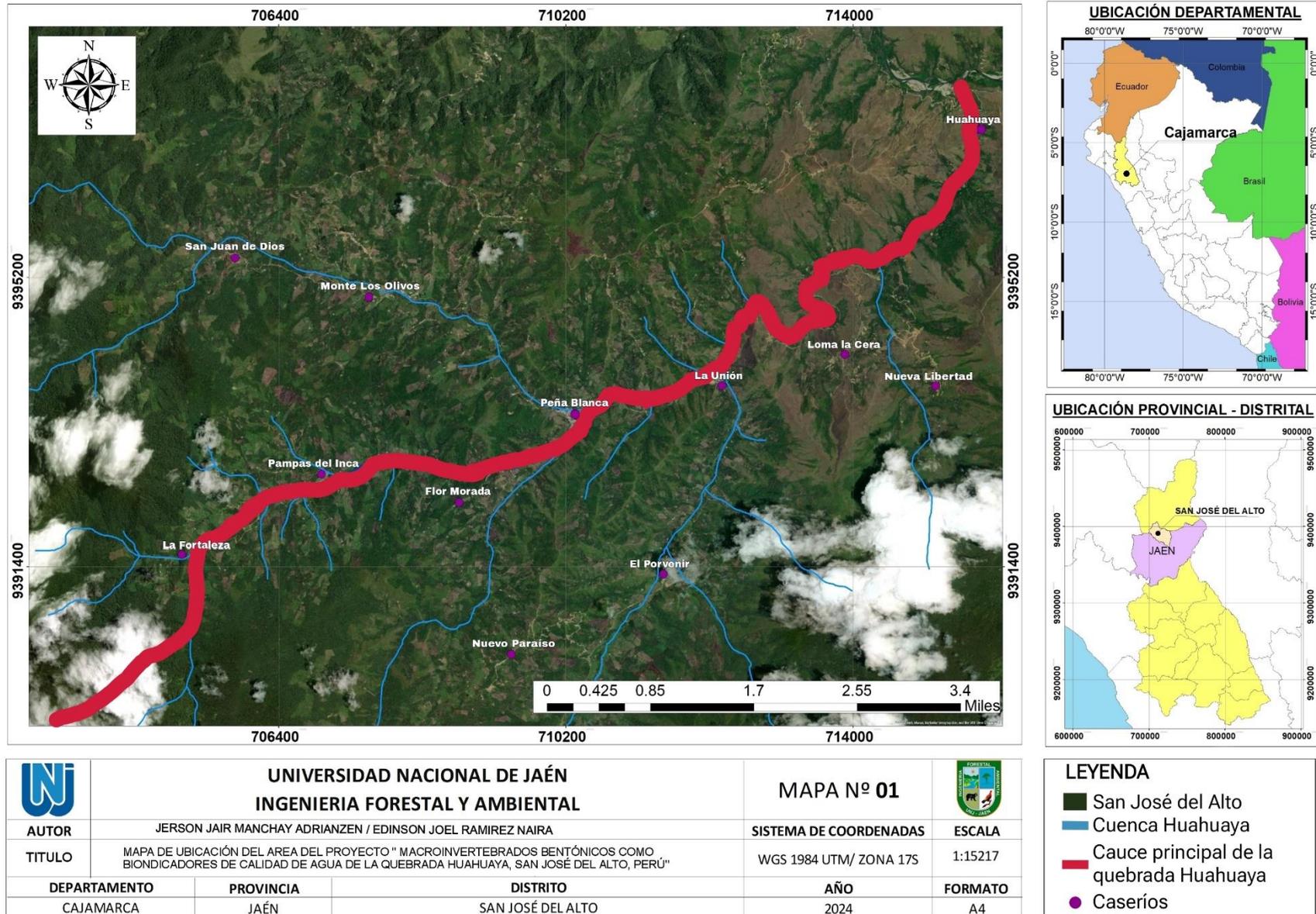
Se llevaron a cabo muestreos probabilísticos estratificados aleatorios, teniendo en cuenta el grado de perturbación o alteración antrópica, las condiciones de la quebrada y las facilidades de entrada al medio. Asimismo, se consideró que el punto de muestreo tuviera buena corriente, con fondos que tuvieran hojarasca, excluyéndose fondos arenosos y arcillosos (Carrera y Fierro, 2001).

2.2 Área de estudio

La quebrada Huahuaya es uno de los principales afluentes del río Tabaconas, ubicada en el distrito de San José del Alto, provincia de Jaén, en el departamento de Cajamarca. Se origina en las montañas El Corcovado y Peñas Blancas a 2,200 msnm, con un drenaje orientado hacia el noreste, desembocando en el río Tabaconas a 750 msnm.

Figura 1.

Ubicación del área de estudio.



2.3 Métodos

2.3.1 Selección de los puntos de muestreo

En primer lugar, se realizó un recorrido exhaustivo a lo largo del cauce de la quebrada. Durante este recorrido, se identificaron los principales puntos de perturbación, caracterizados por actividades antropogénicas como la siembra de cultivos, la crianza de animales, la disposición de aguas residuales y disposición de residuos sólidos. Estos factores fueron considerados clave en la selección de los puntos de muestreo.

Además, teniendo en cuenta la morfología de la quebrada, seleccionando aquellos segmentos donde el lecho estaba compuesto principalmente cubierto de hojarasca o por material pedregoso, y se excluyeron las áreas con fondos arenosos o arcillosos. También se procuró que las distancias entre los puntos de muestreo fueran uniformes y que estos fueran de fácil acceso.

Seleccionados los cuatro puntos de muestreo, estos fueron georreferenciado en coordenadas UTM, utilizando un dispositivo GPS GARMIN modelo 78S.

Figura 2.

Crianza de animales como fuente de alteración antrópica en el cauce de la quebrada en el punto de muestreo 1 (PM1).



2.3.1.1 Características de los puntos de muestreo seleccionados

- PM1: Este punto de muestreo se encuentra en la parte alta de la quebrada, cerca de su nacimiento y a unos metros aguas abajo del caserío La Fortaleza. En época seca, presentó un caudal de 528.6 L/s, mientras que en época húmeda alcanzó los 655.1 L/s. El lecho estaba compuesto de piedras y gravas. Las actividades antropogénicas observadas en este lugar incluyeron la crianza de animales en las orillas de la quebrada y la disposición de aguas residuales provenientes del caserío La Fortaleza.
- PM2: Ubicado en la parte media-alta de la quebrada, este punto presentó un caudal de 1045 L/s en época seca y de 1432 L/s en época húmeda. El lecho estaba conformado por piedras y grava. Las actividades humanas predominantes en esta área incluyeron la crianza de animales cerca de la quebrada y la práctica de agricultura intensiva.
- PM3: Localizado en la parte media-baja de la quebrada, este punto se caracterizó por un caudal de 2757.6 L/s en época seca y de 2944 L/s en época húmeda. El lecho estaba compuesto por piedras, grava y una notable cantidad de hojarasca. Las actividades antropogénicas predominantes en este sitio fueron la crianza de animales en las inmediaciones de la quebrada, la disposición de aguas residuales y el tráfico vehicular que pasa por esta quebrada.
- PM4: Este punto de muestreo se encuentra en la parte baja de la quebrada, aguas abajo del caserío de Huahuaya Grande, en la confluencia con el río Tabaconas. En época seca, presentó un caudal de 3475.86 L/s, mientras que en época húmeda alcanzó los 3999.23 L/s. El lecho estaba formado por piedras, grava y una escasa cantidad de hojarasca. Las principales actividades antropogénicas observadas en este lugar incluyeron la crianza de ganado en las orillas de la quebrada, la disposición de aguas residuales y la disposición de residuos sólidos en sus márgenes.

Figura 3.

Ubicación de los puntos de muestreo.

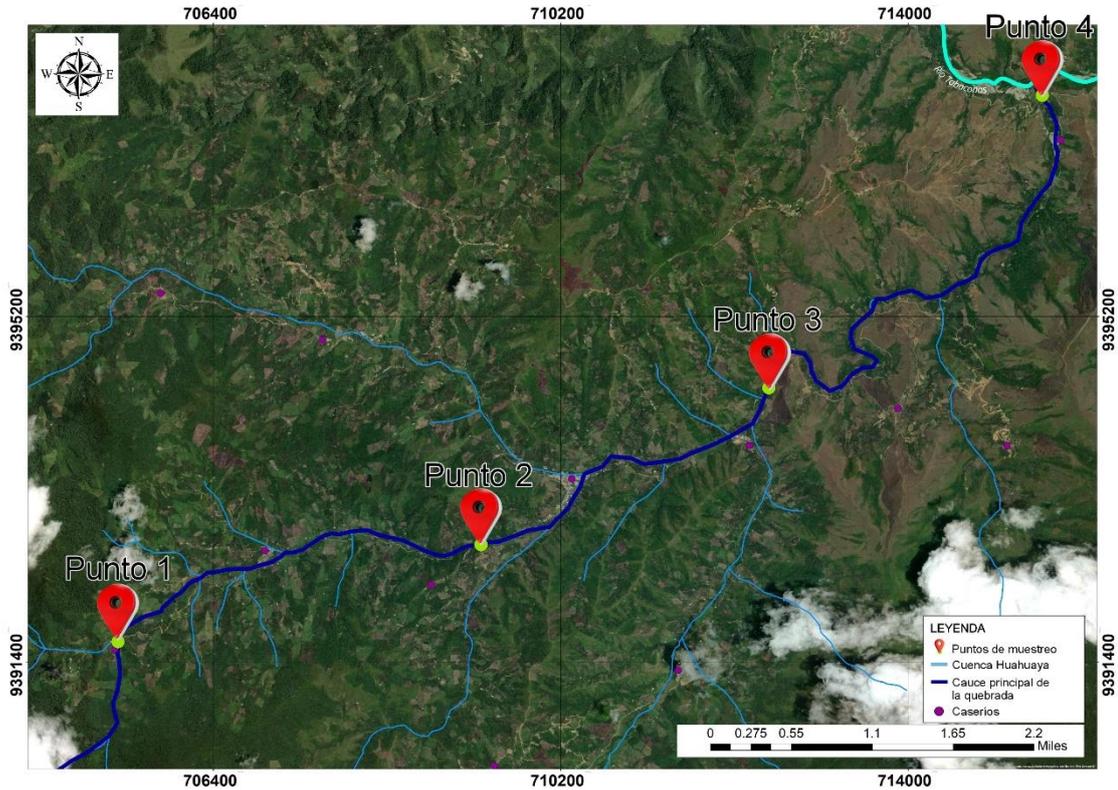


Tabla 1.

Coordenadas UTM de los puntos de muestreo seleccionados.

Punto de muestreo	Coordenadas UTM		ALTITUD msnm
	Este	Norte	
PM1	705333.8	9391691.6	1739.124 msnm
PM2	709359.45	9392629.8	1262.238 msnm
PM3	712479.9	9394418.7	1083,374 msnm
PM4	715472.4	9397636.7	811.571 msnm

2.3.2 Recolección y caracterización de los macroinvertebrados bentónicos presentes en la quebrada Huahuaya

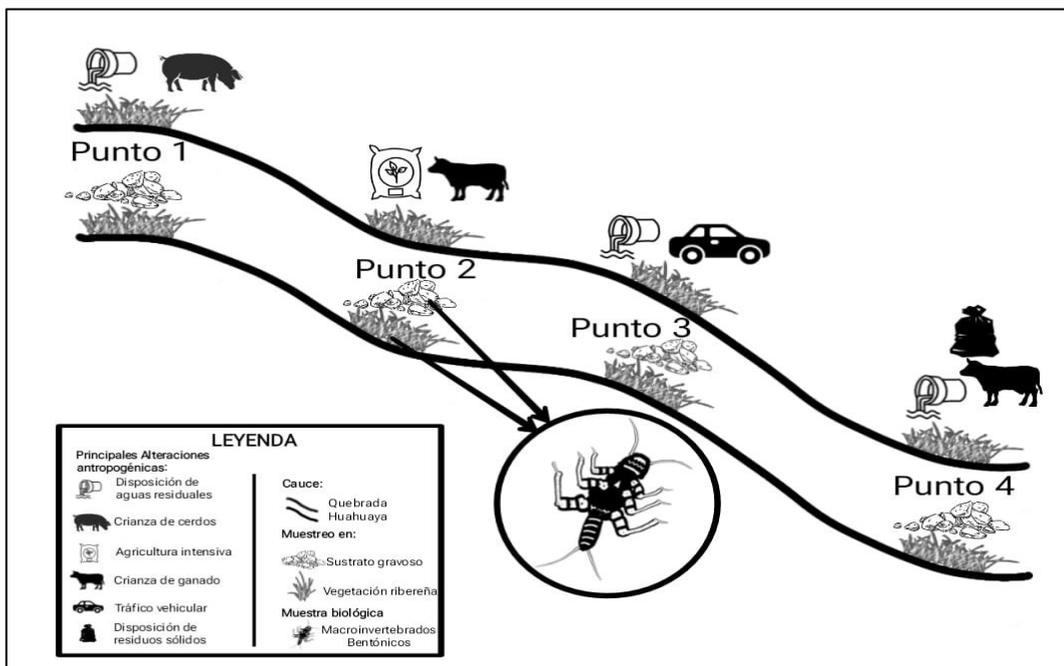
La recolección de las muestras biológicas se realizó siguiendo los métodos usados por Sermeño *et al.* (2010) y Sanabria y Barriga (2020).

Los macroinvertebrados bentónicos fueron recolectados mediante el empleo de una red D-net. En cada punto de muestreo, se delimitó un área de 20 m², llevando a cabo la recolección de dichos organismos durante un intervalo de 30 minutos. El protocolo de recolección inició en la parte más baja del punto de muestreo para prevenir cualquier perturbación o desplazamiento de los materiales presentes en el lecho. Se procedía a la manipulación manual del sustrato gravoso, con hojarasca, y la misma acción se realizaba en las esquinas donde se hallaba la vegetación ribereña.

Posterior a la recolección, los sedimentos eran dispuestos en una bandeja, y mediante el empleo de pinzas se procedía a la extracción y depósito de los macroinvertebrados en frascos que contenían alcohol al 70°, siendo debidamente etiquetados según la estación de muestreo correspondiente.

Figura 4.

Esquema general del muestreo.



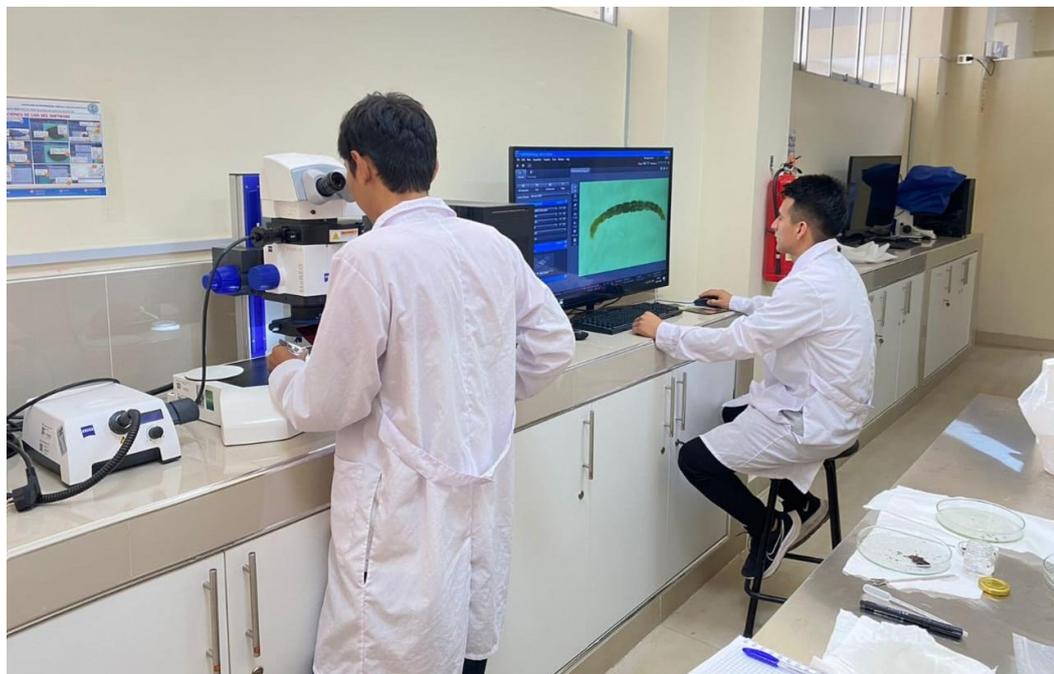
Nota. La imagen muestra las principales alteraciones antropogénicas encontradas en cada punto de muestreo, y los puntos claves de donde se pudo obtener los macroinvertebrados bentónicos.

La identificación de los macroinvertebrados bentónicos se realizó en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad Nacional de Jaén. Para examinar las características morfológicas, se utilizó un estereoscopio SteREO Discovery.V8. Los macroinvertebrados se extraían de los frascos utilizando pinzas o pipetas, dependiendo de su tamaño, y se depositaban en una placa Petri con una pequeña cantidad de agua. Luego, la placa Petri se colocaba bajo el estereoscopio, lo que permitía una observación detallada de su morfología. A través de esta observación, y con el uso de claves taxonómicas (Garrido *et al.*, 2012), los macroinvertebrados fueron debidamente identificados hasta el nivel de familia.

Cada individuo ya identificado taxonómicamente era puesto en frasco según su familia, el cual contenía alcohol al 70% y glicerina para su conservación.

Figura 5.

Identificación de Macroinvertebrados bentónicos en el estereoscopio.



2.3.3 Determinación de la calidad del agua de los puntos muestreado mediante el índice biótico nPeBMWP.

Para el estudio de las comunidades en los puntos seleccionados, se empleó el índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), el cual es un índice biológico utilizado para evaluar la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos, especialmente en arroyos y ríos. El índice se basa en la presencia y abundancia de ciertos grupos de organismos acuáticos, como insectos, crustáceos y gusanos, que son sensibles a los cambios en la calidad del agua.

Más específicamente se utilizó el índice biótico nPeBMWP, adaptación del índice BMWP para los ríos del norte del Perú. Este índice permitió establecer la calidad del agua en función de la composición y diversidad de los macroinvertebrados bentónicos presentes en los puntos muestreados.

Este índice asigna valores de 1 a 10 a cada familia de macroinvertebrados, dependiendo de su capacidad de tolerancia a la contaminación. Aquellas familias más susceptibles reciben un puntaje mayor, mientras que aquellas más tolerantes obtienen un puntaje bajo (Medina *et al.*, 2010).

Tabla 2.

Valores establecidos a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para ríos nortes del Perú (nPeBMWP) (Medina et al., 2010).

Familias	Puntaje
Gripopterygidae, Calamoceratidae, Helicopsychidae, Leptophlebiidae, Anomalopsychidae, Odontoceridae, Athericidae, Trycorythidae, Polythoridae, Blepharoceridae, Ameletidae, Perlidae, Oligoneuridae.	10
Gomphidae, Leptoceridae, Philopotamidae, Xiphocentronidae, Hydrobiosidae, Polycentropodidae, Calopterygidae.	8

Limnephilidae, Leptohyphidae, Glossosomatidae.	7
Coenagrionidae, Ancyliidae, Aeshnidae, Hydroptilidae, Corydalidae, Libellulidae.	6
Hyalellidae, Pseudothelphusidae (Decapoda).	
Hydropsychidae, Turbellaria, Scirtidae (Helodidae), Tipulidae, Ptilodactylidae,	
Lampyridae, Dryopidae, Notonectidae, Psephenidae, Planaridae, Gerridae, Naucoridae,	
Simuliidae, Elmidae, Hydraenidae, Veliidae,	5
Corixidae, Hidrochidae, Amphipoda.	
Ceratopogonidae, Hydracarina, Baetidae, Dolichopodidae, Stratiomidae, Pyralidae, Belostomatidae, Tabanidae, Dixidae, Empididae, Limoniidae, Curculionidae.	4
Hirudinea, Hydrometridae, Ostracoda, Hydrophilidae, Psychodidae, Physidae,	
Hydrobiidae, Limnaeidae, Planorbidae,	
Mesovellidae, Sphaeriidae, Staphylinidae, Gyrinidae, Dytiscidae, Psychodidae.	3
Ephydriidae, Muscidae, Chironomidae, Culicidae, Gelastocoridae.	2
Oligochaeta, Syrphidae	1

Nota. *Esta tabla muestra los valores asignados a cada familia de macroinvertebrados bentónicos según el índice biótico para ríos nortes del Perú (nPeBMWP).

La interpretación y valoración de las aguas en cada punto de muestreo se realizó a partir de los rangos establecidos por Prat *et al.* (2000).

Tabla 3.

Rangos de calidad del agua, según los valores del índice nPeBMWP (Prat et al., 2000).

CALIFICACIÓN	VALORES	COLOR	CALIDAD BIOLÓGICA
Aguas muy limpias	≥ 100	● Azul	Buena
Aguas con signos de estrés	61-100	● verde	Aceptable
Aguas contaminadas	36-60	● amarillo	Regular
Aguas muy contaminadas	16-35	● Naranja	Mala
Aguas extremadamente contaminadas	≤ 15	● Rojo	Pésima

Nota. La tabla establece una categorización de la calidad del agua, en la cual se utilizan diferentes colores para indicar diferentes rangos de calidad, teniendo en cuenta los valores del índice nPeBMWP.

2.3.4 Análisis de los parámetros fisicoquímicos de los puntos de muestreo.

2.3.4.1 Medición de pH, Conductividad y Temperatura In Situ

Se extrajo una muestra de agua de la quebrada sumergiendo un recipiente a unos centímetros por debajo de la superficie del agua en una zona de flujo constante, evitando el contacto con el lecho para prevenir la captura de sedimentos. La muestra obtenida se transfería a un vaso de precipitado de 100 ml.

A continuación, se purificaba el electrodo del multiparámetro enjuagándolo con agua destilada. El electrodo se sumergía en el vaso de precipitado que contenía la muestra de agua, y tras unos minutos para permitir la estabilización, se registraba el valor indicado. Luego, se retiraba el electrodo, se limpiaba con agua destilada y se secaba. Posteriormente, se cambiaba al siguiente medidor, repitiendo la misma serie de acciones tras la introducción del multiparámetro portátil.

2.3.4.2 Medición Ex Situ del oxígeno disuelto

La medición del oxígeno disuelto se realizó ex situ, ya que no se disponía de un equipo portátil para hacerlo directamente en los puntos de muestreo. Para ello, se siguió la metodología del Instituto Nacional de Salud (2011) para conservar las muestras durante su traslado al laboratorio de la Universidad Nacional de Jaén.

La recolección de agua se efectuó utilizando un recipiente de 500 ml, que se sumergía en el flujo de la quebrada hasta llenarse completamente, asegurándose de cerrarlo herméticamente sin dejar espacio para aire, evitando así la introducción de oxígeno adicional que pudiera alterar los resultados. Las muestras se almacenaban en un cooler con hielo para mantenerlas a baja temperatura y preservar sus propiedades durante el transporte. Se tomaron precauciones adicionales para proteger las muestras de la exposición solar, lo que podría afectar sus características hasta llegar al laboratorio.

Una vez en el laboratorio, la muestra de agua se transfería automáticamente a un vaso de precipitados de 100 ml. Posteriormente, se purificaba el electrodo del medidor de oxígeno disuelto del multiparámetro modelo 3630 IDS mediante un enjuague con agua destilada.

El electrodo se sumergía en el vaso con la muestra de agua de la quebrada y, tras un periodo de estabilización, se registraba el valor indicado por el medidor. Luego, el electrodo se limpiaba nuevamente con agua destilada, se secaba, y quedaba listo para su uso en la siguiente muestra.

2.3.5 Medición del caudal

La medición del caudal se realizó mediante el método del flotador (Chamorro, 2011), en el que se empleó un objeto flotante para determinar la velocidad media del agua en una sección específica.

En primer lugar, se identificaba un punto específico (cercano al punto de muestreo) en el curso de agua donde se llevaría a cabo la medición del caudal. Este punto fue representativo de la sección transversal del flujo y se ubicó en un lugar donde el agua fluía de manera uniforme.

Se midió el área de la sección evaluada, determinando el largo de la sección de la quebrada y el ancho en las partes alta y baja. esta sección medida se marcaba con pita rafia, luego tanto en la parte inicial de la sección como en el final con una varilla, se medía la altura (profundidad) en 5 puntos de la sección transversal de la quebrada.

Para medir la velocidad, se utilizó una botella de plástico como flotador. El flotador se colocó en la parte inicial de la sección medida, se soltó, y se registró el tiempo que tardaba en llegar al siguiente punto del área seleccionada.

Una vez obtenido los valores tanto del área y la velocidad del agua, se procedió al cálculo del caudal mediante la siguiente fórmula.

Calculo del caudal: Q

$$Q = A \times V_m$$

Donde:

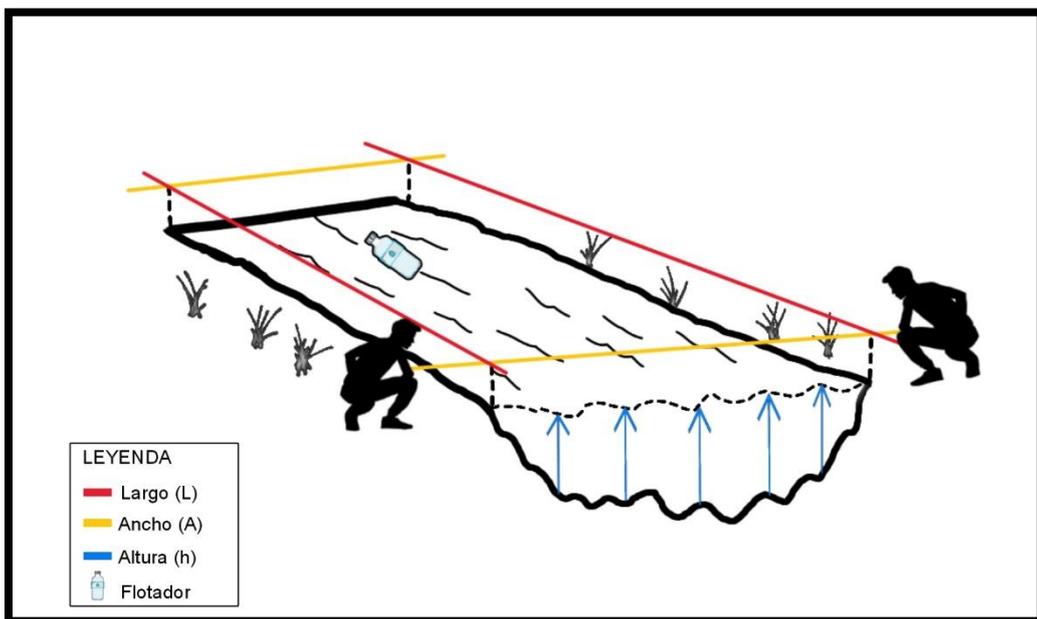
Q: caudal de agua (m³ /s).

A: área de la sección (m²).

V_m: velocidad media del agua (m/s).

Figura 6.

Metodología de medición del caudal.



Nota. La imagen muestra de manera general la metodología utilizada para medir el caudal de la quebrada.

2.3.6 Determinación del índice de diversidad en los puntos seleccionados

Se calculó el índice de Shannon-Wiener (Arango *et al.*, 2008), utilizado para cuantificar la riqueza de especies y la equidad de su distribución. Para esto se utilizó el programa Rstudio 4.3.2, para obtener el índice Shannon- Wiener fue necesario utilizar el paquete "vegan", el cual proporciona funciones y herramientas específicas para el análisis de datos ecológicos, incluyendo la diversidad y la ecología de comunidades biológicas.

III RESULTADOS

3.1.1 Identificación de Macroinvertebrados bentónicos de la quebrada Huahuaya.

Se recolectaron en los cuatro puntos de muestreo un total de 1255 individuos, de los cuales 608 corresponden a la época seca y 647 a la época lluviosa. Identificándose 25 familias agrupadas en 8 órdenes, todas pertenecientes a la clase Insecta (Tabla 4).

Tabla 4.

Macroinvertebrados bentónicos identificados en los diferentes puntos de muestreo en la época seca (ES) y época húmeda (EH).

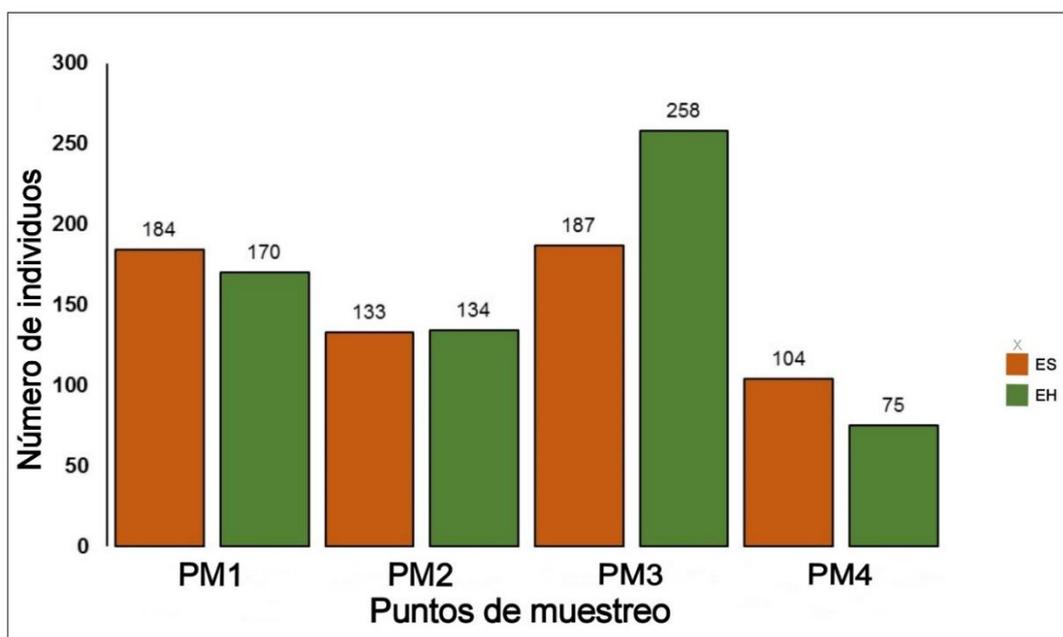
CLASE	ORDEN	FAMILIA	PM1		PM2		PM3		PM4		TOTAL ES+EH
			ES	EH	ES	EH	ES	EH	ES	EH	
Insecta	Diptera	Simuliidae	12		5	2		18	2	3	42
		Chironomidae	8	2	3	1		5	5	5	29
		Tipulidae	3	1	2						6
		Limoniidae	3								3
		Ceratopogonidae	2		1		2				5
	Trichoptera	Hydropsychidae	29	23	13	12	7	15	6	3	108
		Leptoceridae		9		17	23	29	9		87
		Hydrobiosidae	3	2	7	1	6	6			25
		Helicopsychidae	3	5	1			2			11
	Coleoptera	Elmidae		2		1					3
		Lampyridae				1		4			5
		Ptilodactylidae		2		3	2	5	3		15
	Ephemeroptera	Tricorytidae	29	23	41	31	51	77	30	33	315
		Baetidae	45	89	32	33	27	32	5	11	274
		Oligoneuridae	2	3	1	5	3			2	16
		Leptophlebiidae	12		3		2	2		3	22
		Amaletidae	11								11
	Plecoptera	Perlidae	5	2	7	16	32	45	14	5	126
	Hemiptera	Naucoridae			4		11	2		2	19
		Veliidae	2	5	5	4		8	21	14	59
Megaloptera	Corydalidae	6	2	6	7	9	8	5	2	45	
	Libellulinae							2	2	4	
Odonata	Coenagrionidae			1		3		2		6	
	Gomphidae					9				9	
	Calopterygidae	9		1						10	
TOTAL	8 Órdenes	25 familias	184	170	133	134	187	258	104	85	1255

Tanto el orden Ephemeroptera como Diptera fueron los que mayor variedad de familias presentaron (5), seguidos de Trichoptera y Odonata (4), coleóptera con 3, Hemíptera con 2, y Plecóptera y Megaloptera con la menor variedad de familias (1).

En el PM1, la abundancia de macroinvertebrados disminuyó levemente de 184 individuos en la época seca a 170 individuos en la época húmeda. En el PM2, la abundancia se mantuvo prácticamente estable, con 133 individuos en la época seca y 134 individuos en la época húmeda. En el PM3, se observó un aumento notable, pasando de 187 individuos en la época seca a 258 individuos en la época húmeda. Finalmente, el PM4 mostró una disminución en la abundancia, de 104 individuos en la época seca a 75 individuos en la época húmeda (Figura 7).

Figura 7.

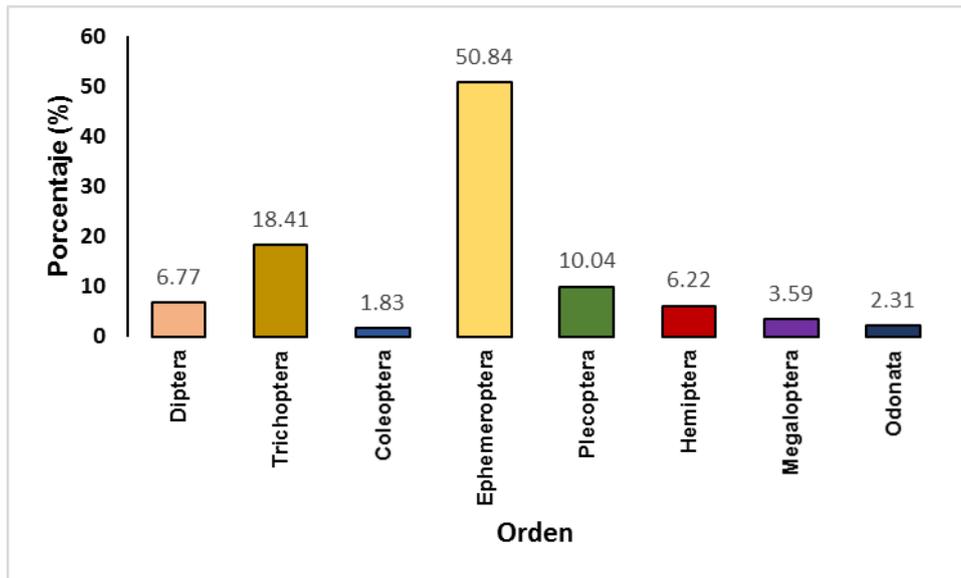
Variación en la abundancia de macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo.



De los 8 órdenes de macroinvertebrados bentónicos encontrados, el orden con mayor abundancia fue Ephemeroptera con 638 individuos (50.84%) y el orden con menor abundancia fue Coleoptera con 23 individuos (1.83%) (Figura 8).

Figura 8.

Distribución de los órdenes de macroinvertebrados según el número de individuos.



3.1.2 Abundancia de macroinvertebrados recolectados por Muestreo.

En el primer muestreo (época seca) se registraron un total de 608 individuos recolectados, distribuidos en 8 órdenes, y 23 familias. La clase insecta fue la más representativa, siendo el orden Ephemeroptera la más distintiva con 294 individuos, a nivel de familia las más representativas fueron Trycoritidae, (151), seguido por Baetidae con 109 individuos (Figura 9). Las familias con menos abundancia fueron Limoniidae con 3 individuos y por ultimo Libelullinae con 2 individuos (Figura 10).

Figura 9.

Familias de Macroinvertebrados con mayor abundancia (> 5 individuos) en el primer muestreo (ES).

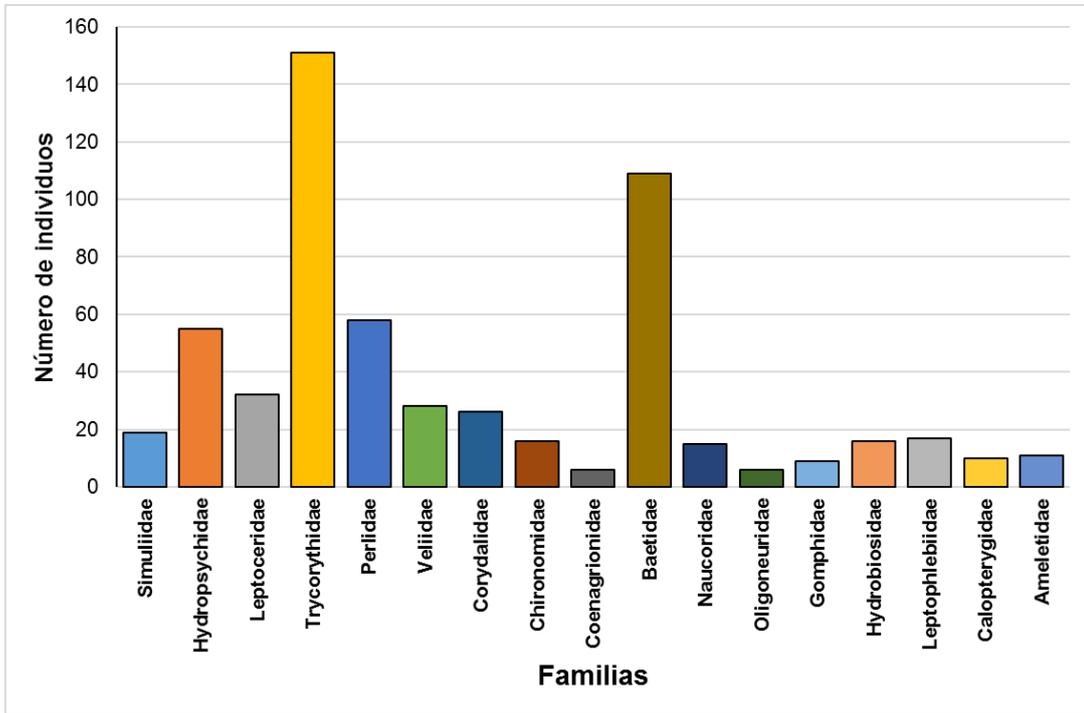
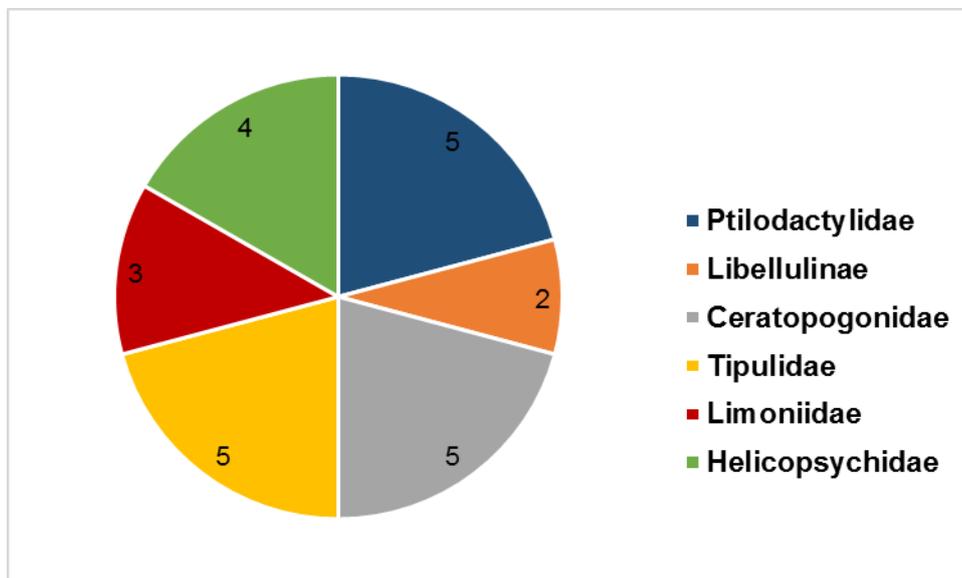


Figura 10.

Familias de Macroinvertebrados con menor abundancia (≤ 5 individuos) en el primer muestreo (ES).



En el segundo muestreo se registraron un total de 647 individuos recolectados, pertenecientes todos a la clase Insecta, distribuidos en 8 órdenes, y 19 familias. Siendo el orden Ephemeroptera la más distintiva con 344 individuos, a nivel de familia las más representativas fueron Baetidae (165) y Tricorythidae (164) (Figura 11)., mientras que las familias menos representativas fueron Libellulinae con 2 y Tipulidae con 1 (Figura 12).

Figura 11.

Familias de Macroinvertebrados con mayor abundancia (> 5 individuos) en el segundo muestreo (EH).

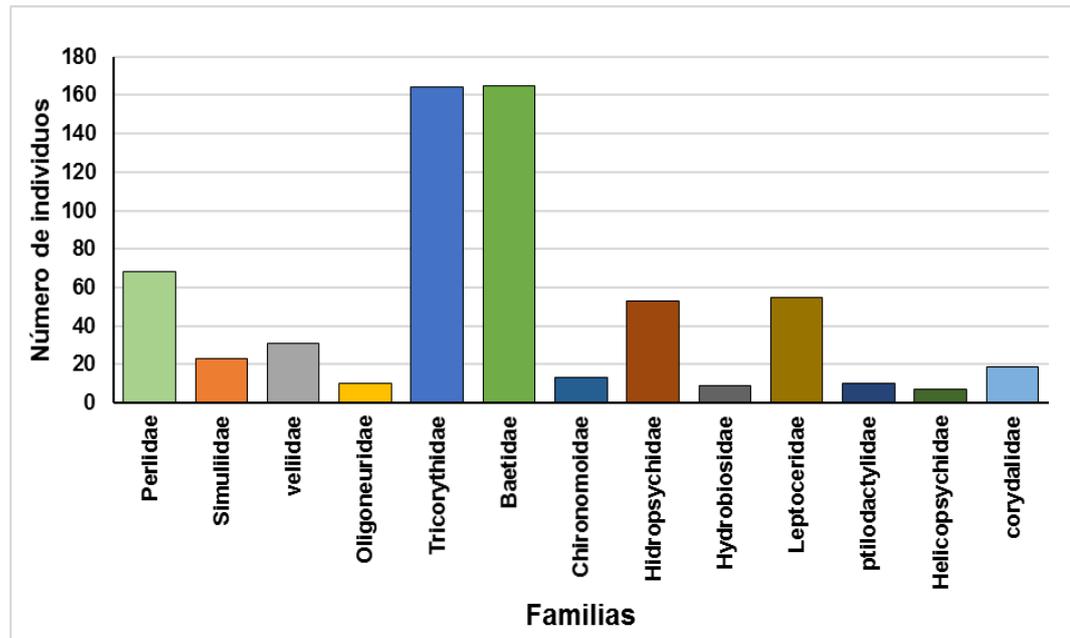
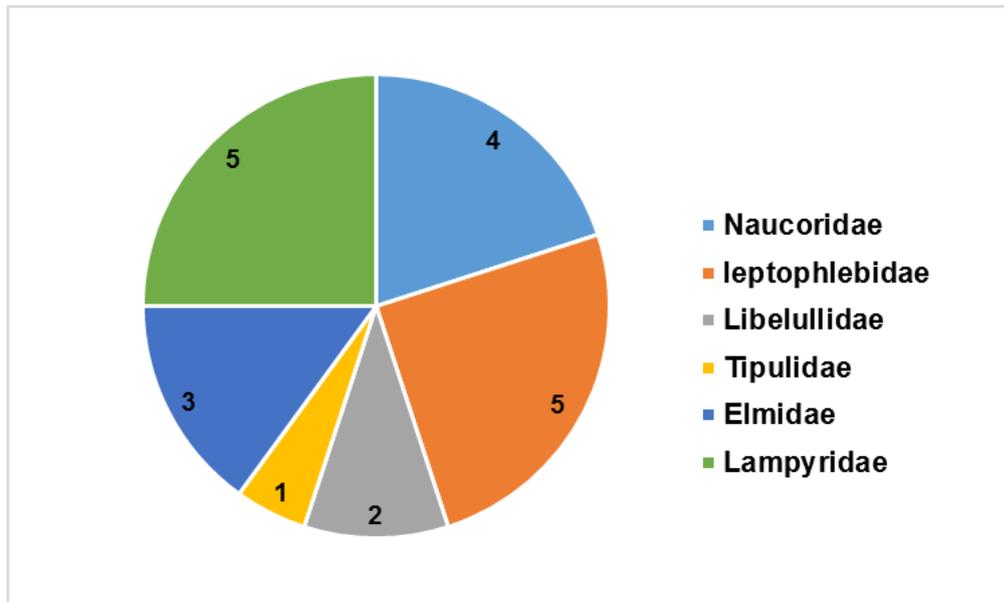


Figura 12.

Familias de Macroinvertebrados con menor abundancia (≤ 5 individuos) en el segundo muestreo (EH).



En el primer muestreo se identificó una variabilidad no tan significativa en la riqueza de familias entre los diferentes puntos de muestreo. El punto de muestreo 1 y 2 exhibieron la mayor riqueza de familias, con un total de 17 familias identificadas en ambos puntos. Por otro lado, el punto de muestreo 4 mostró una riqueza menor, con un total de 12 familias (Figura 13). En cuanto al segundo muestreo no se identificó una variabilidad tan significativa en la riqueza de familias entre los diferentes puntos de muestreo, hubo una ligera disminución de la cantidad de familias encontradas en los puntos de muestreo 1 (14) y 2(14) con respecto al primer muestreo, El punto de muestreo 3 exhibió la mayor riqueza de familias, con un total de 16 familias identificadas. Mientras que el punto de muestreo 4 mostró una riqueza menor, con un total de 12 familias (Figura 14).

Figura 13.

Riqueza de familias en el primer muestreo (ES).

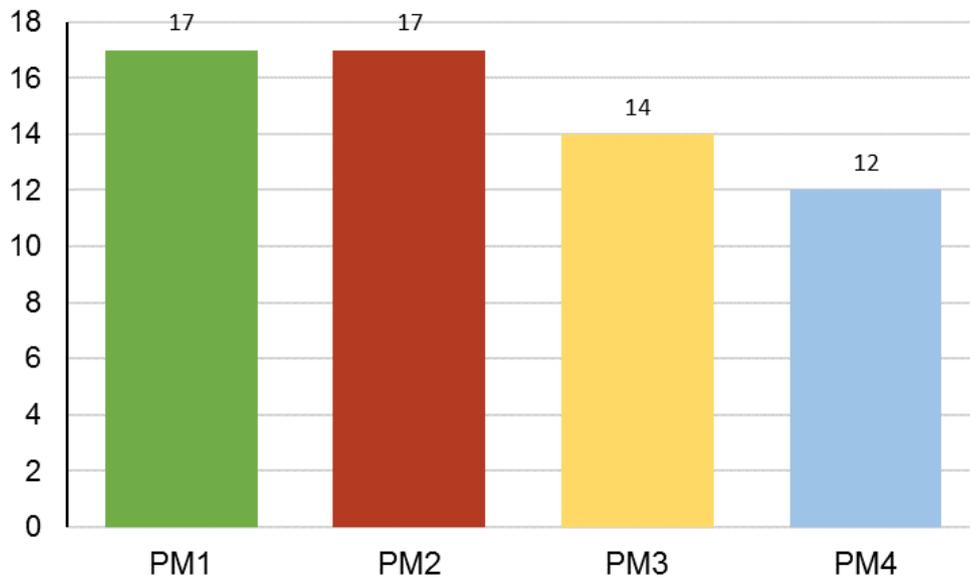
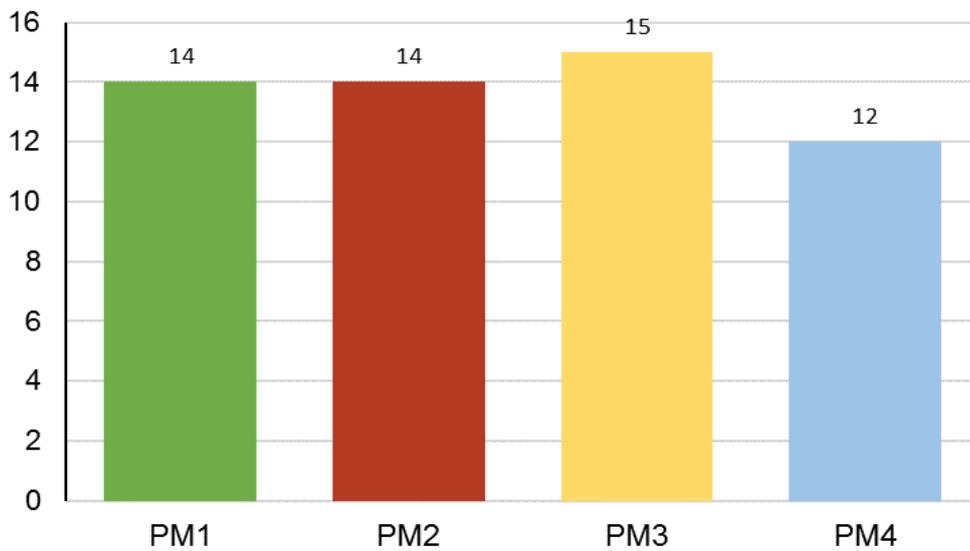


Figura 14.

Riqueza de familias del segundo muestreo (EH).



3.1.3 Calidad del agua mediante el índice nPeBMWP

En el Punto de Muestreo 1 (PM1), durante el primer muestreo realizado en la época seca, el índice BMWP registrado fue de 116, lo que indica una calidad del agua Buena. En contraste, el segundo muestreo realizado en la época húmeda arrojó un índice BMWP de 93, lo que clasifica la calidad del agua como Aceptable. lo que sugiere que la época húmeda reduce la calidad del agua en este punto.

En el PM2, el primer muestreo en la época seca arrojó un índice BMWP de 113, reflejando también una calidad del agua Buena. Sin embargo, el segundo muestreo en la época húmeda presentó un índice BMWP de 88, indicando una calidad del agua Aceptable. Al igual que en PM1, la calidad del agua en PM2 parece ser superior durante la época seca.

Para el PM3, ambos muestreos, tanto en la época seca como en la húmeda, mostraron resultados similares, con índices BMWP de 99 y 98, respectivamente. En ambos casos, la calidad del agua se clasificó como Aceptable, sugiriendo una menor variabilidad en la calidad del agua entre las dos épocas en este punto.

Finalmente, en el PM4, el índice BMWP obtenido durante el primer muestreo en la época seca fue de 84, mientras que en el segundo muestreo en la época húmeda fue de 78. En ambos casos, la calidad del agua se calificó como Aceptable. Estos resultados indican que, aunque la calidad del agua en PM4 es relativamente consistente, aún muestra una ligera disminución durante la época húmeda (Tabla 5).

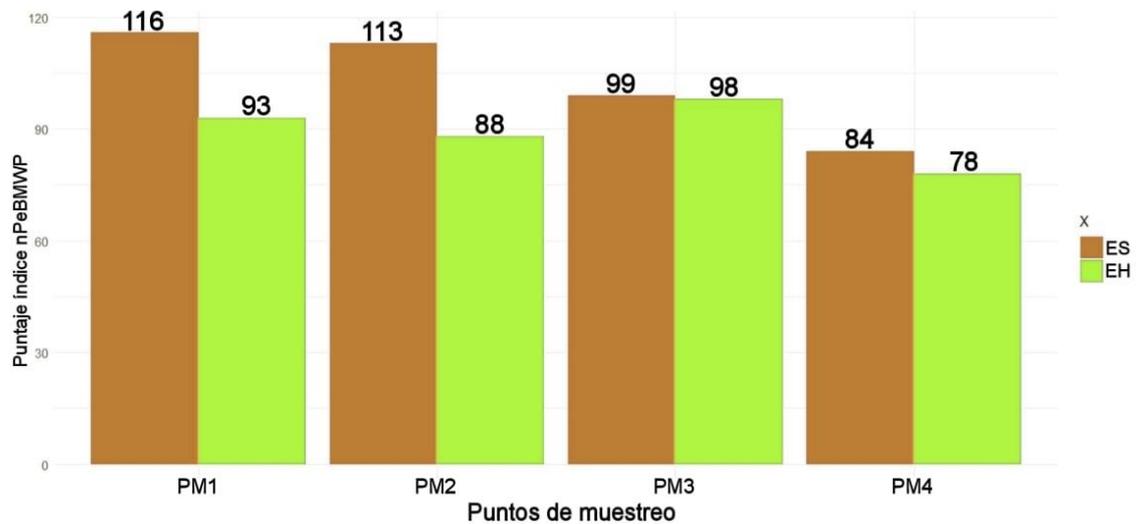
Tabla 5.

Calidad del agua según el índice nPeBMWP.

Punto de Muestreo	Muestreo	nPeBMWP	Calidad
PM1	Muestreo 1 (ES)	116	Buena
	Muestreo 2 (EH)	93	Aceptable
PM2	Muestreo 1 (ES)	113	Buena
	Muestreo 2 (EH)	88	Aceptable
PM3	Muestreo 1 (ES)	99	Aceptable
	Muestreo 2 (EH)	98	Aceptable
PM4	Muestreo 1 (ES)	84	Aceptable
	Muestreo 2 (EH)	78	Aceptable

Figura 15.

Calidad del Agua según el Índice nPeBMWP en los cuatro puntos de Muestreo en las dos épocas.



3.1.4 Calidad del agua según las variables Fisicoquímicas

los resultados obtenidos en las dos épocas, se observan diferencias significativas en los parámetros medidos, lo cual tiene implicaciones directas en la evaluación de la calidad del agua a través de los macroinvertebrados bentónicos.

En la época seca, los valores de pH fueron ligeramente más altos en todos los puntos de muestreo, con un rango de 8.0 a 8.4, en comparación con la época húmeda, donde los valores oscilaron entre 7.97 y 8.28. (Tabla 6).

La temperatura del agua mostró un incremento significativo durante la época seca, con valores que varían desde 19.0 °C en PM1 hasta 26.0 °C en PM4. En la época húmeda, las temperaturas fueron más bajas, desde 17.6 °C en PM1 hasta 24.7 °C en PM4. Estas diferencias reflejan el impacto de las condiciones climáticas y la evaporación en los cuerpos de agua.

La conductividad también fue mayor en la época seca, con valores que van de 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en PM1 a 180 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en PM2. En la época húmeda, los valores de conductividad fueron menores, oscilando entre 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en PM1 y 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en PM2.

Los niveles de oxígeno disuelto fueron más altos en la época húmeda, con valores de 9.63 mg/L en PM1 a 8.77 mg/L en PM4, en comparación con la época seca, donde los niveles de oxígeno disuelto variaron de 9.2 mg/L en PM1 a 8.5 mg/L en PM4.

El caudal del agua fue mayor durante la época húmeda en comparación con la época seca. En PM1, el caudal fue de 528.6 L/s en la seca y de 655.1 L/s en la húmeda. En PM2, los valores fueron de 1045 L/s en la seca y de 1432 L/s en la húmeda. PM3 presentó caudales de 2757.6 L/s en la seca y de 2944 L/s en la húmeda, mientras que en PM4 los caudales fueron de 3475.86 L/s en la seca y de 3999.23 L/s en la húmeda. Este aumento significativo durante la época húmeda es consistente con la mayor cantidad de precipitaciones y escorrentía en este período.

Tabla 6.

Valores de los parámetros fisicoquímicos y caudal en los puntos de muestreo de la quebrada Huahuaya.

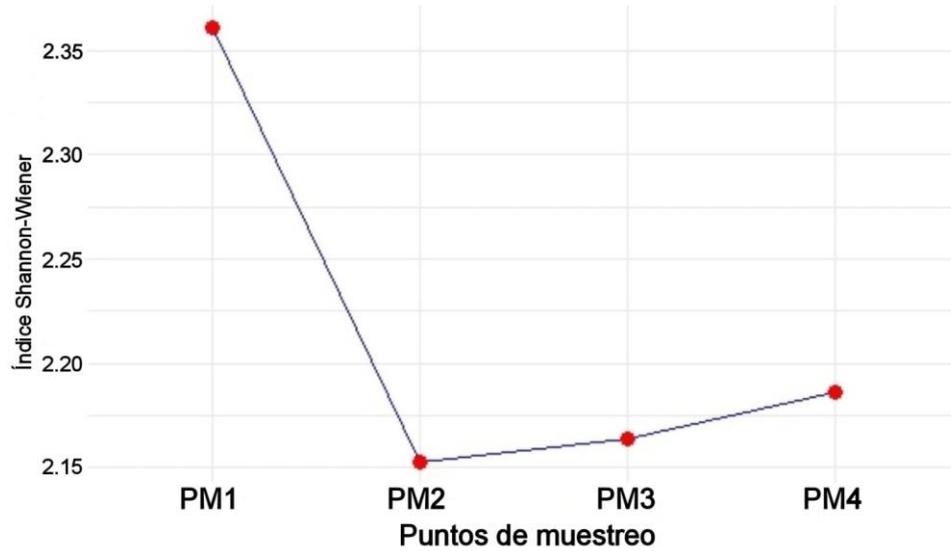
Época Seca					
Parámetro	Unidad	PM1	PM2	PM3	PM4
pH	pH	8.1	8.4	8.3	8
Temperatura	°C	19	23.5	24.5	26
Conductividad	us/Cm	70	180	140	160
Oxígeno disuelto	mg/L	9.2	9	8.9	8.5
Caudal	L/s	528.6	1045	2757.6	3475.86
Época Húmeda					
Parámetro	Unidad	PM1	PM2	PM3	PM4
pH	pH	7.97	8.28	8.2	8.22
Temperatura	°C	17.6	22.1	23.1	24.7
Conductividad	us/Cm	50	150	120	130
Oxígeno disuelto	mg/L	9.63	9.42	9.19	8.77
Caudal	L/s	655.1	1432	2944	3999.23

3.1.5 Índice Shannon- Wiener

En el análisis de la diversidad biológica utilizando el índice de Shannon-Wiener, se obtuvieron resultados reveladores en los dos muestreos realizados. En el primer muestreo, los valores del índice para los diferentes puntos de muestreo fueron los siguientes: P1: 2.360761, P2: 2.15941, P3: 2.163836 y P4: 2.185965, indicando variaciones en la diversidad y equitatividad de las comunidades biológicas en los puntos de muestreo (figura 16).

Figura 16.

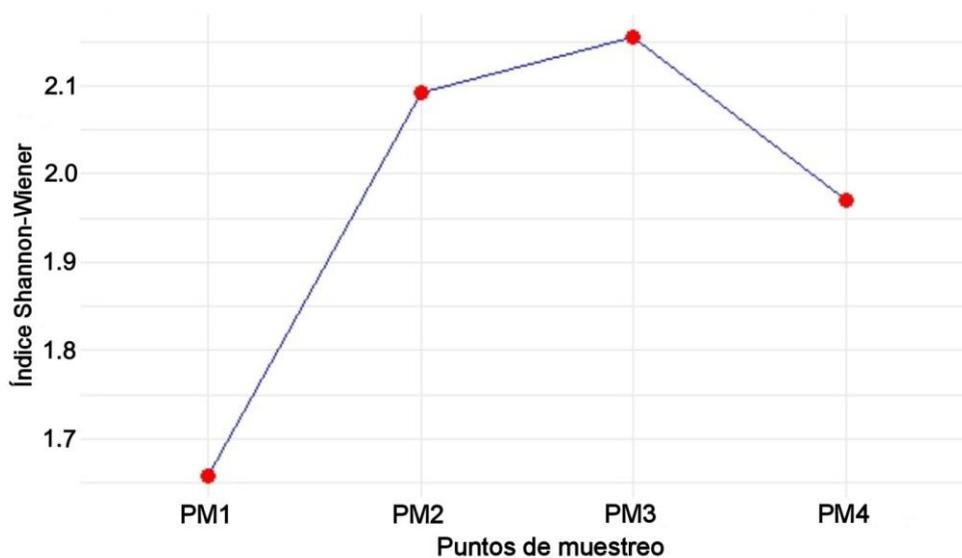
Variación del índice Shannon-Wiener del primer muestreo.



En el segundo muestreo, se observaron cambios en los valores del índice de Shannon-Wiener: P1: 1.658126, P2: 2.091279, P3: 2.154528 y P4: 1.969293 (figura 17). Estos resultados indican posibles fluctuaciones en la estructura de las comunidades biológicas entre los dos periodos de muestreo.

Figura 11.

Variación del índice Shannon-Wiener del segundo muestreo.



IV DISCUSIÓN

En cuanto a la composición de macroinvertebrados, los órdenes más abundantes fueron Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera y Díptera. Este hallazgo es consistente con lo reportado por Corroto *et al.* (2016) quien reportó en su investigación una alta representatividad de los órdenes Ephemeroptera, Díptera, Trichoptera y Plecoptera. La abundancia del orden Ephemeroptera fue principalmente a la gran cantidad de individuos pertenecientes a las familias Trycoritidae y Baetidae, que fueron las más abundantes. Este resultado coincide con los hallazgos obtenidos por Chavez (2022). La familia Tricorythidae se caracteriza por tener baja tolerancia a los contaminantes, según Roldán (2003), y habita en ecosistemas con buena oxigenación y sustratos pedregosos y arenosos, características presentes en los puntos de muestreo. Por otro lado, la familia Baetidae presenta un rango mayor de tolerancia y puede sobrevivir en condiciones ambientales adversas, incluyendo alta tolerancia al cambio de temperatura y, hasta cierto punto, a la contaminación orgánica (Flowers y De la Rosa, 2010).

Burdet y Watts (2009) sostienen que los sustratos con predominio de hojarasca proporcionan una mayor disponibilidad de recursos, lo cual no solo favorece una alta riqueza de especies, sino que también permite mantener una mayor densidad de organismos. Estos hallazgos coinciden con los resultados de este estudio, donde se observó que los macroinvertebrados bentónicos presentan una mayor riqueza y abundancia en el punto de muestreo 3, caracterizado por la abundante presencia de hojarasca.

En contraste, el punto de muestreo 4, que se distinguía por tener la menor cantidad de hojarasca y un fondo mayormente arenoso y pedregoso, mostró la menor abundancia de macroinvertebrados. Este resultado es consistente con lo señalado por Rivera (2004), quien menciona que los fondos arenosos albergan pocas especies y con pocos individuos por especie. Los fondos pedregosos suelen ser más ricos, especialmente cuando contienen rocas grandes, y la presencia de vegetación aumenta significativamente la diversidad de la fauna, diferenciándola notablemente de la fauna presente en otros sustratos.

El cambio en la corriente y el caudal entre las épocas seca y húmeda afecta la disponibilidad de hábitats y, por lo tanto, la riqueza de familias en los diferentes puntos. La presencia de Ceratopogonidae en la época seca sugiere que este grupo puede estar aprovechando áreas de aguas lentas o estancadas, las cuales desaparecen en la época húmeda, lo que explica su ausencia. Según Spinelli (2023), los Ceratopogonidae son muy frecuentes en ambientes lénticos, y algunas especies habitan en la vegetación acuática flotante, lo que refuerza su preferencia por hábitats más tranquilos y justifica su desaparición con el aumento del caudal durante la época húmeda.

Según el índice BMWP, el punto de muestreo 1 obtuvo el mayor puntaje, calificando como agua de buena calidad. Esto se debe a la presencia predominante de familias con valores de 10 en el índice BMWP, como Trycoritidae y Perlidae, que son familias las cuales solo pueden ser encontradas en ecosistemas saludables. De acuerdo con Roldán (2003), estas especies habitan en ecosistemas con buena oxigenación y sustratos pedregosos, características que fueron observadas en mayor cantidad en el punto de muestreo 1, lo que explica su alta puntuación y reafirma la calidad del hábitat en este sitio.

El punto de muestreo 4 obtuvo el menor puntaje en el índice BMWP, aunque aún se calificó como agua de calidad aceptable, lo cual no es motivo de alarma. A pesar del bajo puntaje, se encontraron familias indicadoras de ecosistemas saludables, como Trycoritidae y Perlidae. La reducción del puntaje puede atribuirse a la menor diversidad de familias observada en este punto y a la presencia de varias familias con valores bajos en el índice BMWP, como Libelullidae, Oligoneuridae y Naucoridae.

La presencia de estas familias con menor puntaje podría deberse a que este punto de muestreo estaba próximo al poblado Huahuaya, esto puede haber contribuido a una mayor alteración antropogénica del hábitat y mayor carga de nutrientes, afectando la composición de macroinvertebrados. Además, el fondo pedregoso y arenoso de este punto no proporciona el hábitat óptimo para una mayor diversidad de especies, favoreciendo solo a aquellas familias que toleran condiciones más variables y a menudo menos saludables. Estas condiciones pueden explicar la presencia de familias con puntajes más bajos en el índice BMWP en este punto de muestreo.

En relación a las variables fisicoquímicas, los parámetros fisicoquímicos como el pH, la temperatura, conductividad y oxígeno disuelto, son factores fundamentales en la distribución de los macroinvertebrados, dado que existen muchos organismos sensibles (Yépez *et al.*, 2017).

El pH presentó un rango entre 7.97 y 8.4, encontrándose dentro de los rangos adecuados de 6.44-8.6, que es el rango en el cual la mayoría de estos organismos pueden desarrollarse ya que estos valores facilitan la vida acuática (Yorulmas y Ertas, 2021). Comparando los valores con el ECA para aguas de categoría 4 (conservación del ambiente acuático) del MINAM (2017) que es de 6.5 a 9.0, los valores de pH se mantuvieron dentro del rango establecido. La presencia de un pH adecuado es crucial, ya que influye en la disponibilidad de nutrientes y la calidad del agua, contribuyendo a la diversidad y abundancia de macroinvertebrados observada en los diferentes puntos de muestreo.

En cuanto a la temperatura, en la época seca los valores variaron entre 19.0 °C (PM1) y 26.0 °C (PM4), mientras que en la época húmeda las temperaturas fueron más bajas, oscilando entre 17.6 °C (PM1) y 24.7 °C (PM4). Según el ECA (MINAM, 2017), la temperatura no debe variar en más de 3 °C respecto al promedio mensual, las fluctuaciones observadas no superan el umbral de variación de 3 °C, lo que indica que las condiciones térmicas se mantienen dentro de los límites aceptables para la conservación del medio ambiente. Se observó que la temperatura aumentaba a medida que disminuía la altitud del punto de muestreo. Esto concuerda con lo encontrado por Guerrero *et al.* (2003) quien presentó en su investigación diferencias significativas relacionadas con las variaciones altitudinales de las diferentes estaciones.

En cuanto al oxígeno disuelto en el primer muestreo, el oxígeno disuelto osciló entre 8.5 y 9.2 mg/L y en el segundo muestreo entre 8.67 y 9.33 mg/L, en ambos casos a medida que disminuía el grado altitudinal del punto de muestreo, disminuía el valor del oxígeno disuelto. Estas variaciones pueden deberse a la presión atmosférica, la altitud sobre el nivel del mar, temperatura, características del cauce de y procesos químicos y biológicos (Rivera y Camacho 2006). Según el ECA (MINAM, 2017), el oxígeno disuelto debe ser de mínimo 5 mg/L. Los valores obtenidos en ambos

periodos superan ampliamente este mínimo, lo que indica una buena oxigenación del agua, crucial para la conservación de la vida acuática.

Los valores de conductividad fueron más altos en la época seca, con un rango de 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 180 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en comparación con la época húmeda, donde la conductividad varió entre 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A pesar de estas variaciones, los valores se mantienen significativamente por debajo del umbral establecido por el ECA (MINAM, 2017), que estipula un límite máximo de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que sugiere que la calidad del agua no está comprometida por contaminantes iónicos.

El aumento del caudal en la época húmeda es coherente con la mayor cantidad de precipitaciones y escorrentía típica de esta temporada. Estos cambios en el caudal tienen un impacto directo en la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, dado que la disponibilidad y la velocidad del flujo de agua son determinantes para la distribución y abundancia de estos organismos. El orden Diptera, más abundante en la época seca, destaca en este contexto. Según Molina *et al.* (2022), algunas especies de macroinvertebrados tienen preferencias específicas para ciertos rangos de caudal, como es el caso de las larvas de mosquitos (dípteros) que prefieren flujos lentos. En la época seca, el caudal menor proporciona condiciones más favorables para estos organismos, lo que podría explicar su mayor abundancia. Por otro lado, durante la época húmeda, con el aumento del caudal, es posible que las especies mejor adaptadas a corrientes fuertes, como Trichópteros y Ephemeropteros, se tornen más dominantes.

Las fluctuaciones en los valores del índice de Shannon-Wiener entre los dos periodos de muestreo pueden estar relacionadas con variaciones en las condiciones ambientales, incluyendo cambios en el caudal del agua y la calidad del hábitat. Reyes (2013) destaca que la variabilidad en las condiciones ambientales puede influir significativamente en la estructura de las comunidades de macroinvertebrados, afectando su diversidad y equitatividad.

V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Se seleccionaron cuatro (04) puntos de muestreo en la quebrada Huahuaya, teniendo en cuenta el caudal en épocas seca y húmeda, así como las actividades antropogénicas presentes como medida discriminante.

Se colectaron 1255 individuos de macroinvertebrados, los cuales fueron agrupados en 25 familias distribuidas en ocho órdenes y una clase predominante, la Insecta.

Se analizaron los parámetros fisicoquímicos en los puntos de muestreo, como son pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad, los cuales se mantuvieron dentro de los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para la conservación del ambiente acuático.

Se determinó la calidad del agua de la quebrada Huahuaya usando el índice nPeBMWP, el cual manifiesta que, el agua de la quebrada está entre "Aceptable" y "Buena".

La diversidad de macroinvertebrados indica variaciones en cuanto a su diversidad y equitatividad, habiéndose encontrado tendencia a menor diversidad en el segundo muestreo según lo reportado por el índice de Shannon-Wiener

5.2 RECOMENDACIONES

Realizar estudios a largo plazo que abarquen múltiples ciclos hidrológicos y temporadas. Estas investigaciones prolongadas permitirían captar variaciones estacionales y a largo plazo en las comunidades de macroinvertebrados, ofreciendo una visión más completa de cómo responden a cambios ambientales y perturbaciones.

Aumentar el número y la frecuencia de los puntos de muestreo en los estudios futuros. Puesto que aumentar la cobertura espacial de los sitios de muestreo permitiría capturar mejor la variabilidad espacial de las comunidades de macroinvertebrados y mejorar la representatividad de los datos recogidos. Esto

proporcionaría una base más sólida para generalizar los resultados a escalas más amplias y facilitaría la detección de patrones en la distribución y abundancia de especies, así como en la calidad del agua.

Se sugiere incorporar variables adicionales como la calidad del sedimento, la vegetación ribereña y la presencia de contaminantes específicos (metales pesados, pesticidas o nutrientes).

Promover la conservación y recuperación de la vegetación ribereña para mantener la calidad del hábitat de los macroinvertebrados.

VI REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbasi, S. A., y Abbasi, S. A. (2012). Water-Quality Indices. En Elsevier eBooks, 353-356. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-54304-2.00016-6>
- Allan, J. D. (2004). Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35(1), 257-284. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122>
- Arango, M. I., Álvarez, L. M. B., Arango, G., Torres, O. J. M., y De Jesús Monsalve, A. (2008). Calidad del agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda, San Luis, Antioquia. *Revista EIA*, 5(9), 121-141. <https://doi.org/10.24050/reia.v5i9.203>
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2013). *Metodología para la determinación del índice de calidad de agua de los recursos hídricos superficiales en el Perú ICA-PE*. https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/propuesta_metodologia_ica-pe.pdf
- Burdett, A. S., y Watts, R. J. (2009). Modifying living space: An experimental study of the influences of vegetation on aquatic invertebrate community structure. *Hydrobiologia*, 618(1), 161–173. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9573-z>
- Carrera, C., y Fierro, K. (2001). *Manual de monitoreo: Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. EcoCiencia. <https://drive.google.com/file/d/1FWdXNqUUjEaVwLa32C11OYeR3FNbhA51/view>
- Chamorro, G. (2011). *Guía de hidrometría: Estimación del caudal por el método de flotadores*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

<https://docplayer.es/35184321-Estimacion-del-caudal-por-el-metodo-deflotadores.html>

Chavez, R. A. (2022). Evaluación de la calidad del agua mediante la bioindicación de macroinvertebrados acuáticos, en un tramo del río Toribio, Ciénaga Magdalena, Colombia. *Ciencia e Ingeniería*, 9(2), e7461089, 2022.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.7461089>

Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2021). *Calidad del agua: Salud de los ecosistemas y salud humana*. CONCYTEC. ISBN 978-9972-50-196-8

Corroto, F., Yalta, J., Vasquez, H., y Gamarra, O. (2016). Evaluación de la calidad ecológica del agua en la cuenca alta del río Imaza (Perú). *Indes*, 2(2), 20-29.
<https://doi.org/10.25127/indes.201402.002>

Flowers, R., y De La Rosa, C. (2010). Ephemeroptera. *Revista de Biología Tropical*, 58(4): 63-93.

Garrido, J., Benetti, C., y Pérez, A. (2012). *Id-Tax: Catálogo y claves de identificación de organismos invertebrados utilizados como elementos de calidad en las redes de control del estado ecológico*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Guerrero, F., Manjarrés, A., y Núñez, N. (2003). Los macroinvertebrados bentónicos de Pozo Azul (Cuenca del río Gaira, Colombia) y su relación con la calidad del agua. *Acta Biológica Colombiana*, 8(2), 43–55.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/26670>

- Gómez, G. C., y Molineri, C. (2021). Evaluación de la calidad del agua a lo largo de una cuenca heterogénea (Río Grande, Jujuy, Argentina). *Ecología Austral*, 32(1), 001–009. <https://doi.org/10.25260/EA.22.32.1.0.1704>
- Hernández, A., y Hansen, A. M. (2011). Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimentos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(2), 115-127. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992011000200003&lng=es&tlng=es
- Instituto Nacional de Salud. (2011). *Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio*. Imprenta Nacional.
- Jaramillo, V., Polanía, J., y Mancera, N. J. (2022). Macroinvertebrados acuáticos en una quebrada andina con alteraciones antrópicas en Colombia. *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*, 25(1), e2023. <https://doi.org/10.31910/rudca.v25.n1.2022.2023>
- Medina, C., Hora, M., Asencio, I., Pereda, W., y Gabriel, R. (2010). El índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), modificado y adaptado a tres microcuencas del Alto Chicama, La Libertad, Perú. *Sciéndo*, 13(1–2), 1–15. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/SCIENDO/article/view/280/284>
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2015). *Recuperación de los servicios ambientales con enfoque en el recurso hídrico, a través de la reforestación en el Distrito de Tabaconas, provincia de San Ignacio-Región Cajamarca (PIP-N°304999). Proyecto Especial Jaén San Ignacio Bagua*. Ministerio de Agricultura y Riego.

- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM*. El Peruano.
- Molina, C. I., Montecinos, A., Calani, L., Quispe, R., Molina-Carpio, J., Espinoza, D., Hubas, C., y Pouilly, M. (2022). Caudal ecológico, una herramienta de desarrollo integral: Proyecto FERRIA. *Ecología en Bolivia*, 57(2), 51-56. <https://doi.org/10.32664/ebo.2022.57.2.51>
- Patrick, O., Reuben, O., Eric, O., William, O., y Stephen, M. N. (2014). Composition, abundance, and feeding guilds of macroinvertebrates in Lake Kenyatta, Kenya. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 2(5), 239–243. <https://doi.org/10.11648/j.ijema.20140205.12>
- Polo, J. L., Mora Tisnado, G. M., Valderrama Alfaro, S. M., Ríos Guevara, D. B., Castillo Picon, H. F., León Casas, R. J., y Tello Cotrina, B. R. (2022). Calidad de agua usando macroinvertebrados en el río temporal Llantén, Simbal, La Libertad-Perú. *Revista de Ciencias Biológicas*, 25(1), 67–80. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/facccbiol/article/view/4614/5028>
- Prat, A., Munné, C., Solà, N., Bonada, N., y Rieradevall, M. (2000). Perspectivas en la utilización de los insectos acuáticos como bioindicadores del estado ecológico de los ríos: Aplicación a ríos mediterráneos. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 58(1-2), 181-192.
- Reyes, F. (2013). Macroinvertebrados acuáticos de los cuerpos lénticos de la Región Maya. *Revista Científica: Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala*, 23(1), 7-16. <https://doi.org/10.5377/rcicfb.v23n1a2>

- Rivera, R. (2004). *Estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en ríos de páramo y zonas boscosas, en los andes venezolanos* (Tesis de maestría). Universidad de los Andes, Mérida.
- Rivera, J., y Camacho, D. (2006). Composición y abundancia de insectos acuáticos en tres reservas naturales del departamento del Quindío-Colombia. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 16, 71–80.
- Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Propuesta para el uso del método BMWP/Col*. Universidad de Antioquia.
- Sanabria, J. C., y Barriga, D. P. (2020). Determinación de la calidad del agua mediante el índice BMWP/BOL (bioindicadores ecológicos) del río Trancas, municipio de Entre Ríos - Tarija. *Acta Nova*, 9(4), 567–591. http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v9n4/v9n4_a07.pdf
- Sarang, N., & Sharma, L. (2005). Macroinvertebrate fauna as bioindicator of water quality in Kishore Sagar Lake, Kota, India. Department of Aquaculture, College of Fisheries, Maharana Pratap University of Agriculture and Technology. Udaipur, Rajasthan. http://www.wldb.ilec.or.jp/data/ilec/WLC13_Papers/others/4.pdf
- Sermeño, J. M., Pérez, D., Muños, S. M., Serrano, L., Rivas, A. W., y Monterrosa, A. (2010). *Metodología estandarizada de muestreo multi-hábitat de macroinvertebrados acuáticos mediante el uso de la Red "D" en ríos de El Salvador*. Proyecto Universidad de El Salvador (UES)-Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES.

Spinelli, G. R., Micieli, M. V., & Maciá, A. (2023). Ceratopogonidae. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/156067>

Villanueva, M. T. O., y Esquivel, R. A. P. (2012). Impactos antropogénicos en la calidad del agua del río Cunas. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 02(02), 130-137. <https://doi.org/10.18259/acs.2012015>

Yépez, A., Yépez, A., Urdánigo, J., Morales, D., Guerrero, N., y TayHing, C. (2017). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descargas residuales al río Quevedo, Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 10(1), 27-34

Yorulmaz, B., y Ertaş, A. (2021). Water quality assessment of Selendi Stream and comparative performance of the indices based on benthic macroinvertebrates and physicochemical parameters. *Biologia*, 76, 2599–2607. <https://doi.org/10.1007/s11756-021-00756-3>

Wang, X., y Tan, X. (2017). Macroinvertebrate community in relation to water quality and riparian land use in a subtropical mountain stream, China. *Environmental Science and Pollution Research International*, 24(17), 14682–14689. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9042-1>

ANEXOS

Anexo 1: Panel fotográfico de las actividades realizadas.

Figura 18. *Selección de puntos de muestreo por actividades antropogénicas.*



Figura 19. *Marcando con el GPS los puntos seleccionados.*



Figura 20. *Captura de macroinvertebrados bentónicos con la red D net.*



Figura 21. *Analizando parámetros fisicoquímicos in situ.*



Figura 22. *Analizando parametros fisicoquímicos ex situ.*



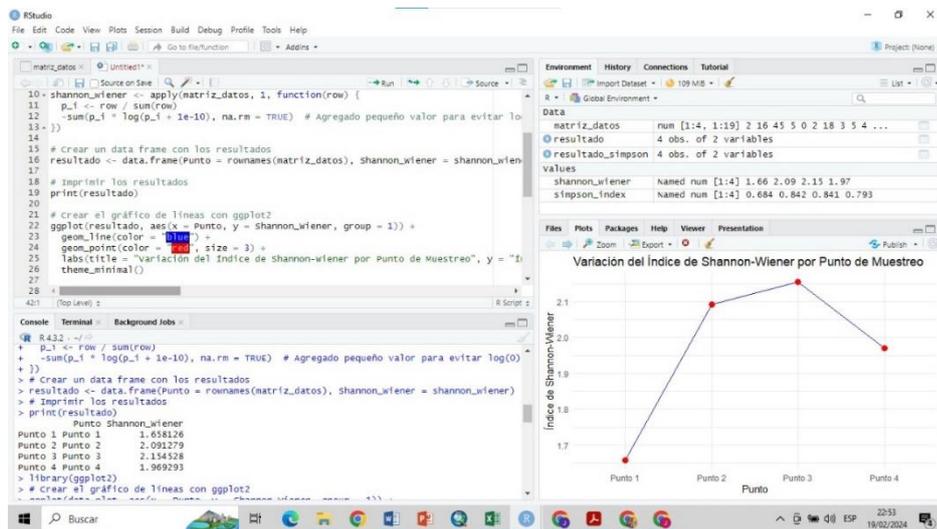
Figura 23. *Medición del caudal.*



Figura 24. Identificación de macroinvertebrados en el estereoscopio.



Figura 25. Determinación del índice de Shannon-Wiener en Rstudio.

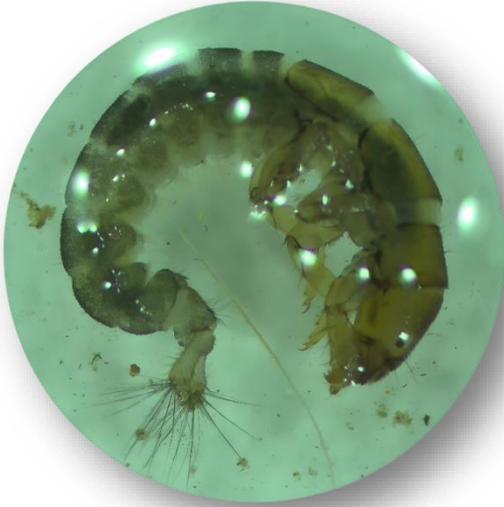


Anexo 2: Familias de Macroinvertebrados recolectados.

Tabla 7.

Macroinvertebrados bentónicos encontrados en la quebrada Huahuaya.

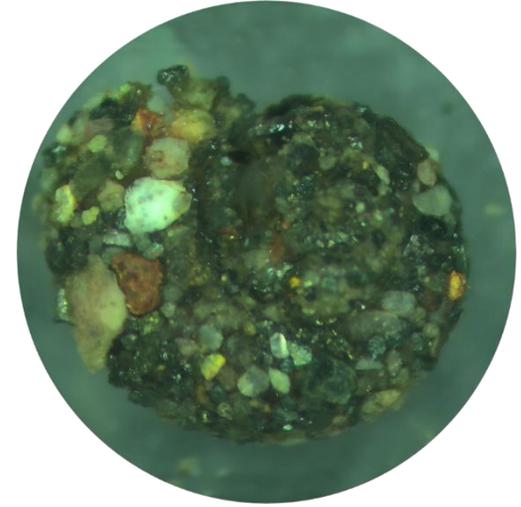
Hydropsychidae



Leptoceridae



Helicopsychidae



Trycorythidae



Oligoneuridae



Baetidae



Leptophlebiidae



Ameletidae



Naucoridae



Veliidae



Perlidae



Simuliidae



Chironomidae



Elmidae



Tipulidae



Limoniidae



Ptilodactylidae



Corydalidae



Lamprolaimidae



Hydrobiosidae



Calopterygidae



Coenagrionidae



Libellulidae



Gomphidae



Ceratopogonidae

