



Determinación de la calidad del agua del río Warintz en el tramo Yawi – Warintza mediante el uso de macroinvertebrados como bioindicadores

Determination of the water quality of the Warintz River in the Yawi – Warintza section through the use of macroinvertebrates as bioindicators

Determinação da qualidade da água do rio Warintz no trecho Yawi – Warintza através da utilização de macroinvertebrados como bioindicadores

Marvin Leonel Otavalo-Chiriapa^I
marvin.otavalo@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0009-3083-7702>

Miguel Ángel Osorio-Rivera^{II}
miguel.osorio@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-8641-2721>

Patricio Vladimir Méndez-Zambrano^{III}
patricio.mendez@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-4305-8152>

William Estuardo Carrillo-Barahona^{IV}
estuardo.carrillo@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-1432-9638>

Carla Viviana Haro-Velastegui^V
carlav.haro@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-5598-9600>

Correspondencia: miguel.osorio@esPOCH.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 27 de mayo de 2024 * **Aceptado:** 26 de junio de 2024 * **Publicado:** 13 de julio de 2024

- I. Ingeniero Ambiental, Investigador Independiente, Macas, Ecuador.
- II. Máster en Ingeniería Ambiental, Ingeniero Ambiental, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador.
- III. Máster en Gestión Ambiental, Ingeniero en Biotecnología Ambiental, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador.
- IV. Máster Universitario en Cambio Global, Recursos Naturales y Sostenibilidad, Ingeniero en Biotecnología Ambiental, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador.
- V. Magíster en Ingeniería Química Aplicada, Ingeniera Química, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador.

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la calidad del agua del río Warintz en el tramo Yawi - Warintza mediante la aplicación del índice Biological Monitoring Working Party Colombia (BMWP/Col) y el índice de calidad del agua (ICA) propuesta por la National Sanitation Foundation (NSF). Se inició con la selección de 4 estaciones de monitoreo denominadas PW-1, PW-2, PW-3 y PW-4, llevadas a cabo mensualmente en los meses de diciembre de 2021, enero y febrero de 2022. Se analizaron 8 parámetros fisicoquímicos y 1 microbiológico, parámetros como temperatura, pH y oxígeno disuelto se midieron in situ mientras que, la DBO5, SDT, OD, nitratos, fosfatos, coliformes fecales se analizaron en laboratorio siguiendo la metodología desarrollada por el Standar Methods. Para la colecta de macroinvertebrados se utilizó la red D-net ya que el método requerido es cualitativo, posterior las muestras fueron llevadas al laboratorio para su reconocimiento taxonómico. Los resultados obtenidos según el índice ICA-NSF en las estaciones PW-1, PW-2, PW-3 y PW-4 presenta una calidad de agua MEDIA, mientras que, con el índice BMWP/Col en las cuatro estaciones de monitoreo presenta una calidad de agua ACEPTABLE con clase II con aguas ligeramente contaminadas y se registró un total de 10 órdenes pertenecientes a 23 familias en las tres campañas de monitoreo. Según el análisis canónico de correspondencia (ACC) muestran cuatro agrupaciones donde relacionan ciertos parámetros fisicoquímicas y familias de macroinvertebrados. En conclusión, la calidad del agua de río Warintza disminuye conforme se acerca al casco urbano y en épocas lluviosas, por lo que se recomienda implementar un plan de manejo para la conservación y recuperación de esta fuente hídrica.

Palabras Clave: Fuente Hídrica; Biological Monitoring Working Party Colombia (BMWP/Col); Análisis Fisicoquímico Y Microbiológico; In Situ; Red D-Net.

Abstract

The objective of this research was to determine the quality of the water of the Warintz River in the Yawi - Warintza section through the application of the Biological Monitoring Working Party Colombia (BMWP/Col) index and the water quality index (ICA) proposed by the National Sanitation Foundation (NSF). It began with the selection of 4 monitoring stations called PW-1, PW-2, PW-3 and PW-4, carried out monthly in the months of December 2021, January and February 2022. 8 physicochemical parameters were analyzed. and 1 microbiological, parameters such as temperature, pH and dissolved oxygen were measured in situ while BOD5, TDS, DO,

nitrites, phosphates, fecal coliforms were analyzed in the laboratory following the methodology developed by Standard Methods. For the collection of macroinvertebrates, the D-net network was used since the required method is qualitative. Afterwards, the samples were taken to the laboratory for taxonomic recognition. The results obtained according to the ICA-NSF index at stations PW-1, PW-2, PW-3 and PW-4 present MEDIUM water quality, while, with the BMWP/Col index at the four monitoring stations, it presents an ACCEPTABLE water quality with class II with slightly contaminated waters and a total of 10 orders belonging to 23 families were recorded in the three monitoring campaigns. According to the canonical correspondence analysis (CCA), they show four groupings where certain physicochemical parameters and families of macroinvertebrates are related. In conclusion, the quality of the Warintza River water decreases as it approaches the urban area and in rainy seasons, so it is recommended to implement a management plan for the conservation and recovery of this water source.

Keywords: Water Source; Biological Monitoring Working Party Colombia (BMWP/Col); Physicochemical and Microbiological Analysis; In Situ; D-Net Network.

Resumo

O objetivo desta investigação foi determinar a qualidade da água do rio Warintz no trecho Yawi - Warintza através da aplicação do índice do Grupo de Trabalho de Monitorização Biológica da Colômbia (BMWP/Col) e do índice de qualidade da água (ICA) proposto pela Fundação Nacional de Saneamento (NSF). Iniciou-se com a seleção de 4 estações de monitorização denominadas PW-1, PW-2, PW-3 e PW-4, realizadas mensalmente nos meses de dezembro de 2021, janeiro e fevereiro de 2022. Foram analisados 8 parâmetros físicos -químicos e 1 microbiológico. , parâmetros como a temperatura, pH e oxigênio dissolvido foram medidos in situ enquanto que o DBO5, TDS, OD, nitratos, fosfatos, coliformes fecais foram analisados em laboratório seguindo a metodologia desenvolvida pela Standard Methods. Para a recolha dos macroinvertebrados foi utilizada a rede D-net, uma vez que o método requerido é qualitativo. Os resultados obtidos segundo o índice ICA-NSF nas estações PW-1, PW-2, PW-3 e PW-4 apresentam uma qualidade de água MÉDIA, enquanto que, com o índice BMWP/Col nas quatro estações de monitorização, apresenta uma qualidade ACEITÁVEL da água com classe II com águas pouco contaminadas e um total de 10 ordens pertencentes a 23 famílias foram registadas nas três campanhas de monitorização. De acordo com a análise de correspondência canónica (CCA), apresentam quatro

agrupamentos onde se relacionam determinados parâmetros físico-químicos e famílias de macroinvertebrados. Concluindo, a qualidade da água do rio Warintza diminui à medida que se aproxima da área urbana e nas épocas chuvosas, pelo que se recomenda a implementação de um plano de gestão para a conservação e recuperação desta fonte de água.

Palavras-chave: Fonte de Água; Grupo de Trabalho de Monitorização Biológica Colômbia (BMWP/Col); Análises Físico-Químicas e Microbiológicas; No local; Rede D-Net.

Introducción

El agua es un recurso insustituible por lo que se convierte en una fuente indispensable para la recreación de la naturaleza y es la parte más delicada del ambiente, permitiendo potencializar la vida de todo ser vivo en la tierra (1). Del total el agua en el planeta solo el 2,5% es agua dulce. El agua de superficie accesible comprende el 1% del total de agua dulce, de esta baja cantidad de agua superficial se encuentra principalmente en lagos, humedales y solo el 1% en ríos (2). A nivel mundial muchos de los acuíferos están sometidos a un estrés hídrico y se estima que en un 30% de las aguas subterráneas se están agotándose por lo que casi dos tercios de la población sufren grave escases de agua durante al menos un mes al año (3). Ecuador es un país con gran potencial en recursos hídricos, con 9 demarcaciones hidrográficas incluyendo cuencas y microcuencas. Sin embargo, los problemas de contaminación de agua están ligados con la aplicación que se le vaya a dar (doméstico e industrial) (4). La provincia de Morona Santiago durante los últimos 30 años ha sufrido perturbaciones de sus ríos, principalmente por actividad minera, seguido por descarga de aguas residuales procedentes de las comunidades, mismas que han afectado significativamente la ecología de los ríos (5).

Ante este escenario es importante conocer el estado actual de los cuerpos hídricos para su mayor aprovechamiento, mediante la implementación de diversos métodos para el control de calidad de las aguas (6). Una de las herramientas más utilizadas son las biológicas mediante el uso de los macroinvertebrados presentando la ventaja de reflejar las condiciones presentes tiempo atrás a la toma de muestras y los físicoquímicos quien nos da una información puntual en el momento (7).

Dentro de los índices biológicos se encuentra el BMWP/Col se considera un método simple por la utilización de macroinvertebrados como bioindicadores, analizando el nivel de familia por lo que cada taxon recibe una puntuación de acuerdo con su sensibilidad ante la presencia de un contaminante, se utilizan datos cualitativos (presencia o ausencia) (8). El índice de calidad ICA-

NSF se denomina un método sencillo y público debido a que ignora los usos que se dará al agua, pudiendo de esta manera identificar el deterioro o mejora de la calidad del agua (9). Ambas metodologías permiten determinar la calidad que presenta un cuerpo de agua al momento de la toma de muestras o tiempo atrás.

El área de estudio corresponde a un tramo del río Warintz, ubicada en la parroquia San Miguel de Conchay, cantón Limón Indanza, provincia de Morona Santiago, en un tramo de 2,7 km aproximadamente. El río Warintz es un recurso de gran valor para las personas que habitan en sus riveras ya que hacen uso de sus aguas como sitios de recreación además de poseer una belleza paisajística, a sus alrededores se desarrollan actividades domésticas, ganaderas, mineras, mismas que podrían desencadenar perturbaciones a lo largo del río (10).

Materiales y métodos

Área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en un tramo del río Warintz comprendida entre el sector Yawi y Warintza perteneciente a la parroquia San Miguel de Conchay, cantón Limón Indanza, provincia de Morona Santiago tal como se especifica en la Tabla 1.

Tabla 1: Ubicación geográfica de las estaciones de monitoreo

COORDENADAS UTM WGS 84			
ZONA 17S			
Código	Longitud X	Latitud Y	Altitud m.s.n.m
PW-1	802874,1 7	9647767, 00	927
PW-2	803182,5 3	9647922, 28	917
PW-3	804068,8 2	9649059, 88	903
PW-4	804941,1 2	9649556, 14	835

Determinación de los puntos de monitoreo

Para la determinación de los puntos de monitoreo se inició con un recorrido del río y con la ayuda de un GPS basado en un sistema de localización, diseñado para proporcionar estimaciones precisas de posición y tiempo, donde utiliza una red de ordenadores y 24 satélites para determinar la altitud, longitud y latitud de cualquier objeto en la superficie terrestre (11), se seleccionó un tramo de 2,7 km aproximadamente, en este tramo se establecieron cuatro puntos de monitoreo georreferenciadas en coordenadas UTM WGS 84 (tabla 1). Para la elaboración del mapa de ubicación se utilizó el programa ArcMap versión 10.5.

Cada una de las estaciones de monitoreo fueron establecidas considerando los siguientes aspectos:

- **Accesibilidad:** en cada estación existe un camino de acceso al río en estudio.
- **Representatividad:** se consideró zonas intervenidas y donde reciben descargas no puntuales de cada una de las comunidades; Yawi y Warintza.
- **Seguridad:** en cada una de las estaciones seleccionadas el río es bastante uniforme, poco profundo y no presenta zonas con turbulencias lo que hace seguro para el personal que toma la muestra.

Muestreo de los parámetros fisicoquímicos y microbiológico

Durante las campañas de monitoreo se colectaron un total de 12 muestras y 4 muestras por mes. El procedimiento de toma y conservación de muestras se efectuó en base a la norma NTE INEN 2169:2013 y el Standard Methods (12).

Tabla 2: Procedimiento para la toma de muestras

Parámetro	Procedimiento
Temperatura	Para la medición de estos parámetros se introdujo la sonda en la columna de agua por debajo de la superficie evitando que la sonda entre en contacto con el suelo. Una vez estabilizada la lectura se procedió a copiar los valores una hoja de campo.
Oxígeno disuelto	

pH	Se introdujo la sonda directamente en la columna de agua manteniendo siempre por debajo de la superficie hasta que la lectura se estabilice para luego transcribir los valores en una hoja de campo.
DBO5	Antes de la toma de muestra se enjuago el envase tres veces con el agua del río a monitorear con la finalidad de homogenizar el envase. Posterior se introdujo la botella contra corriente a una profundidad media hasta llenarla completamente.
Turbidez	
Sólidos disueltos totales	
Nitratos	
Fosfatos	
Coliformes fecales	Para la recolección de esta muestra se sumergió el frasco contra corriente dejando una cámara de aire libre, e inmediatamente se colocó la tapa y se procedió a retirarla.

Análisis de los parámetros fisicoquímicos y biológico

Una vez colectadas las muestras, estas fueron llevadas a la ESPOCH sede Morona Santiago. El instrumento, equipo y reactivo utilizado para el análisis de los parámetros fisicoquímico y microbiológico se describe en la tabla 3.

Tabla 3: Parámetro, instrumento, reactivo, equipo y método para el análisis

Parámetro	Equipo	Método
Sólidos disueltos totales	Horno de secado MENMERT Balanza analítica SARTORIUS	2540-B
Turbidez	Turbidímetro portátil	2130-B
Nitratos	Espectrofotómetro	4500- NO ₃ -B
Fosfatos	Espectrofotómetro	4500-P-D

BBO5	Agitador WTW Medidor de DBO WRW	5210-B
Coliformes fecales	Bomba de vacío ROCKER R300 Incubadora REBELK R300	9222-B

Cálculo del índice de calidad del agua de la NSF

Para la determinación del índice de calidad del agua de la NSF en las cuatro estaciones de monitoreo se empleó el software IQADData versión 2010 que se dedica al desarrollo y aplicación de los índices de calidad de agua (13). Los valores de cada parámetro se introdujeron en la tabla y su cálculo fue inmediato y una vez obtenido el valor del ICA-NSF se basó en la tabla 5 para obtener la calidad del agua que presenta el río en estudio.

Tabla 4: Parámetros, unidades y peso del ICA de la NSF

Parámetros	Unidades	Peso del ICA
Oxígeno disuelto	mg/L	0,17
Coliformes fecales	NMP/ml	0,15
pH	-	0,12
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	0,10
Nitratos	mg/L	0,10
Fosfatos	mg/L	0,10
Temperatura	°C	0,10
Turbiedad	NTU	0,08
Solios disueltos totales	mg/L	0,08

Tabla 5: Rangos de calidad de agua del ICA-NSF propuesta por Brown

Calidad	Rango	Color
Excelente	91-100	Azul
Buena	71-90	Verde
Regular	51-70	Amarillo

Mala	26-50	Naranja
Muy mala	0-25	Rojo

Recolección y limpieza de los macroinvertebrados

Durante las tres campañas de monitoreo se recolectaron 12 muestras y 4 muestras por mes. La recolección de macroinvertebrados acuáticos se desarrolló en base a las citas descritas por Carrera y Fierro 2001 (14) y Roldan 2003 (15).

Los muestreos de los macroinvertebrados se realizaron aguas abajo hacia aguas arriba para evitar enturbiar el agua. Se utilizó una red D-net de 500um ya que el método requerido es cualitativo (15), esta red se introdujo en el río contra corriente formando un ángulo de 90° y con las manos se removió el sustrato vegetal por un minuto aproximadamente y para evitar que la red se llene y que los macroinvertebrados sean llevados por la corriente estas fueron depositados en una bandeja blanca que se encontraba a la orilla del río.

El tiempo empleado para el muestreo en cada estación fue de aproximadamente 45 minutos, y se dio por terminado cuando ya no existía nuevas familias de macroinvertebrados (16).

Para la limpieza de los macroinvertebrados se separó el sustrato vegetal de los especímenes con la ayuda de una pinza entomológica y fueron preservados en un frasco de plástico de boca ancha en alcohol al 70%. Cada muestra fue debidamente etiquetada en la parte exterior del frasco y conservadas en un cooler para evitar la exposición al sol (17).

Identificación de los macroinvertebrados

Las muestras de macroinvertebrados fueron identificadas en el laboratorio de la ESPOCH Sede Morona Santiago. Cada muestra de macroinvertebrados se depositó en una bandeja y con el apoyo de una pinza entomológica se colocó en una caja Petri de vidrio para luego identificarlas con la ayuda de un estereomicroscopio y una lámina de identificación propuesta por Roldán (2003) (18)

La identificación de los macroinvertebrados se realizó a nivel de familia y también es importante recalcar que para la identificación de los taxones es importante que se encuentren con alcohol ya que permitirá observar con mayor facilidad sus características (19).

Cálculo del índice bmwp/col

Una vez identificadas las familias de los macroinvertebrados de acuerdo con su sensibilidad esta se registró en una hoja de cálculo del programa Excel, en donde se registró la puntuación de cada familia de acuerdo con el valor de la tabla 6. Finalmente se realizó la sumatoria en cada estación de monitoreo obteniendo el valor del índice. Para determinar la calidad de agua que presenta el río Warintz se basó en la tabla 7.

Tabla 6: Puntajes de las familias de macroinvertebrados para el índice BMWP/Col

FAMILIAS	PUNTUACIÓN
Anomalopsychidae, Atriptectidae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hydridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydraenidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Polymitarcydae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossossomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7
Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae.	5
Chrysomelidae, Stratiomyidae, Halipidae, Empididae, Dolichopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydrometridae, Noteridae.	4
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae, Syrphidae	2
Tubificidae, Oligochaeta	1

Tabla 7: Clases de calidad de agua, valores BMWP/Col

CLASE	ÍNDICE BMWP/Col	CALIDAD	SIGNIFICADO
I	>150, 101-120	Buena	Aguas muy limpias a limpias
II	61-100	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas
III	36-60	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas
IV	16-35	Crítica	Aguas muy contaminadas
V	<15	Muy crítica	Aguas fuertemente contaminadas

Resultados

Índice de calidad del agua mediante el método de la nsf

Los resultados del índice de calidad del agua (ICA) de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF) en las diferentes estaciones de monitoreo muestran variaciones significativas a lo largo de tres meses de campañas de monitoreo (diciembre 2021, enero y febrero 2022). Inicialmente, en diciembre, todas las estaciones reportaron calificaciones dentro del rango de calidad de agua "BUENA" con puntuaciones de 73,72 en PW-1, 73,02 en PW-2, 71,48 en PW-3 y 66,80 en PW-4. Sin embargo, los valores descendieron en enero y febrero, clasificándose algunas estaciones en el rango de calidad "MEDIA". Los parámetros que más influyeron en la disminución de la calidad fueron los fosfatos y coliformes fecales en todas las estaciones, mientras que la saturación de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) también contribuyeron en determinados puntos.

En el mes de enero, las estaciones PW-1, PW-2 y PW-3 exhibieron una disminución en la calidad del agua, situándose en el rango "MEDIA" con valores de 65,71; 60,36 y 65,12 respectivamente, mientras que PW-4 aumentó su valor a 71,66, manteniéndose en el rango "BUENA". La calidad del agua continuó fluctuando en febrero, con las estaciones PW-1, PW-2 y PW-3 manteniendo una calidad "MEDIA" y PW-4 experimentando una leve reducción, pero permaneciendo en "BUENA". Estas fluctuaciones se relacionan con incrementos en los niveles de coliformes fecales y fosfatos, así como alteraciones en la saturación de oxígeno y DBO en ciertas estaciones.

Resultados con respecto a otras investigaciones revela patrones similares observados en estudios como los de

Índice bmwp/col en las diferentes estaciones de monitoreo

Los resultados del índice BMWP/Col, utilizado para evaluar la calidad del agua a través de la presencia de macroinvertebrados acuáticos, revelan patrones en las estaciones de monitoreo PW-1, PW-2, PW-3 y PW-4 a lo largo de tres campañas de monitoreo realizadas entre diciembre de 2021 y febrero de 2022. Este índice clasifica la calidad del agua en diversas categorías según la tolerancia de diferentes familias de macroinvertebrados a la contaminación. Por ejemplo, en la estación PW-1, los resultados mostraron una calidad de agua clasificada como "ACEPTABLE" con valores consistentes en la clase II, lo que indica aguas ligeramente contaminadas. En esta estación, familias de macroinvertebrados como Perlidae y Gomphidae, indicativas de buena calidad del agua, obtuvieron altas puntuaciones, mientras que Chironomidae, más tolerante a la contaminación, registró puntuaciones bajas.

La estación PW-2 mostró resultados similares, con fluctuaciones menores en los valores del índice BMWP/Col a lo largo de los meses evaluados. La consistencia de la calidad del agua en esta estación también se catalogó como "ACEPTABLE". Aquí, las familias Perlidae y Gomphidae nuevamente mostraron puntuaciones altas, reflejando sectores menos impactados dentro de la estación. En contraste, familias como Ceratopogonidae y Tipulidae obtuvieron puntuaciones bajas, sugiriendo zonas con mayor grado de contaminación o menor calidad del hábitat acuático.

En la estación PW-3, la calidad del agua también se mantuvo dentro de la clase II, con leves variaciones en las puntuaciones obtenidas entre las campañas de monitoreo. Familias como Perlidae, Leptoceridae y Calamoceratidae obtuvieron las puntuaciones más altas, lo que es indicativo de condiciones favorables en términos de calidad del agua en comparación con otros puntos. Sin embargo, familias como Glossiphoniidae y Chironomidae, que son más tolerantes a ambientes contaminados, mostraron puntuaciones más bajas.

La estación PW-4 reflejó una situación similar, con valores del índice BMWP/Col que categorizan la calidad del agua como "ACEPTABLE". Los macroinvertebrados de las familias Perlidae y Gomphidae indicaron nuevamente zonas de mejor calidad, mientras que la presencia de Chironomidae, con puntuaciones bajas, sugirió niveles de contaminación más altos. La persistencia de esta situación a lo largo de los tres meses de monitoreo subraya la necesidad de seguir evaluando y gestionando la calidad del agua en esta estación.

Discusión

Roldán (2016) (20) y Susan et al., (2010) (21) evidencian la utilidad de los macroinvertebrados como indicadores biológicos de la calidad del agua. Roldán destaca la importancia de las familias sensibles como buenos indicadores de aguas oligotróficas, mientras que Susan et al., (2010) discuten cómo familias tolerantes a la contaminación pueden predominar en ambientes impactados por actividades humanas. Estos hallazgos denotan la relevancia del índice BMWP/Col en la monitorización ambiental y la gestión de recursos acuáticos, enfatizando la necesidad de medidas de conservación y restauración basadas en la biodiversidad acuática para mejorar la calidad del agua en ríos impactados por la actividad humana.

Al comparar los hallazgos con investigaciones previas, se observan tendencias similares. Nyamsi Tchatcho et al. (2024) (22) en su estudio de la calidad del agua del arroyo Missolé en la región litoral de Camerún, encontraron que las comunidades de macroinvertebrados acuáticos sirven como buenos indicadores de la calidad del agua, donde la presencia de ciertos taxones, como los Decapoda y Odonata, reflejaban mejores condiciones de agua, mientras que los Diptera indicaban áreas más contaminadas. Esto se alinea con los resultados obtenidos en las estaciones de monitoreo PW-1 a PW-4, donde la variabilidad en la calidad del agua también estuvo influenciada por la presencia de diferentes familias de macroinvertebrados. Además, estudios como el de Tchakonté et al. (2014) (23) demostraron que las actividades antropogénicas afectan significativamente la diversidad y distribución de los invertebrados acuáticos en los ríos urbanos de Camerún, reafirmando la necesidad de gestionar y restaurar estos ecosistemas para mantener la biodiversidad acuática y la calidad del agua.

Brown et al. (1970) (24), quienes notaron que los incrementos en fosfatos y coliformes fecales pueden significar influencias antropogénicas directas sobre los ríos, afectando significativamente la calidad del agua. Además, estudios como el de Samboni, Olivas et al., (2021) (25) han mostrado cómo la variabilidad en la calidad del agua puede estar directamente relacionada con la gestión de desechos y la escorrentía agrícola en áreas cercanas a cuerpos de agua. Este patrón es consistente con el estudio realizado por Orozco-González y Ocasio-Torres (2021) (26) en el río Lapa, Puerto Rico, donde la calidad del agua disminuyó en áreas fuera de la reserva natural debido a actividades antropogénicas como el uso de fosfatos y la contaminación fecal.

El uso del índice BMWP/Col para evaluar la calidad del agua a través de la presencia de macroinvertebrados acuáticos también reveló patrones de variación estacionales y espaciales. En

Warintz, estaciones como PW-1 y PW-2 presentaron calidad "ACEPTABLE" con una mayor abundancia de familias indicadoras de buena calidad del agua como Perlidae y Gomphidae, mientras que estaciones más impactadas como PW-4 mostraron una mayor presencia de Chironomidae, indicativa de contaminación. Estos resultados coinciden con los encontrados por Gutiérrez-Fonseca y Ramírez (2016) (27) en su evaluación de la calidad del agua en ríos de Puerto Rico, donde la presencia de macroinvertebrados sensibles y tolerantes a la contaminación se correlacionó con la calidad del agua. La consistencia en la calidad del agua y la presencia de indicadores biológicos en ambos estudios subraya la eficacia de los macroinvertebrados como bioindicadores fiables para el monitoreo ambiental y la gestión de recursos hídricos.

Conclusiones

La presente investigación ha demostrado que el índice de calidad del agua (ICA) de la NSF y el índice BMWP/Col son herramientas efectivas para monitorear y evaluar la calidad del agua del río Warintz, revelando tanto la influencia de factores antropogénicos como las variaciones estacionales y espaciales en la calidad del agua. Los resultados indican que mientras en diciembre la calidad del agua fue evaluada como "BUENA" en todas las estaciones, se observó una disminución a "MEDIA" en los meses siguientes, principalmente debido a aumentos en fosfatos y coliformes fecales, así como variaciones en la saturación de oxígeno y DBO. Estos hallazgos son consistentes con estudios similares que indican que actividades humanas cercanas a los cuerpos de agua pueden deteriorar significativamente su calidad. Además, la aplicación del índice BMWP/Col destacó la utilidad de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos de la calidad del agua, mostrando cómo las familias más sensibles, como Perlidae y Gomphidae, pueden denotar áreas de mejor calidad, mientras que otras como Chironomidae señalan contaminación. Estos resultados subrayan la necesidad de implementar estrategias de manejo y conservación que mitiguen los impactos negativos y preserven la calidad del agua del río Warintz para su uso sostenible y la protección de su biodiversidad.

Referencias

1. Del Valle J. El agua, un recurso cada vez más estratégico. Cuad Estrateg. 2017;(186):71–118.
2. Fernández A. El agua: un recurso esencial. Química Viva. 2012;11(3):147–70.

3. Ramírez F, Arreola Medina G. Hacia una sustentabilidad social. La importancia de la Cultura del Agua para la Sustentabilidad Social en la Ciudad de Durango [Internet]. 2021. Available from: <http://200.23.125.59/PDF/Libros/Sustentabilidad.pdf>
4. Ronquillo MCM. Caudales ambientales como herramienta para la gobernanza hídrica: limitaciones discursivas y debates para su aplicación en la actividad hidroeléctrica del país [Internet]. Quito, Ecuador: Flacso Ecuador; 2019. Available from: <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/15887>
5. Salazar KPM. Determinación de la calidad de agua mediante el uso de diatomeas bentónicas en el tramo padre Carollo-Paus, del Rio Blanco. parroquia Rio Blanco, cantón Morona, provincia de Morona Santiago. [Internet]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2018. Available from: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/10558>
6. Oscar P, Escobar-Villagrán B. Tecnología y ciencias del agua. Tecnol y ciencias del agua [Internet]. 2016;7(2):5–16. Available from: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000200005&lang=es
7. Macchi P. Calidad del agua en ecosistemas fluviales utilizando macroinvertebrados bentónicos: Cuenca del Arroyo Pocahullo, San Martín de los Andes. Univ Nac Río Negro. 2007;(August).
8. Cabrera S, Forio MAE, Lock K, Vandembroucke M, Oña T, Gualoto M, et al. Variations in Benthic Macroinvertebrate Communities and Biological Quality in the Aguarico and Coca River Basins in the Ecuadorian Amazon. Water (Switzerland) [Internet]. 2021;13(12):1692. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/12/1692/htm>
9. Torres P, Cruz C, Patiño P, Escobar J, Pérez A. Applying water quality indexes (WQI) to the use of water sources for human consumption. Ing e Investig. 2010;30(3):86–95.
10. Indanza GL. Plan de Ordenamiento Territorial de Limón [Internet]. 2018. Available from: <https://gadlimon2020.limonindanza.gob.ec/>
11. Pozo Ruz A, Ribeiro A, García-Alegre MC, García L, Guinea D, Sandoval F. Sistema De Posicionamiento Global (Gps): Descripción, Análisis De Errores, Aplicaciones Y Futuro. ETS Ing Telecomunicaciones Univ Malaga [Internet]. 2000;174. Available from: <http://www.oocities.org/es/forogps/infografia/gps5.pdf>

12. APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22nd ed. Association APH, editor. Washington DC; 2012. 1496 p.
13. Posselt E, Costa A, Lobo E. Software IQADData. Programa de Mestría en Sistemas y Processos Industriales PPGSPI, PPGMTA, UNISC. 2015.
14. Carrera C, Fierro K. Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Primera. Zambrano O, editor. Vol. 1. Quito: EcoCiencia; 2001. 1–57 p.
15. Roldán G. Bioindicador de la calidad del agua en Colombia; Propuesta para el uso del método BMWP/Col. Antioquia: Universidad de Antioquia; 2003.
16. Arroyo C. Revisión sistemática: macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores del estado ecológico de los cuerpos de agua loticos, para monitoreo no tradicionales. Repos Inst - UCV [Internet]. 2021; Available from: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/75345>
17. Hasdiana U. Métodos de recolección de macroinvertebrados. Anal Biochem [Internet]. 2018;11(1):1–5. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-59379-1%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-420070-8.00002-7%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.ab.2015.03.024%0Ahttps://doi.org/10.1080/07352689.2018.1441103%0Ahttp://www.chile.bmw-motorrad.cl/sync/showroom/lam/es/>
18. Roldán G. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia. 1996. 217 p.
19. Cabrera G. La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba Edaphic macrofauna as biological indicator of the conservation/disturbance status of soil. Results obtained in Cuba. Pastos y Forrajes. 2012;35(4):350.
20. Roldán G. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. Rev la Acad Colomb Ciencias Exactas, Físicas y Nat. 2016;40(155):254.
21. Gresens S, Smith R, Sutton-Grier A, Kenney M. Benthic macroinvertebrates as indicators of water quality: The intersection of science and policy. Terr Arthropod Rev. 2010;2(2):99–128.

22. Nyamsi Tchatcho NL, Nana PA, Koji E, Tchakonté S, Lando Zangue YE, Jeunemi Keu P, et al. Benthic Macroinvertebrate Communities as Indicator of the Water Quality of a Suburban Stream in the Littoral Region of Cameroon. *Pollutants*. 2021;4(2):251–62.
23. Tchakonté S, Ajeegah GA, Diomandé D, Camara AI, Ngassam P. Diversity, dynamic and ecology of freshwater snails related to environmental factors in urban and suburban streams in Douala–Cameroon (Central Africa). *Aquat Ecol* [Internet]. 2014;48(4):379–95. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10452-014-9491-2>
24. Brown R, McClelland N, Deininger R, Tozer R. A Water Quality Index Do we? *Water Sew Work*. 1970;117(10):339–43.
25. Olivás E, Flores J, Serrano M, Mejía E, Iglesias J, Salazar E, et al. Indicadores fecales y patógenos en agua descargada al Río Bravo. *Terra Iationoamericana* [Internet]. 2011;29(4):449–57. Available from: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792011000400449&script=sci_arttext
26. Orozco-González CE, Ocasio-Torres ME. Aquatic Macroinvertebrates as Bioindicators of Water Quality: A Study of an Ecosystem Regulation Service in a Tropical River. *Ecologies*. 2021;4(2):209–28.
27. Gutiérrez-Fonseca PE, Ramírez A. Ecological evaluation of streams in Puerto Rico: Major threats and evaluation tools. *Hidrobiologica*. 2016;26(3):433–41.

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).