



Diagnóstico de la calidad del agua del río jurumbaino mediante macroinvertebrados como bioindicadores, Macas, Morona Santiago

Jurumbaino river water quality diagnosis by macroinvertebrate as bioindicators, Macas, Morona Santiago

Diagnóstico da qualidade da água do rio Jurumbaino por macroinvertebrados como bioindicadores, Macas, Morona Santiago

Omar-Pérez ^I

Omar.perez@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-1312-0437>

Patricio-Méndez ^{II}

patricio.mendez12@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-4305-8152>

Ximena-Cazorla ^{III}

Ximenacarzo235@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-1157-8900>

Correspondencia: Omar.perez@gmail.com

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo Investigación

***Recibido:** 25 de junio ***Aceptado:** 23 de agosto de 2021 * **Publicado:** 3 de septiembre de 2021

- I. Universidad Tecnológica Indoamérica, Dirección de Posgrado, Quito, Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Ingeniería Ambiental, Macas, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Ingeniería Ambiental, Macas, Ecuador

Resumen

En el río Jurumbaino ubicado junto a la zona urbana de la ciudad de Macas, se determinó la calidad del agua mediante parámetros físicos, químicos, microbiológicos e índices de diversidad de macroinvertebrados. Se tomaron tres puntos de colecta, para caracterizar la composición de la comunidad bentónica, donde se identificaron un total de 356 individuos, en 15 familias y 8 órdenes. P1 con 136, P2 124 y P3 96 individuos. Se utilizó el programa IQAData para determinar el índice de calidad del agua en los meses noviembre, diciembre de 2020 y enero de 2021, donde los resultados para P1 y P3 fueron valores de 56.66 y 53.77 respectivamente, donde presentó una calificación de calidad Regular a diferencia del P2 con un valor de 48.36 con calificación de calidad “Mala”. Se calculó el índice de diversidad de Shannon-Weaver donde se determinó que la mayor diversidad se encuentra en los puntos P1 y P3 mostrándose similares para estas dos colectas con valores de 2.16 y 2.12 respectivamente y el punto con una diversidad media es P2 con 1.70. Los datos se analizaron mediante el análisis de correspondencia canónica (ACC) donde se obtuvo una varianza de 70.35% para el primer eje y 29.65% para el segundo eje, observando que las familias bentónicas se distribuyen entre los vectores de las variables fisicoquímicas más importantes (pH, turbidez y nitratos). Se evidenció que los estándares ambientales causan cambios significativos para la diversidad del ecosistema acuático.

Palabras clave: Diagnóstico; jurumbaino; macroinvertebrados bentónicos; calidad del agua.

Abstract

In the Jurumbaino river, located near the urban area of Macas city, the water quality was determined by physical, chemical, microbiological parameters and diversity indices of macroinvertebrates. Three collection points were considered to characterize the composition of the benthic community, where a total of 356 individuals were identified, belonging to 15 families and 8 orders. P1 with 136, P2 124 and P3 96 individuals. The IQAData program was used to determine the water quality rate in November, December 2020 and January 2021, when results regarding P1 and P3 estimated 56.66 and 53.77 respectively, which revealed a

Regular quality evaluation; unlike P2 estimated 48.36 as a Bad quality. By calculating the Shannon-Weaver diversity index, it was established that the greater diversity is located in points P1 and P3, which show similar values 2.16 and 2.12 respectively as per the two recollections and the point with a medium diversity is P2 with 1.70. Data were analyzed by the canonical correspondence analysis (CCA) and it was obtained a variance of 70.35% for the first axis and 29.65% for the second one, noticing that benthic families spread out among vectors of the most important physicochemical variables (pH, turbidity and nitrates). It was evinced that environmental standards cause significant changes for the aquatic ecosystem diversity.

Key words: Diagnosis; jurumbaino; benthic macroinvertebrates; water quality.

Resumo

No rio Jurumbaino, localizado próximo à área urbana da cidade de Macas, a qualidade da água foi determinada por meio de parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e índices de diversidade de macroinvertebrados. Foram realizados três pontos de coleta para caracterizar a composição da comunidade bentônica, onde foram identificados um total de 356 indivíduos, em 15 famílias e 8 ordens. P1 com 136, P2 124 e P3 96 indivíduos. O programa IQAData foi utilizado para determinar o índice de qualidade da água nos meses de novembro, dezembro de 2020 e janeiro de 2021, onde os resultados para P1 e P3 foram valores de 56,66 e 53,77 respectivamente, onde apresentou uma classificação de qualidade Regular diferente de P2 com um valor de 48,36 com uma classificação de qualidade de "Ruim". O índice de diversidade de Shannon-Weaver foi calculado onde foi determinado que a maior diversidade se encontra nos pontos P1 e P3, apresentando-se semelhantes para essas duas coleções com valores de 2,16 e 2,12 respectivamente e o ponto com diversidade média é P2 com 1,70. Os dados foram analisados por meio da análise de correspondência canônica (ACC) onde foi obtida uma variância de 70,35% para o primeiro eixo e 29,65% para o segundo eixo, observando que as famílias bentônicas estão distribuídas entre os vetores das variáveis físico-químicas mais importantes (pH, turbidez e nitratos). Constatou-se que os padrões ambientais causam mudanças significativas para a diversidade do ecossistema aquático.

Palavras-chave: Diagnóstico; jurumbaino; macroinvertebrados bentônicos; qualidade da água.

Introducción

El Ecuador es un país rico en cantidad de agua, pero no en calidad, ya que alrededor del 70% de sus ríos se hallan en procesos críticos de contaminación, teniendo como principal causa los desechos domésticos (1). Para esto los gobiernos locales deben disponer de herramientas tecnológicas para el manejo sostenible del recurso hídrico e invertir en el mejoramiento y rehabilitación de cuencas hidrográficas y también debe fomentarse el cumplimiento de las leyes, a través de la implementación de programas de monitoreo de los cuerpos de agua.

Según Canchapoma et al. (2016) (2) indica que, en las últimas décadas, la degradación de los recursos acuáticos ha sido una preocupación para la sociedad humana. Por lo tanto, las personas comprenden y protegen cada vez más los ecosistemas acuáticos y estudian el uso de estándares físicos, químicos y biológicos para evaluar sus cambios a lo largo del tiempo, de modo que se pueda estimar el efecto y el alcance de la intervención humana.

Nugra et al. (2016) (3) nos aclara que, desde hace varios años, la calidad del agua es definida no sólo por sus atributos fisicoquímicos, sino por otros criterios importantes, tales como la hidromorfología y el componente biológico.

Por ello Roldán (2016) (4), cita que los ecosistemas acuáticos reflejan la composición de las comunidades de macroinvertebrados, por consiguiente, se deben realizar monitoreos integrales que sirvan de aporte para evaluar la calidad del agua de los ríos, ya que en varias décadas han utilizado varios métodos para estudios del agua.

Pérez et al. (2020) (6) manifiesta que existen nuevos contaminantes que son descargados en los ríos por lo cual se debe implementar metodologías para establecer integralmente investigaciones aptas para la calidad de nuestros recursos hídricos por medio de métodos biológicos y fisicoquímicos.

Villamarín et al. (2014) (7) indica que los datos biológicos dan una idea amplia en variaciones de tiempo, sin embargo, los parámetros fisicoquímicos facilitan valores puntuales sobre la calidad del recurso agua siendo de gran importancia realizar conjuntamente los dos análisis. El índice de diversidad de Shannon Wiener es un indicador ampliamente utilizado para establecer la diversidad de una comunidad. Este índice considera la cantidad de especies presentes en un área determinada (riqueza) y la cantidad relativa de individuos de cada una de esas especies (abundancia). Otro indicador utilizado habitualmente es el índice de dominancia de Simpson, el cual representa la probabilidad de que dos individuos dentro de un hábitat seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie (8).

La subcuenca del río Jurumbaino es de gran importancia para el GAD municipal de Morona, pues este atraviesa la zona urbana de la ciudad de Macas y en esta área es donde se enfoca el estudio, por ende, se hallan zonas con actividades antrópicas que de una u otra manera aportan directamente e indirectamente, contaminando al río mediante descargas de aguas servidas o residuales, presencia de industrias, desechos arrojados al río, actividades agrícolas y ganaderas.

Por lo tanto, en el presente estudio se diagnosticó la calidad del agua del río Jurumbaino a través de la identificación de macroinvertebrados bentónicos y mediante parámetros fisicoquímicos, a fin de que el presente estudio ofrezca como base para programar acciones que permitan eliminar o mitigar los impactos adversos sobre este río, planteando propuestas de gestión ambiental en el ámbito de la biología de la conservación.

Materiales y métodos

El enfoque empleado en esta investigación fue mixto tanto cualitativo para analizar la presencia o ausencia de comunidades de macroinvertebrados, y cuantitativo por que se recolectaron y analizaron los datos de parámetros físicos, químicos y microbiológicos mediante la distribución de familias de acuerdo con las características y accesibilidad definidas para cada sitio de muestreo del río Jurumbaino.

Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en la ciudad de Macas cabecera cantonal del Cantón Morona, Provincia de Morona Santiago en la región de la Amazonía el cual según el último censo realizado en INEC (“Instituto Nacional de Estadística y Censo”) cuenta con un total de habitantes de 41155 (9), el mismo que posee una extensión de 5095 Km² (10). “El cantón presenta un clima lluvioso tropical con una temperatura promedio de 21,8°C y con una precipitación promedio de 2836.2 mm” (11).

El río Jurumbaino confluye en el Upano y éste aporta a la cuenca del Santiago aguas abajo. Los aportes al río Jurumbaino cubren una superficie de 2,396.74 hectáreas, representando el 35.28% del territorio parroquial (12).

Determinación de los puntos de muestreo

En el trayecto del río Jurumbaino se escogieron tres puntos y se realizaron los respectivos muestreos en cada uno de ellos durante los meses de noviembre, diciembre del año 2020 y enero del año 2021.

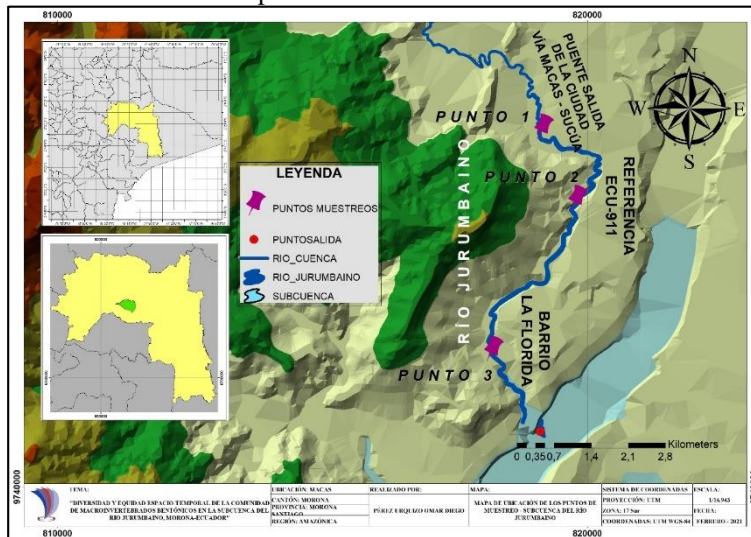
Para la selección de estos puntos se tomó en consideración las siguientes características como los sitios de referencia de la localidad, vegetación, distancia y la accesibilidad del sitio a muestrear como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Ubicación Geográfica y características de los puntos de monitoreo de la subcuenca del Río

Código de Punto	Sitio de referencia	Jurumbaino		
		Coordenadas Proyección WGS84-UTM-17S		
		Este (X)	Norte (Y)	Altitud (m)
P1	Barrio la Florida	819148	9746791	1022
P2	ECU 911	819789	9745447	1004
P3	Puente de salida vía Macas - Sucúa	818201	9742601	952

La cartografía de los puntos de muestreo se observa en la Figura 1, con lo cual queda denotado los sitios de la investigación que fue analizada.

Figura 1: Ubicación de los puntos de muestreo – Subcuenca Río Jurumbaino



Colecta e identificación de macroinvertebrados bentónicos

Escogidos los puntos de muestreo y con base a la metodología propuesta por Nugra et al. (2016) (3) en su guía de biomonitorio se deben considerar varios factores que inciden en el muestreo, entre ellos: uso del suelo circundante, fuentes de contaminación, corrientes de agua, sustratos y vegetación.

Para la recolecta de las muestras de macroinvertebrados se utilizó la “red tipo D” de 500 micras; la misma que permitió hacer un barrido a lo largo de las orillas con vegetación atrapando a los organismos que se encuentran adheridos a la vegetación emergente (13). La colecta se ejecutó removiendo el sustrato con el pie, de forma que los sedimentos que se encuentran en el fondo del agua queden en suspensión en la columna de agua, así, con movimiento en zigzag de la red colocada a contracorriente todo el material removido entrará en ella (14). A este respecto Ramírez (2010) (15) describe que luego de recolectar la muestra, se debe taponar cuidadosamente el frasco. Por lo que se preservó en alcohol al 80% y luego procedemos a identificar la muestra colocando el responsable de colecta, número de muestra, hora y fecha (16).

Identificación taxonómica de macroinvertebrados acuáticos

Para la caracterización de las especies de los macroinvertebrados de la comunidad bentónica se efectuó en el laboratorio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago, con la ayuda de un estereoscopio se procedió a la identificación y recuento de cada taxa. De igual manera para la identificación se realizó con ayuda de claves taxonómicas especializadas para la región entre ellas la guía de identificación de especies, con las respectivas características de los macroinvertebrados acuáticos (17); (18); (19).

Índice de Shannon-Wiener

Se realizó la identificación de los datos de importancia mediante todas las familias que obtuvimos de la muestra expresando la uniformidad de las mismas (21). En el 2012, Jost y González (22) indican que la diversidad se calcula mediante el índice de Shannon (H') con logaritmos neperianos. Por su parte, el índice de Shannon según Moreno (2001) (23) proporciona un sistema coherente para la estimación de la diversidad que proporciona un número igual al número de especies e incluye la medida más simple de riqueza de especies, es decir, el número de especies en la muestra. Bajo este contexto nos dice indican que este índice registra valores de 0 a 5, donde 0 es cuando hay diversidad baja y 5 diversidad alta.

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Donde:

H' = índice de Shannon-Wiener

P_i = Abundancia relativa

\ln = Logaritmo natural

$$E = H' \ln S$$

Donde:

E = Índice de equitatividad

\ln = Logaritmo natural

S = Número de especies

En la tabla 2, se observa los valores de Shannon para diferentes condiciones de contaminación del agua dada por Guinard et al. (2013).

Tabla 2: Rango de índice de Shannon - Wiener

H'	Condición
>2.7	Diversidad alta
1.5 – 2.7	Diversidad media
<1.5	Diversidad baja

Cálculo del índice de calidad del agua.

Según Cahó & López, (2017) (25) mencionan que para analizar las variables físicas, químicas y microbiológicas debe ser lo más específica posible. Al respecto la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2226:2013, menciona que las muestras para análisis microbiológicos no se debe llenar totalmente el frasco, se debe dejar un espacio interior para la homogeneización previa al comienzo del análisis, mientras que para el análisis fisicoquímicos se aconseja llenar totalmente el frasco, evitando que queden burbujas de aire entre el agua y el tapón (26).

Determinación de parámetros in situ y ex situ

La metodología utilizada en la etapa de muestreo en campo fue mediante un Equipo multiparamétrico marca PHYWE - Cobra4 Mobile-Link 2 portable, el mismo se utilizó para la medición del pH a través de tres sondas calibradas que se introducen en el punto de muestreo, por otro lado, los parámetros como oxígeno disuelto, y la temperatura se utilizó un Kit de medidor de oxígeno disuelto/T° portátil DO850.

Para determinar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos ex situ, fue necesario la recolección de muestras en cada punto de muestreo, luego se realizó el traslado de estas a 4°C al laboratorio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - Sede Morona Santiago. mediante una hielera.

Los parámetros analizados en el laboratorio fueron: demanda bioquímica de oxígeno, Standard methods, 5210 B; Sólidos totales, Standard methods 2540-B; Fosfatos Standard methods 4500-P-D; Turbidez Standard methods 2130-B; Nitratos Standard methods 4500-NO3-E; Coliformes fecales Standard methods 9221-B-E y F, mediante el método Standard Methods Ed 23, 2017 el mismo que es una fuente confiable de la metodología precisa y comprobada para el análisis de las aguas, suministro de agua y aguas residuales (16). La

Fundación Nacional de los Estados Unidos (NSF) consideran 9 parámetros físico-químicos y microbiológicos luego establece una distribución de peso según los parámetros correspondientes al factor de contaminación del agua (27) ver tabla 3.

Tabla 3: Parámetros y peso específico que constituyen el ICA-NSF

Parámetros	Unidad	Peso NSF	Descripción
Temperatura	°C	0.10	Muestra la temperatura del agua al momento de tomar la muestra
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.17	Indica la cantidad de oxígeno disuelto en agua y puede ser un indicador Inmediato de contaminación.
DBO	mg O ₂ /L	0.10	Es la demanda bioquímica de oxígeno para que los organismos degraden materia orgánica.
Sólidos disueltos totales	mg/L	0.08	Es la cantidad de materia que se encuentra disuelta en solución
Turbidez	UNT	0.08	Hace referencia a la cantidad de materia en suspensión y materia coloidal presente.
Fosfatos	mg PO ₄ /L	0.10	Indica la cantidad de fósforo presente
Nitratos	mg N-NO ₃ /L	0.10	Indica la cantidad de nitrógeno en agua.
pH	unidades	0.12	En una escala de 1 a 14 indica el grado de acidez del agua
Coliformes fecales	NMP/100mL	0.15	El número más probable hace referencia a la cantidad de coliformes presentes, en especial <i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>) indicador de desechos fecales

Fuente: (28)

Fontalvo & Tamaris (2018) (29) mencionan que para el análisis de los resultados se deben tomar en cuenta la escala de clasificación del índice de calidad del agua ICA_NSF propuesto por Brown en los años de 1970, con adaptación por Water Quality Index (WQI) y perfeccionada por la National Sanitation Foundation (NSF) ver tabla 4.

Tabla 4: Clasificación de la calidad de agua en función del índice ICA-NSF

Rango	Calidad de Agua	Color
91-100	Excelente	

Rango	Calidad de Agua	Color
71-90	Buena	Verde
51-70	Regular	Amarillo
26-50	Mala	Naranja
0-25	Pésima	Gris

Todos estos parámetros son determinados con la ayuda del software IQADData dedicado al desarrollo e implementación de índices de calidad del agua, con referencia al modelo adoptado por la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF) de los Estados Unidos, dichos datos permitió identificar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que influyen directamente en la calidad del agua del río Jurumbaino (30).

Relaciones entre las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y los parámetros fisicoquímicos

El análisis de ACC hace uso de variables cuantitativas y cualitativas, las cuales permiten explicar el comportamiento de los patrones que influyen en las comunidades bióticas con respecto al ecosistema en el que se encuentran, en este caso se compararon los índices de diversidad de los macroinvertebrados bentónicos con los parámetros físico-químicos (31), mismos que fueron graficados a través de vectores que representen sus correlaciones positivas y negativas. Los datos de ambas variables fueron analizados mediante el uso del software estadístico Past v.4 y Microsoft Excel.

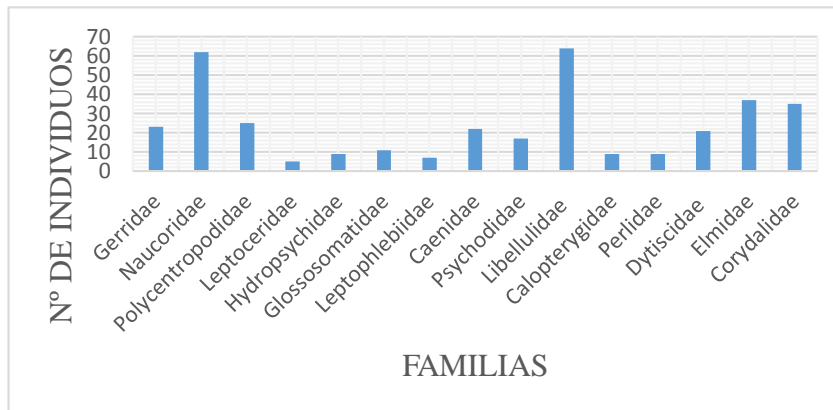
Resultados

Estructura y composición de la comunidad bentónica del río Jurumbaino

Se registraron un total 356 individuos de macroinvertebrados bentónicos, que pertenecen a 15 familias, 8 órdenes y 14 géneros en los tres puntos de colecta del río Jurumbaino. La mayor presencia de individuos estuvo representada por la familia Libellulidae del orden Odonata que presentó 64 individuos con un porcentaje de 18%, seguida de la familia Naucoridae, orden Hemiptera con 62 individuos con un valor de 17.4%, la familia Elmidae del orden Coleoptera presentó 37 individuos con el 10.4% y la familia Corydalidae, orden

Megaloptera con 35 individuos con un valor de 9.8%; por otra parte, la familia Leptoceridae del orden Trichoptera mostró 5 individuos con el 1.4%, seguida de la familia Leptophlebiidae del orden Ephemeroptera con valor del 2% y las familias Hydropsychidae (orden: Trichoptera), Calopterygidae (orden: Odonata), Perlidae (orden: Plecoptera) con valores de 2.5% respectivamente, siendo estas 5 familias con menor presencia de individuos en los períodos de muestreo en el río Jurumbaino (figura 2).

Figura 2: Familias de macroinvertebrados bentónicos colectadas en el río Jurumbaino.



Se determinó que el mayor número de individuos fue en el Punto 1 (Barrio la Florida) con 136 individuos de los cuales gran parte pertenecen a la familia Gerridae y en el Punto 2 con 124 individuos pertenecientes a las familias Elmidae y Libellulidae, por otra parte, el Punto 3, con 96 individuos fue el punto de muestreo con menor individuos presentes en el río Jurumbaino

Índice de Shannon-Wiener

Se determinó que la mayor diversidad se encuentra entre los puntos P1 y P3 mostrándose similares para estas dos colectas, con valores de 2.16 y 2.12 respectivamente y el punto P2 con una diversidad media representa un valor de 1.70 como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5: Índices de Diversidad

Puntos de muestreo	Shannon_H'	Simpson_1-D	Dominancia_D
P1	2,16	0,88	0,12

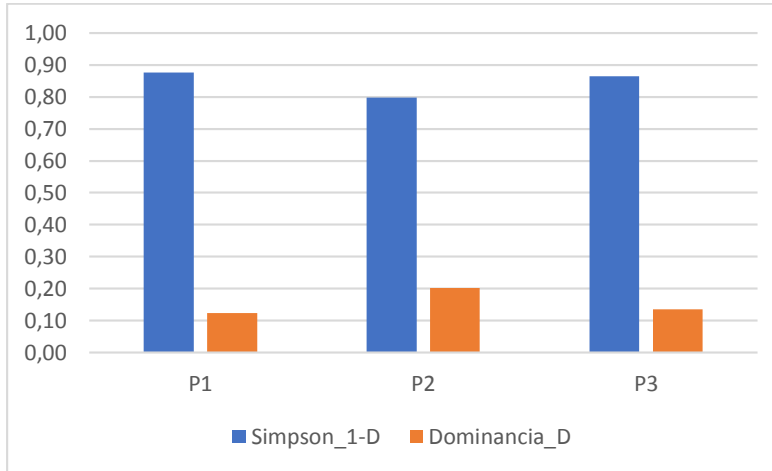
P2	1,70	0,80	0,20
P3	2,12	0,87	0,14

Los resultados del índice de Shannon-Wiener fueron analizados de acuerdo con el esquema de Wilhm & Dorris (1968) donde se mencionan las siguientes reglas generales, para evaluar la calidad del agua donde: $H' < 1,0$ – se considera una “contaminación fuerte”; Si H' está entre $1,0 - 3,0$ se considera una “contaminación moderada” y $H' > 3,0$ – considera “agua sin contaminación”. Por consiguiente, con los resultados registrados al hacer una comparativa del estado del agua con el valor del índice de diversidad se determina que el río Jurumbaino presenta una contaminación moderada.

Índice de Simpson_1-D

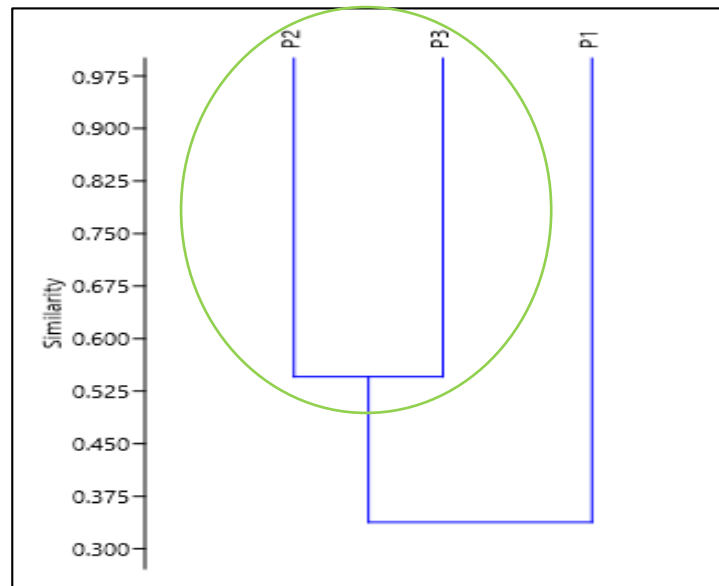
Por otro lado, en la figura 3, la posibilidad de que dos individuos capturados en cada uno de los puntos de colecta sean del mismo género es alta, aun así P1 y P3 mostraron valores similares de 0.88 y 0.87 respectivamente para el índice de Simpson y el punto con pequeña diferencia en diversidad fue P2 con 0.80; esto quiere decir que en los tres puntos de colecta se tiene una diversidad alta ; mientras que la dominancia no es notoria en los tres puntos, pero se aprecia que la mayor dominancia se registró en el P2 con 0.20 y menor en el P1 con 0.12. Recordemos que los valores de la dominancia son inversamente proporcionales a los valores presentados en el índice de Simpson, también son complementarios porque la suma de ambos valores da un valor de 1; en consecuencia, la evaluación de la diversidad no presenta inconsistencias.

Figura 3: Índice de Simpson y dominancia en cada punto de muestreo.



Los resultados obtenidos en la aplicación del índice de similitud de Jaccard se muestran en la figura 4, el dendrograma indica que el P1 (Barrio la Florida) presenta diferencias con el P2 (ECU-911) y P3 (Salida de ciudad de Macas) con un disímil del 34%. En cambio, el punto P2 (ECU-911) y P3 (Salida de ciudad de Macas) se encuentran en un mismo clúster con un nivel de semejanza del 55%, indicando que las familias con mayor similitud en abundancia son Naucoridae y Libellulidae.

Figura 4: Análisis Clúster Jaccard



Determinar del índice de calidad del agua.

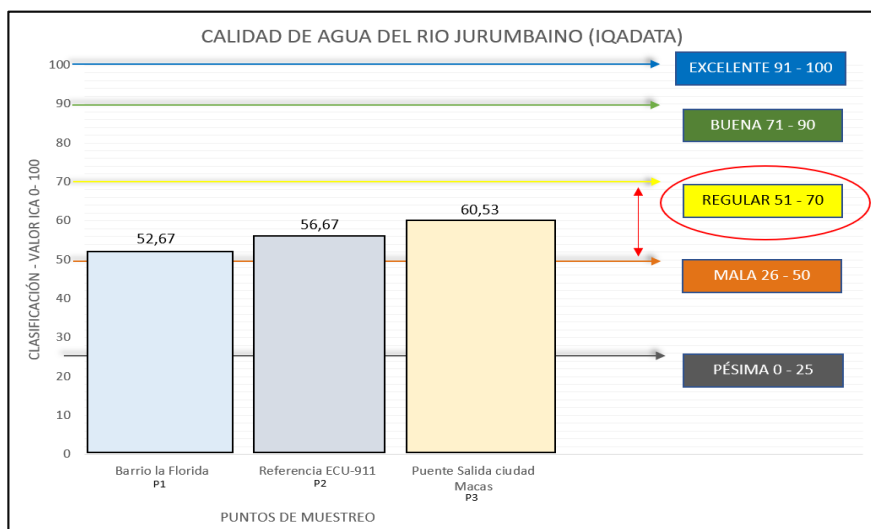
Tabla 5: Resultados de los parámetros fisicoquímico y microbiológico en las tres estaciones de monitoreo

Parámetros	Punto 1: Barrio la Florida			Punto 2: Referencia ECU 911			Punto 3: Puente de Salida de la ciudad Macas			TULSMA	
	Unidad	M1-nov (2020)	M2-dic (2020)	M3-ene (2021)	M1-nov (2020)	M2-dic (2020)	M3-ene (2021)	M1-nov- (2020)	M2-dic (2020)		M3-ene (2021)
Oxígeno Disuelto	mg/L	7,3	6,08	6,01	8.45	6.84	7.78	9,37	8,63	9,17	>80 No menor a 6 mg/l
pH	unidades de pH	6,5	6,63	6,9	7.3	6.86	7.16	7,1	7,3	6,9	6,5 – 9
DBO	mg/L	11,1	9,8	5,4	14.7	2	2.7	16,3	7,5	4,9	20
Nitratos	mg/L	2,9	6,6	4,3	3.1	2.5	1.5	4,7	1,3	1,7	13
Coliformes fecales	NMP/100ml	2500	800	600	2800	600	800	2900	680	790	2000
Temperatura	°C	19,6	19,7	22,1	19.9	20.3	20.4	20,8	21,9	21,7	Condición natural +/- 3,
Turbidez	NTU	0,75	1,5	2,1	1.21	16.7	2.6	0,78	1,4	1,22	Condición natural entre 0 y 50
Sólidos totales	mg/L	46,71	97	98	52.7	68	69	37,3	164	650	1600
Fosfatos	mg/L	0,17	0,82	0,84	1.01	0.75	0.16	0,08	0,09	0,07	10
Resultados ICA NSF		56,66	51,7	56,64	48,36	59,19	69,46	52,93	59,64	62,64	
Resultados ICA NSF		Regular	Regular	Regular	Mala	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	

Se observa en la Tabla 6, que los resultados en cada estación de muestreo presentan una clasificación diferente. En el muestreo 1 los resultados muestran calidad del agua “Regular”, tanto para el P1-Barrio la Florida y P3-Puente salida ciudad de Macas con excepción del P2-ECU_911 el cual tuvo un valor de 48,36 con calificación “Malo” cabe recalcar que este punto se pudo apreciar descargas altas de aguas residuales. El promedio de los tres monitoreos registra un valor de 52,93 dando así una clasificación de “Buena calidad” para la estación de Muestreo 1 (M1). Para la estación de monitoreo 2 los resultados según la clasificación ICA-NSF fueron de “Regular”, tomando en cuenta que en el mes de diciembre en el P1- Barrio la Florida se registró el valor más bajo de este índice dando como resultado 51,70. El promedio de los tres meses de monitoreo dieron como resultado un valor de 59,64 asumiendo una clasificación de “Regular”. En la estación de monitoreo 3 los resultados según la clasificación fueron de “Regular”, en los sitios de muestreo tanto para P2 y P3 obtuvimos valores 69.46 y 61.83 respectivamente a diferencia del sitio de muestreo P1, donde el resultado fue de 56.64. El promedio de los datos recolectados da como resultado un valor de 62.64 con una clasificación de “Regular”. Estos valores fueron determinados con ayuda del IQA-DATA 2015 (30)

Los resultados de los promedios del índice calidad del agua obtenidos durante este estudio en el río Jurumbaino en los muestreos realizados durante los tres meses obtuvimos los valores para M1 de 52.93, M2 con 59.64 y el M3 con un valor de 62.64 dándonos así una calificación de calidad “Regular” para los puntos muestreados.

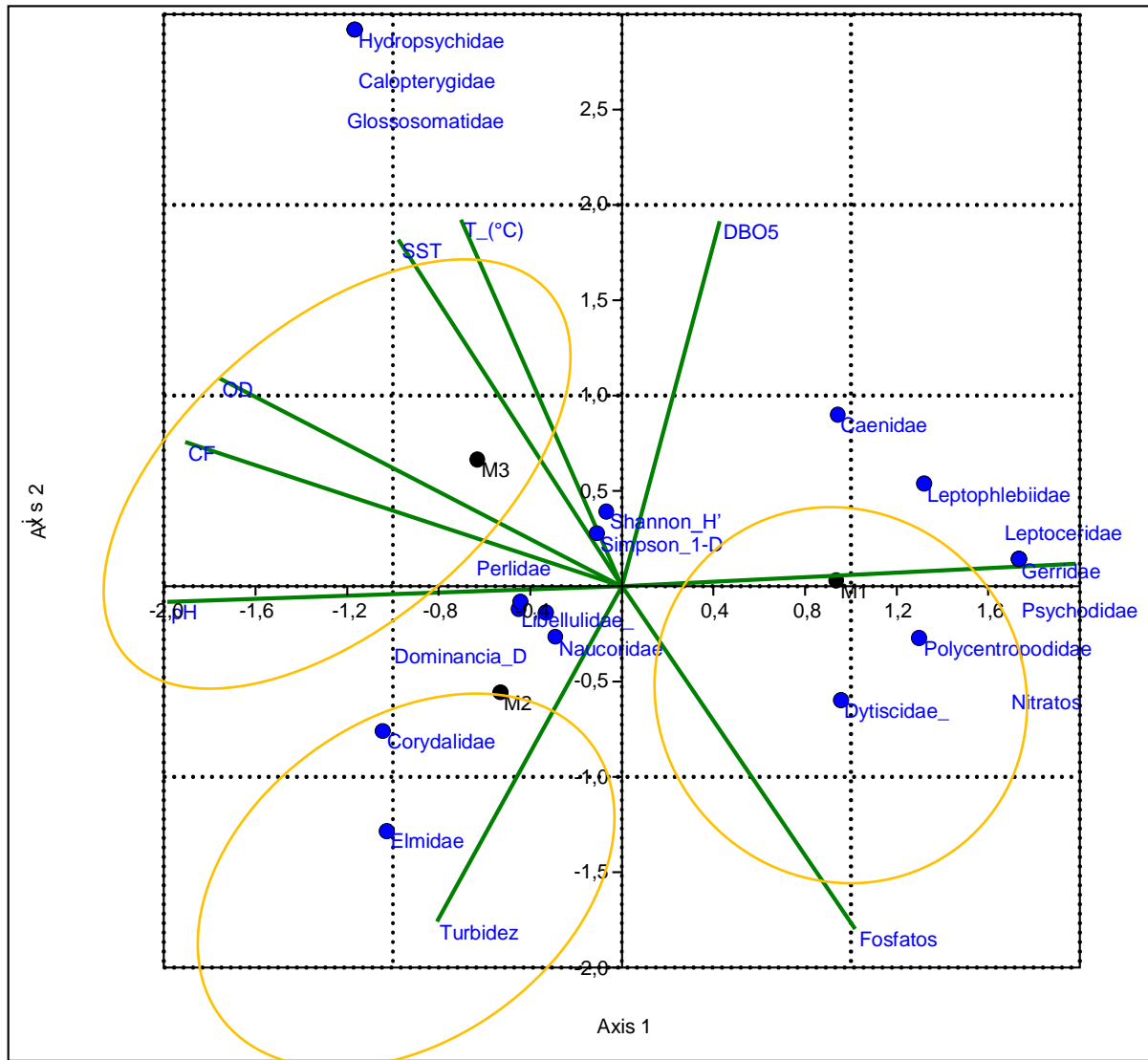
Figura 2: Clasificación de la calidad de agua según IQA-DATA en los tres puntos del Río Jurumbaino.



Relación entre las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y los parámetros fisicoquímicos en cada punto de muestreo.

Con el fin de identificar la correlación entre variables de parámetros físicos, químicos y microbiológicos y las comunidades de macroinvertebrados bentónicos del río Jurumbaino se efectuó un análisis de correspondencia canónico (ACC) por el cual se obtuvo una varianza de 70.35% para el primer eje y 29.65% para el segundo eje (Figura 7), en el gráfico del análisis de correspondencia canónica, se observa que las familias de macroinvertebrados se distribuyen entre los vectores de las variables fisicoquímicas. Se utiliza un método de ordenación, Análisis de correspondencia canónica, para aplicar y predecir las abundancias y presencia de los organismos evaluados a partir de las variables ambientales (parámetros físico-químico) (33).

Figura 3: Diagrama de ACC de las interacciones entre parámetros fisicoquímicos y familias de macroinvertebrados bentónicos



En el primer eje relacionó con la estación de muestreo uno (M1) a la variable fisicoquímica de Nitratos (NO₃) mg/l, ubicando en el lado positivo de esta dimensión a las familias Caenidae, Leptophlebiidae, Leptoceridae, Gerridae, Dytiscidae, Polycentropodidae y Psychodidae. Mientras que en el otro extremo negativo de este eje se asociaron la estación de muestreo M2 con las

variables Turbidez y pH, en presencia de las familias Naucoridae, Perlidae, Libellulidae, Corydalidae y Elmidae.

En el segundo eje la estación con incurrancia fue M3 donde las familias Hydropsychidae, Glossosomatidae y Calopterygidae no se vinculan con ninguna de las variables fisicoquímicas de coliformes fecales, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales y la temperatura. Del margen negativo del eje se encuentra la variable Fosfatos por lo cual no se observa asociación con alguna de las familias.

Discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos en los tres muestreos de macroinvertebrados bentónicos las familias Libellulidae, Naucoridae, Elmidae, Corydalidae pertenecientes a la clase Insecta fueron las más representativas en este estudio con un porcentaje de 18%, 17.4%, 10.4% y 9.8% respectivamente.

Dentro de la familia Elmidae el alto requerimiento de oxígeno disuelto en el agua es una de las principales razones para que se reconozca su sensibilidad a la contaminación de acuerdo con el estudio de las estrategias de vida en una comunidad de elmidos (Insecta: Coleoptera: Elmidae) realizados por Reyes (2003) (34), el cual concuerda con nuestro estudio ya que el promedio del oxígeno disuelto en las tres estaciones de monitoreo es de 8 ppm, la cual representa una cantidad adecuada para el desarrollo de los organismos acuáticos

El índice de diversidad de Shannon se vincula tanto para la estación M1 y M3 indicándonos que entre esos puntos de muestreo se encuentra la mayor diversidad de especies. Asumiendo que una comunidad de macroinvertebrados natural se identifica por tener una alta diversidad, los valores de diversidad altos tienen explicación por el buen balance de las comunidades, evidencia de ello en el estudio son los valores de equitatividad dados para los sitios de muestreo (36)

Como se pudo valorar los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos muestreados en los tres puntos de colecta, indica que en el muestreo uno (M1) realizado durante el mes de noviembre de 2020 existe un alto valor de la variable microbiológica de los coliformes fecales que desde el P1 va en aumento hasta el P3. Esos resultados guardan relación con el estudio

realizado por Méndez et al. (2020) (38) donde los muestreos realizados para determinar del índice de calidad del agua (NSF) del río Copueno ubicado en Cantón Morona, indica que el estudio es pertinente a los resultados de la estimación de escenarios de contaminación por coliformes fecales, debido a que en el transcurso de la fuente hídrica se evidencian fincas con ganado y descargas con aguas residuales, por lo que ya en la estación 2 y 3 se observa mayor concentración de las bacterias coliformes teniendo su pico más alto el mes de octubre en la estación 3 con un valor de 2531 UFC/100ml.

Conclusiones

En términos de calidad del agua y de acuerdo con la estructura y características de las familias de macroinvertebrados colectados en los tres puntos de muestreo, se consideran que son tolerantes a grados moderados de eutrofización y bajos niveles de contaminación de origen orgánico y mineral que corresponden a ambientes con calidad de agua buena a regular.

El análisis de Correspondencia Canónica (ACC) permitió determinar la correlación de familias con los parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Las familias que no manifestaron agrupaciones con el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos fueron: Hydropsychidae, Glossosomatidae y Calopterygidae, mientras que las variables fisicoquímicos de coliformes fecales, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales y la temperatura no tuvieron mayor influencia en la diversidad de macroinvertebrados acuáticos por lo tanto no existe mucha relación con los dichos parámetros.

Referencias

1. FLACSO. Sede Ecuador, Ministerio del Ambiente de Ecuador & Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. GEO Ecuador 2008 Inf sobre el estado del medio Ambient Capítulo 3 Estado del Agua 55-72. 2008;1:105.
2. Canchapoma K, Casas K, Palacin A, Rojas D, Vargas I. La biodiversidad de macroinvertebrados como indicadores de calidad de agua en los ríos de Junín. Ingenium. 2016;01(02):35–9.

3. Nugra F, Segovia E, Benítez M, Reinoso D. Guía metodológica para el biomonitoreo de macroinvertebrados e ictiofauna en la cuenca del río Napo, Ecuador. SENAGUA, OTCA. Cuenca, Ecuador. 79pp. 2016. 1–118 p.
4. 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.
5. Pérez J, Martínez L, Castellanos L, Mora A, Rocha Z. Macroinvertebrados bioindicadores de calidad de agua en sistemas hídricos artificiales del Departamento de Boyacá, Colombia. Prod y Limpia. 2020;15(1):35–48.
6. Pérez J, Martínez L, Castellanos L, Mora A, Rocha Z. Macroinvertebrate bioindicators of water quality in artificial hydrological systems in the department of boyacá, colombia. Prod y Limpia. 2020;15(1):35–48.
7. Villamarín C, Prat N, Rieradevall M. Caracterización física, química e hidromorfológica de los ríos altoandinos tropicales de Ecuador y Perú. Lat Am J Aquat Res. 2014;42(5):1072–86.
8. Rivas R. Diversidad y distribución de especies bentónicas por tipos de hábitats presentes en el ecosistema del área marina costera protegida de múltiples usos Lafken Mapu Lahual, en la comuna de río Negro, región de los Lagos. Molinet Flores. 2010.
9. INEC. Fascículo Provincial Poblacional de Morona Santiago. Inst Nac estadísticas y censos. 2010;
10. GAD. Plan Estratégico Institucional Del Gobierno Autónomo Descentralizado Del Cantón Morona. 2017;1–27.
11. INAMHI. Boletín Climatológico Anual. In: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. 2015.
12. Robles N. Modelo del plan de desarrollo y ordenamiento territorial para el Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial rural General Proaño, Provincia de Morona Santiago, periodo 2016-2020. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO. 2017.
13. Carrera C, Fierro K. Macroinvertebrados Acuáticos. Vol. 2, Ecociencia. 2001. 57 p.

14. Saltos J. Diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos en cinco ríos del cantón Valencia (los Ríos-Ecuador) y el uso de índices biológicos para estimar la calidad de agua. Vol. 6, Jurnal Sains dan Seni ITS. 2017.
15. Ramírez A. Métodos de recolección. Biol Trop. 2010;
16. Baird R, Eaton A, Rice E. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd edition. Washington, D.C.: American Public Health Association. 2017. 1–5 p.
17. Roldán G. Bioindicador de la calidad del agua en Colombia; Propuesta para el uso del método BMWP/Col. Antioquia: Universidad de Antioquia; 2003.
18. Roldán G. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia. 1996. 217 p.
19. Dominguez E, Fernández H. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología – 1a ed. – Tucumán: Fund. Miguel Lillo. 2009. 656 p.
20. López S, Huertas D, Jaramillo Á, Calderon D, Díaz J. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua del río Teusacá (Cundinamarca, Colombia). Ing y Desarro. 2019;37(2):277–88.
21. Moreno C. Métodos para medir la biodiversidad. Manuales y Tesis SEA. Zaragoza-España; 2001. 86 p.
22. Jost L, Gonzáles J. Midiendo la diversidad biológica: más allá del índice de Shannon. Zoológica lilloana. 2012;(January 2012).
23. Moreno CE. Métodos para medir la biodiversidad. M&T - Manuales y Tesis SEA. 2001;1:84.
24. Guinard J, Ríos T, Bernal J. Diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos y calidad del agua de las cuencas alta y baja del río Gariché , provincia de Chiriquí, Panamá. Getión y Ambient. 2013;(August).
25. Caho C, López E. Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI. Prod + Limpia. 2017;12(2):35–49.
26. INEN. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Agua. Calidad del agua. Muestreo. Diseño de los programas de muestreo. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2226 : 2013. Quito-Ecuador. 2013.

27. Forero J. Macroinvertebrados bentónicos y su relación con la calidad del agua en la cuenca alta de del Río Frío (Tabio , Cundinamarca). 2017;78.
28. Ajcabul A. Análisis comparativo entre el índice simplificado de calidad del agua (Isqa) y el índice de calidad del agua (Ica), aplicados al monitoreo de aguas superficiales en el río la Quebrada, El Frutal. Universidad De San Carlos De Guatemala Facultad De Ingeniería. 2016.
29. Fontalvo F, Tamaris C. Calidad del agua de la parte baja del río Córdoba (Magdalena, Colombia), usando el ICA-NSF. *Intropica*. 2018;13(2):101.
30. Posselt E, Costa A. IQADATA MANUAL. AB Softw IQADData 2015 Regist con el INPI N°10670- 2, Programa Maest en Sist y Procesos Ind PPGSPI, UNISC- Univ St Cruz do Sul,2015. 2015;
31. Fajardo EJ, Romero H, Plata L, Ramírez M. Determinantes de la calidad de la educación en Colombia a nivel secundario: Una aplicación del análisis de correspondencia canónica. *Rev Espac*. 2018;39(15):1–11.
32. Wilhm JL, Dorris TC. Parámetros biológicos para los criterios de calidad del agua. *Biosciencie*. 1968;(449):477–81.
33. Toro J, Schuster J, Kurosawa J, Araya E, Contreras M. DIAGNOSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN SISTEMAS LOTICOS UTILIZANDO DIATOMEAS Y MACROINVERTEBRADOS BENTONICOS COMO BIOINDICADORES RIO MAIPO (SANTIAGO : CHILE) BENTONICOS COMO BIOINDICADORES RIO MAIPO (SANTIAGO : CHILE). 2003;1–11.
34. Reyes F. Estrategias de vida en una comunidad de elmidos (Insecta: Coleoptera: Elmidae) de un arroyo de primer orden en la Mata Atlántica, sureste de Brasil. *Biol Trop*. 2003;
35. Braun BM, Pires MM, Kotzian CB, Spies MR. Diversity and ecological aspects of aquatic insect communities from montane streams in southern Brazil. *Acta Limnol Bras*. 2014;26(2):186–98.
36. Roldán G. Los Macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Rev Acad Colomb Cienc*. 1999;23(88):(375–387):ISSN 0370-3908.

37. Badillo LR, Guayasamín PR, Chico ME, Cedeño P, Jiménez G. Caracterización de la calidad de agua mediante macroinvertebrados bentónicos en el río Puyo , en la Amazonía Ecuatoriana. 2016;26(3):497–507.
38. Mendez P, Arcos J, Cazorla X. Determinación del índice de calidad del agua (NSF) del río Copueno ubicado en Cantón Morona. Rev Cient El Dominio las Ciencias. 2020;6(2):734–46.

© 2021 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/>)