

REVIEW / ARTÍCULO DE REVISIÓN

Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad ecológica en tres microcuencas del río Sampile, Choluteca, Honduras

Aquatic macroinvertebrates as bioindicators of ecological quality in three micro-watersheds of the Sampile River, Choluteca, Honduras

Johan Rodas Vallejo^{1*}, Jorge Carranza Sánchez¹, Dilia Montoya Chang¹ y Gerardo Borjas Machado¹

DOI. 10.21931/RB/2022.07.03.35

Hidrobiología, Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Escuela de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), Honduras.

Corresponding author: johan.rodas@unah.edu.hn

Resumen: En la actualidad los cuerpos de agua dulce se encuentran bajo constante presión debido a una creciente demanda del recurso, destinada principalmente para las diferentes actividades antropogénicas que se desarrollan en zonas cercanas a ellos, generando impactos que provocan alteración (contaminación) en las condiciones fisicoquímicas y en la estructura de las comunidades biológicas, de allí la importancia de monitorear los cuerpos de agua para poder determinar su condición. El principal objetivo de este trabajo fue realizar una evaluación rápida de la calidad ecológica utilizando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, para ello se muestreó en la época lluviosa del año 2017 un total de 22 puntos localizados en diferentes cuerpos de agua que abastecen a comunidades en las microcuencas Santa Isabel, Calero y Calderas dentro de la cuenca del río Sampile en el departamento de Choluteca. Se aplicó el índice biótico Biological Monitoring Working Party - Costa Rica (BMWP-CR) para conocer la calidad del agua, los resultados indicaron que ninguna de las fuentes evaluadas presentó una calidad del agua buena, pudiéndose asociar a actividades antropogénicas que se desarrollan en el área de estudio, así como a la influencia de la época lluviosa en la que se desarrolló el muestreo.

Palabras clave: Actividades antropogénicas, calidad ecológica, evaluación rápida, índice biótico, macroinvertebrados acuáticos.

Abstract: At present, freshwater bodies are under constant pressure due to increasing demand for the resource, mainly for the different anthropogenic activities that are developed in areas near them, generating impacts that cause alterations (pollution) in the physicochemical conditions and the structure of the biological communities, hence the importance of monitoring the water bodies to determine their condition. The main objective of this work was to perform a rapid assessment of the ecological quality using aquatic macroinvertebrates as bioindicators; for this purpose, a total of 22 points located in different water bodies that supply communities in the Santa Isabel, Calero and Calderas microbasins within the Sampile river basin in the department of Choluteca were sampled during the rainy season of 2017. The Biological Monitoring Working Party - Costa Rica (BMWP-CR) biotic index was applied to determine water quality. The results indicated that none of the evaluated sources showed good water quality, which could be associated with anthropogenic activities in the study area and with the influence of the rainy season when the sampling was carried out.

Key words: Anthropogenic activities, ecological quality, rapid assessment, biotic index, aquatic macroinvertebrates.

Introducción

El agua se considera uno de los recursos naturales de mayor importancia, siendo los ríos y quebradas las fuentes principales de agua renovable tanto para los sistemas dulceacuícolas como para los humanos; a pesar de ello se encuentran amenazados por diferentes actividades antropogénicas y son pocos los ríos que no han sido contaminados. En la actualidad se reconoce que los ecosistemas de agua dulce funcional y biológicamente complejos proveen muchos servicios a la sociedad además de ser hábitat para la flora y fauna, estos servicios son costosos y a menudo imposibles de reemplazar cuando los sistemas acuáticos

son degradados¹. Es por ello por lo que se han venido empleando diferentes métodos para medir el grado de alteración que presentan estos ecosistemas y uno de ellos es el uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad ecológica, el cual se ha generalizado en todo el mundo². Los organismos acuáticos evolutivamente han desarrollado adaptaciones tanto morfológicas como fisiológicas para tolerar diferentes rangos de contaminación del agua. Estos límites de tolerancia varían, y así, frente a una determinada alteración se encuentran organismos sensibles que no soportan las nuevas condiciones impuestas,

Citation: J R Vallejo, J C Sánchez, D M Chang, Gerardo Borjas Machado. Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad ecológica en tres microcuencas del río Sampile, Choluteca, Honduras. *Revis Bionatura* 2022;7(3) 35. <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2022.07.03.35>

Received: 21 March 2022 / **Accepted:** 27 July 2022 / **Published:** 15 August 2022

Publisher's Note: Bionatura stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Copyright: © 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



comportándose como intolerantes, mientras que otros, que son tolerantes no se ven afectados. De modo que, variaciones inesperadas en la composición y estructura de las comunidades de organismos vivos en los ríos pueden interpretarse como signos evidentes de algún tipo de contaminación³.

En Honduras tradicionalmente se han utilizado las variables fisicoquímicas para establecer la calidad del agua, por lo que la alternativa del uso de bioindicadores tales como los macroinvertebrados se encuentra en sus fases iniciales⁴. En la región sur del país, específicamente en el Departamento de Choluteca, se han desarrollado estudios de calidad del agua basados en parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, en los cuales se ha destacado que diversas actividades humanas tienen un efecto negativo sobre la calidad del agua^{5,6}.

El presente estudio fue desarrollado con el objetivo de realizar una evaluación rápida de la calidad ecológica, en fuentes de abastecimiento de agua para consumo dentro de las microcuencas Calderas, Calero y Santa Isabel comprendidas entre los municipios de El Corpus, Santa Ana de Yusguare y Namasigüe, pertenecientes a la cuenca del río Sampile, en el Departamento de Choluteca.

De esta manera se genera información sobre el estado de la calidad ecológica, que puede ser utilizada por las organizaciones municipales o comunitarias como una herramienta para desarrollar acciones de manejo que contribuyan a la preservación del recurso hídrico en beneficio de las diferentes comunidades.

Materiales y métodos

La cuenca del río Sampile se ubica geográficamente al sur del país en el Departamento de Choluteca, cubriendo una superficie de 745.98 km² dentro de los municipios de Choluteca, Namasigüe, Santa Ana de Yusguare y El Corpus. El presente trabajo fue realizado en las microcuencas de Calderas, Calero y Santa Isabel, en las cabeceras de los ríos, que son utilizadas como fuentes de abastecimiento de agua (Figura 1).

Las microcuencas Calderas y Calero se ubican entre los municipios de El Corpus y Santa Ana de Yusguare, cubren un área de 39.71 km² y 26.72 Km² respectivamente. Cabe mencionar que la zona alta de la microcuenca Calero, donde se ubicaron los puntos de muestreo, forma parte del área protegida Cerro Guanacaure. La microcuenca de Santa Isabel se ubica entre los municipios de Namasigüe y El Corpus y cuenta con un área de 25.84 Km². En total fueron muestreados 22 puntos localizados en las fuentes de abastecimiento de agua para consumo de las comunidades mencionadas en la Figura 1. Cada una de estas fuentes cuenta con diferentes condiciones o grados de intervención tal como se describe en la tabla 1.

El muestreo fue realizado en época lluviosa entre el 23 de octubre y el 2 noviembre de 2017 en puntos establecidos a 10 metros aguas arriba de las fuentes de abastecimiento, en alturas que fluctuaron entre 90 y 837 msnm. En cada punto de muestreo fue delimitado un tramo de 15 metros de longitud donde se marcaron puntos de inicio, medio y final, en los cuales se midieron parámetros fisicoquímicos como temperatura del agua (°C), conductividad (µS/cm) y pH utilizando un medidor multiparámetro.

Los parámetros hidrométricos como profundidad y velocidad de la corriente, se midieron utilizando un molinete tipo Price marca Gurley pigmeo ($v = 0.2927 * rps$ (revoluciones por segundo) + 0.0095), en cada profundidad se midió fondo, medio y superficie de la vertical para obtener una velocidad media. En el sitio de aforo se midió la sección transversal con una cinta métrica (anchura de la sección y la profundidad en intervalos de 30 cm), lo anterior para obtener el área de la sección (A). El caudal final se determinó con la ecuación $Q = v * A$

Las muestras de macroinvertebrados fueron recolectadas a lo largo del tramo tomando en cuenta diferentes microhábitats como sugiere Alba-Tercedor³, estos fueron: roca en las zonas de corriente rápida, arena en las zonas de remansos o pozas y hojarasca en zonas de acumulación de materia orgánica y márgenes de los cauces. Se utilizó una red tipo D con 750 µm de luz de malla, muestreando durante cinco minutos cada microhábitat (muestreo cualitativo)⁷, para la aplicación del índice biótico Biological Mo-

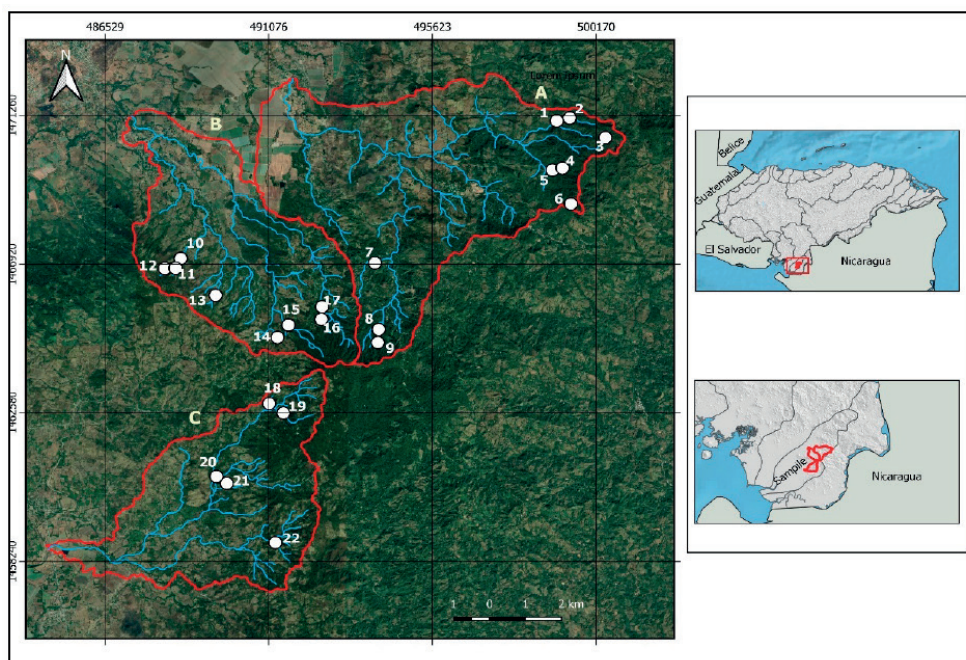


Figura 1. Ubicación de puntos de muestreo en las microcuencas del río Sampile: Calderas (A): Santa Fe (1), Barrio nuevo (2), C.U, El Corpus (Las Mejías) (3), C.U. El Corpus (4), Las Pititas (5), El Plan y El Portillo (6), San Juan Abajo (7), S. J. Arriba (San Isidro) (8), S. J. Arriba (Linda Vista) (9); Calero (B): C.U. Santa Ana de Yusguare (10), Nueva Esperanza (11), El Cerro y Monte Limar (12), T. Arriba (El Ojochal) (13), T. Arriba (El Banco) (14), T. Arriba y Choluteca (15), La Fortuna (16), Chaguite (17); Santa Isabel (C): S. Isabel (Toma madre) (18), El Carrizal (19), San Agustín (20), Las Pititas (21), San Rafael (22).

| Microcuenca | Punto de muestreo (Fuente por comunidad) | Coordenadas (UTM) | Descripción del grado de intervención y uso del entorno a la fuente (cuerpo de agua) |
|--------------|---|--------------------------|--|
| Calderas | 1. Santa Fe | X= 0499080 Y= 1471102 | Intervención por cultivo de maicillo en los alrededores del cuerpo de agua (zona alta). |
| | 2. Barrio Nuevo | X= 0499441 Y= 1471184 | Intervención por cultivos de maíz en la zona alta. |
| | 3. C.U. El Corpus (Las Mejías) | X= 0500432 Y= 1470605 | Sin intervenciones en la zona, bosque de pino en la zona alta. |
| | 4. C.U. El Corpus | X= 0499238 Y= 1469710 | Sin intervención en la zona alta, uso del entorno para captación de agua de consumo. |
| | 5. Las Pitas | X= 0498960 Y= 1469653 | Sin intervención en la zona alta, uso del entorno para captación de agua de consumo. |
| | 6. El Plan y El Portillo | X= 0499473 Y= 1468672 | Sin intervención en la zona alta, uso del entorno para captación de agua de consumo. |
| | 7. San Juan Abajo | X= 0494027 Y= 1466959 | Se encuentra una finca a 100 m. de la fuente (cuerpo de agua). |
| | 8. San Juan Arriba (S. Isidro) | X=0494133 Y=1465007 | Intervención por cultivos de maíz a las orillas del cauce, aproximadamente 100 m. arriba de la fuente. |
| | 9. San Juan Arriba (L. Vista) | X= 0494110 Y= 1664624 | Sin intervención en la zona alta. |
| Calero | 10. C.U. Santa Ana de Yusguare | X=0488631 Y= 1467087 | Intervención por cultivo de maíz en la zona alta. |
| | 11. Nueva Esperanza | X= 0488488 Y= 1466806 | Sin intervención en la zona alta, uso del entorno para captación de agua para consumo |
| | 12. El Cerro y Monte Limar | X= 0488458 Y= 1466798 | |
| | 13. Tablones arriba (El Ojochal) | X= 0489601 Y= 1486005 | |
| | 14. Tablones Arriba (El Banco) | X= 0491331 Y= 1664778 | |
| | 15. Tablones Arriba y Choluteca | X= 0491626 Y= 1465133 | |
| | 16. La fortuna | X= 0492540 Y= 1465301 | |
| | 17. Chagüite | X= 0492557 Y= 1465669 | |
| Santa Isabel | 18. Santa Isabel (toma madre) | X=0491091 Y=1462839 | |
| | 19. El Carrizal | X=0491487 Y=1462561 | Se encuentra una finca alrededor del cuerpo de agua, hay plantación de plátano y albaricoque. |
| | 20. San Agustín | X=0489624 Y=1460725 | |
| | 21. Las Pilitas | X=0489912 Y=1460523 | Intervención por cultivo de maíz en la parte alta. |
| | 22. San Rafael | X=0491261 Y=1458789 | Intervención por cultivos de Maíz, Maicillo y Frijoles en la parte alta. |

Tabla 1. Localización de puntos de muestreo y descripción del grado de intervención en cada fuente de agua.

monitoring Workin Party Costa Rica (BMWP-CR). Además, se utilizó una red de tipo surber en zonas de corriente (muestreo cuantitativo) como sugiere Ramírez⁸. Las muestras se colocaron y preservaron en frascos con alcohol al 70%, los cuales fueron rotulados indicando el código, microhábitat, lugar y la fecha de colecta.

La identificación taxonómica se llevó a cabo a nivel de familia utilizando un microscopio-estereoscópico y claves taxonómicas^{9,10,11}. Los organismos identificados fueron depositados en la colección de macroinvertebrados acuáticos del laboratorio de Hidrobiología de la Escuela de Biología de la UNAH. Para conocer la calidad ecológica del agua utilizando macroinvertebrados acuáticos se calculó el índice BMWP-CR, además del índice de diversidad de Shannon y Weaver para cada punto de muestreo.

Para ordenar y agrupar los sitios de muestreo con base en la composición de familias de macroinvertebrados se realizó un análisis de agrupamiento. También para detectar las principales familias de macroinvertebrados que mejor representan a cada microcuenca se hizo un análisis de porcentajes de similitudes (SIMPER por sus siglas en inglés)¹², utilizando el programa R versión 3.4.0¹³ La elaboración de

mapas se realizó utilizando Quantum Gis versión 2.18.21¹⁴.

Resultados

Parámetros fisicoquímicos

El sitio con mayor caudal fue Santa Fe en la microcuenca Calderas, y el menor caudal fue registrado en la microcuenca Calero en el punto de El Ojochal con valores de 0.1055 y 0.0012 m³/s respectivamente. La conductividad presentó el valor más bajo en la microcuenca Calderas (C.U. El Corpus-Las Mejías) siendo este de 13.2 µS/cm y el valor más alto en la microcuenca Calero (La Fortuna) el cual fue de 216.3 µS/cm.

La temperatura del agua osciló entre 22.2 – 26.6 °C registrándose el valor más bajo en la microcuenca Calderas (Las Pitas) y el más alto en la microcuenca Santa Isabel (San Agustín). Con respecto al pH este osciló entre 5.8 – 8.5, ambos valores medidos en la microcuenca Calderas para los puntos de Casco Urbano de El Corpus y San Juan Abajo respectivamente (Tabla 2).

Parámetros biológicos

Se colectaron un total de 1,511 individuos, distribuidos en 4 Filos, 5 Clases, 12 Ordenes y 38 Familias. Para la microcuenca Calero se encontró la mayor cantidad de individuos (698 en total), mientras que el número más bajo de individuos colectados se presentó en la microcuenca Santa Isabel con un total de 277.

El Orden Trichoptera fue el más abundante para las tres microcuencas en estudio, seguido de Díptera (Calderas y Santa Isabel), Gastropoda (Calero) y Ephemeroptera (Santa Isabel) (Figura 2). El índice de diversidad de Shannon- Weaver mostró que el punto más diverso fue el de C.U. Santa Ana de Yusguare en la microcuenca Calero, mientras que el punto menos diverso fue el de Barrio Nuevo en la microcuenca Calderas con valores de 2.49 y 1.00 respectivamente.

Los resultados obtenidos en el índice biótico BMWP-CR considerando los 22 puntos de muestreo, de muestran que en 13 de ellos (59%) el nivel de calidad del agua fue regular, es decir con contaminación moderada, mientras que en 6 puntos (27%) el nivel de calidad del agua encontrado fue mala/contaminada y solo en 3 de ellos (14%) resultó la calidad del agua mala/ muy contaminada (Tabla 3).

La microcuenca Calderas presentó una mayor cantidad de puntos con calidad del agua mala, en la microcuenca Calero la mayoría de los puntos de muestreo resultaron con una calidad regular, mientras que la microcuenca Santa Isabel reflejó una calidad del agua regular considerando la totalidad de los puntos muestreados (Figura 3). En cuanto al análisis de SIMPER, no se registraron familias de macroinvertebrados representativas de la microcuenca de Calderas. Mientras que Calero registró las siguientes familias: Hydrobiidae (P=0.018), Leptophlebiidae (P = 0.022), Tabanidae (P= 0.012), Siphonuridae (P=0.022), Hydraenidae (P=0.031), Crambidae (P= 0.026). Para Santa Isabel, Leptohyphidae (P= 0.005), Libellulidae (P=0.019),

Ceratopogonidae (P= 0.012), Dryopidae (P=0.012), Les-
 tidae (P=0.011), Amphizoidae (P=0.011), Chrysomelidae (P=0.011) y Psychodidae (P=0.013), como las familias que mejor se desarrollaron en los sitios de muestreo de esta microcuenca.

El análisis de agrupamiento con base en la similitud de familias de macroinvertebrados encontrados, reflejó en la microcuenca Calderas la formación de tres grupos siendo el punto de muestreo San Juan Abajo el que más difirió en cuanto a la composición de familias, lo mismo ocurrió en la microcuenca Calero donde las estaciones de Tablones Arriba en C.U. Choluteca y la Fortuna fueron las más diferentes, mientras para la microcuenca Santa Isabel el punto de San Rafael reflejó ser la menos similar en comparación al resto de los puntos de muestreo en dicha microcuenca (Figura 4).

Discusión

Parámetros fisicoquímicos

Los muestreos fueron realizados en cauces de orden uno (nacientes) por lo que los cuerpos de agua estudiados en general presentaron dimensiones menores, lo cual se refleja en los datos de caudal obtenidos. Lo anterior tiene importancia ya que en condiciones naturales el ancho, la profundidad y velocidad del cauce influye en la diversidad y la distribución de los macroinvertebrados acuáticos en los cuerpos de agua loticos¹⁵. Los registros más bajos de temperatura del agua coincidieron con los puntos que no presentaron ningún tipo de intervención o actividades antropogénicas en donde el uso del entorno es únicamente para captación de agua para consumo, como fue el caso de Las Pitas el cual se ubica en la zona alta de la microcuenca Calderas.

Los puntos en los cuales se registraron las tempera-

| Microcuenca | Fuente | T. Agua (°C) | Conductividad (µS/cm) | caudal m³/s | Humedad (%) | T. Ambiental (°C) | pH |
|--------------|---------------------------------|--------------|-----------------------|-------------|-------------|-------------------|------|
| Calderas | Santa Fe | 22.8 | 20.8 | 0.105 | 94 | 25.3 | 6.38 |
| | Barrio Nuevo | 23 | 21.60 | 0.011 | 94 | 25.3 | 6.55 |
| | C.U. El Corpus (Las Mejías) | 22.5 | 13.20 | 0.007 | 78 | 27.7 | 6.39 |
| | C.U. El Corpus | 23 | 12.83 | 0.011 | 98 | 21.7 | 5.8 |
| | Las Pitas | 22.2 | 41.00 | 0.036 | 91 | 22.3 | 7.43 |
| | El Plan y El Portillo | 22.6 | 25.70 | 0.004 | 79 | 24.3 | 6.33 |
| | San Juan Abajo | 23.5 | 130.1 | 0.035 | 85 | 24.3 | 8.5 |
| | San Juan Arriba (S. Isidro) | 23.4 | 87.10 | 0.004 | 93 | 25.5 | 7.69 |
| Calero | San Juan Arriba (L. Vista) | 22.7 | 97.56 | 0.010 | 91 | 25.1 | 7.58 |
| | C.U. Santa Ana de Yusguare | 24.8 | 215.73 | 0.012 | 71 | 30 | 8.08 |
| | Nueva Esperanza | 23.7 | 122.70 | 0.007 | 89 | 25.8 | 7.71 |
| | El Cerro y Monte Limar | 24.6 | 142.26 | 0.006 | 92 | 26.4 | 7.37 |
| | Tablones Arriba (El Ojochal) | 25.8 | 198.70 | 0.001 | 96 | 25.5 | 7.04 |
| | 13. Tablones Arriba (El Banco) | 24.9 | 143.66 | 0.005 | 92 | 25.4 | 7.3 |
| | 14. Tablones Arriba y Choluteca | 24.4 | 187.00 | 0.040 | 95 | 25.7 | 8.24 |
| | 16. La fortuna | 23.9 | 216.30 | 0.009 | 90 | 23.3 | 7.68 |
| Santa Isabel | 17. Chagüite | 24 | 128.96 | 0.073 | 92 | 25.6 | 8.2 |
| | 18. Santa Isabel | 25 | 140.93 | 0.018 | 95 | 25.3 | 7.69 |
| | 19. El Carrizal | 24.5 | 133.53 | 0.004 | 95 | 26 | 7.92 |
| | 20. San Agustín | 26.6 | 181.03 | N/A | 96 | 26.8 | 7.72 |
| | 21. Las Pilitas | 26 | 149.26 | 0.009 | 98 | 25.5 | 7.67 |
| | 22. San Rafael | 25.1 | 186.10 | 0.019 | 97 | 26.5 | 7.77 |

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos medidos en campo en las microcuencas Calderas, Calero y Santa Isabel.

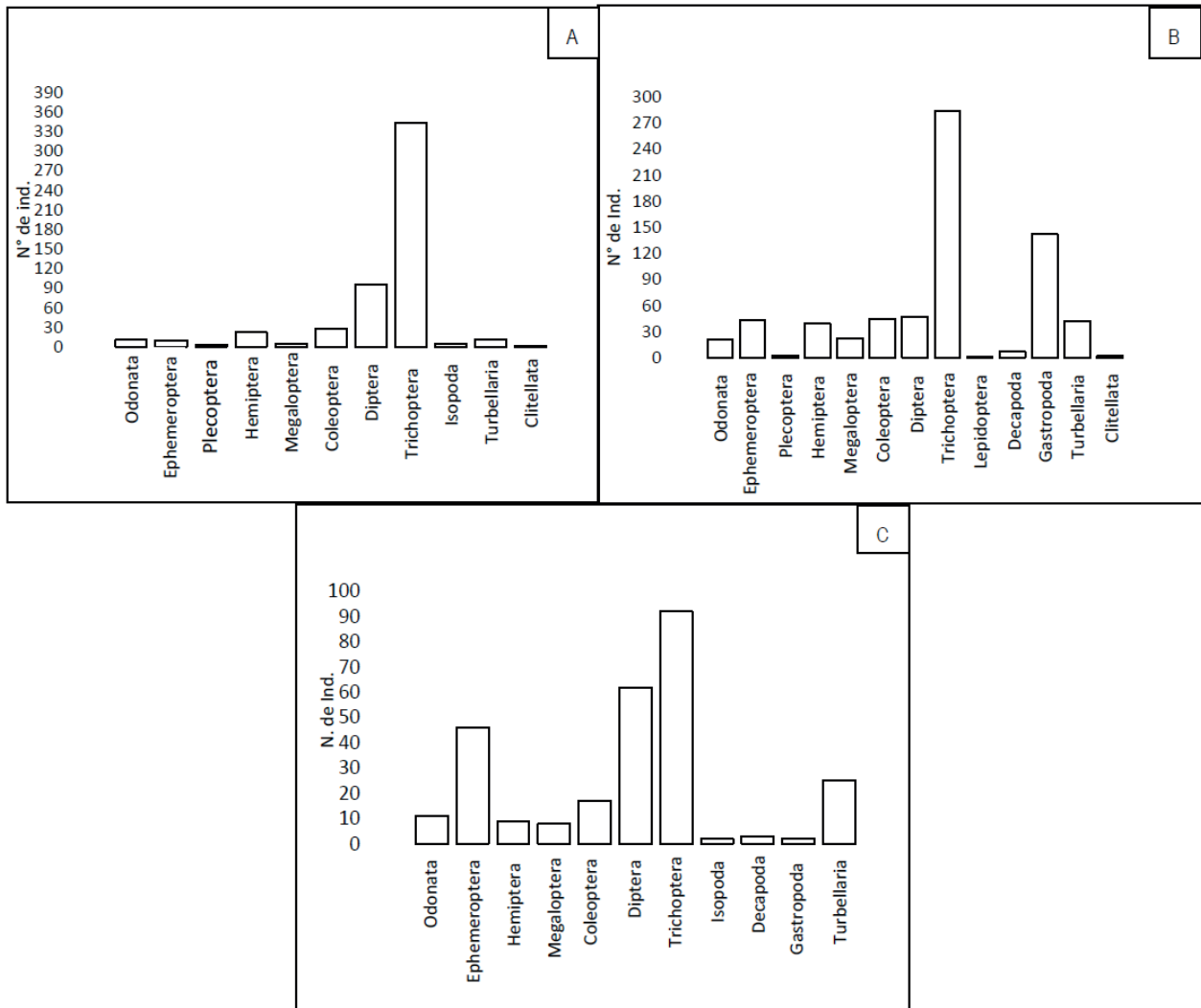


Figura 2. Abundancia para cada grupo taxonómico colectado en las microcuencas: Calderas (A), Calero (B), Santa Isabel (C).

turas más altas fueron aquellos en donde la intervención fue mayor tal como en el punto de San Agustín en donde hay presencia de cultivos en la zona de ribera y además se encuentra ubicado en la zona baja de la microcuenca Santa Isabel. Lo anterior coincide con otros estudios realizados en el país en el río Tascalapa¹⁶ en donde la influencia antrópica en el uso de la tierra se correlaciona con parámetros físico-químicos como la temperatura y con una menor diversidad de macroinvertebrados.

Los valores registrados de conductividad en general fueron relativamente bajos en los puntos que no presentaron intervención en torno a los cuerpos de agua como en el caso de la microcuenca Calderas y tendieron a aumentar ligeramente en aquellos puntos en donde se da algún tipo de actividad humana como se reflejó en la microcuenca Santa Isabel y en el punto C.U. Santa Ana de Yusguare localizado en la microcuenca Calero; esto podría deberse a la pérdida de vegetación de ribera y a una mayor entrada de sedimentos lo cual provoca un aumento en la cantidad de sólidos suspendidos, disueltos y de la conductividad¹⁷. Sin embargo, el incremento en los valores de conductividad puede deberse también a las condiciones geoquímicas del sitio y a procesos naturales de descomposición de materia orgánica en los bosques ribereños¹⁶.

Los valores de pH en cuerpos naturales pueden fluctuar normalmente entre 6-8¹⁸, los valores encontrados en el

presente estudio oscilaron entre 5.8 – 8.5, reportándose el valor más bajo en el punto del Casco Urbano de El Corpus y el valor más alto en el punto de San Juan Abajo (ambos en la microcuenca Calderas); es de mencionar que este último punto presentó intervención debido a actividades agrícolas lo cual podría tener un efecto en los valores ya que producto de estas actividades se generan residuos químicos que entran al cuerpo de agua y alteran sus características físicas y químicas lo que a su vez limita la presencia de macroinvertebrados¹⁹. La norma técnica nacional para la calidad del agua potable en Honduras²⁰, establece como valor recomendado un rango de pH entre 6.5 y 8.5; en algunos puntos se registraron valores menores a 6.5 como en el caso de El Plan y El Portillo, así como los dos puntos del Casco Urbano de El Corpus y el de Santa Fe.

Parámetros Biológicos

El muestreo se llevó a cabo en época lluviosa y esto tiene una influencia en los regímenes de caudales lo que a su vez puede tener un efecto en la diversidad de macroinvertebrados acuáticos y en la calidad ecológica del agua, igual impacto puede tener el grado de intervención en el área. Como lo señala en estudios realizados en el río Tascalapa en el Departamento de Yoro¹⁶, los cultivos y asentamientos humanos en zonas cercanas a los cuerpos de agua tienden a alterar la composición y estructura de los

| Micro-cuenca | Fuente | Índice de diversidad de Shannon-Weaver(H) | Valor BMWP-CR | Nivel de Calidad de agua | Color Representativo |
|--------------|---------------------------------|---|---------------|---|----------------------|
| Calderas | Santa Fe | 1.85 | 59 | Aguas de calidad mala, contaminadas. | |
| | Barrio Nuevo | 1.00 | 17 | Aguas de calidad mala, muy contaminadas. | |
| | C.U. El Corpus (Las Mejías) | 1.67 | 24 | Aguas de calidad mala, muy contaminadas. | |
| | C.U. El Corpus | 1.56 | 17 | Aguas de calidad mala, muy contaminadas. | |
| | Las Pitás | 1.72 | 71 | Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada. | |
| | El Plan y El Portillo | 2.13 | 64 | Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada. | |
| | San Juan Abajo | 1.20 | 52 | Aguas de calidad mala, contaminadas | |
| | San Juan Arriba (S. Isidro) | 1.70 | 62 | Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada. | |
| | San Juan Arriba (L. Vista) | 1.47 | 64 | Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada. | |
| Calero | 10. C.U. Santa Ana de Yusguare | 2.49 | 65 | Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada. | |
| | Nueva Esperanza | 2.01 | 67 | Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada. | |
| | El Cerro y Monte Limar | 1.76 | 45 | Aguas de calidad mala, contaminadas | |
| | Tablones Arriba (El Ojochal) | 1.82 | 49 | Aguas de calidad mala, contaminadas. | |
| | 13. Tablones Arriba (El Banco) | 1.82 | 62 | Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada. | |
| | 14. Tablones Arriba y Choluteca | 1.85 | 88 | Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada. | |
| | 16. La fortuna | 1.03 | 42 | Aguas de calidad mala, contaminadas. | |
| | 17. Chagüite | 1.59 | 78 | Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada. | |
| Santa Isabel | 18. Santa Isabel (Toma madre) | 2.47 | 74 | Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada. | |
| | 19. El Carrizal | 2.09 | 68 | Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada. | |
| | 20. San Agustín | 2.47 | 82 | Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada. | |
| | 21. Las Pilitas | 2.07 | 62 | Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada. | |
| | 22. San Rafael | 1.56 | 53 | Aguas de calidad mala, contaminadas. | |

Tabla 3. Diversidad de Shannon-Weaver y calidad ecológica según el índice BMWP-CR para cada punto de muestreo. macroinvertebrados acuáticos.

De acuerdo a los resultados obtenidos al aplicar el índice biótico BMWP-CR en los 22 puntos de muestreo, el 59% de estos (trece puntos de muestreo) presentaron un nivel de calidad ecológica regular distribuidos en la microcuenca de Santa Isabel cuatro puntos (Toma madre, El Carrizal, San Agustín y Las Pilitas), en la microcuenca Calero cinco puntos (C.U. Santa Ana de Yusguare, Nueva Esperanza, Tablones Arriba y Choluteca, Tablones Arriba (El Banco) y Chagüite); mientras que en la microcuenca Calderas cuatro puntos (El Plan y El Portillo, Las Pitás, San Juan Arriba o Linda Vista y San Juan Arriba o San Isidro); este nivel de calidad se refiere a aguas con eutrofia (considerables niveles de productividad y enriquecidas con nutrientes), de

contaminación moderada.

El nivel de calidad de agua mala se presentó en el 41% de puntos de muestreo distribuidos en las tres microcuencas de la siguiente manera: en la microcuenca de Santa Isabel en un punto (San Rafael), en la microcuenca Calero en tres puntos (El Cerro y Monte Limar, Tablones Arriba o El Ojochal y La Fortuna) y en la microcuenca Calderas también en tres puntos (C.U. El Corpus (Las Mejías), C.U. El Corpus y Barrio Nuevo). Las aguas con este nivel de calidad se interpretan que son aguas contaminadas y en el caso de los puntos de la microcuenca Calderas, estos presentaron un nivel de contaminación mayor (aguas muy contaminadas). Aquí se puede reflejar el hecho de no haber encontrado familias que mejor representasen a esta micro-

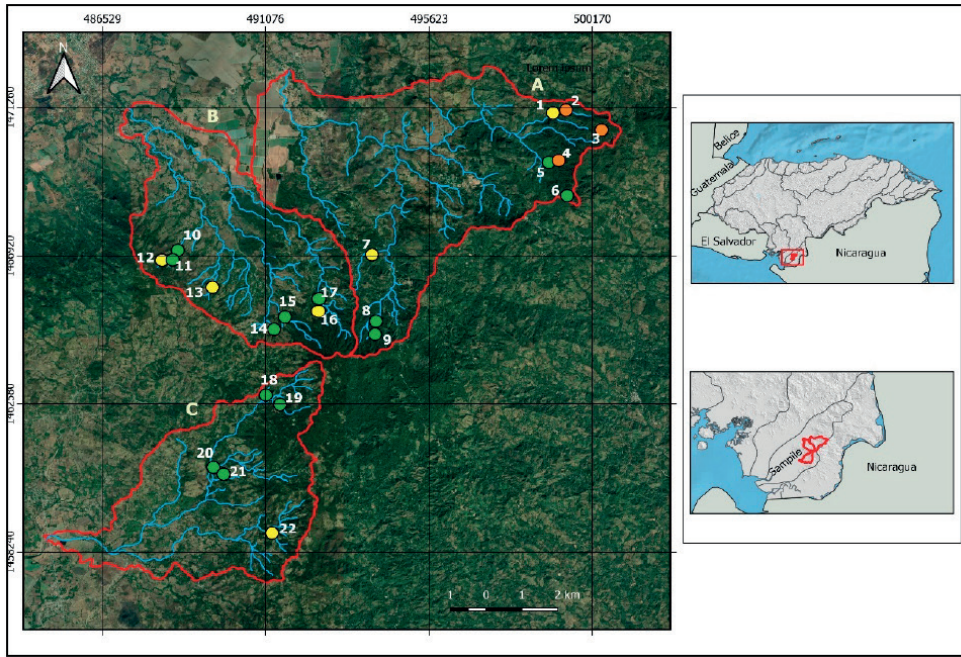


Figura 3. Calidad de agua para cada punto de muestreo en las microcuencas: Calderas (A): Santa Fe (1), Barrio nuevo (2), C.U. El Corpus (Las Mejías) (3), C.U. El Corpus (4), Las Pitas (5), El Plan y El Portillo (6), San Juan Abajo (7), S. J. Arriba (San Isidro) (8), S. J. Arriba (Linda Vista) (9); Calero (B): C.U. Santa Ana de Yusguare (10), Nueva Esperanza (11), El Cerro y Monte Limar (12), T. Arriba (El Ojochal) (13), T. Arriba (El Banco) (14), T. Arriba y Choluteca (15), La Fortuna (16), Chaguíte (17); Santa Isabel (C): S. Isabel (Toma madre) (18), El Carrizal (19), San Agustín (20), Las Pilitas (21), San Rafael (22).

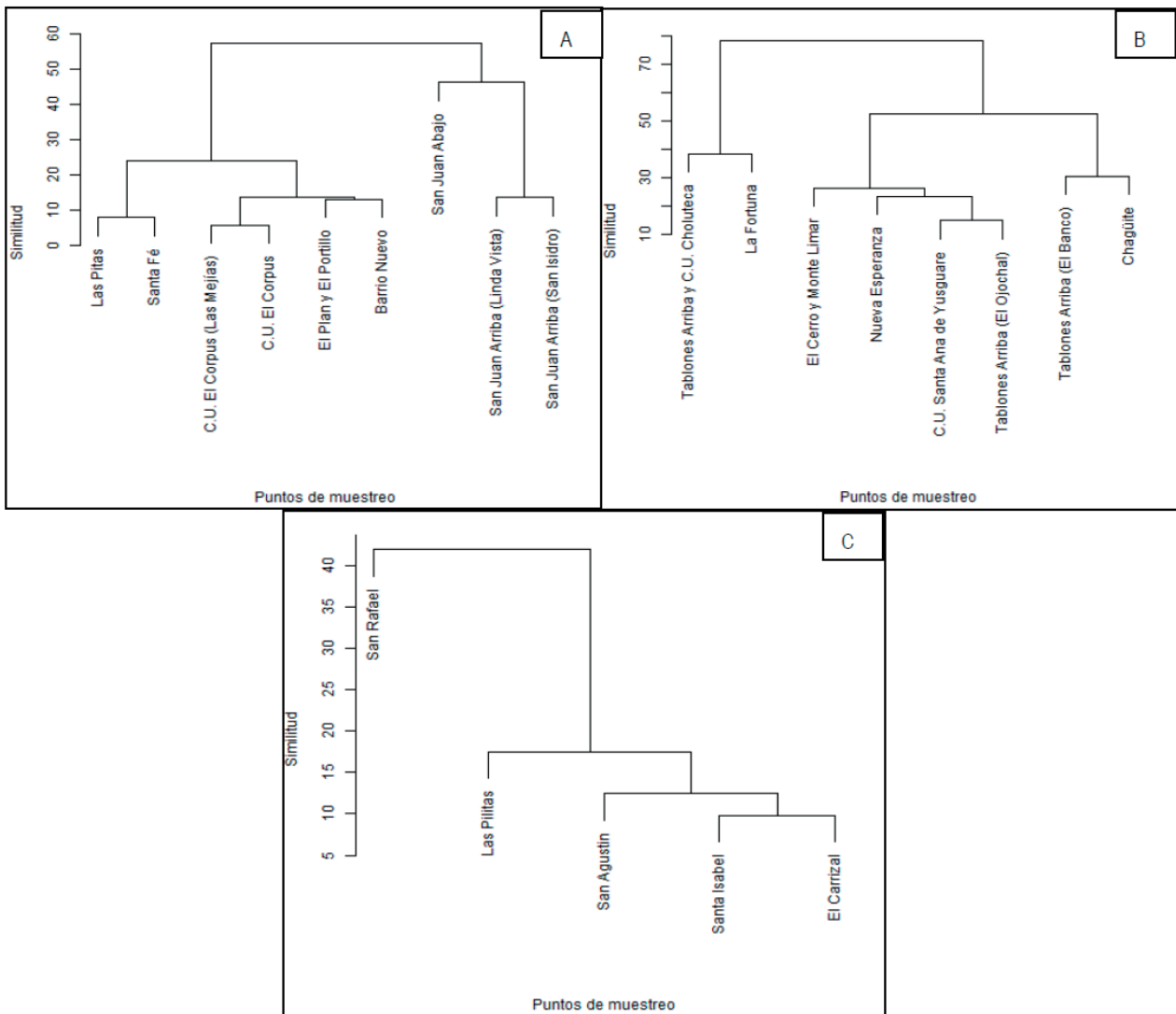


Figura 4. Análisis de agrupamiento para la diversidad de macroinvertebrados acuáticos en las microcuencas: Calderas (A), Calero (B), Santa Isabel (C).

cuenca, como sí lo hubo en las microcuencas de Calero y Santa Isabel por medio del análisis de SIMPER.

Estos niveles de calidad del agua entre regular y mala que se presentaron en los puntos de muestreo, pueden estar fuertemente influenciados por actividades que se realizan en la zona como la agricultura, ganadería, asentamientos humanos y en menor grado la minería llevada a cabo en el municipio de El Corpus abarcando principalmente la microcuenca Calderas.

Por ejemplo, los dos puntos del Casco Urbano de El Corpus y el de Santa Fe reportaron valores de pH menores a 6.5 y de acuerdo con el índice BMWP-CR presentaron una calidad del agua mala o contaminada, reflejando una baja diversidad de macroinvertebrados acuáticos (< 1.85 índice de Shannon-Weaver), la cual podría asociarse en el caso de Santa Fe con el grado de intervención debido a actividades agrícolas. Los niveles de calidad ecológica del agua según el índice biótico BMWP-CR mostraron un patrón que coincide con la diversidad de familias de macroinvertebrados encontradas en los diferentes puntos, de modo que el punto con una menor diversidad ($H=1$) que corresponde a Barrio Nuevo en la microcuenca Calderas presentó un nivel de calidad muy malo y el punto con una mayor diversidad ($H= 2.49$) el cual fue C.U. Santa Ana de Yusguare en la microcuenca Calero presentó un nivel de calidad ecológica regular.

El análisis de agrupamiento permitió agrupar los puntos de muestreo con base en la composición de familias de macroinvertebrados encontrados, de esta forma se logró apreciar que dicha agrupación coincidió con la distancia en campo entre los puntos, de modo que los más cercanos entre sí tendieron a ser más similares que los puntos que se encontraban más distanciados entre sí dentro de cada microcuenca. En el caso de la microcuenca Calderas se formaron tres grupos uno de ellos formado por San Juan Arriba (Linda Vista y San Isidro), y San Juan Abajo, siendo este último según el análisis el menos similar al resto, lo que coincide en cuanto a la calidad del agua de acuerdo con el índice biótico.

El mismo patrón ocurrió en los puntos de C.U. El Corpus (Las Mejías) y C.U. El Corpus en donde el análisis de agrupamiento reflejó una similaridad en cuanto a la composición de familias de macroinvertebrados y la calidad del agua mediante el índice biótico.

En la microcuenca Santa Isabel el punto de San Rafael fue el menos similar respecto a los demás en cuanto a la composición de familias de macroinvertebrados, esto según el análisis de agrupamiento y el índice biótico el cual resultó en un nivel de calidad de agua mala. El resto de los puntos presentaron un nivel de calidad regular (categoría de mejor calidad reportada en el presente estudio) a pesar de que estos contaban con un grado de intervención debido a la presencia de cultivos. Lo anterior se podría explicar debido a que los bosques de ribera estaban poco alterados y estos funcionan como zonas de amortiguamiento de los impactos que pueden tener actividades como la agricultura y ganadería sobre las características fisicoquímicas del agua y la composición de organismos²¹.

El análisis de SIMPER concuerda con los resultados obtenidos del BMWP-CR, donde las familias que mejor representaron a las microcuencas de Calero y Santa Isabel son típicas de la calidad ecológica encontrada en estos sitios, mientras que en Calderas no se detectaron familias que fueran más representativas de esta microcuenca, esto indica que las condiciones ambientales no fueron las ade-

cuadas como para que se desarrollaran comunidades estables, lo que da un respaldo estadístico a los valores del BMWP-CR con mejores calidades ecológicas en Calero y Santa Isabel.

Conclusiones

Ninguna de las fuentes evaluadas en las tres microcuencas presentó una calidad ecológica buena de acuerdo con el índice biótico BMWP-CR, debido a las actividades antropogénicas que se desarrollan en el área de estudio, así como a la influencia de la época lluviosa en que se desarrolló el muestreo.

De las tres microcuencas evaluadas, la de Calderas presentó el mayor porcentaje de puntos con un nivel de calidad del agua mala, lo cual se puede relacionar con la fuerte presión a la que está sometida.

Los valores de calidad ecológica mostraron un patrón que coincidió con la diversidad de familias de macroinvertebrados y reflejaron el grado de intervención debido a actividades humanas en los diferentes puntos.

Contribuciones de los autores

Conceptualización, Johan Rodas Vallejo, Irasema Montoya, Jorge Carranza Sánchez; Metodología, Johan Rodas Vallejo, Irasema Montoya Chang, Gerardo Borjas Machado, Jorge Carranza Sánchez, ; software, Johan Rodas Vallejo, Jorge Carranza Sánchez.; validación, Johan Rodas Vallejo, Irasema Montoya Chang, Jorge Carranza Sánchez, Y.Y. and Z.Z.; analisis formal, Jorge Carranza Sánchez; investigación, Johan Rodas Vallejo ; recursos, Irasema Montoya Chang, Gerardo Borjas Machado; curado de datos, Johan Rodas Vallejo, Jorge Carranza Sánchez.; redacción—redacción borrador original, Johan Rodas Vallejo, Jorge Carranza Sánchez.; redacción—revisión y edición, Johan Rodas Vallejo, Jorge Carranza Sanchez, Irasema Montoya Chang, Gerardo Borjas Machado; visualización, Johan Rodas Vallejo, Jorge Carranza Sanchez, Irasema Montoya Chang, Gerardo Borjas Machado.; supervisión, Irasema Montoya Chang, Gerardo Borjas Machado; administración del proyecto, Irasema Montoya Chang, Gerardo Borjas Machado; adquisición del financiamiento, Irasema Montoya Chang; Todos los autores han leído y están de acuerdo con la versión publicada del manuscrito.

Financiamiento

Esta investigación fue financiada por la Agencia Suiza para Desarrollo y Cooperación (COSUDE), a través del Proyecto Gobernanza Hídrica Territorial en la región 13 del Golfo de Fonseca.

Agradecimientos

Al Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT) de la UNAH por la invitación a desarrollar el presente estudio en el marco del proyecto "Levantamiento y evaluación del catastro del recurso hídrico en microcuencas del río Sampile" del Programa Gobernanza Hídrica Territorial, Región 13, Golfo de Fonseca.

Conflictos de Interés

Los autores declaran que no hay conflictos de interes "The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the results".

Referencias bibliográficas

1. Ecological Society of America. 2003. Sustaining Healthy Freshwater Ecosystems Topics en Ecología.
2. Prat N, Ríos B, Acosta R, Rieradevall M. 2009. Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. Tucumán: Fundación Miguel Lillo.
3. Alba-Tercedor, J. 1996. Macroinvertebrados Acuáticos y Calidad de las Aguas de los Ríos. Departamento de Biología Animal y Ecología. Universidad de Granada, 2 (2): 203-213.
4. López L, Mora J. 2014. Diversidad, Conservación y uso de los macroinvertebrados dulceacuícolas de México, Centroamérica, Colombia, Cuba y Puerto Rico. San José: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Universidad Autónoma de Querétaro y Universidad de Costa Rica.
5. Zerbock, O. 2005. Land use and water quality in El Corpus, Choluteca, Honduras (Thesis Master of Science in Forestry). Michigan Technological University. Michigan.
6. Urioste, S. 2014. Diagnóstico de calidad de agua en dos quebradas influenciadas por actividad minera en el municipio de El Corpus, Choluteca. (Tesis de Licenciatura) Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.
7. Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). 2007. Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de Cuerpos de aguas superficiales. La Uruca, San José: La Gaceta Diario Oficial.
8. Ramírez, A. 2010. Métodos de recolección. En: Springer, M., Hanson, P. & A. Ramírez. Macroinvertebrados dulceacuícolas de Costa Rica. Rev. Biol. Trop. 58(4): 41-50.
9. Thorp JH, Covich AP. 2010. Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates. San Diego: Elsevier.
10. Merritt RW, Cummins KW, Berg MB. 2008. An Introduction to Aquatic Insects of North America. 4th Edition, Dubuque: Kendall Hunt Publishers.
11. Springer M, Hanson P, Ramírez A. 2010. Macroinvertebrados dulceacuícolas de Costa Rica. Biología Tropical 58(4): 53-198.
12. Clarke, R. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. Australian Journal of Ecology 18: 117-143
13. R Core Team. 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
14. QGIS Development Team. 2018. QGIS Geographic Information System. Open-Source Geospatial Foundation Project. <https://qgis.org>
15. Ward, J.V. 1992. Aquatic Insect Ecology, Vol. 1: Biology and Habitat. New York: John Wiley & Sons.
16. García LA, Jiménez F. 2003. Efectos del bosque ribereño y de las actividades antrópicas en las características fisicoquímicas y en poblaciones de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del río Tascalapa, Honduras. Recursos Naturales y Ambiente, 2 (48): 35-46.
17. Palmer MA, Bernhardt ES, Schlesinger WH, Eshleman KN, Fofoula-Georgiou E, Hendryx MS, Lemly AD, Wilcock PR. 2010. Mountain top mining consequences. Science 2(327): 148-149.
18. Flanagan, P. 1992. Parameters of water quality: interpretation and standards. Irlanda: Environmental Research Unit.
19. Custodio M, Cosme F. 2016. Análisis de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas mediante indicadores ambientales, Junin-Perú. Scientia Agropecuaria 7 (1): 33-44.
20. Comité técnico nacional de calidad del agua CTN-CALAGUA-CAPRE. 1995. Norma Técnica Nacional de Calidad de Agua Potable. Tegucigalpa M.D.C.
21. Meza A, Dias L., Walteros J. 2012. Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la Subcuenca del Río Chinchiná. Caldasia, 34(2): 443-456.