



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Índices bióticos y macroinvertebrados acuáticos bentónicos en el control ambiental de cuerpos de agua lóticos**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Ambiental

**AUTORES:**

Cueva Zegarra, Yenifer Maria (ORCID: 0000-0001-7606-1166 )

Joy Mostacero, Patrick Junior (ORCID: 0000-0001-9839-974X )

**ASESOR:**

Dr. Cruz Monzón, José Alfredo (ORCID: 0000-0001-9146-7615 )

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

TRUJILLO-PERÚ

2020

## **Dedicatoria**

Una dedicatoria especial a Dios por su omnipotente protección y guía en nuestro recorrer personal y académico.

A nuestros padres Santos Cueva Ponte, Luisa Teresa Zegarra Guillén, Donato Omar Joy Meza y Elia Maelita Mostacero Florián, quienes nunca soltaron nuestra mano en el camino, siendo ellos el sustento y motivo más hermoso e importante en nuestra vida para alcanzar nuestros logros, además de ser los pilares donde se apoya nuestro desarrollo.

Y a nuestros hermanos quienes persistentes mostraron su apoyo incondicional y fueron constantes para nosotros en todo momento.

Los autores.

## **Agradecimiento**

Agradecemos a Dios por mantenernos con vida y salud, disponiendo y permitiéndonos culminar una de las etapas más bonitas de nuestra vida.

A nuestros padres, por ser la cuna de apoyo incondicional en todos los sentidos y aspectos de nuestro día a día, que nos permitieron alcanzar este importante logro.

A nuestros hermanos por mostrarse incondicionales para nosotros todo el tiempo.

A nuestro asesor el Dr. José Alfredo Cruz Monzón, quien con mucha entrega y dedicación estuvo siempre brindándonos el soporte académico y didáctico con una impecable disposición.

Y a la Universidad César Vallejo, quien nos acogió con mucha responsabilidad forjándonos a ser profesionales de bien, competitivos y con sentido humanista.

A ellos nuestra sincera e infinita gratitud.

Los autores.

## Página del Jurado

## Página del Jurado

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

## Índice de contenidos

	Pág.
Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Página del Jurado .....	iv
Declaratoria de autenticidad.....	vi
Índice de contenidos.....	viii
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras.....	x
Resumen.....	xi
Abstract.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	3
III. METODOLOGÍA.....	9
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	9
3.2. Escenario de estudio.....	9
3.3. Participantes.....	9
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	9
3.5. Procedimiento.....	9
3.6. Rigor científico.....	14
3.7. Método de análisis de datos.....	14
3.8. Aspectos éticos.....	14
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
V. CONCLUSIONES.....	32
VI. RECOMENDACIONES.....	33
REFERENCIAS.....	34
ANEXOS.....	52

## Índice de tablas

Tabla N°1: Bases de datos como bases de búsqueda.....	10
Tabla N°2: Criterios de inclusión.....	11
Tabla N°3: Artículos de las “cinco bases de datos” .....	12
Tabla N°4: Artículos con el criterio de inclusión de “acceso libre” .....	12
Tabla N°5: Artículos referente a cuerpos de agua “lóticos” .....	13
Tabla N°6: Artículos con los criterios de inclusión “índices bióticos” y “años” .....	13
Tabla N°7: Listado de los 52 artículos recuperados y evaluados.....	19
Tabla N°8: Principales casos en los que se aplican índices bióticos.....	30

## Índice de figuras

Figura N°1: Resumen del N° Artículos en la materia estudiada por año.....	15
Figura N°2: Cuerpos hídricos evaluados en los artículos.....	16
Figura N°3: Índices bióticos utilizados en artículos de búsqueda primaria.....	17
Figura N°4: Tipos de biomonitoreos y sus aportes en control ambiental.....	24
Figura N°5: Artículos que utilizan los índices bióticos BMWP, EPT y ABI.....	26
Figura N°6: Resolución taxonómica de los MAB.....	28

## Resumen

Los índices bióticos y macroinvertebrados acuáticos bentónicos han dado vital funcionalidad y aplicación a los biomonitoreos para el control ambiental de cuerpos lóticos, generando aportes no solo ecológicos sino también económicos, comportándose como una herramienta fundamental para el manejo y gestión de aguas superficiales. Por ello la presente investigación tuvo como objetivo principal realizar una revisión sistemática para identificar y caracterizar las investigaciones realizadas usando macroinvertebrados bentónicos así como los índices bióticos utilizados a fin de conocer la viabilidad de su utilización para el control ambiental de diferentes cuerpos lóticos. La metodología se basó en una búsqueda progresiva para recuperar artículos científicos de bases indexadas los cuales cumplieron con los criterios de inclusión establecidos, llegándose a recuperar 52 artículos, que tras ser evaluados se identificaron los principales aportes de macroinvertebrados e índices bióticos en el control ambiental de cuerpos lóticos, asimismo se conjeturó que el índice más utilizado es el BMWP correspondiendo al 63%, por otro lado se determinó que la resolución taxonómica con mayor viabilidad fue la taxa a nivel de familia con un 60%, finalmente, se identificaron los principales casos en los que se aplican adecuadamente los índices bióticos según la realidad problemática.

**Palabras clave:** macroinvertebrados, índice biótico, biomonitoreo, lótico.

## Abstract

The biotic indexes and macroinvertebrate benthic aquatic have given vital functionality and application to biomonitoring for environmental control of lotic water ecosystems, generating contributions, don't only ecological but also economics, behaving as a fundamental tool for the handling and management of surface waters. Therefore, the main objective of this investigation was to carry out a systematic review to identify and characterize the investigations carried out using benthic macroinvertebrates as well as the biotic indexes used with the purpose to know the viability of their use for the environmental control of different lotic water ecosystems. The methodology was based on a progressive search to retrieve scientific articles from indexed bases, which fulfilled with the standards of established inclusion, reaching 52 articles, which after being evaluated, we can identified the main contributions of macroinvertebrates and biotic indexes in the environmental control of Lotic water ecosystems, it was also conjectured that the most used index is the BMWP, corresponding to 63%, on the other way it was determined that the taxonomic resolution with the greater viability was the taxa at the family level with 60%, finally, could be identified the main cases where could be applied fitly the biotic indexes according the problematic reality.

**Keywords:** macroinvertebrates, biotic index, biomonitoring, lotic.

## I. INTRODUCCIÓN

Salvaguardar el buen estado ambiental de los ecosistemas acuáticos es uno de los principales desafíos ecológicos mundiales (Kumari y Maiti, 2020, p.2; Restrepo, 2018, p. 3; Dias, et al. 2016, p. 2; Acosta, Prat y Ríos, 2014, p. 2); los impactos generados por la actividad antropogénica son cada vez mayores (Gómez, Novelo y Aldana, 2017, p. 2) y como efecto nos trae un clima cambiante que altera la integridad ecológica y biodiversidad de los ríos, lagos y sistemas costeros (Ovaskainen, et al. 2019, p. 3; Cobo, et al. 2018, p. 2). Los bienes y servicios de los ecosistemas acuáticos son fundamentales para el bienestar humano (Lock, et al. 2018, p. 2; Gaigher, et al. 2019, p. 1), es por ello que para su gestión efectiva y de conservación, se necesitan estrategias de control ambiental relacionadas con escala, desde cuerpos de agua locales hasta amplias regiones (Flores y Huamantico, 2017, p.2; Nguyen, et al. 2014). Con el paso de los años se desarrollaron herramientas de control ambiental dando lugar a los biomonitoreos y junto a ellos los índices bióticos para evaluar el efecto de las intervenciones antropogénicas en ecosistemas acuáticos (Roldán, 2016, p. 4), destacando los que dependen del uso de bioindicadores (Sweeney, et al. 2020, p. 5; Custodio y Chávez, 2018, p. 2). La utilización de tales bioindicadores es reconocida a nivel internacional (Mendoza, et al. 2018, p. 3) y su integración en estudios ecológicos han aumentado significativamente en las últimas décadas (Castilla y Nuñez, 2019, p. 3).

Al observar la historia de evaluaciones de la calidad del agua haciendo uso de bioindicadores, se observa que se han desarrollado al menos 100 índices en las últimas decenas de años, de los cuales el 60% son bióticos (Kusza, 2015, p. 2; Fonseca y Lorion, 2014, p. 2). Los índices bióticos son expresiones numéricas que reflejan la sensibilidad ecológica de taxones individuales en base a la diversidad cuantitativa de especies (Castro, et al. 2018, p. 2; Borro, et al. 2014, p. 2).

El rol de los macroinvertebrados e índices bióticos en el control ambiental de cuerpos de agua lóticos han tenido buena acogida con el transcurrir de los años (Krajenbrink, et al. 2018, p. 3; Ventura, et al. 2017, p. 3). Sin embargo las investigaciones en la materia estudiada siempre han presentado ciertas consideraciones opuestas para utilizar los índices bióticos (Kusza, 2015, p 2),

esto puede suceder debido a posibles diferencias de estudio o fallas en el mismo. Por tal motivo, queda un vacío acerca de la idoneidad real y actual de los índices bióticos más confiables que deben ser utilizados en los controles ambientales (Peña, et al. 2019, p. 2).

Es así que la presente revisión sistemática exploró en la investigación de literatura científica ayudando a resolver una pregunta claramente formulada que utiliza sistemas metodológicos explícitos analizando críticamente la investigación relevante, mas este artículo se guio por la pregunta principal de investigación: ¿Qué evidencias existen sobre índices bióticos que utilizan macroinvertebrados bentónicos que hayan probado su idoneidad para el control ambiental y puedan servir para una propuesta viable y aplicable en cualquier cuerpo de agua lótico?, resaltando así la importancia que esta información representa ya que sirve para posteriores investigaciones, facilitando así la toma de decisiones acerca del uso adecuado e idóneo de los índices bióticos y su aplicación a diferentes realidades y propósitos del objeto que se persiga con la investigación (Oeding, Cox y Taffs, 2019, p. 2), al mismo tiempo generando un impacto positivo en el control ambiental de cuerpos hídricos, dándoles un valor agregado a la gestión y manejo eficiente del agua y la huella que dejan las actividades antrópicas sobre el recurso (Granda, Machado y Endara, 2018, p. 3).

Por ello la presente investigación tuvo como objetivo principal realizar una revisión de la literatura científica para identificar y caracterizar las investigaciones realizadas usando macroinvertebrados bentónicos así como los índices bióticos utilizados a fin de conocer la viabilidad de su utilización para el control ambiental de diferentes cuerpos lóticos. Asimismo evaluar los aportes de los MAB (macroinvertebrados acuáticos bentónicos) en los biomonitoreos para el control ambiental de cuerpos lóticos, además determinar el índice biótico más utilizado para el control ambiental de cuerpos de agua lóticos, así como determinar el nivel de taxonomía de macroinvertebrados bentónicos más viable para el control ambiental de cuerpos de agua lóticos y finalmente determinar los principales casos en los que se aplican adecuadamente los índices bióticos para la evaluación de calidad en cuerpos de agua lóticos.

## II. MARCO TEÓRICO

Custodio y Chávez (2018) en su trabajo de investigación “Quality of the aquatic environment of high Andean rivers evaluated through environmental indicators: a case of the Cunas River, Peru”, tuvieron como principal objetivo evaluar la calidad ecológica del agua del río Cunas utilizando bioindicadores, en específico macroinvertebrados, en época de avenida y época de estiaje, identificando también las perturbaciones antropogénicas sobre el cuerpo de agua, así mismo determinaron la carga DBO5 contribuida por la descarga de aguas residuales. Recogieron una muestra de agua y de macroinvertebrados acuáticos bentónicos y se determinó la calidad del agua y el estado trófico. Sus resultados datan que la carga de DBO5 que contribuyen la carga de agua residual de las actividades pecuaria, piscícola y urbana fueron de 284.31 Kg/día, 23,27 Kg/día y 349,70 Kg/día. La calidad de agua según el índice EPT (*Ephemoptera*, *Plecoptera* y *Trichoptera*) fue buena y según el índice biótico BMWP fue regular en los tres sectores estudiados S1, S2 y S3. Por lo que concluyen que la calidad del río Cunas soporta perturbaciones de la actividad humana que repercuten en la calidad y el estado trófico.

Además, Custodio y Chaname (2016), en su artículo “Análisis de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas mediante indicadores ambientales, Junín-Perú”, se plantearon como principal objetivo examinar la composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos del río Cunas mediante bioindicadores, se establecieron 3 puntos de muestreo en diferentes épocas, donde se hizo un muestreo de agua para el análisis fisicoquímico y haciendo uso de una red triangular D-Net de 250µm se colectaron macroinvertebrados bentónicos acuáticos conservándolos en una solución de alcohol y llevándolas al laboratorio para identificar su composición taxonómica. Posteriormente se analizó la riqueza, abundancia y la diversidad de los MBA mediante el índice de Shannon- Weaver y SIMPER; obteniendo significantes diferencias en los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos como conductividad, sólidos totales disueltos y temperatura,

además que la fauna de macroinvertebrados bentónicos acuáticos está formada por 7 clases, doce órdenes y 26 familias presentando los órdenes *Díptera* y *Ephemeroptera* más del 80% del total de la taxa. Asimismo, concluyen que los vertidos de aguas servidas derivadas de acciones antropogénicas, actividades urbanas y pecuarias con alto contenido de materia orgánica superan los LMP, influyendo significativamente sobre la diversidad de MBA del río Cunas. La riqueza, abundancia y diversidad presentaron diferencias significativas según la época y el sector.

Asimismo, Ramírez, et al. (2018) en su investigación “Influencia de la ganadería en los macroinvertebrados acuáticos en microcuencas de los Andes centrales de Colombia” tuvo como objetivo central evaluar la significancia de la actividad ganadera y de las zonas ribereñas sobre la composición de invertebrados bentónicos acuáticos en microcuencas andinas, se tomaron 9 puntos en cabecera, 5 con cubierta ribereña y 4 completamente desprotegidos, se capturaron los macroinvertebrados utilizando una red Surber y D, además se determinó el índice de calidad de hábitat, índice de Shannon Weaver (H), para analizar la variedad de los macroinvertebrados acuáticos bentónicos y los índices bióticos como el ETP Y BMWP. En cuanto a composición de macroinvertebrados presentó una elevada riqueza taxonómica donde se colectaron 98943 especímenes distribuidos en 9 clases, 17 órdenes y 56 familias. El orden más abundante fue el *Veneroida* y el que presentó mayor riqueza de género fue el *Coleoptera*, seguido de *Díptera*, *Trichoptera* y *Ephemeroptera*. Asimismo, los corredores con vegetación ribereña presentaron un mejor Índice de Calidad de Hábitat y riqueza de género que las quebradas desprotegidas ( $P < 0.05$ ). Concluyendo que la presencia de vegetación ribereña ayuda a reducir la contaminación que se desencadena de las prácticas ganaderas y mejora los servicios ambientales en las microcuencas.

Por su lado, Goncharov, et al. (2020) con su investigación “Ecological assessment of the Selenga River basin, the main tributary of Lake Baikal, using aquatic macroinvertebrate communities as bioindicators”, evaluaron la calidad del agua en regiones de puntos críticos contaminados previamente

identificados en la cuenca baja del río Selenga utilizando comunidades de macroinvertebrados acuáticos residentes como bioindicadores. Con ello descubrieron que las comunidades de macroinvertebrados bentónicos dentro del río Selenga son relativamente sensibles a la contaminación del agua, como lo resaltaron tres índices bióticos evaluados: ASPT; EPT; y TBI. El impacto humano en la calidad de agua de la cuenca del río Selenga fue evidente debido a la disminución significativa de los índices bióticos en varios lugares de muestreo, incluido agua abajo del punto de descarga de agua residuales de la ciudad de Ulan-Ude, en el río Dzhida agua debajo de la confluencia del río Modonkul. Al mismo tiempo, su estudio reveló una alta capacidad de autorregeneración del ecosistema acuático en toda la cuenca; con comunidades de macroinvertebrados bentónicos residentes, mostrando una recuperación dentro de 2 a 5 Km aguas debajo de la fuente de contaminación.

El control ambiental de cuerpos hídricos comprende las diversas herramientas estratégicas destinadas a una gestión integral y manejo efectivo del recurso, además de asegurar su adecuado uso, prevenir la contaminación y minimizar conflictos que esporádicamente provoca el acceso al agua dulce (Damanik, et al. 2016). Es entonces donde los biomonitoreos inician su participación dentro del control ambiental, velando por cumplir el propósito que éste alberga frente al cuidado del medio ambiente y principalmente del recurso hídrico, cumpliendo un rol muy importante en su evaluación de calidad ecológica (Ovaskainen, et al. 2019).

Los biomonitoreos han ocupado un lugar importante en el control ambiental de cuerpos lóticos, y es que son de gran beneficio no solo ecológico sino también económico (Kumari y Maiti, 2020). Desde un punto de vista integral, dichos biomonitoreos pretenden conocer el estado de un ecosistema acuático, usando los organismos que lo conforman, como principales indicadores de su salud; dichas comunidades reflejan las condiciones ambientales del cuerpo hídrico, por lo que, mediante su análisis es posible determinar los efectos que la actividad antropogénica tiene sobre los organismos y por ende sobre el cuerpo de agua. El principio detrás de su aplicación es tanto en periodos de

exposición a corto y largo plazo; por lo tanto están representando atributos de la comunidad de bioindicadores como la riqueza de taxa, diversidad, composición y abundancia (Munné y Prat, 2019).

Los bioindicadores son microorganismos o comunidades de organismos que a través de la presencia y abundancia reflejan el estado del hábitat o del ecosistema que habitan (Fonseca y Ramírez, 2016). Los indicadores bióticos son asociados principalmente con la calidad del agua, es decir presentan tolerancias ambientales estrechas lo que los hace sensibles a las alteraciones en el medio donde viven, asimismo es importante aclarar que los bioindicadores se refieren a la población de organismos de una especie, género o familia indicadora mas no a un solo organismo y en el mejor de los casos a una comunidad indicadora (Chapas, et al. 2017). Por sus particularidades son sensibles a la contaminación, dispersión, reproducción y su amplia distribución, los organismos bioindicadores pueden ser utilizados como evaluadores de las condiciones ambientales que resulten complicadas y costosas de medir (Acosta, Prat y Ríos, 2014), dentro de los bioindicadores el grupo más significativo en el campo son los macroinvertebrados (Gomes, et al. 2018).

Roldán (2016), sostiene que la denominación de macroinvertebrados acuáticos bentónicos (MAB), se debe a su tamaño que va de 0.5mm hasta alrededor de 5.0mm, por lo que son organismos observables a simple vista, habitan en el fondo de los ecosistemas acuáticos y adheridos a las rocas, vegetación acuática y troncos sumergidos. Los platelmintos, insectos, crustáceos y moluscos, conforman esencialmente las poblaciones de macroinvertebrados, además es verídico que la riqueza y abundancia de las comunidades de macroinvertebrados reflejan la calidad de los ecosistemas acuáticos; es por ello que los diferentes caminos destinados a la evaluación usando dichos organismos han sido considerablemente utilizados desde hace varias décadas como una parte fundamental del biomonitoreo de la calidad del agua (Kumari y Maiti, 2020).

Asimismo, la resolución taxonómica permite clasificar a los organismos a partir de una jerarquía de inclusión (cada grupo abarca a otros menores mientras

está subordinado a uno mayor) (Domek, et al. 2018). Las categorías principalmente van desde la que más abarca hasta la menor, las cuales son clase, orden, familia, género y especie (Springer y Morales, 2014). Además, entre más alta sea la resolución taxonómica (nivel especie), más fidedigna será la asignación de los valores de tolerancia (Tamaris y Pinilla, 2018).

En base a ello, se utilizan índices bióticos los cuales son una herramienta que permite conocer la calidad biológica del agua expresado en un valor numérico, se basa en las respuestas de los diferentes microorganismos a las alteraciones del medio teniendo en cuenta el grado de sensibilidad o tolerancia de las especies presentes (Meneses, Castro y Jaramillo, 2019). Dichos índices están limitados para un área geográfica y un tipo de contaminación normalmente orgánica, se basan en el concepto de bioindicación (organismos indicadores) pues permiten valorar el estado biológico de un ecosistema fluvial afectado por un proceso de contaminación, asignándoles un valor numérico en relación de su tolerancia a la polución (Sharifinia, et al. 2016). Los organismos más sensibles reciben un valor numérico mayor y los más tolerantes un valor numérico menor, las sumas de todos los valores reflejan la calidad del ecosistema. (Benetti, Bilbao, y Garrido, 2014).

Existen una variedad de índices bióticos dentro de los cuales se encuentran el Biological Monitoring Working Party (BMWP), el cual se basa en identificación de los macroinvertebrados acuáticos bentónicos a nivel de familia y no requiere de mucho esfuerzo en la resolución taxonómica, de tiempo y dinero, por el contrario, genera mucha más información sobre la calidad biológica del agua (Oeding, Cox y Taffs, 2019). Los factores biológicos han tenido un creciente posicionamiento en los estudios de los ecosistemas acuáticos, debido a que las variables fisicoquímicas solo dan una idea puntual sobre la calidad del agua y no lo determinan con precisión (Álvarez, et al. 2016).

Además, también figura el índice biótico ABI "Andean Biotic Index" quien sirve para evaluar la estabilidad biológica del agua en ríos altoandinos, tomando valores numéricos del 1 al 10 por cada familia recolectada durante el muestreo

dependiendo de su nivel de tolerancia a la polución, siendo este una adaptación del BMWP (Cobo y Goethals, 2020). Valores bajos se le asigna a las familias más tolerantes y valores altos a las familias más sensibles, la adición de los puntajes de las familias recolectadas en un determinado sitio corresponde al puntaje del ABI, siendo un indicador de la calidad biológica del agua, una de las ventajas del índice ABI es que es especialmente para evaluar ríos altoandinos (>2000) utilizando como indicadores de calidad a los MBA a partir de la información taxonómica a nivel familiar (Acosta, Prat y Ríos, 2014). Además, la técnica sólo requiere datos cualitativos (presencia o ausencia), por lo que es una alternativa de bajo costo, sencilla y de poca inversión de tiempo, además es reconocido por ser una adaptación del BMWP (Roldán, 2016).

Asimismo, el índice EPT "*Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera*", que refleja la presencia o ausencia de los órdenes *Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera* en el medio acuático, este índice arroja un determinado valor en función a estos 3 grupos de taxa ya que su alta sensibilidad a la contaminación permite denominarlos como indicadores de buena calidad y se obtiene evaluando la abundancia de la taxa de estos órdenes presentes en la muestra (Custodio y Chávez, 2018), el valor numérico resultante expresa el impacto negativo de la contaminación sobre la comunidad biológica y se basa en la capacidad que tienen los macroinvertebrados para reflejar el estado y condiciones ambientales del medio, adicionalmente la presencia o ausencia de un género, una especie o familia, y en algunos casos su densidad o abundancia de estas es lo que se utiliza como indicador de la calidad de cuerpos lóticos (Flores y Huamantico, 2017).

Un cuerpo lótico es el ecosistema de un río, arroyo o quebrada dentro del cual existen interacciones bióticas con las abióticas es decir entre plantas, animales y microorganismo con las variables ambientales, suele tener diversas formas presentando un flujo unidireccional además de diversidad de micro hábitats y un cambio físico continuo (Restrepo, 2018). Asimismo se conoce como calidad del agua a la estabilidad de parámetros físicos, químicos y biológicos de un cuerpo natural de la misma; sin embargo, esta revisión sistemática se enfocó en la parte biológica y/o estado ecológico de cuerpos lóticos con el empleo de bioindicadores acuáticos (Chagas, et al. 2017).

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

El tipo de investigación es cualitativa básica, ya que las conclusiones muestran aportes de información para futuras investigaciones, fomentando así el interés por la investigación científica sobre la materia en estudio.

El diseño de la investigación es no experimental, puesto a que se ajusta a una revisión sistemática.

#### **3.2. Escenario de estudio**

Se consideraron artículos auténticos de bases de datos de revistas indexadas que abordaban temas sobre índices bióticos y macroinvertebrados acuáticos bentónicos en cuanto a su funcionalidad dentro del control ambiental de cuerpos de agua, albergando información nacional e internacional.

#### **3.3. Participantes**

Los participantes en la presente tesis son los artículos científicos que datan de índices bióticos y macroinvertebrados en el control ambiental de cuerpos de agua lóticos.

#### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Se realizó una revisión de literatura científica en las bases de datos de Science Direct, Redalyc, Scielo, Dialnet y Research Gate.

#### **3.5. Procedimiento**

En la presente sección se describe la metodología utilizada para la revisión sistemática de la información relacionada con macroinvertebrados acuáticos bentónicos e índices bióticos en el control ambiental de cuerpos hídricos. La metodología incluye el proceso de búsqueda y los criterios de inclusión establecidos en la fase correspondiente.

### 3.5.1. Desarrollo de un protocolo de revisión

En esta sección se presenta el proceso de búsqueda con el fin de recolectar los artículos en relación a la materia en estudio.

#### 3.5.1.1. Términos clave para la búsqueda

Conjeturando que los términos clave para la búsqueda fueron: “Macroinvertebrados acuáticos bentónicos”, “índice biótico”, “biomonitoreo”, “Calidad del agua”, y “control ambiental”, asimismo dichos términos clave en los idiomas de inglés y portugués.

#### 3.5.1.2. Selección de las fuentes

El proceso de búsqueda de información se realizó utilizando términos clave relacionados a la materia en estudio, incluyéndose así bases de datos con literatura en inglés, español y portugués. De acuerdo a los términos indicados se realizó la búsqueda en diversas bases de datos mostrándose en la tabla N°1:

Tabla N°1: Bases de datos como fuentes de búsqueda.

<b>Términos clave de búsqueda</b>	<b>Base de datos</b>
“Macroinvertebrados acuáticos bentónicos”, “índice biótico”, “biomonitoreo” “Calidad del agua”, “control ambiental”	Science Direct
	Redalyc
	Scielo
	Dialnet
	Research Gate

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5.1.3. Selección de los estudios primarios

Los artículos considerados se caracterizan principalmente por abordar aspectos relacionados a la calidad del agua en base a macroinvertebrados acuáticos bentónicos, estos como bioindicadores en el control ambiental de cuerpos hídricos. Son pocos los criterios de inclusión (Tabla N°2) que conducen la búsqueda en las bases de datos, respondiendo así al tipo de literatura, acceso, tipo de cuerpo hídrico, índices bióticos y tiempo de publicación. Solo se seleccionaron los artículos de literatura científica indexada que estén dentro de las bases de datos de Redalyc, Science Direct, Dialnet, Research Gate y Scielo, asimismo alegando que sean de acceso abierto, donde alberguen estudios en cuerpos de agua lóticos, usando solo índices bióticos EPT, BMWP y ABI, finalmente que dicha literatura científica este dentro de los años 2014 y 2020.

Tabla N°2: Criterios de inclusión

<b>Criterio</b>	<b>Inclusión</b>
Tipo de literatura	Artículos de revistas indexadas
Acceso a la literatura	Abierto
Tipo de cuerpo hídrico	Lótico
Índices bióticos	EPT, BMWP y ABI
Años de publicación	2014 – 2020

Fuente: Elaboración propia

Considerando el criterio de inclusión “base de datos” se recolectaron las cantidades detalladas en la tabla N°3.

Tabla N°3: Artículos de las “cinco bases de datos”.

Base de datos	N° Artículos
Science Direct	165
Redalyc	113
Scielo	167
Dialnet	51
Research Gate	53
<b>Total</b>	<b>549</b>

Fuente: Elaboración propia.

En un principio fueron 549 los artículos recuperados de las diferentes bases de datos de revistas indexadas de los cuales 47 artículos correspondían al mismo artículo pero en diferente idioma.

Aplicando el criterio de inclusión artículos de “acceso libre”, la muestra se redujo a 236 (Tabla N°4).

Tabla N°4: Artículos con el criterio de inclusión de “acceso libre”

Base de datos	N° Artículos
Science Direct	81
Redalyc	58
Scielo	79
Dialnet	8
Research Gate	10
<b>Total</b>	<b>236</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N°5 se muestra la cantidad de artículos luego de considerar aquellos que en su contexto se desarrollen en cuerpos de aguas “lóticos”, se encontraron 168 artículos.

Tabla N°5: Artículos referente a cuerpos de agua “lóticos”.

Base de datos	N° Artículos
Science Direct	57
Redalyc	39
Scielo	58
Dialnet	7
Research Gate	7
<b>Total</b>	<b>168</b>

Fuente: Elaboración propia.

Además, considerando como criterios de inclusión los “índices bióticos EPT, BMWP y ABI”, y que dicha literatura científica este dentro de los años 2014 y 2020 la muestra de artículos disminuyo a 52, los que fueron considerados para el desarrollo de la investigación (Tabla N°6).

Tabla N°6: Artículos con los criterios de inclusión “índices bióticos” y “años”.

Base de datos	N° Artículos
Science Direct	9
Redalyc	9
Scielo	23
Dialnet	6
Research Gate	5
<b>Total</b>	<b>52</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.5.1.4. Extracción de datos

Los datos fueron extraídos de cada uno de los artículos recuperados (literatura seleccionada) basándose en las similitudes que estos presentaron y que además permitieron obtener hallazgos referente a los objetivos que persigue la presente investigación.

#### 3.6. Rigor científico

Esta tesis está respaldada por la literatura científica publicada en bases de datos de revistas indexadas, que cuentan con altos estándares de calidad de investigación científica en cuanto a sus artículos de publicación se refiere, que además han estudiado ampliamente el campo ambiental del recurso hídrico y afines.

#### 3.7. Método de análisis de datos

Se presentó una visión general con figuras descriptivas en base a la búsqueda primaria con 549 artículos científicos, mostrando el número de artículos por año dando a conocer la tendencia de la investigación en la materia estudiada. Asimismo figuras con el resumen porcentual de cuerpos de agua en los que se realizaron los estudios, e índices bióticos utilizados.

Además se presentaron figuras y tablas que muestran los hallazgos en los 52 artículos recuperados haciendo referencia a los objetivos.

#### 3.8. Aspectos éticos

La presente tesis se encuentra sustentada en los principios de la ética, ya que se ha realizado con información verídica consecuentemente. Toda la información que se reporta en esta tesis fue desarrollada con fuentes confiables, verdaderas y citadas minuciosamente mostrando respeto a los autores y por ende a la autenticidad de su trabajo.

#### IV. RESULTADOS

##### Visión general

En base a la búsqueda en las bases de datos se recuperaron un total de 549 artículos, de los cuales 165 corresponden a Science Direct, 113 a Redalyc, 167 a Scielo, 51 a Dialnet y finalmente 53 a Research Gate, resultados que se consolidaron por año de publicación y que se muestran en la figura N°1.



Figura N°1: Resumen del N° Artículos en la materia estudiada por año.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N°1 se observa el creciente interés por estudiar los índices bióticos y macroinvertebrados bentónicos en los biomonitoreos de calidad de agua para el control ambiental del mismo (Roldán, 2016) (Mendoza, et al. 2018) (Ventura, et al. 2017) se evidencia que en los dos últimos años 2019 y 2020 se tiene un número considerable de artículos lo cual demuestra el buen posicionamiento que han tenido las investigaciones en materia estudiada a través de los años (Meneses, Castro y Jaramillo, 2019) (Ovaskainen, et al. 2019). Esto podría indicar que el uso de macroinvertebrados como indicadores de calidad de agua hoy en día, constituye un instrumento fundamental y de bajo costo para el control ambiental de cuerpos lóticos (Kumari y Maiti, 2020) por lo que

es ampliamente utilizado, muy por el contrario los análisis físico-químicos presentan la condición del agua en el momento del muestreo (Springer y Morales, 2014; Ventura, et al. 2017). Quizás otra de las razones por la cual se está incidiendo en este tipo de investigaciones es debido a que los indicadores biológicos expresan tendencias con el pasar del tiempo, es decir, se puede hacer una comparación de condiciones pasadas y condiciones presentes (Gomes, et al. 2018). De igual manera, con el uso de bioindicadores es posible detectar eventos puntuales de toxicidad (Smith, et al. 2019), los cuales usualmente no son detectados por las mediciones físicoquímicas estándares (Springer y Morales, 2014). Ambos monitoreos cumplen un papel fundamental en la evaluación de calidad ecológica del agua (Domek, et al. 2018), por tal motivo sería posible realizar ambos en una evaluación y complementar así los resultados, pudiéndose tener mayor información en el estudio (Flores y Huamantico, 2017).

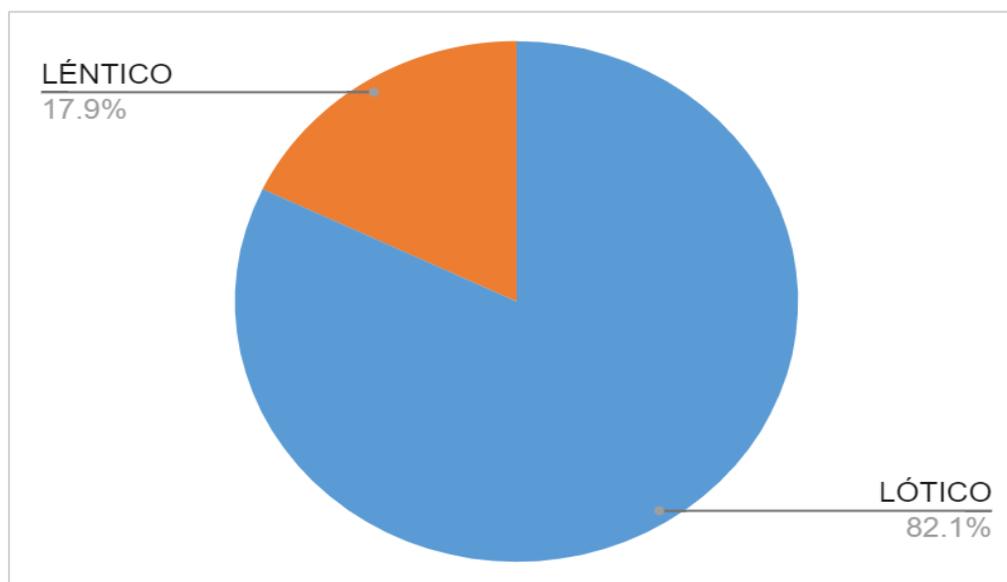


Figura N°2: Cuerpos hídricos evaluados en los artículos.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N°2 se muestra la distribución de las publicaciones en las bases de datos revisadas en función al tipo de cuerpo hídrico considerando que los ríos y arroyos forman parte de cuerpos lóticos (Damanik, et al. 2016) y los lagos, lagunas y humedales corresponden a

cuerpos lénticos (Roldán, 2016; Álvarez, et al. 2016). La diferencia porcentual, probablemente se debe a que la mayoría de métodos e índices para la evaluación de la calidad biológica del agua han sido desarrollados principalmente para ecosistemas lóticos (Fonseca y Ramírez, 2016), ya que los estudios en cuerpos lénticos son más complejos por la gran diversidad y consecuente variabilidad de su hidrología, por lo que la aplicación muestra que no está bien adaptada para este tipo de ambientes (Restrepo, 2018), sin embargo deja un amplio campo de estudio abierto para realizar investigaciones en la materia (Custodio y Chaname, 2016).

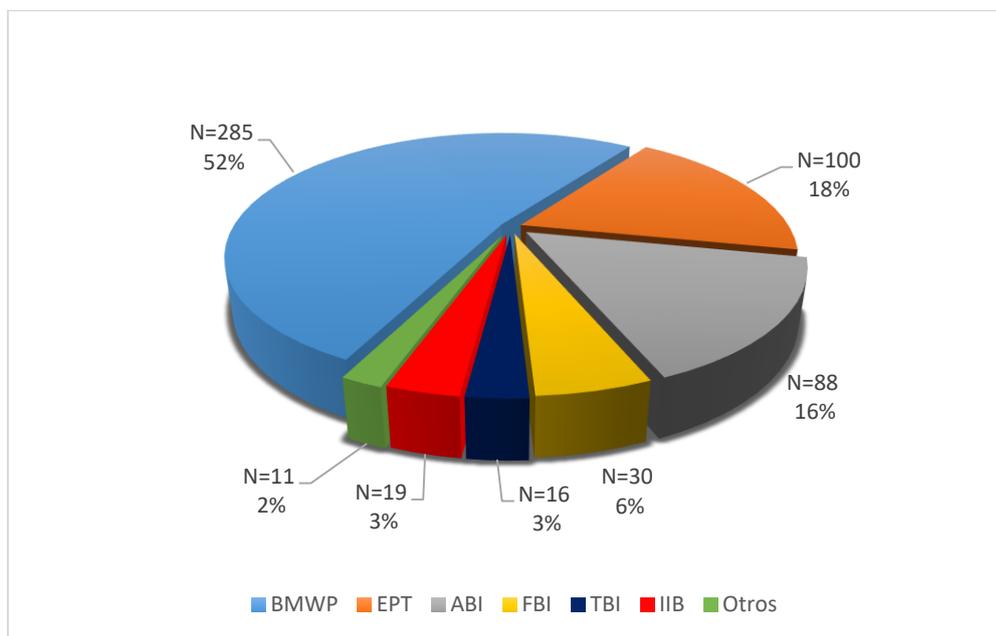


Figura N° 3: Índices bióticos utilizados en artículos de búsqueda primaria.  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura N°3 se evidencian los artículos identificados en la búsqueda primaria que datan de la utilización de diferentes índices bióticos dentro de ellos BMWP (Biological Monitoring working Party), EPT (Ephemeroptera - Plecoptera - Trichoptera), ABI (Índice Biótico Andino), FBI (Family Biotic Index), TBI (Trent Biotic Index), IIB (Índice de Integridad Biótica), entre otros. Los análisis de los artículos identificados evidencian que el índice biótico más utilizado en los estudios es el BMWP

con el 52% (Dias, et al. 2016; Roldán, 2016; Damanik, et al. 2016) mostrando ser uno de los índices más populares actualmente, además este índice se ha adecuado a diferentes países de América del Sur como Colombia y Brasil (Meneses, Castro y Jaramillo, 2019; Restrepo, 2018; Mendoza, et al. 2018; Ventura, et al. 2017) entre otros. Asimismo se muestra la utilidad del Índice EPT con un significativo y sobresaliente porcentaje, lo que podría hacer referencia a que sus características de aplicación también son altamente flexibles en su aplicación (Romero, et al. 2014; Sabino, et al. 2015), así como también el Índice ABI con el 16%, resumen porcentual bajo, que probablemente se deba a su principal característica de aplicación en ríos altoandinos, (Custodio y Chávez, 2018). Aparentemente el BMWP, EPT y el ABI son los más utilizados, sin embargo existe una gran diversidad de índices bióticos que están siendo utilizados en los biomonitoreos de calidad de agua en el control ambiental del mismo (Kumari y Maiti, 2020), además cada índice tiene ciertas características particulares lo que les hace ser aplicativos según la necesidad del estudio (Angulo, et al. 2016; Acosta y León, 2015).

Con los artículos recuperados se dan a conocer los siguientes hallazgos a través de subtemas referentes a los objetivos de la presente revisión sistemática.

Tabla N°7: Listado de los 52 artículos recuperados y evaluados.

N°	Artículo	Aporte de los MAB en biomonitoreos	Índice biótico utilizado	Resolución taxonómica	Principales casos en los que se aplican adecuadamente los índices bióticos					
					C1	C2	C3	C4	C5	C6
1	Utilización de macroinvertebrados acuáticos como herramienta para determinar la calidad del agua en la quebrada Santo Tomás, municipio de Pensilvania, Colombia	Diagnóstico	BMWP/Col	Familia	X	X	X	X	X	X
2	Uso de Macroinvertebrados Acuáticos como Bioindicadores de Contaminación del Agua de la Ciénaga Mata de Palma (Colombia)	Periódico	BMWP	Familia	X	X	X	X	X	X
3	Macroinvertebrados bentónicos para evaluar la calidad de las aguas de la cuenca alta del río Huallaga, Perú	Periódico	BMWP	Familia	X	X		X	X	
4	Quality of the aquatic environment of high Andean rivers evaluated through environmental indicators: a case of the Cunas River, Perú	Diagnóstico	EPT	Familia	X	X	X			
5	Comparación de la calidad del agua en dos ríos altoandinos mediante el uso de los índices MBWP/Col y ABI	Diagnóstico	BMWP ABI	Familia	X	X	X	X	X	X
6	Calidad del agua de un río andino ecuatoriano a través del uso de macroinvertebrados	Diagnóstico	BMWP	Familia	X	X		X	X	
7	Evaluación de la calidad ecológica de los ríos en Puerto Rico: principales amenazas y herramientas de evaluación	Periódico	BMWP	Clase	X	X		X	X	
8	Application of physico-chemical indexes and BMWP / Col. to establish the impact of urbanization on Río Frío (Bucaramanga, Colombia)	Periódico	BMWP	Familia	X	X	X	X	X	X

9	The Andean Biotic Index (ABI): revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation	Periódico	ABI	Familia		X	X	X	X
10	Evaluación de la calidad ecológica de quebradas andinas en la cuenca del río Magdalena, Colombia	Diagnóstico	BMWP/Col	Familia	X	X	X	X	X
11	Evaluación de la calidad del agua en algunos puntos afluentes del río Cesar (Colombia) utilizando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de contaminación	Diagnóstico	BMWP/Col	Familia	X	X	X	X	X
12	Integrated analysis of water quality from two rivers used for public supply in Southern Brazil	Periódico	EPT	Familia	X	X	X		
13	Comparing two biological indexes using benthic macroinvertebrates: positive and negative aspects of water quality assessment	Diagnóstico	BMWP	Familia	X	X	X	X	X
14	Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en la quebrada La Calabozza (Yopal, Casanare)	Diagnóstico	EPT	Familia	X	X	X		
15	Caracterización de la calidad de agua mediante macroinvertebrados bentónicos en el río Puyo, en la Amazonía Ecuatoriana	Periódico	BMWP/Cr	Familia	X	X	X	X	X
16	Efectos de un derrame de petróleo crudo en la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de un río amazónico ecuatoriano	Periódico	BMWP	Familia	X	X	X	X	X
17	Responses of aquatic macroinvertebrates to human pressure in a tropical highland volcanic basin: Birris River, Irazú Volcano (Costa Rica)	Diagnóstico	EPT	Orden	X	X	X		
18	Composition and spatiotemporal distribution of benthic macrofauna in a macrotidal estuary on the Amazonian Coast of the State of Maranhão, Brazil	Periódico	BMWP	Familia	X	X	X	X	X
19	Biodiversity of benthic macroinvertebrates on hard substrates in the Currais Marine Protected Area, in Southern Brazil	Periódico	EPT	Orden	X	X	X		
20	Development of an environmental surveillance citizen tool based on benthic macroinvertebrates in the Jequetepeque basin (Cajamarca, Perú)	Periódico	BMWP	Familia	X	X	X	X	X

21	Effects of productive activities on the water quality for human consumption in an andean basin , a case study	Diagnóstico	ABI	Familia		X	X	X	X
22	Temporal variations in macroinvertebrate communities from the tributaries in the Three Gorges Reservoir Catchment, China	Periódico	EPT	Orden	X	X	X		
23	Análisis fisicoquímico y biológico del río Santo Domingo, afluente río verde, cuenca del río La Vieja, Alto Cauca, Colombia.	Diagnóstico	EPT	Orden	X	X	X		
24	Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descargas residuales al río Quevedo	Periódico	BMWP/Col	Familia	X	X	X	X	X
25	Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua del río Teusacá (Cundinamarca, Colombia)	Diagnóstico	EPT	Orden	X	X	X		
26	Cave macroinvertebrates used as bioindicators of water quality	Periódico	BMWP	Familia	X	X	X	X	X
27	Calidad biológica de la microcuenca de San Cristóbal en la localidad de Usaquén, a través de estudios de bioindicación con macroinvertebrados bentónicos	Diagnóstico	BMWP COL	Orden	X	X	X	X	X
28	Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua de un sistema fluvial alto andino Ecuatoriano	Diagnóstico	EPT	Familia	X	X	X		
29	Análisis de macroinvertebrados bentónicos e índices biológicos para evaluar la calidad del agua del Río Sardinas, Chocó Andino Ecuatoriano	Periódico	ABI	Familia		X	X	X	X
30	Trophic network of aquatic macroinvertebrates along an altitudinal gradient in a Neotropical mountain river	Periódico	BMWP	Genero	X	X	X	X	X
31	Pollution evaluation in the Shahrood River: Do physico-chemical and macroinvertebrate-based indices indicate same responses to anthropogenic activities?	Periódico	BMWP	Orden	X	X	X	X	X
32	Organisation of the benthic macroinvertebrate assemblage in tropical streams of different orders in North-Eastern Brazil	Periódico	BMWP	Orden		X	X	X	X
33	Influence of stormwater runoff on macroinvertebrates in a small urban river and a reservoir	Diagnóstico	BMWP/PI	Clase	X	X		X	X
34	Influencia de la ganadería en los macroinvertebrados acuáticos en microcuencas de los Andes centrales de Colombia	Diagnóstico	ABI	Familia	X	X	X	X	X

35	Efectos de la deforestación sobre la diversidad y la estructura del ensamblaje de macroinvertebrados en cuatro quebradas Andinas en Colombia	Periódico	BMWP	Orden	X	X	X	X	X
36	Estudios sobre macroinvertebrados acuáticos en América Latina: avances recientes y direcciones futuras	Diagnóstico	EPT	Orden	X	X			
37	Efecto del esfuerzo de muestreo en la riqueza de taxones de macroinvertebrados acuáticos y el índice BMWP/Atitlán	Periódico	BMWP	Familia	X	X		X	X
38	Aplicación del protocolo CERA-S para determinar la calidad ecológica de la microcuenca Mamarramos (cuenca Cane-Iguaque), Santuario de Fauna y Flora Iguaque (Boyacá), Colombia	Periódico	BMWP/Col	Genero	X	X	X	X	X
39	Application of the BMWP-Costa Rica biotic index in aquatic biomonitoring: Sensitivity to collection method and sampling intensity	Periódico	BWMP/CR	Familia	X	X	X		X
40	Índice de calidad ecológica con base en macroinvertebrados acuáticos para la cuenca del río Negro (ICERN-MAE), Colombia	Diagnóstico	ABI	Genero	X	X	X	X	X
41	Determinación de la calidad de las aguas en cinco localidades del río San Juan, Santiago de Cuba, Cuba	Periódico	BMWP	Familia	X	X		X	X
42	Calidad del agua de un río andino ecuatoriano a través del uso de macroinvertebrados	Diagnóstico	ABI	Familia		X	X	X	X
43	Bioassessment in the aquatic ecosystems of highly urbanized agglomeration in India: An application of physicochemical and macroinvertebrate-based indices	Periódico	BMWP	Familia	X	X	X	X	X
44	Ecological assessment of the Selenga River basin, the main tributary of lake Baikal, using aquatic macroinvertebrate communities as bioindicators	Diagnóstico	EPT	Orden	X	X	X		
45	Efecto de las descargas domésticas y de beneficio de café sobre la calidad del agua y la diversidad de larvas de Odonata (Insecta) en un arroyo de bosque mesófilo de montaña en Veracruz, México	Periódico	EPT	Orden	X	X	X		
46	A multimetric macroinvertebrate index for assessing the waterquality of the Cau river basin in Vietnam	Periódico	BMWP/Viet	Familia	X	X	X	X	X

47	Benthic macroinvertebrates based new biotic score "ETHbios" for assessing ecological conditions of highland streams and rivers in Ethiopia	Periódico	BMWP	Orden	X	X			X
48	Response of fish and benthic invertebrate communities to constrained channel conditions in a mountain river: Case study of the Biala, Polish Carpathians Bartłomiej	Periódico	BMWP/PI	Genero	X	X	X	X	X
49	Biological water quality in tropical rivers during dry and rainy seasons: A model-based analysis	Periódico	BMWP	Clase	X	X			X
50	Biological impact assessment of sewage outfalls in the urbanized area of the Cuenca River basin (Ecuador) in two different seasons	Diagnóstico	ABI	Familia	X	X	X	X	X
51	Water quality assessment of the Opia River (Tolima-Colombia), using macroinvertebrates and physicochemical parameters	Periódico	BMWP	Familia	X	X		X	X
52	Ecological water quality analysis of the Guayas river basin (Ecuador) based on macroinvertebrates indices	Periódico	BMWP/Col	Familia	X	X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia.

## Aportes de los MAB en los biomonitoreos para el control ambiental de cuerpos lóticos

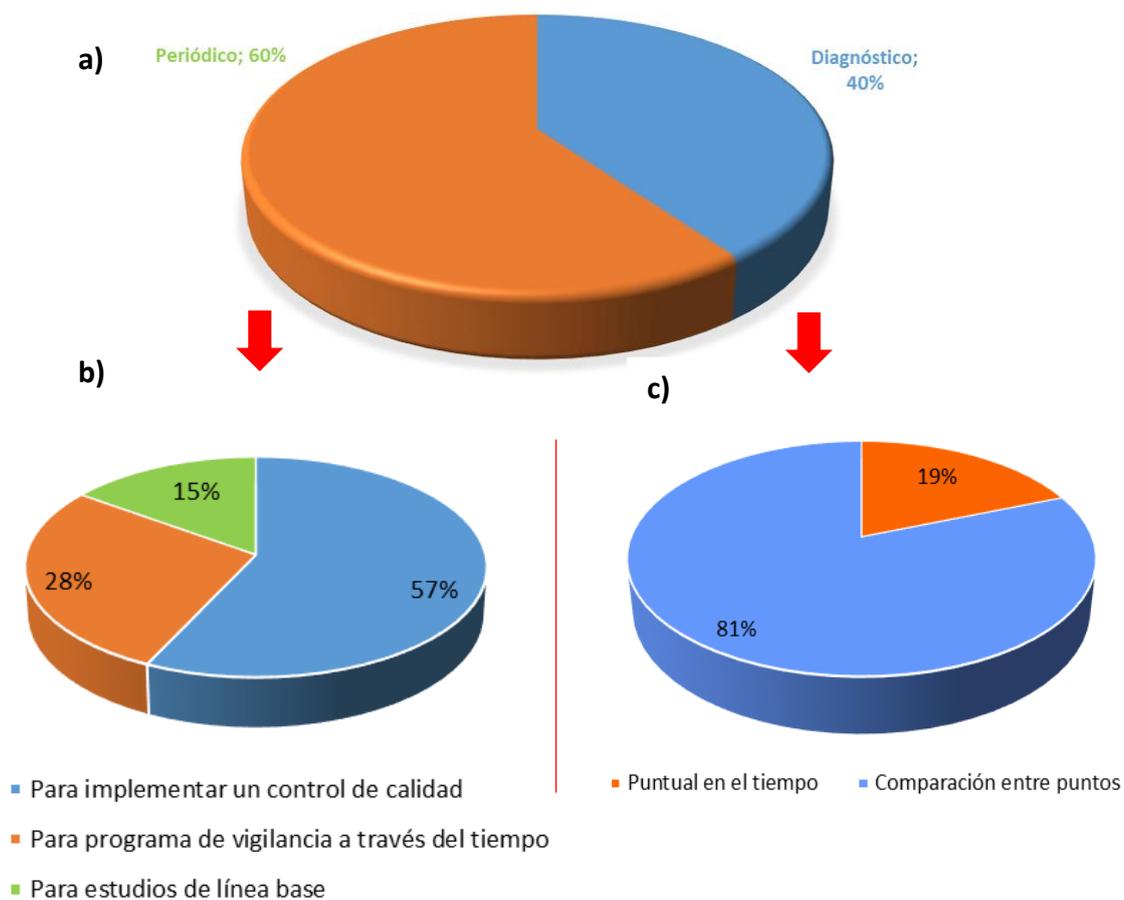


Figura N° 4: Tipos de biomonitoreos y sus aportes en control ambiental.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 4 Se observa que la utilización de los macroinvertebrados como bioindicadores ha dado lugar importante a los biomonitoreos de calidad de agua (Roldán, et al. 2016) logrando aportar de manera significativa en el control ambiental de cuerpos lóticos (Gómez, Novelo y Aldana, 2017; Fagundes, et al. 2015), pues esto se debe a que los métodos son precisos, rentables, accesibles, flexibles y económicos para controlar la evaluación a corto, mediano y largo plazo del ecosistema (Kumari y Maiti, 2020). Dentro de la figura 4-a) Los bioindicadores muestran ser útiles para dos tipos de biomonitoreos: el diagnóstico o evaluación rápida (Flores y Huamantico, 2017; Sharifinia, et al. 2016) y biomonitoreo periódico (Álvarez, et al. 2016), ambos aportando de

manera impecable según los artículos recuperados; sin embargo se observa una diferencia porcentual en su utilización, esto posiblemente se debe a que cada uno genera aportes diferentes dentro de sus campos (Agboola, Downs y O'Brien, 2019; Granda, Machado y Endara, 2018), de manera que son usados dependiendo a cada fin. Es por ello que se muestra en la figura 4-b) los aportes en modalidad periódica de dichos biomonitoreos, pudiéndose evidenciar que los aportes se usan para la implementación de un control de calidad (Damanik, et al. 2016; Ventura, et al. 2017; Fonseca y Lorion, 2014, Brea, et al. 2014), también para la implementación de un programa de vigilancia a través del tiempo (usualmente años) (Custodio y Chávez, 2018; Liñero, et al. 2016; Aschaleww y Moog, 2015) y en significativos casos para realizar estudios de línea base ante diversos tipos de obra, en construcción y otros (Castilla y Nuñez, 2019; Damanik, et al. 2016; Kusza, 2015; Nguyen, et al. 2014). A la vez en la figura 4-c) se muestran aportes en dos campos importantes, en la modalidad de biomonitoreos diagnóstico, puntual en el tiempo (una única fecha de muestreo) (Fagundes, et al. 2015) y en la comparación entre sitios pudiendo desarrollarse río-arriba y río abajo de un foco de contaminación (Tamaris y Pinilla, 2018). Aparentemente los biomonitoreos periódicos son los más aplicados; sin embargo los diagnósticos cumplen un rol muy importante dentro de la evaluaciones de calidad de agua (Gómez, Novelo y Aldana, 2017; Mendoza, et al. 2018), pero reporta un bajo porcentaje estudiado que probablemente se deba a que cada uno de ellos cumplen funciones distintas y dan aportes de manera particular, es decir, que su aplicación va a depender del enfoque del estudio y/o del objeto que se persiga con la evaluación de calidad (Roldán, 2016; Álvarez, et al. 2016). Muy al margen de tener sus particularidades, ambos reportan una eficiente gestión y manejo de cuerpos lóticos (Domek, et al. 2018) facilitando así el control ambiental en los mismos, y en su mayoría de veces promoviendo consigo un mejor control de calidad y planes de vigilancia a largo plazo (Munné y Prat, 2019) lo cual permite tener una visión acerca de cuán importante han

llegado a ser los macroinvertebrados en los biomonitoreos para el control ambiental con el paso de los años (Forero, et al. 2014).

Índice biótico más utilizado para el control ambiental de cuerpos de agua lóticos.

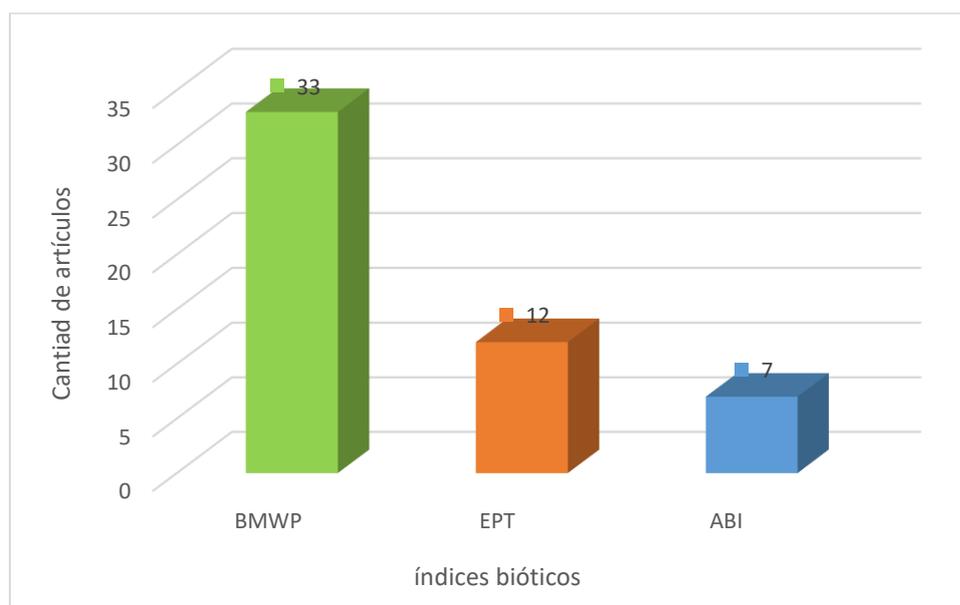


Figura N°5: Artículos que utilizan los índices bióticos BMWP, EPT y ABI.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N°5 se evidencian los índices bióticos evaluados en la revisión sistemática y que estos son ampliamente utilizados en las evaluaciones de la calidad biológica de cuerpos de agua lóticos, en especial de los ríos. Un índice con mayor porcentaje de utilización es el BMWP (Biological Monitoring Working Party) que ha sido tomado como referencia para la adaptación en varios países de Latinoamérica durante los últimos años, siendo esta la posible razón por la cual ha sido el más utilizado, debiéndose a su alta flexibilidad de adaptación y acondicionamiento a distintas realidades (Forero, et al. 2014), probablemente también se deba a que su utilización se basa únicamente en la presencia de familias y sus valores de tolerancia asignados (Meneses, Castro y Jaramillo, 2019), totalmente independiente de la cantidad de organismos recolectados por cada familia y géneros

identificados, por lo que su aplicación resulta ser muy fácil (Krajenbrink, et al. 2018); sin embargo otro índice ampliamente utilizado es el EPT (*Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Trichoptera*), el cual a diferencia del BMWP, este toma en cuenta la abundancia de cada familia (Mikus, et al. 2014) lo que es posible que le haga tener ciertas restricciones en su aplicación. Además estudios demuestran la utilización del ABI, que si bien es cierto en la figura muestra un bajo porcentaje de utilización sea probablemente porque son aplicables a ciertos cuerpos de agua especialmente altoandinos (por ello el nombre) limitando así el uso y su aplicación en otras realidades (Acosta, Prat y Ríos, 2014). El EPT, a diferencia del BMWP expresa el valor de tolerancia, debido a que la cantidad de organismos recolectados se multiplican por el valor de tolerancia del taxón y se divide entre el total de organismos recolectados (Smith, et al. 2019) (Sweeney, et al. 2020). Conjeturando que los tres son índices bióticos son significativamente estudiados, probablemente su uso esté sujeto a la necesidad y fin de la evaluación en el control ambiental de cuerpos lóticos (Rodrigues, et al. 2016).

Nivel de taxonomía de MAB más viable para el control ambiental de cuerpos de agua lóticos.

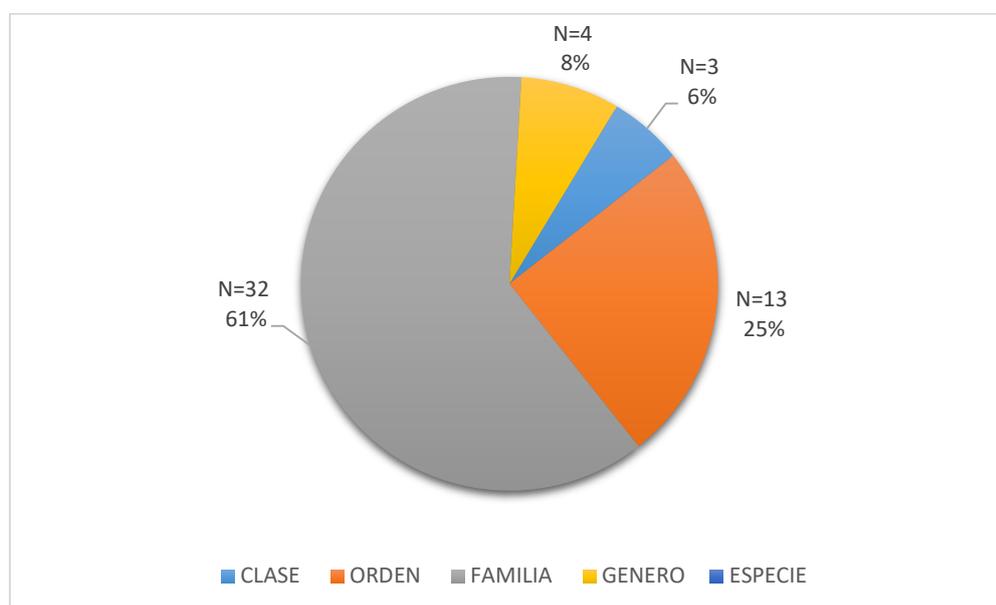


Figura N° 6: Resolución taxonómica de los MAB.

Fuente: Elaboración propia.

Uno de los temas más importantes entorno al uso de los macroinvertebrados en el control ambiental de cuerpos de agua lóticos es el nivel taxonómico al cual se deben identificar los organismos recolectados (Springer y Morales, 2014; Castilla y Núñez, 2019; Meneses, Castro y Jaramillo, 2019; Acosta, Prat y Ríos, 2014) entre más fina la resolución taxonómica, más correcta será la asignación de los valores de tolerancia.

Es por ello que, de los 52 artículos recuperados, se evidenció en la figura N° 6 los porcentajes del nivel de taxonomía más viable para evaluar la calidad biológica del agua. Como se observa en la figura N° 6 más del 61% de la mayoría de los estudios utilizaron la resolución taxonómica a nivel de familia obteniendo óptimos resultados en este nivel sobre la calidad biológica del agua (Mendoza, et al. 2018; Castilla y Núñez, 2019; Ventura, et al. 2017; Custodio y Chávez, 2018; Liñero, et al. 2016). Asimismo, varios estudios han demostrado que los macroinvertebrados a nivel familiar pueden producir resultados significativos (Acosta, Prat y

Ríos, 2014; Fonseca y Ramírez, 2016); sin embargo, existen diversas familias con géneros que presentan distintos niveles de tolerancia a la polución, esto debido posiblemente al área geográfica en el que se recolectaron (Roldán, 2016; Acosta, Prat y Ríos, 2014; Custodio y Chávez, 2018). Por otra parte, el desarrollo de la bioindicación en Latinoamérica en la mayoría de los casos la identificación de los MBA solo llega hasta el nivel de familia debido a que los índices con los cuales se evalúa la calidad del agua utilizan esta resolución taxonómica (Gomes, et al. 2018; Mendoza, et al. 2018; Flores y Huamantico, 2017).

Asimismo, más del 86% utilizan una mezcla de orden, familia y en algunos casos de género debido a la considerable reducción de costos y de tiempo para la evaluación rápida del ecosistema (Roldán, 2016), además que diversos estudios han demostrado que el detalle taxonómico tiene poca influencia en las descripciones multivariadas de los MBA, los que sugiere que los niveles de género, familia o incluso niveles más altos proporcionan una resolución suficiente para los biomonitoreos (Mendoza, et al. 2018; Castilla y Núñez, 2019; Ventura, et al. 2017; Custodio y Chávez, 2018; Liñero, et al. 2016); no obstante, cuando se limita la resolución taxonómica a nivel de orden se pierde mucha información en comparación con el nivel de familia (Smith, et al. 2019; Rodrigues, et al. 2016; Mendoza, et al. 2018). Sin embargo, al evaluar las respuestas taxonómicas de los macroinvertebrados frente a la polución se evidencio que posiblemente el nivel de resolución taxonómica más adecuado fue el de familia para monitorear los efectos de la contaminación esto debido a que a este nivel existe una excelente relación entre los resultados obtenidos y el tiempo para conseguirlos (Álvarez, et al. 2016; Kusza, 2015; Angulo, et al. 2016).

La identificación nivel de especies se ve encarecida representado menos del 1% esto se debe posiblemente a que en los países tropicales es muy difícil utilizar el nivel de especie en los estudios de calidad biológica del agua, dada su gran diversidad, la escasez de expertos taxonómicos y claves taxonómicas (Springer y Morales, 2014; Restrepo, 2018; Lima, et al. 2018; Borro, et al. 2014), además de requerir una importante inversión

de tiempo elevando el costo del análisis de la muestra (Restrepo, 2018; Fonseca y Ramírez, 2016; Angulo, et al. 2016; Dias, et al. 2016; Springer y Morales, 2014).

Principales casos en los que se aplican adecuadamente los índices bióticos para la evaluación de calidad en cuerpos de agua lóticos.

Tabla N°8: Principales casos en los que se aplican índices bióticos

<b>Principales Casos</b>	
C1	Contaminación por materia orgánica
C2	Contaminación por metales pesados
C3	Perturbaciones Urbanas
C4	Ríos altoandinos > 2000 m.s.n.m.
C5	Resolución taxonómica nivel Familia
C6	Presencia / ausencia

Fuente: Elaboración propia

Los índices bióticos son cada vez más usados en la evaluación de la calidad biológica de los cuerpos hídricos, especialmente los ríos. Estos índices relacionan la abundancia (relativa o absoluta) y las familias presentes con un valor numérico según su nivel de tolerancia (Custodio y Chávez, 2018; Borro, et al. 2014; Granda, Machado y Endara, 2018; Restrepo, 2018). El índice BMWP se utiliza para evaluar la contaminación orgánica de un río debido a que las familias presentes en este índice son tolerantes a grandes porcentajes de materia orgánica, presentando cortos periodos de vida, además de ser algunas especies colonizadoras y oportunistas que se adaptan a condiciones fluctuantes (Acosta, Prat y Ríos, 2014; Fonseca y Ramírez, 2016; Angulo, et al. 2016). Asimismo, el BMWP es más desarrollado en recursos hídricos con déficit de oxígeno (Castilla y Núñez, 2019; Ventura, et al. 2017; Custodio y Chávez, 2018). Aunque por otra parte se debe de tener precauciones al aplicar estos índices para evaluar diferentes tipos de contaminaciones a las que fueron diseñados como metales pesados, uso de pesticidas, etc. (Badilla, et al. 2016; Cobo, et al. 2018).

Por otro lado los índices de EPT y el índice biótico BMWP son sensibles a la contaminación minera debido a que se evidencian cambios en la estructura de las comunidades de MBA mostrando una disminución en el número de taxones de macroinvertebrados de los órdenes EPT aguas abajo de una mina de zinc y plomo (Chapas, et al. 2017; Lock, et al. 2018; Acosta, Prat y Ríos, 2014; Fonseca y Ramírez, 2016), a la vez evaluando la toxicidad de Rio Rímac hubo una reducción mayor en la presencia de familias en la época de avenida a la de estiaje, por lo que posiblemente ambos índices son apropiados como índices preliminares para valorar este tipo de perturbación (Pascual, Alvariño y Iannacone, 2019). Asimismo, para evaluar ríos altoandinos por encima de los 2000 m.s.n.m. es más práctico utilizar el índice ABI debido a que es una adaptación del índice BMWP partiendo de una lista de taxa que tienen la distribución a esta altura (Pascual, Alvariño y Iannacone, 2019; Mendoza et al. 2018; Castilla y Núñez, 2019), esta lista incluye menos familias de MBA que en otros lugares en donde se ha desarrollado el índice BMWP porque la altitud restringe la distribución de varias familias (Meneses, Castro y Jaramillo, 2019; Restrepo, 2018; Lock, et al. 2018). No obstante, al utilizar este tipo de índice debe hacerse con cuidado y contrastando la diversidad de familias presentes en el índice con la realidad de la zona debido a que al generalizar los valores de tolerancia para las diferentes familias puede generar errores en su aplicación (Flores y Huamantico, 2017; Benetti, Bilbao, y Garrido, 2014; Rodrigues, et al. 2016).

El índice EPT reporta diferencias significativas entre temporadas siendo mayor su abundancia en la temporada lluviosa (Acosta, Prat y Ríos, 2014; Munné, y Prat, 2019), esto se deba posiblemente a que los órdenes (*Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Trichoptera*) poseen rasgos hidrodinámicos en la estructura de su cuerpo y una elevada movilidad al nado facilitándoles estar en ambientes caudalosos, propios de la época lluviosa (Sabino, et al. 2015; Bumbeer, et al. 2016; Fonseca y Lorion, 2014).

## V. CONCLUSIONES

1. En base a los 52 artículos recuperados de bases de datos indexados de acceso libre, los aportes de macroinvertebrados acuáticos bentónicos en biomonitoreos para el control ambiental se manifiestan a través de la significativa eficiencia de la gestión y manejo de cuerpos lóticos en modalidad de biomonitoreos diagnóstico aportando en evaluaciones puntuales en el tiempo y de comparación entre puntos, asimismo en biomonitoreos periódicos aportando en la implementación de programas para el control de calidad, programas de vigilancia y estudios de línea base.
2. Bajo la evaluación de artículos recuperados se conjetura que la utilización del índice biótico ABI responde a un 14% del total, el índice biótico EPT a un 23% y el índice biótico BMWP corresponde al 63%, siendo este último el más utilizado, reflejo que se muestra en el alto nivel porcentual, asimismo evidenciándose el resultado por ser el índice más flexible, completo, práctico y fácil de aplicar.
3. La resolución taxonómica de MAB (macroinvertebrados acuáticos bentónicos) más viable para el control ambiental de cuerpos de agua lóticos es el nivel de familia con un 60% del total de artículos recuperados, debido a que la mayoría de los estudios utilizan dicho nivel, además que este nivel la taxonomía es ampliamente conocido por la bibliografía y las ventajas que presentan los macroinvertebrados se conservan presentando un equilibrio entre la calidad de los resultados y el tiempo que se necesita para obtenerlos.
4. Se determinaron cinco casos específicos donde se aplican los índices bióticos, dichos casos son: Contaminación por carga orgánica, contaminación por metales pesados, evaluación de perturbaciones urbanas, ríos altoandinos, resolución taxonómica a nivel de familia y finalmente la presencia y ausencia de MAB; no obstante, los índices bióticos se aplican adecuadamente según el caso.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Los índices bióticos deben ser adaptados a la realidad que se desea estudiar y se recomienda que sean aplicados a cualquier otra región con una previa modificación.
2. Para una evaluación de control ambiental de cuerpos lóticos a base de macroinvertebrados bentónicos acuáticos utilizando índices bióticos, se recomienda realizar un estudio complementario de análisis de parámetros físico-químicos.
3. Se sugiere usar la resolución taxonómica a nivel de familia por presentar una taxa bien conocida, además de requerir poco tiempo en su identificación de los organismos por lo que presenta un bajo costo, asimismo de mantenerse las ventajas que presentan los macroinvertebrados a este nivel.
4. Previo a la aplicación de los índices bióticos se recomienda tener en cuenta el tipo de contaminante para el cual van a ser utilizados debido a que la tolerancia de las familias se desconoce para otro tipo de contaminación al que no fueron estudiadas.

## REFERENCIAS

ACOSTA, Viviana y LEON, Sandra. Calidad biológica de la microcuenca de San Cristóbal en la localidad de Usaquén, a través de estudios de Bioindicación con macroinvertebrados bentónicos. *Tecnología* [en línea]. Octubre – noviembre 2015, vol. 14, n.º 1. [Fecha de consulta: 15 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6041588>  
ISSN: 1692-1399

ACOSTA, Raúl, PRAT, Narcis y RÍOS, Blanca. The Andex Biotic Index (ABI): revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation. *Revista de Biología Tropical* [en línea]. Abril 2014, vol. 62. [Fecha de consulta 20 de abril de 2020]. Disponible en: [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442014000600017](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442014000600017)  
ISSN: 0034-7744

ACOSTA, Raul [et al]. Responses of aquatic macroinvertebrates to human pressure in a tropical Highland volcanic basin: Birris River, Irazu Volcano (Costa Rica). *Hidrobiologica* [en línea]. Mayo – agosto 2018. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2020]. Disponible en [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pi](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pi)  
ISSN: 0188-8897

AGBOOLA, Olalekan, DAWNS, Colleen y O'BRIEN, Gordon. Macroinvertebrates as indicators of ecological conditions in the rivers of KwaZulu- Natal, South Africa. *Ecological Indicators* [en línea]. Junio – noviembre 2019, vol. 106. [Fecha de consulta 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105465>  
ISSN: 1470-1604

ANGULO, Luis [et al]. Evaluación de la calidad del agua en algunos puntos afluentes del río Cesar (Colombia) utilizando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de contaminación. Información Tecnológica [en línea]. Marzo – agosto 2016, vol. 27, n.º 4. [Fecha de consulta 19 de mayo de 2020]. Disponible en: doi: 10.4067/S0718-07642016000400011  
ISSN: 0718-0764

ÁLVAREZ, Mario [et al]. Modelling macroinvertebrates and fish biotic indices: From reaches to entire river networks. Science of the Total Environment [en línea]. Enero - mayo 2016, vol. 577. [Fecha de consulta 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.186>  
ISSN: 0048-9697

ASCHALEW, L y MOOG, Otto. Benthic macroinvertebrates based new biotic score “Ethbios” for assessing ecological conditions of highland streams and rivers in Ethiopia. Limnologica [en línea]. Mayo 2015, vol. 52, n.º 1. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.limno.2015.02.002>  
ISSN: 9182-1928

BADILLA, Leo [et al]. Caracterización de la calidad de agua mediante macroinvertebrados bentónicos en el Río Puyo, en la Amazonia Ecuatoriana. Hidrológica [en línea]. Julio – diciembre 2016, vol. 26, n.º 3. [Fecha de Consulta 19 de mayo de 2020]. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0188-88972016000300497&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-88972016000300497&lng=es&nrm=iso)  
ISSN: 0188-8897

BENETTI, Cesar, BILBAO, Amaia y GARRIDO, Josefina. Estudio de la calidad del agua del río Furnia (NO. España) mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos. *Nova Acta Científica Compostelana Biología* [en línea]. Enero – marzo 2014. [Fecha de consulta 20 de abril de 2020]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4293934>  
ISSN: 1130-9717

BREA, Jorge [et al]. Determinación de la calidad de las aguas en cinco localidades del Rio San Juan, Santiago de Cuba, Cuba. *Red de Ciencia* [en línea]. Julio – septiembre 2014, n.º 3. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2020]. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181333032001>  
ISSN: 1027-2887

BORRO, Eduardo [et al]. Aplicación de Índices de calidad en agua en un arroyo pampeano utilizando macroinvertebrados bentónicos como Bioindicadores (Gualedaychú, entre Ríos, Argentina). *Instituto de Investigaciones Tropicales* [en línea]. Mayo – julio 2014. [Fecha de consulta 20 de abril de 2020]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5763601>  
ISSN: 2389-7864

BUMBEER, Janaina [et al]. Biodiversity of benthic macroinvertebrates on hard substrates in the Currais Marine Protected Area, in southern Brazil. *Biota Neotropica* [en línea]. Octubre, 2016. [Fecha de consulta 20 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/bn/v16n4/1676-0611-bn-1676-0611-BN-2016-0246.pdf>  
ISSN: 1676-0611

CASTILLA, Pedro y NUÑEZ, Julio. Uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de contaminación del agua de la Ciénaga Mata de Palma (Colombia). Información Tecnológica [en línea]. Agosto – octubre, 2019. [Fecha de consulta 20 de abril de 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000500319>  
ISSN: 0718-0764

CASTRO, Estrella [et al]. Aplicación del índice biótico de familias de macroinvertebrados para la caracterización del agua del río Teusacá, afluente del río Bogotá. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica [en línea]. Julio – diciembre, 2018. [Fecha de consulta 20 de abril de 2020]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-42262018000200587&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-42262018000200587&script=sci_abstract&tlng=es)  
ISSN: 0123-4226

CHAGAS, Flavia [et al]. Use of the benthic macroinvertebrate community as an indicator of water quality in streams in southern Brazil. Revista Ambiente y Agua [en línea]. Diciembre 2017, vol. 12, n.º 3. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2015>.  
ISSN: 1980-993X

CHAPAS, Flavia [et al]. Integrated analysis of water quality from two rivers used for public supply in Southern Brazil. Acta Limnologica Brasiliensia [en línea]. Septiembre 2017, vol. 29, n.º 14. [Fecha de consulta 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/S2179-975X6616>  
ISSN: 0102-6712

COBO, Ruben y GOETHALS, Peter. Biological water quality in tropical rivers during dry and rainy seasons: A model based analysis. Ecological Indicators [en línea]. Enero 2020, vol. 108, n.º 1. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105769>  
ISSN: 1981-9183

COBO, Rubén [et al]. Biological impact assessment of sewage outfalls in the urbanized area of the Cuenca River basin (Ecuador) in two different seasons. *Limnologica* [en línea]. Julio – diciembre 2018, vol. 71, n.º 3. [Fecha de consulta 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.limno.2018.05.003>  
ISSN: 3984-2938

CORTES, Lina [et al]. Evaluación de la calidad ecológica de quebradas andinas en la cuenca del río Magdalena, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* [en línea]. Julio – diciembre 2017, vol. 20, n.º 2. [Fecha de consulta 20 de abril de 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v20n2/v20n2a19.pdf>  
ISSN: 0123-4226

CUSTODIO, María y CHANAMÉ, Fernán. Análisis de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas mediante indicadores ambientales. Junín, Perú. *Scientia Agropecuaria* [en línea]. Junio 2016, Vol. 7, n.º 1. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2020]. Disponible: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.01.04>  
ISSN: 2077-9917

CUSTODIO, María y CHÁVEZ, Erika. Quality of the aquatic environment of high Andean rivers evaluated through environmental indicators: a case of the Cunas river, Perú. *Revista Chilena de Ingeniería* [en línea]. Agosto – noviembre 2018, vol. 27, n.3. [Fecha de consulta 20 de abril de 2020]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v27n3/0718-3305-ingeniare-27-03-00396.pdf>  
ISSN: 0718-3305

DAMANIK, Naomi [et al]. Ecological water quality analysis of the Guayas river basin (Ecuador) based on macroinvertebrates indices. *Limnologia* [en línea]. Diciembre 2015 – enero 2016, vol. 57, n.º 2. [Fecha de consulta 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.limno.2016.01.001>  
ISSN: 2938-3985

DIAS, Lucimar [et al]. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua de quebradas abastecedoras del municipio de Manizales. *Boletín Científico* [en línea]. Enero – mayo 2016, vol. 16, n.º 2. [Fecha de consulta 20 de abril de 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v16n2/v16n2a12.pdf>  
ISSN: 0123-3068

DOMEK, Piotr [et al]. Influence of stormwater runoff on macroinvertebrates in a small urban river and a reservoir. *Science of the Total Environment* [en línea]. Septiembre – diciembre 2018, vol. 625, n.º 2. [Fecha de consulta: 15 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.324>  
ISSN: 3832-2341

FAGUNDES, Seibel [et al]. Bioassessment using benthic macroinvertebrates of the water quality in the Tigreiro river, Jacuí Basin. *Acta Scientiarum. Biological Sciences* [en línea]. Octubre - diciembre 2015, vol. 35, n.º 4. [Fecha de Consulta 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=187129138009>  
ISSN: 1679-9283

FLORES, Diana y HUAMANTICO, Ana. Desarrollo de una herramienta de vigilancia ambiental ciudadana basada en macroinvertebrados bentónicos en la cuenca del Jequetepeque (Cajamarca, Perú). *Ecología Aplicada* [en línea]. Julio – diciembre 2017, vol. 16, n.º 16. [Fecha de Consulta 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=34153892005>  
ISSN: 1726-2216

FONSECA, Pablo y LORION, Christopher. Application of the BMWP – Costa Rica biotic index in aquatic biomonitoring: sensitivity to collection method and sampling intensity. *Biologia Tropical* [en línea]. Abril 2014, vol. 62, n.º 2. [Fecha de consulta 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44932430018>  
ISSN: 0034-7744

FONSECA, Pablo y RAMIREZ, Alonso. Estudios sobre macroinvertebrados acuáticos en América Latina: avances recientes y direcciones futuras. *Biologia Tropical* [en línea]. Abril 2014, vol. 62, n.º 2. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2020]. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44932430001>  
ISSN: 0034-7744

FONSECA, Pablo y RAMIREZ, Alonso. Evaluación de la calidad ecológica de los ríos en Puerto Rico: principales amenazas y herramientas de evaluación. *Hidrológica* [en línea]. Septiembre – diciembre 2016, vol. 26, n.º 3. [Fecha de consulta 20 de abril de 2020]. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-88972016000300433](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972016000300433)  
ISSN: 0188-8897

FORERO, Laura [et al]. Índice de calidad ecológica con base en macroinvertebrados acuáticos para la Cuenca del río Negro (ICE RN-MAE), Colombia. *Revista de Biología Tropical* [en línea]. Abril 2014, vol. 62, n.º 2. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2020]. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44932430016>  
ISSN: 0033-7744

GAIGHER, René [et al]. Applying the umbrella index across aquatic insect taxon sets for freshwater assessment. *Ecological Indicators* [en línea]. Julio – agosto 2019, vol. 107. [Fecha de consulta 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105655>  
ISSN: 0246-2938

GAMARRA, Yolanda [et al]. Aplicación del protocolo CERA-S para determinar la calidad ecológica de la microcuenca Mamarramos (Cuenca Cane-Iguaque), Santuario de Fauna y Flora Iguaque (Boyacá), Colombia. *Inst. de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt* [en línea]. Agosto 2017, vol. 18, n.º 2. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2020]. Disponible en <https://www.redalyc.org/jatsRepo/491/49162495002/index.html>  
ISSN: 1674-2983

GARCIA, Carlos, VILLEGAS, Paola y VALENCIA, Cesar. Análisis físico-químico y biológico del río Santo Domingo, afluente Río Verde, cuenca del Río La Vieja, alto Cauca, Colombia. *Boletín científico* [en línea]. Enero – junio 2017, vol. 21, n.º 1. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2020]. Disponible en [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-30682017000100003&lang=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-30682017000100003&lang=es)  
ISSN: 0123-3068

GRANDA, Roberto, MACHADO, Verónica y ENDARA, Alexandra. Análisis de macroinvertebrados bentónicos e índices biológicos para evaluar la calidad del agua del Rio Sardinas, Choco Andino Ecuatoriano. Enfoque UTE [en línea]. Agosto – septiembre 2018. [Fecha de consulta: 20 de abril de 2020]. Disponible en: <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/enfoqueute/v9n4/1390-6542-enfoqueute-9-04-00154.pdf>  
ISSN: 1390-6542

GOMES, Jessica [et al]. Organisation of the benthic macroinvertebrates assemblage in tropical streams of different orders in North-Eastern Brazil. Ecología Austral [en línea]. Abril 2018, vol. 28, n.º 1. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2020]. Disponible en DOI: 10.25260/EA.18.28.1.0.511  
ISSN: 1937-2367

GÓMEZ, José, NOVELO, Rodolfo y ALDANA, Manuel. Efecto de las descargas domésticas y de beneficio de café sobre la calidad del agua y la diversidad de larvas de Odonata (Insecta) en un arroyo de bosque mesofilo de montaña en Veracruz, México. Revista Mexicana de Biodiversidad [en línea]. Mayo 2017, vol. 88, n.º 2. [Fecha de consulta 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2017.03.004>  
ISSN: 1870-3453

GONCHAROV, Andre [et al]. Ecological assessment of the Selenga River basin, the main tributary of Lake Baikal, using aquatic macroinvertebrate communities as bioindicators. Journal of Great Lakes Research [en línea]. Febrero 2020, vol. 46, n.º 2. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2020]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S038013301930231X>  
ISSN: 1834-2348

KRAJENBRINK, Hendrik [et al]. Macroinvertebrate community responses to river impoundment at multiple spatial scales. ScienceDirect [en línea]. Septiembre, 2018. [Fecha de consulta 20 de noviembre de 2019]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.264>  
ISSN: 2648-2656

KUMARI, Preeti y MAITI, Subodh. Bioassessment in the aquatic ecosystems of highly urbanized agglomeration in INDIA: An Application of physicochemical and macroinvertebrate-based índices. Ecological Indicators [en línea]. Abril 2020, vol. 111, n.º 2. [Fecha de consulta: 19 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/requests/r73883024>  
ISSN: 0982-1892

KUSZA, Izabela. Comparing modified Biological monitoring working party score system and several Biological índices base don macroinvertebrates for wáter–quality assessment. Limnologica [en línea]. Septiembre – diciembre 2015, vol. 35, n.º 3. [Fecha de consulta: 19 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.limno.2005.05.003>  
ISSN: 0483-1787

LAFUENTE, Wilson [et al]. Efecto de un derrame de petróleo crudo en la comunidad de macroinvertebrados bentonicos de un rio amazónico ecuatoriano. Revista de Ciencias Ambientales [en línea]. Enero – junio 2019. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2020]. Disponible en [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2215-38962019000100001&lang=es](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-38962019000100001&lang=es)  
ISSN: 2215-3896

LEON, Arturo. Calidad biológica de las aguas superficiales de la cuenca del Río Apulo. Tecnología [en línea]. Noviembre – diciembre 2014, vol. 12, n.º 2. [Fecha de consulta: 19 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6041498>  
ISSN: 1692-1399

LI, Sixin [et al]. Temporal variations in macroinvertebrate communities from the tributaries in the Three Gorges Reservoir Catchment, China. Revista Chilena de Historia Natural [en línea]. Octubre 2017, vol. 90. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2020]. Disponible en [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0716-078X2017000100204&lang=es](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-078X2017000100204&lang=es)  
ISSN: 0716-078X

LIMA, Guido [et al]. Macroinvertebrados Bentónicos como Bioindicadores de la calidad del agua de un Sistema fluvial Andino Ecuatoriano. Hallazgos21 [en línea]. Octubre 2017 – marzo 2018, vol. 21, n.º 3. [Fecha de consulta 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7148265>  
ISSN: 2528-7915

LIÑERO, Idelfonso [et al]. Calidad del agua de un río andino ecuatoriano a través del uso de macroinvertebrados. UNED Research Journal / Cuadernos de Investigación UNED [en línea]. Julio – octubre 2016, vol. 8, n.º 1. [Fecha de Consulta 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=515653586010>  
ISSN: 1659-4266

LOCK, Koen [et al]. Baseline assessment of benthic macroinvertebrate community structure and ecological water quality in Rwenzori rivers (Albertine rift valley, Uganda) using biotic-index tools. *Limnologica* [en línea]. Abril – diciembre 2018, vol. 75, n.º 2. [Fecha de consulta 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.limno.2018.12.001>  
ISSN: 0075-9511

LOPEZ, Santiago [et al]. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua del río Teusacá (Cundinamarca, Colombia). *Ingeniería y desarrollo* [en línea]. Noviembre – diciembre 2019, vol. 37, n.º 2. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2020]. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7103112>  
ISSN: 0122-3461

MANCERA, Nestor y GALEANO, Esneddy. Efectos de la deforestación sobre la diversidad y la estructura del ensamblaje de macroinvertebrados en cuatro quebradas andinas en Colombia. *Biologica Tropical* [en línea]. Junio 2018, vol. 66, n.º 4. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2020]. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44959684031>  
ISSN: 2215-2075

MENESES, Yaneth, CASTRO, Maria y JARAMILLO, Angela. Comparación de la calidad del agua en dos Ríos altoandinos mediante el uso de los índices BMWP/COL. y ABI. *Acta Biológica Colombiana* [en línea]. Enero – febrero 2019, vol. 24, n.º 2. [Fecha de consulta 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v24n2/0120-548X-abc-24-02-299.pdf>  
ISSN: 1900-1649

MENDOZA, Alexander [et al]. Utilización de macroinvertebrados acuáticos como herramienta para determinar la calidad del agua en la quebrada Santo Tomas, municipio de Pensilvania, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* [en línea]. Julio – septiembre, 2018. [Fecha de consulta 20 de abril de 2020]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0370-39082018000300212&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0370-39082018000300212&lng=es&nrm=iso&tlng=es)  
ISSN: 0370 – 3908

MIKUS, Pawel [et al]. Response of fish and benthic invertebrate communities to constrained channel conditions in a mountain river: Case study of the Biala, Polish Carpathians. *Limnologica* [en línea]. Marzo – julio 2014, vol. 46, n.º 2. [Fecha de consulta: 19 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.limno.2013.12.002>  
ISSN: 1982 – 0192

MUNNÉ, Antoni y PRAT, Narcis. Uso de índices multimétricos basados en macroinvertebrados para la evaluación de la calidad del agua en los ríos mediterráneos españoles: un enfoque de intercalibración con el índice IBMWP. *Hidrobiología* [en línea]. Marzo – abril 2019. [Fecha de consulta 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10750-009-9757-1>  
ISSN: 4565-3554

NGUYEN, Hong [et al]. A multimetric macroinvertebrates index for assessing the water quality of the Cau river basin in Vietnam. *Limnologia* [en línea]. Marzo 2014, vol. 45, n.º 1. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2020]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0075951113000820>  
ISSN: 9138-1237

OEDING, Sue, COX, Brendan y TAFFS, Kathryn. A comparison of macroinvertebrates-based indices for biological assessment of river health: A case example from the sub-tropical Richmond River Catchment in northeast New South Wales, Australia. *Ecological Indicators* [en línea]. Junio – diciembre 2019, vol. 106. [Fecha de consulta 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105479>  
ISSN: 1928-9182

OVASKAINEN, Otzo [et al]. Long-term shifts in water quality scale-dependent bioindicator responses across Russia – Insights from 40 year-long bioindicator Monitoring program. Moscow. *Revista El Servier – Ecological Indicators* [en línea]. Volúmen 98. March 2019. Pages 476-482. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X18308914>

PASCUAL, Gissela, ALVARIÑO, Lorena y IANNACONE, José. Macroinvertebrados bentónicos y ensayos toxicológicos para evaluar la calidad del agua y del sedimento del Río Rímac, Lima, Perú. *Investigaciones Veterinarias del Perú* [en línea]. Octubre – diciembre 2019, vol. 30, n.º 4. [Fecha de consulta 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v30i4.17164>  
ISSN: 1609-9117

PEÑA, Sara [et al]. Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en la quebrada La Calabozza (Yopal, Casanare). *Ciencia e Ingeniería* [en línea]. Enero – junio 2019, vol. 13, n.º 25. [Fecha de consulta 19 de mayo de 2020]. Disponible en: DOI: <http://dx.doi.org/10.31908/19098367.4010>.  
ISSN: 1909-8367

PEREZ, Ezel [et al]. Cave macroinvertebrates used as bioindicators of water quality. *Tecnología y Ciencias del agua* [en línea]. Junio 2017, vol. 8, n.º 5. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2020]. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7357238>  
ISSN: 2007-2422

RAMÍREZ, Paulina [et al]. Influencia de la ganadería en los macroinvertebrados acuáticos en microcuencas de los Andes centrales de Colombia. *Biología Tropical* [en línea]. Julio- septiembre 2018, vol. 66, n.3. [Fecha de consulta 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44959350024>  
ISSN: 0034-7744

RESTREPO, Ricardo. Application of physico-chemical indexes and BMWP/Col. to establish the impact of urbanization on Rio Frio (Bucaramanga, Colombia). *Universitas Scientiarum* [ en línea]. Julio – octubre 2018. [Fecha de consulta: 20 de abril de 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/unsc/v23n1/0122-7483-unsc-23-01-00109.pdf>  
DOI: 10.11144

RODRIGUES, Vinicius [et al]. Comparing two biological indexes using benthic macroinvertebrates: positive and negative aspects of water quality assessment. *Acta Limnologica. Acta Limnologica Brasiliensia* [en línea]. Diciembre 2016, vol. 28, n.º 25. [Fecha de Consulta 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/s2179-975x4516>  
ISSN: 0102-6712

ROLDÁN, Gabriel. Los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* [en línea]. Abril-junio 2016, vol. 40, n.º 155. [Fecha de consulta: 15 de mayo del 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v40n155/v40n155a07.pdf>  
ISSN: 0370-3908

ROMERO, Renato [et al]. Community structure of aquatic insects (Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera) in cerrado streams of Paraguay, Parana and Sao Francisco river basins. *Biota Neotropical* [en línea]. Enero – marzo 2014, vol. 13, n.º 1. [Fecha de consulta 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/S1676-06032013000100011>  
ISSN: 1676-0611

ROSADO, Angel [et al]. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descarga residuales al río Quevedo. *Revista Ciencia y Tecnología* [en línea]. Junio 2017, vol. 10, n.º 1. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2020]. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6261804>  
ISSN: 1390-4051

RUIZ, Marcela [et al]. Effects of productive activities on the water quality for human consumption in an andean Basin, a case study. *Revista Internacional de contaminación ambiental* [en línea]. Agosto 2017, vol. 33, n.º 3. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2020]. Disponible en [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992017000300361&lang=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992017000300361&lang=es)  
ISSN: 0188-4999

SABINO, José [et al]. Índices bióticos para la evaluación de la calidad ambiental en tramos Río Correntoso, Pantanal do Negro, Estado de Mato Grosso do Sur de Brasil. *Acta Scientiarum. Ciencias biológicas* [en línea]. Julio – diciembre 2015, vol. 33, n.º 3. [Fecha de consulta 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=187121350007>  
ISSN: 1679-9283.

SILVA, Roberta [et al]. Composition and spatiotemporal distribution of benthic macrofauna in a macrotidal estuary on the Amazonian Coast of the State of Maranhao, Brazil. *Ocean and Coastal Research* [en línea]. Junio 2020. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2020]. Disponible en [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2675-28242020000100201&lang=es](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2675-28242020000100201&lang=es)  
ISSN: 2675-2824

SHARIFINIA, Musulmana [et al]. Pollution evaluation in the Shahrood River: Do physico – chemical and macroinvertebrate – based indices indicate same responses to anthropogenic activities. *Chemosphere* [en línea]. Abril – junio 2016. [Fecha de consulta 19 de mayo de 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/304117973\\_Pollution\\_evaluation\\_in\\_the\\_Shahrood\\_River\\_Do\\_physico-chemical\\_and\\_macroinvertebrate-based\\_indices\\_indicate\\_same\\_responses\\_to\\_anthropogenic\\_activities](https://www.researchgate.net/publication/304117973_Pollution_evaluation_in_the_Shahrood_River_Do_physico-chemical_and_macroinvertebrate-based_indices_indicate_same_responses_to_anthropogenic_activities)  
ISSN: 0045-6535

SMITH, Alexander [et al]. Resilience of benthic macroinvertebrates to extreme floods in a Catskill Mountain river, New York, USA: Implications for water quality monitoring and assessment. *Ecological Indicators* [en línea]. Abril - mayo 2019, vol. 104. [Fecha de consulta 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.057>  
ISSN: 2983-9283

SPRINGER, Monika y MORALES, Fátima. Efecto del esfuerzo de muestreo en la riqueza de taxones de macroinvertebrados acuáticos y el índice BMWP/Atitlán. *Revista de Biología Tropical* [en línea]. Abril 2014, vol. 62, n.º 2. [Fecha de consulta 19 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44932430019>  
ISSN: 0034-7744

SWEENEY, Bernard [et al]. Evaluation water quality for Amazonian streams along the Interoceanic Highway in Perú using macroinvertebrates collected by hand and with leaf packs. *Limnologica* [en línea]. Junio 2019 – enero 2020, vol. 81. [Fecha de consulta 19 de mayo de 2020].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.limno.2020.125759>

ISSN: 0075-9511

TAMARIS, Cesar y PINILLA, Gabriel. Trophic network of aquatic macroinvertebrates along an altitudinal gradient in a Neotropical mountain river. *Revista Brasileira de Entomologia* [en línea]. Agosto 2018, vol. 62, n.º 3. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2020]. Disponible en DOI: 10.1016/j.rbe.2018.07.003

ISSN: 1822-3536

VENTURA, Karen [et al]. Macroinvertebrados bentónicos para evaluar la calidad de las aguas de la cuenca alta del río Huallaga, Perú. *The Biologist* [en línea]. Enero - junio 2017. [Fecha de consulta: 18 de abril de 2020].

Disponible en <http://revistas.unfv.edu.pe/index.php/rtb/article/view/144>

ISSN: 1994-9073