

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y
Biotecnológicas

Escuela profesional de Ingeniería Biotecnológica



IDENTIFICACIÓN DE APROXIMACIONES TEÓRICAS PARA EL USO DE MACRO INVERTEBRADOS *EPHEMENOPTERA*, *PLECOPTERA* Y *TRICHOPTERA*, EN LA DETERMINACIÓN DE CALIDAD DE AGUA EN RÍOS.

Tesis presentada por la Bachiller:
Montoya Pauca, Karen Daniela

Para optar el Título Profesional de:
Ingeniero Biotecnólogo

Asesor:
Msc. Ing. Alvarado Quiroz, Keny Davi

Arequipa – Perú

2023

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA BIOTECNOLOGICA
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 19 de Mayo del 2022

Dictamen: 004121-C-EPIB-2022

Visto el borrador del expediente 004121, presentado por:

2006700352 - MONTOYA PAUCA KAREN DANIELA

Titulado:

**IDENTIFICACIÓN DE APROXIMACIONES TEÓRICAS PARA EL USO DE MACRO INVERTEBRADOS
EPHEMENOPTERA, PLECOPTERA Y TRICHOPTERA, EN LA DETERMINACIÓN DE CALIDAD DE
AGUA EN RÍOS**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**1164 - BARDALES ALVAREZ ROXANA MARGARITA
DICTAMINADOR**



**2346 - MOLINA RODRIGUEZ FREDY NICOLAS
DICTAMINADOR**



**2781 - BARREDA DEL CARPIO JAIME ERNESTO
DICTAMINADOR**



Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a:

A mis padres Jorge y Sonia quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanos Carlos, Karla, mi cuñada Gwendolyne y mi sobrina Aitana por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento, gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Agradecimientos

Me van a faltar páginas para agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de este trabajo, sin embargo, merecen reconocimiento especial mi Madre y mi Padre que con su esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar mi carrera universitaria y me dieron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

Asimismo, agradezco infinitamente a mis hermanos que con sus palabras me hacían sentir orgullosa de lo que soy y de lo que les puedo enseñar. Ojalá algún día yo me convierta en su fuerza para que puedan seguir avanzando en su camino.

De igual forma, agradezco a mi Asesor de Tesis, que gracias a sus consejos y correcciones hoy puedo culminar este trabajo. A los profesores que me han visto crecer como persona, y gracias a sus conocimientos hoy puedo sentirme dichosa y contenta.

ÍNDICE

Dedicatoria	iii
Agradecimientos.....	iv
Índice de tablas	vii
Índice de figuras	viii
Resumen	ix
Abstract	x
1. Introducción	1
2. Metodología.....	4
2.1. Selección de descriptores / cadena de búsqueda.....	4
3. Macroinvertebrados.....	6
3.2.1 Concepto del bioindicador	15
3.2.2 Validación de macro invertebrados acuáticos como indicadores de calidad de agua	19
3.3 Macro invertebrados como bioindicadores de contaminación orgánica en agua	23
3.4 Aplicación y métodos de macroinvertebrados como bioindicadores	27
3.5 Macroinvertebrados presentes en aguas lólicas y lenticas en sud américa.....	33
3.5.1 Coelenterata Hidrozoa.....	34
3.5.2 Platyhelminthes; Turbellaria, Tricladida.....	34
3.5.3 Nematoda; Nematomorpha, Gordioidea.....	35
3.5.4 Annelida; Oligochaeta, Haplotaxida.....	36
3.5.5 Annelida; Hirudinea, Glossiphoniiformes y Hirudiniformes	37
3.5.6 Arthropoda; Insecta, Ephemeroptera.....	38
3.5.7 Arthropoda; Insecta, Plecoptera	40
3.5.8 Arthropoda; Insecta, Tricoptera	41
3.5.9 Arthropoda; Insecta, Neuróptera	43
3.5.10 Arthropoda; Insecta, Hemíptera.....	44
3.5.11 Arthropoda; Insecta, Coleóptero.....	46
3.5.12 Arthropoda; Insecta, Odonata	49
3.5.13 Arthropoda; Insecta, Lepidóptera	51
3.5.14 Arthropoda; Insecta, Díptera	52
3.5.15 Arthropoda; Arachnoidea, Acari.....	56

3.5.16 Mollusca; Gasteropoda, Mesogastropoda y Basomatophora	57
3.5.17 Mollusca; Bivalvia	58
3.6 Índices desarrollados para determinación de calidad de agua mediante el uso de macroinvertebrados	59
3.6.1 Índice Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, EPT, para determinar calidad de agua	61
3.6.2 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP)	63
3.6.3 Índice biótico de los andes (Andean Biotic Index, ABI)	66
4. Perspectivas futuras	70
Conclusiones	75
Referencias	76



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descriptores propuestos para la investigación	4
Tabla 2. Grupos de invertebrados más comunes para Sudamérica y el Perú.....	33
Tabla 3. Aplicación del índice EPT	62
Tabla 4. Puntuación de tolerancia para el Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP)	64
Tabla 5. Aplicación del índice BMWP	65
Tabla 6. Puntuación de tolerancia para el Índice biótico de los andes (Andean Biotic Index, ABI).....	67
Tabla 7. Aplicación del índice ABI	69



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Macroinvertebrados del necton	6
Figura 2. Macroinvertebrados del Neuston.....	7
Figura 3. Macroinvertebrados del Bentos	7
Figura 4. Familia Chiromonidae.....	24
Figura 5. Red de Pantalla	28
Figura 6. Red de Suber	29
Figura 7. Hidra.....	34
Figura 8. Dugesia	35
Figura 9. Gordioidea.....	36
Figura 10. Tubifex.....	37
Figura 11. Sanguijuela.....	38
Figura 12. Leptophlebiidae	39
Figura 13. Baetidae	40
Figura 14. Plecoptera familia Perlidae.....	41
Figura 15. Hydropsychidae.....	42
Figura 16. Hydroptilidae	43
Figura 17. Neuróptera familia Corydalidae	44
Figura 18. Hemiptero Familia Belostomatidae.....	45
Figura 19. Familia Dytiscidae	47
Figura 20. Familia Hydrophilidae:	48
Figura 21. Elmidae: larva, vista dorsal.....	49
Figura 22. Libellulidae	50
Figura 23. Coenagrionidae	51
Figura 24. Lepidóptera	52
Figura 25. Tipulidae	53
Figura 26. Ceratopogonidae	54
Figura 27. Simuliidae	55
Figura 28. Chironomidae	56
Figura 29. Acari	57
Figura 30. Mesogastropoda; familia Neritidae	58
Figura 31. Basomatophora, Familia Ancyliidae	58

RESUMEN

Ante la necesidad de contar con metodologías alternativas para la determinación de calidad de agua, se propone identificar aproximaciones teóricas que permitan aplicar el uso de macro invertebrados para determinar la calidad de agua en ríos; para lo cual se realiza la búsqueda bibliográfica correspondiente en las bases de datos como son Scopus, Web of Science, Science Direct y Google Academic. La utilización de macro invertebrados como bioindicadores de calidad de agua, marca principalmente la presencia de materia orgánica; sin embargo, también se ha encontrado reportes donde existe variación en la composición de la familia de los macro invertebrados debido a la presencia de metales pesados, esta última característica está en proceso de investigación. Dentro del análisis de la utilización de macro invertebrados como indicadores para los contaminantes presentes en ríos se ha establecido la utilización de los mismos en diferentes partes del mundo; se utiliza como unidad de identificación al nivel taxonómico de familias, siendo el grupo de los insectos el que mayor cantidad de familias aporta a estos bio indicadores. A partir de la utilización de los macro invertebrados como bio indicadores de calidad de agua se ha establecido que el índice de mayor facilidad de aplicación corresponde al índice EPT Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera; sin embargo, también se ha desarrollado el índice ABI (Andean Biotic Index), el cual se ha adaptado para la utilización de macro invertebrados que se encuentran en los ríos de los andes de Sudamérica incluyendo el Perú.

Palabras Claves: Bioindicadores, Calidad de agua, Índices, Familia de insectos, Macroinvertebrados

ABSTRACT

Given the need to have alternative methodologies for determining water quality, it is proposed to identify theoretical approaches that allow applying the use of macro invertebrates to determine the quality of water in rivers; for which the corresponding bibliographic research is carried out in databases such as Scopus, Web of Science, Science Direct and Google Academic. The use of macro invertebrates as bioindicators of water quality, mainly marks the presence of organic matter; However, reports have also been found where there is variation in the composition of the macroinvertebrate family due to the presence of heavy metals, this last characteristic is under investigation. Within the analysis of the use of macro invertebrates as indicators for the pollutants present in rivers, their use has been established in different parts of the world; it is used as a unit of identification at the taxonomic level of families, the group of insects being the one that contributes the greatest number of families to these bioindicators. From the use of macro invertebrates as bio indicators of water quality, it has been established that the index of greater ease of application corresponds to the EPT Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera index; However, the ABI index (Andean Biotic Index) has also been developed, which has been adapted for the use of macro invertebrates found in the rivers of the Andes of South America, including Peru.

Keywords: Bioindicators, Water quality, Indices, Insect family, Macroinvertebrates

1. INTRODUCCION

Dentro de los múltiples problemas ambientales, y sin desmerecer otros, la contaminación que se genera sobre los cuerpos de agua lóticos, que incluye ríos, riachuelos y arroyos, se van incrementando constantemente; esto se debe, entre otros factores al crecimiento poblacional y al desarrollo urbano desordenado que no toma en cuenta su ubicación respecto a las fuentes de agua, es decir, la mayor parte de ciudades y nuevos asentamientos humanos se construyen al lado de ríos y fuentes de agua dulce, (7) que obviamente son importantes para el abastecimiento de este recurso para las poblaciones humanas, pero que, sin embargo, en muchas circunstancias, y sobre todo en el Perú, en estos se vierten aguas residuales de todo tipo generando problemas de contaminación y baja de calidad del recurso para las poblaciones humanas vecinas que también requieren de recursos (28).

Existe un conjunto de procedimientos que permiten controlar este problema de contaminación; desde la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales hasta modelos de educación ambiental dirigidos a la población remarcando la importancia de proteger el recurso agua; sin embargo, es importante en cierta manera, poder determinar cuál es la efectividad que tienen estas medidas aplicadas; el conocer la efectividad permite establecer cambios o mejoras en los procesos o incluso a proponer mejores procesos o procesos complementarios, dicho de otra forma, ayuda a que se tomen las decisiones correctas respecto a la gestión del recurso agua (49).

El procedimiento lógico para poder determinar la efectividad de las medidas de control de contaminación en cuerpos de agua está relacionado directamente con los monitoreos de la calidad de la misma, considerando para ello parámetros preestablecidos a través de la legislación peruana, dentro de ellos el más importante corresponde a los estándares de calidad de agua (ECA) establecidos por el D.S. 004-2017-MINAM en el cual se fija los valores máximos de contaminantes que pueden estar presente en los cuerpos de agua, considerando a estos últimos como un medio receptor. Si se revisa la norma en cuestión, se establece que los procedimientos para determinar todos los parámetros incluidos, se basan en el análisis de tipo fisicoquímico y microbiológico con métodos estándar ya establecidos a través de una larga data, y

que tienen que ser realizados mediante laboratorios acreditados; de hecho, muchos de estos parámetros son de poco entendimiento para la población, que no tiene un conocimiento adecuado de los conceptos fisicoquímicos ni microbiológicos.

El modelo de gestión de cualquier recurso, y no es excepción para el caso del recurso agua, va a tener éxito siempre y cuando el proceso sea concordado con todos los actores que participan en la mencionada gestión, esto, en el caso del agua involucra, entre otros, a la población usuaria del recurso; y la participación concordada en el análisis del problema de contaminación y la toma de decisiones respecto a las medidas de control, tienen como problema fundamental el poco entendimiento que se tiene de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos establecidos por normativa legal que deben considerarse; es por ello que existe la alternativa de utilizar la biotecnología y dentro de ella a los bioindicadores que representan una herramienta que permitiría superar este problema y permitir un mejor entendimiento de los niveles de contaminación de los cuerpos de agua con la aplicación de los mismos (69).

Uno de los bioindicadores más utilizados a nivel mundial para la determinación de calidad de agua corresponde a los macro invertebrados (25), estos últimos son organismos vivos, habitantes de los cuerpos de agua dulce que se encuentran en el límite de la visibilidad humana, es decir, que pueden ser observados a simple vista, pero que para poder identificar sus estructuras corporales se suele utilizar estereoscopios, si bien es cierto, hablar de macro invertebrados involucra un grupo muy grande de organismos, a través del tiempo se han ido desarrollando protocolos, los cuales permiten identificar ciertas familias sistemáticas como indicadores de la calidad de agua en las diferentes regiones y países (61).

Índices bióticos como el BMWP/COL de biological monitoring working party, el índice EPT de Ephemeroptera, Plecoptera y Tricoptera; o el índice ABI de Andean Biotic Index, entre otros, son índices que utilizan la presencia y abundancia de individuos de ciertas familias de macro invertebrados para que en base al desarrollo de escalas arbitrarias se establezca los niveles de calidad de agua (61); estos métodos muestran como ventaja, que pueden ser de más fácil entendimiento para los pobladores, ya que las escalas que son producto de los mismos, son de fácil lectura, es decir, que indica el nivel de calidad en muy bueno, bueno, regular, malo, y muy malo; sin embargo, esta escala arbitraria viene siendo avalada por información científica rigurosa establecida por la presencia de estos macro invertebrados (61).

No se ha identificado información que permita una adecuada aplicación de estos

índices en los ríos de la región como el río Chili, Tambo, Ocoña y Majes-Camaná, en la región Arequipa; sin embargo, a partir de esta aproximación teórica, es decir por búsqueda bibliográfica, se puede establecer a especies de las familias Trichoptera, Plecoptera, Ephemeroptera y además de la familia de los Chiromonidos, como bioindicadores, es decir, que nos dan a conocer el nivel de contaminantes que presentan en el agua estos ríos, considerándose estos grupos como los más apropiados. Estos grupos de invertebrados, entre otros, pueden mostrar el nivel de contaminación del agua de los ríos (bioindicador).

De acuerdo a lo previamente expuesto se propuso identificar las aproximaciones teóricas que permitan aplicar el uso de macro invertebrados para determinar la calidad de agua en ríos; para ello se realizó búsquedas en las bases de datos tales como Scopus, Web of Science, Science Direct, Google Academic; a partir de lo cual se extrajo publicaciones relacionados al tema de los últimos cinco años, cuyos resúmenes en muchos casos han sido incluidos como parte del análisis realizado.

2. METODOLOGIA

Para el presente trabajo de investigación bibliográfico se han considerado las siguientes bases de datos (motores de búsqueda):

- a. Scopus
- b. Web of Science
- c. Science Direct
- d. Google Academic

2.1. Selección de descriptores / cadena de búsqueda

En cumplimiento del objetivo de realizar una revisión crítica es que se consideraron los siguientes descriptores:

Tabla 1 Descriptores propuestos para la investigación

DESCRIPTORES EN ESPAÑOL	DESCRIPTORES EN INGLÉS
Macro invertebrados	Macro invertebrates
Ríos	Rivers
Contaminación	Pollution
Índices bióticos	Biotic Index
Demanda Química de Oxígeno	Chemical Oxygen Demand
Oxígeno disuelto	Dissolved oxygen
Materia orgánica	Organic material
Metales pesados	Heavy metals

Para la búsqueda también se utilizaron los operadores Booleanos los cuales son AND, OR y NOT

El producto de la búsqueda se observa en la siguiente bitácora de la investigación

La construcción de las ecuaciones de búsqueda se dio mediante la combinación de los descriptores y los operadores booleanos, de tal manera que una combinación es una ecuación y va a mostrar resultados en la búsqueda; por ejemplo, si se combina Macro invertebrados, ríos e índices bióticos como descriptores y se les asocia con operadores booleanos tendríamos:

Macroinvertebrados AND ríos AND índices bióticos

Esta última fue la fórmula, la cual fue colocada en el buscador correspondiente y se obtuvo resultados de artículos que incluyeron a esos descriptores o en el título o en las palabras claves.

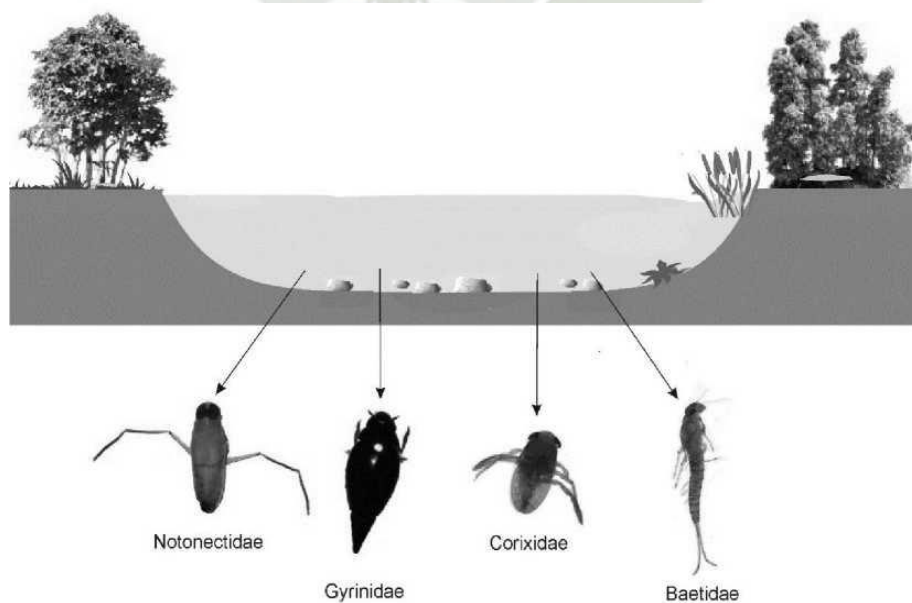
2.2. Criterios de inclusión y exclusión

Los criterios de inclusión están basados en los artículos definidos por los descriptores y que serán aplicados a los motores de búsqueda con la utilización de los operadores Booleanos, generándose de esa manera las ecuaciones de búsqueda; por otro lado, de acuerdo al motor de búsqueda, se consideran los artículos científicos de mayor impacto o mayor citación; respecto a la temporalidad se consideran los artículos de los últimos cinco años.

3. MACROINVERTEBRADOS

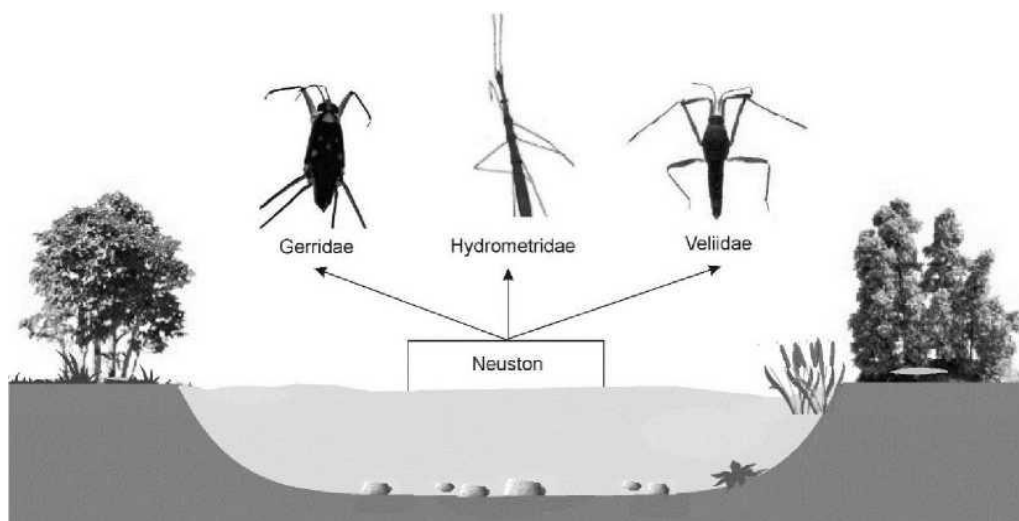
3.1. DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Los organismos denominados como macroinvertebrados, característicamente son definidos como organismos carentes de columna vertebral y que pueden ser visualizados a simple vista o con el uso de lentes de bajo aumento (lupas) con 0.5 mm; sin embargo, al margen de una definición técnicamente simplista, se considera a los macroinvertebrados (19, 20, 22), como un grupo de animales invertebrados tales como insectos, crustáceos, moluscos y anélidos entre otros, los cuales son observados en ambientes dulceacuícolas; en estos ambientes cumplen funciones fundamentales relacionados con el ciclo de nutrientes y el mantenimiento de la biodiversidad en estos ecosistemas (29); los macro invertebrados pueden ocupar diferentes compartimientos dentro del ecosistema dulceacuícolas; así algunos de ellos se encuentran nadando libremente en la columna de agua a los cuales se les denomina necton (Fig. No. 1); otros flotan sobre la superficie de la misma constituyendo el denominado neuston (Fig. No. 2); por otro lado hay algunos macro invertebrados que se encuentran sujetos sobre superficies como pueden ser rocas del fondo, hojarasca, partes vegetales sumergidas u otros sustratos orgánicos o inorgánicos a estos se les denomina bentos (Fig. No. 3).



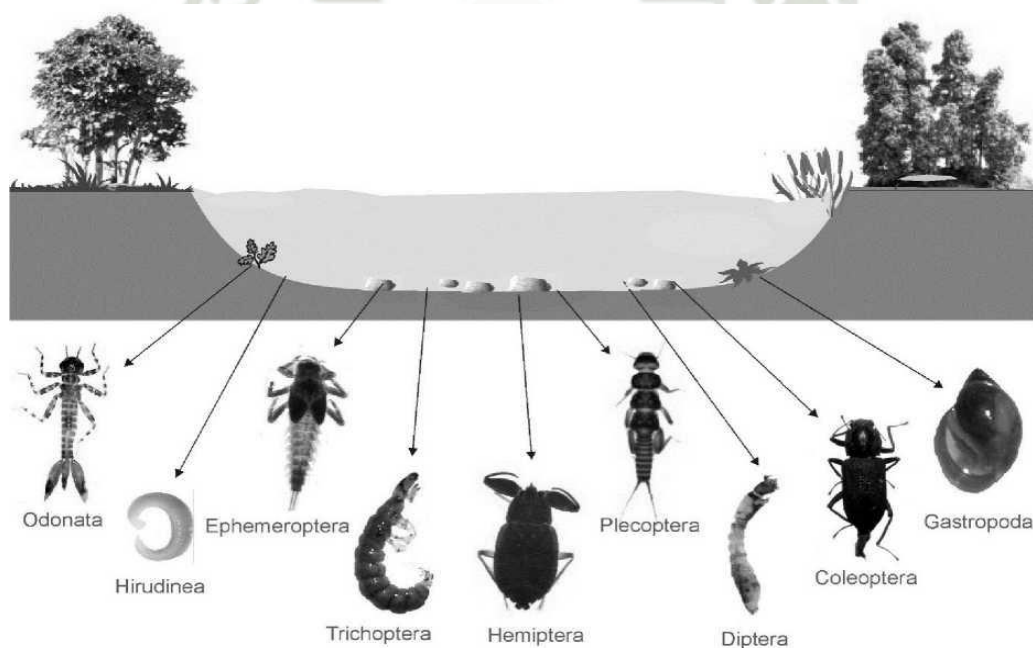
Fuente: Álvarez-Arango, 2005

Figura 1 *Macroinvertebrados del necton*



Fuente: Álvarez-Arango, 2005

Figura 2 Macroinvertebrados del Neuston



Fuente: Álvarez-Arango, 2005

Figura 3 Macroinvertebrados del Bentos

Los macro invertebrados se pueden presentar lentamente en ambientes lóticos, es decir, agua que discurre sobre la superficie del continente (ríos, arroyos, riachuelos); o ambientes lenticos, es decir, cuerpos de agua que se encuentran depositados en algunas depresiones del terreno (lagos, lagunas, charcos), en todos estos ambientes

la función de estos macro invertebrados resulta fundamental en el mantenimiento del equilibrio ecológico por lo que la biodiversidad de los mismos y el control de ella resulta siendo muy importante en la conservación de estos ambientes (55, 61, 62, 71).

Los macro invertebrados como todo organismo pluricelular se caracteriza por tener una respiración de tipo aeróbica, es decir, que su metabolismo depende del consumo de oxígeno; en la mayoría de los casos este oxígeno es obtenido a partir de sistemas respiratorios bastante típicos como son el caso de branquias, respiración cutánea, o incluso hasta la difusión; el agua suele contener cierta cantidad de oxígeno en forma diatómica contenida en ella, a lo cual se le conoce con el nombre de parámetro de oxígeno disuelto, en muchos de los casos el valor límite de este oxígeno disuelto corresponde a 4 mg/l (ECA de agua D.S. 004-2017-MINAM). Por debajo de esos valores se entiende que se pone en riesgo la biodiversidad presente en los cuerpos de agua que está constituida fundamentalmente por los macro invertebrados mencionados, sin embargo, dentro de ellos hay que hacer algunas diferencias, por ejemplo, los macro invertebrados que pertenecen al neuston, es decir que tienen la posibilidad de flotar sobre la superficie del agua, pueden obtener el oxígeno directamente de la atmósfera, siempre y cuando se mantenga cierto grado de humedad en sus estructuras respiratorias (60, 65, 73); por otro lado, hay macro invertebrados que presentan pigmentos respiratorios que son mucho más eficientes que otros; dentro de estos pigmentos respiratorios el más abundante en los macro invertebrados resulta siendo la hemocianina cuyo metal oxidable corresponde al cobre; sin embargo, algunos de ellos presentan hemoglobina, cuyo metal oxidable es el hierro; siendo los macro invertebrados de este último grupo, los que presentan mejor eficiencia en la captura del oxígeno; dicho de otra manera, pueden soportar concentraciones más bajas de oxígeno en el agua ya que tienen mayor efectividad en la captura del mismo (61).

Se debe también restar importancia a los macro invertebrados que viven en ambientes lóticos, es decir, ríos, arroyos y riachuelos; en estos ambientes se suele establecer dos zonas claramente diferenciadas sobre todo para el caso de ríos de un caudal significativo, una de ellas se conoce con el nombre de remanso la cual se ubica generalmente hacia los márgenes del río y tiene una velocidad de flujo tal que permite el depósito de material particulado, por lo que normalmente el sustrato suele ser arena

o fango; la otra zona corresponde a la denominada rabiones, en ella la velocidad del flujo de agua no permite el depósito de material particulado, formándose un sustrato normalmente constituido por rocas de gran tamaño o suelo endurecido; respecto a la ubicación de los macro invertebrados en estos dos ambientes, como fácilmente se puede suponer, la mayor diversidad de los mismos se observa en la zona de remansos, ya que debido al tamaño muy difícilmente pueden vencer la fuerza del agua en la zona de rabiones. Se debe mencionar por otro lado que el impacto de contaminantes de cualquier tipo sobre los ríos será justamente en la zona de remansos por lo que el efecto de los mismos puede causar variación en la biodiversidad de los macro invertebrados que habitan en él (44, 48).

La distribución en los ambientes lénticos de los macro invertebrados ha sido menos estudiada, sin embargo, se entiende que su distribución debe estar limitada a los ambientes donde existe la posibilidad de desarrollo de fotosíntesis ya que terminaría siendo la fuente de oxígeno para el desarrollo de los mismos; algunos cuerpos de agua como el caso de los lagos presentan una zona en la cual no llega la luz a la cual se le denomina zona afótica, esta zona sería carente de la presencia de estos macro invertebrados; por otra parte los ambientes lénticos son más propensos a la eutrofización, que corresponde a la pérdida de oxígeno disuelto por el ingreso de sustancias orgánicas al cuerpo de agua; esta eutrofización, entre otras cosas marca la desaparición o la disminución de la biodiversidad de macro invertebrados en los cuerpos de agua afectados (49, 50).

Lo anteriormente manifestado se puede validar mediante las siguientes publicaciones: Moreno y Col en el año 2018 (50) publica un análisis de la composición y abundancia de macro invertebrados en un río y menciona que los macroinvertebrados bentónicos son importantes dentro de los ecosistemas acuáticos debido a que intervienen en la transferencia de energía en las redes tróficas siendo un recurso importante para las comunidades peces continentales. En los ecosistemas dulceacuícolas los macroinvertebrados viven tanto en aguas lólicas (ríos, arroyos, quebradas) como en aguas lénticas (lagos, lagunas, ciénagas, embalses, etc). El hábitat es el lugar específico en que vive un organismo y en los ecosistemas acuáticos éstos son muy heterogéneos y a cada uno de ellos corresponde una comunidad determinada. En los ecosistemas lólicos algunos macroinvertebrados viven adheridos a la superficie de

rocas, pequeñas piedras, troncos sumergidos o restos de vegetación; otros habitan en las orillas, adheridos a la vegetación emergente o sumergida; unos viven sobre la superficie del agua, mientras que otros nadan en ella como los peces. Otros se entierran en sustratos arenosos, fangosos o pedregosos. Unos prefieren corrientes rápidas, para lo cual los organismos tienen adaptaciones corporales como ganchos, ventosas y cuerpos aplanados para resistir la velocidad de la corriente; otros habitan en remansos. En los ecosistemas lóticos se esperan mayores valores de diversidad de macroinvertebrados en los tramos de la corriente con mayor heterogeneidad del sustrato, mientras que en los tramos donde el sustrato es uniforme o existe una mayor homogeneidad del lecho de la corriente, la diversidad será menor. En los ecosistemas lénticos los macroinvertebrados habitan principalmente el área litoral y en las raíces de las plantas acuáticas flotantes. En la zona litoral de los embalses son escasos, ya que el nivel del agua se mueve permanentemente. La zona profunda de los lagos por lo regular ofrece condiciones estresantes por la falta de oxígeno y por la acumulación de gases tóxicos, por eso la fauna que allí se encuentra en la mayoría de los casos es poco variada, pero los individuos presentes pueden ser abundantes. Debido a lo anterior, es importante que cuando se realicen estudios para evaluar la calidad del agua, éstos deben considerar todos los posibles hábitats presentes en el área de muestreo.

Sundar y Col. en el año 2020 (74), publicaron conservación de la biodiversidad de macro invertebrados de agua dulce en regiones tropicales en el cual mencionan que motivados por iniciativas globales recientes para la conservación y restauración de la biodiversidad, se revisa las brechas en la comprensión y los desafíos que enfrenta la biodiversidad y conservación de macroinvertebrados de agua dulce en las regiones tropicales. Ellos revelaron una falta de información taxonómica, filogenética y ecológica adecuada para la mayoría de los grupos de macroinvertebrados y, en consecuencia, existen brechas de conocimiento a gran escala con respecto a la respuesta de la diversidad de macroinvertebrados al cambio climático potencial y otros impactos humanos en las regiones tropicales; por otro lado, proponen ideas para reducir el impacto de los principales impulsores de la disminución de la biodiversidad de macroinvertebrados, incluida la degradación y pérdida del hábitat, la alteración hidrológica, la sobreexplotación, las especies invasoras, la contaminación y los múltiples impactos del cambio climático. En la publicación de referencia también se proporciona recomendaciones para mejorar la planificación de la conservación en

estos sistemas (además de proporcionar planes de gestión claros a nivel local, regional y nacional), la gestión integrada de cuencas, la formulación de medidas reglamentarias, la comprensión de los determinantes de la diversidad de macroinvertebrados en múltiples escalas y grupos taxonómicos, y la colaboración entre investigadores y profesionales de la conservación. Se sugiere que el uso integrado de información sobre biodiversidad de macroinvertebrados en el biomonitoreo puede mejorar la gestión de los ecosistemas.

Chattopadhyay y Col en el año 2021 (11) publicaron Efecto de una inundación de verano en macroinvertebrados bentónicos en un río de tierras bajas templadas de tamaño mediano en el que mencionan que las inundaciones son eventos hidrológicos extremos que ocurren naturalmente y que afectan los hábitats de los arroyos y la biota en múltiples extensiones. Los macroinvertebrados bentónicos se utilizan ampliamente para evaluar el estado ecológico de los ríos, pero no se ha estudiado suficientemente su resistencia y resiliencia a las inundaciones en los ríos de tierras bajas, templadas y de tamaño medio en Europa. En este estudio, se cuantifica el efecto de una inundación moderada (período de retorno de 5 años) pero de larga duración e impredecible que ocurrió en el verano de 2020 en la comunidad de macroinvertebrados del río Jeziorka en el centro de Polonia. Para comprender mejor los mecanismos por los cuales la inundación estudiada afectó a la comunidad de macroinvertebrados, también se evalúa la dinámica de las condiciones hidrológicas, hidráulicas, morfológicas del canal y de calidad del agua a lo largo del tramo de 1300 m de longitud estudiado. Monitoreo continuo del nivel del agua, medición de la profundidad de los arroyos y mediciones de descarga. Además, se realizaron mediciones de la calidad del agua in situ y en laboratorio entre marzo y agosto de 2020. Se tomaron muestras de las comunidades de macroinvertebrados tres veces en ocho sitios a lo largo del tramo, una antes y dos después de la inundación. Las altas velocidades de flujo durante la inundación dieron como resultado la inestabilidad del lecho del arroyo, lo que provocó un movimiento del sustrato de arena que provocó la degradación del lecho del río hasta en 0,2 m. El oxígeno disuelto y el nitrógeno amónico fueron los principales impulsores de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados. La riqueza, abundancia de taxa disminuyeron significativamente, mientras que los índices de uniformidad de Shannon y diversidad de Simpson no mostraron cambios significativos en el primer muestreo posterior a la inundación,

como lo indican las pruebas de Kruskal-Wallis y Tukey. El análisis de escala multidimensional no métrica (NMDS) mostró que la composición de la comunidad también se vio significativamente afectada por la inundación. Siete semanas después del pico de inundación (muestreo de agosto del 2020), las comunidades de macroinvertebrados se habían recuperado por completo de la perturbación. Los resultados pueden servir como una primera aproximación de la resistencia y resiliencia de las comunidades de macroinvertebrados para aplicaciones relevantes en otros ríos templados de tamaño mediano, bajo gradiente.

Shenton y col en el año 2021 (68) publicaron *The Effects of Road De-icing Salts on Water Quality and Macroinvertebrates in Australian Alpine Areas* en el que comentan que las transformaciones del uso de la tierra de tipo natural a antrópico han sido reconocidas como un detonante significativo que degenera seriamente la calidad ecológica acuática. Sin embargo, todavía faltaban pruebas suficientes de que el alcance de los cambios en el uso de la tierra debería establecerse como un objetivo de conservación de la diversidad biológica para proteger el ecosistema acuático. Para comprender las variaciones correspondientes de los organismos acuáticos a los gradientes ambientales y establecer los valores de umbral de conservación para el uso de la tierra, se muestrearon datos de parámetros fisicoquímicos y comunidades de macroinvertebrados en la cuenca del río Hun-Tai durante 2009 y 2010. Los principales objetivos del presente estudio fueron (i) explorar los factores limitantes que afectan la distribución de las comunidades de macroinvertebrados con gradientes de uso de la tierra, (ii) estimar los umbrales para la conservación de las comunidades de macroinvertebrados derivados de los modelos aditivos generalizados (GAM) y el análisis de taxa de indicadores de umbral (TITAN), respectivamente. Los resultados indicaron que la estructura e integridad de las comunidades de macroinvertebrados fueron fuertemente negativas con respecto al contenido de nutrientes, contaminantes orgánicos, % CropArea y % ImperviousArea. Bajo una perspectiva de precaución y dados los niveles actuales de uso de la tierra, esta investigación podría proporcionar algunas estrategias útiles para la gestión apropiada de la explotación de la tierra y la mejora de la calidad del agua y la conservación de la biodiversidad en la restauración ecológica de los ríos.

Ding y Col. en el año 2021 (18) en su publicación *Evaluación de los factores de*

limitación y los umbrales para las comunidades de macroinvertebrados en respuesta a los gradientes de uso de la tierra mencionan que las transformaciones del uso de la tierra de tipo natural a antrópico han sido reconocidas como un detonante significativo que degenera seriamente la calidad ecológica acuática. Sin embargo, todavía faltaban pruebas suficientes de que el alcance de los cambios en el uso de la tierra debería establecerse como un objetivo de conservación de la diversidad biológica para proteger el ecosistema acuático. Para comprender las variaciones correspondientes de los organismos acuáticos a los gradientes ambientales y establecer los valores umbral de conservación para el uso de la tierra, se muestrearon datos de parámetros fisicoquímicos y comunidades de macroinvertebrados en la cuenca del río Hun-Tai durante 2009 y 2010. Los principales objetivos del presente estudio fueron (i) explorar los factores limitantes que afectan la distribución de las comunidades de macroinvertebrados con gradientes de uso de la tierra, (ii) estimar los umbrales para la conservación de las comunidades de macroinvertebrados derivados de los modelos aditivos generalizados (GAM) y el análisis de taxa de indicadores de umbral (TITAN), respectivamente. Los resultados indicaron que la estructura e integridad de las comunidades de macroinvertebrados fueron fuertemente negativas con respecto al contenido de nutrientes, contaminantes orgánicos, área de cultivo y áreas intervenidas.

Ntloko y Co. en el año 2021 (54) publicaron explorando las preferencias ecológicas de los macroinvertebrados y los indicadores basados en rasgos de los efectos de los sedimentos finos en suspensión en el río Tsitsa y sus afluentes, este del cabo, Sudáfrica en el cual indican que el patrón de respuesta basado en taxonomía de los macroinvertebrados al estrés sedimentario está bien establecido, con taxones tolerantes que aumentan en condiciones de impacto, mientras que los taxones sensibles disminuyen a lo largo de un gradiente de calidad del agua en deterioro. Sin embargo, los patrones de distribución de los rasgos en respuesta al gradiente de estrés ambiental, incluidos los sedimentos en suspensión, siguen sin estar claros, particularmente en África, donde los estudios basados en rasgos están poco explorados. Se examinaron los patrones de distribución de los rasgos de macroinvertebrados a lo largo de un gradiente de estrés de sedimentos en suspensión e identificaron rasgos tolerantes y sensibles para el estrés de sedimentos en suspensión. Se muestrearon macroinvertebrados y variables ambientales

estacionalmente en invierno, primavera, verano y otoño del 2016 al 2018 en ocho sitios seleccionados en el río Tsitsa y sus afluentes. Se seleccionaron 12 rasgos y preferencias ecológicas, se resolvieron en 47 atributos de rasgos y se analizaron utilizando el RLQ y los análisis de la cuarta esquina. Los resultados revelaron que los rasgos de los macroinvertebrados y las preferencias ecológicas fueron influenciados diferencialmente por los sedimentos finos en suspensión en el río Tsitsa y sus afluentes. Rasgos como la preferencia por CPOM, colector-filtrado y una alta sensibilidad al agotamiento del oxígeno, se consideraron sensibles al estrés de los sedimentos en suspensión, exhibiendo asociaciones positivas con los sitios de control y asociados negativamente con cualquiera de los parámetros ambientales (tamaño de grano de sedimento, turbidez, TSS y EC). Los rasgos indicadores tolerantes incluyeron una alta tolerancia al agotamiento de oxígeno. Los resultados del análisis de la cuarta esquina indicaron que los tamaños de grano de los sedimentos finos en suspensión (que incluyen arena gruesa, limo fino y arcilla) fueron las variables más importantes que influyeron en los patrones de distribución de rasgos de macroinvertebrados durante la estación seca, mientras que la grava, el lodo y la arena media fueron más importantes durante la temporada de lluvias. En general, el estudio proporcionó información crítica sobre las respuestas basadas en rasgos de las comunidades de macroinvertebrados al estrés de sedimentos en suspensión, información clave que podría estimular el desarrollo de herramientas de biomonitoreo basadas en rasgos de macroinvertebrados para la evaluación del estrés de sedimentos en suspensión en la región afrotropical.

3.2. MACRO INVERTEBRADOS COMO INDICADORES DE CALIDAD DE AGUA

El uso de los macro invertebrados como indicadores de calidad de agua está extendiéndose por todo el mundo, el principio fundamental es que tomando en cuenta las características ecológicas de estos macro invertebrados, sobre todo el nivel de soporte que tienen al estrés elementos extraños a su hábitat, puedan en cierta manera determinar los grados de contaminación que presentan los diferentes cuerpos de agua analizados; se debe mencionar por ejemplo que ya en la unión europea, los métodos de bio indicación a través de macro invertebrados incluso está siendo considerado dentro de la legislación correspondiente; esto mediante un parámetro denominado “estado ecológico”, el cual es determinado por los valores que adquieran determinados índices y está siendo normado desde el punto de vista legal (51, 57, 62, 64).

Para el caso de Latinoamérica todavía los macro invertebrados no tienen un soporte legal válido en la mayoría de los países, sin embargo, su aplicabilidad está copando lugares en los cuales no significa que reemplacen a los análisis fisicoquímicos, que son los análisis incluidos dentro de la normativa legal, sino más bien que permitan la disminución de la frecuencia de los mismos y que además se permita un monitoreo permanente de la calidad a través del conteo y la aplicación de los índices de estos invertebrados (3,15, 27,30).

3.2.1 Concepto del bioindicador

El concepto de bioindicador, puede ser aplicado a un organismo o un grupo de organismos que a través del análisis de características permiten establecer la presencia de algún elemento o estado extraño en el medio en el cual estos se desarrollan o son aplicados; es importante determinar en el bioindicador la respuesta biológica que se espera del mismo, la cual puede variar; así podría ser una respuesta fisiológica, la modificación de una estructura corporal, o, como en el caso de los macro invertebrados, la variación respecto a la presencia o abundancia de determinadas familias que corresponden al grupo; en este último caso, cuando se considera la presencia o abundancia de grupos taxonómicos se suele utilizar el término de “salud ecológica”, es decir la presencia de ciertos grupos taxonómicos de macro

invertebrados muestran un determinado nivel de salud ecológica (33, 35, 40, 55). Publicaciones como la de Vries y Col. del año 2021 (16) titulada Red bayesiana para simular respuestas de macroinvertebrados a múltiples factores estresantes en arroyos de tierras bajas, mencionan que los ecosistemas acuáticos se ven afectados por múltiples factores ambientales estresantes en escalas espaciales y temporales. Sin embargo, la naturaleza de las interacciones entre los factores estresantes y las relaciones entre los factores estresantes y la respuesta aún no se comprende bien. Esto dificulta la selección de las medidas de restauración adecuadas. Por lo tanto, es necesario comprender cómo responden los ecosistemas a múltiples factores estresantes y desentrañar los efectos combinados de los factores estresantes individuales sobre el estado ecológico de las masas de agua. Los modelos pueden usarse para relacionar las respuestas de los ecosistemas a los cambios ambientales, así como a las medidas de restauración y, por lo tanto, proporcionar herramientas valiosas para la gestión del agua. Por lo tanto, el objetivo fue desarrollar y probar una Red Bayesiana (BN) para simular las respuestas de los macroinvertebrados de corriente a múltiples factores estresantes. Aunque el rendimiento predictivo puede mejorarse aún más, se demostró que el modelo desarrollado es adecuado para análisis de escenarios. Para los arroyos de tierras bajas seleccionados, se predijo un aumento en la calidad ecológica basada en macroinvertebrados (EQR) para escenarios en los que los arroyos se liberaron de factores estresantes únicos y múltiples. Especialmente una combinación de medidas que aumentan la velocidad del flujo y mejoran la cobertura de materia orgánica en partículas gruesas mostró un aumento significativo en la calidad ecológica basada en macroinvertebrados en comparación con las condiciones actuales. Se demostró que el uso de Red Bayesiana es una vía prometedora para el análisis de escenarios en la gestión de restauración de arroyos. La Red Bayesiana tiene la capacidad de una comunicación visual clara de las dependencias del modelo y la incertidumbre asociada con los datos de entrada y los resultados y permiten la combinación de múltiples tipos de conocimiento sobre las relaciones estresante-efecto. Aun así, para hacer las predicciones más robustas, se requiere una comprensión más profunda de las interacciones de los factores de estrés para parametrizar las relaciones del modelo. Además, se debe disponer de suficientes datos de formación para el tipo de agua de interés. Sin embargo, la aplicación de Red Bayesiana ya puede ayudar ahora a desentrañar la contribución de los factores estresantes individuales al efecto combinado sobre la calidad ecológica de los cuerpos

de agua, lo que a su vez puede ayudar a la selección de medidas de restauración apropiadas que conduzcan a las mejoras deseadas en macroinvertebrados. Calidad ecológica.

Por otro lado, del trabajo de Eriksen y Col. (25) publicado en el año 2021 titulado Una perspectiva global sobre la aplicación de macroinvertebrados ribereños como indicadores biológicos en África, América Central y del Sur, México y Asia Meridional en el cual menciona que se pretendió generar una primera visión global de las presiones y métodos utilizados para evaluar la calidad ambiental de ríos y arroyos utilizando macroinvertebrados. En total, se revisaron 314 estudios de revisión por pares, publicados en el período 1997 - 2018, de economías en desarrollo en África, América Central y del Sur, México y Asia Meridional. Para establecer una perspectiva global, los resultados de la revisión de la literatura se compararon con otros conjuntos de datos compilados, manuales de biomonitoreo, encuestas ambientales y revisiones de la literatura de Europa, América del Norte y Australasia. La revisión de la literatura de las economías en desarrollo mostró que el muestreo era más habitual durante el flujo base, utilizando muestreo kick o Surber, con niveles de identificación taxonómica principalmente por género o familia. Las evaluaciones se realizaron con mayor frecuencia utilizando métricas (singulares y multimétricas; > 70% de las aplicaciones) y se basaron en atributos de la comunidad relacionados con la riqueza y el dominio (58% de los estudios), la sensibilidad (40%), la diversidad por heterogeneidad (32%) y rasgos funcionales (25%). Dentro de cada categoría, las métricas más utilizadas fueron la riqueza y el dominio de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT), los sistemas de puntuación del Grupo de Trabajo de Monitoreo Biológico (BMWP / ASPT), la diversidad de Shannon-Wiener y los rasgos de alimentación. En general, el 92% de los estudios revisados informaron que el uso de macroinvertebrados, al menos en algunas de sus respuestas, logró detectar la degradación de la calidad ambiental en los ríos investigados. Dadas las muchas similitudes en los métodos aplicados en todo el mundo, en la actualidad, consideramos que una evaluación global de la calidad ambiental fluvial puede ser factible mediante el uso de identificaciones a nivel familiar de muestras de macroinvertebrados.

También el trabajo de Fenoglio y Doretto (27) del año 2021 titulado Monitoreo de arroyos neotropicales utilizando comunidades de macroinvertebrados: evidencia de

Honduras donde se menciona que la evaluación de la calidad del agua mediante el uso de indicadores biológicos es una forma confiable y económicamente viable de promover la conservación del medio ambiente en los países tropicales en desarrollo. Se presenta uno de los pocos ejemplos de biomonitoreo fluvial en Honduras. En junio del 2005, se recolectaron macroinvertebrados bentónicos de seis sitios en la cuenca del Río Cangrejal. Se utilizó una versión adaptada del índice del Grupo de Trabajo de Monitoreo Biológico (BMWP) para evaluar la calidad del agua porque es simple, consolidada, relativamente fácil de usar y necesita una identificación a nivel familiar. Además, se calcularon otras dos métricas de la comunidad, a saber, la riqueza taxonómica total y la contribución local a la diversidad beta (LCBD). Se probaron estadísticamente las diferencias en las métricas de biomonitoreo y diversidad entre sitios y sus correlaciones. Se recolectaron 39 taxones de macroinvertebrados y, a pesar de las diferencias significativas en el puntaje BMWP, todos los sitios de muestreo se clasificaron en la clase de alta calidad ambiental. Se encontró una correlación muy fuerte y positiva entre el BMPW y la riqueza de taxones, mientras que LCBD no varió significativamente y no se correlacionó con las otras métricas. Los resultados sugieren que la riqueza de taxones podría utilizarse como indicador sustituto para evaluar la calidad del agua cuando no se dispone de métodos de biomonitoreo consolidado.

Por otro lado, Ko y Col (41) en el año 2020 publicaron Indicadores de macroinvertebrados acuáticos en los canales de riego Zawgyi y un río en la zona seca central de Myanmar en el que mencionan que los ríos y humedales de Myanmar brindan servicios esenciales a las personas en términos de transporte, agricultura, pesca y una miríada de otros servicios de los ecosistemas, todos los cuales dependen de un ecosistema saludable. Los canales de riego también son una parte importante de la infraestructura para el uso diario del agua en Myanmar. Se describió el ecosistema acuático de canales de riego utilizando comunidades de macroinvertebrados acuáticos. La investigación se centró en la composición taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos del río Zawgyi y los canales de riego asociados en el centro de Myanmar, al este de la ciudad de Mandalay. Las diferencias significativas entre el río y los canales, y entre los canales individuales, se mostraron mediante un análisis de similitud. Los hallazgos iniciales sugieren que existe una clara separación entre las comunidades de macroinvertebrados en el nivel de identificación

de morfoespecies entre el río y los canales de riego, mientras que hay menos separación entre los grupos funcionales de alimentación (FFG) entre ellos. El menor nivel taxonómico de discriminación a nivel familiar utilizando un índice de calidad del agua no mostró diferencias significativas entre el río y los canales. Los resultados preliminares de campo indican que un método de índice de biomonitorio modificado recientemente podría aplicarse en Myanmar para evaluar la calidad ecológica del agua del río modificado, así como los canales artificiales.

3.2.2 Validación de macro invertebrados acuáticos como indicadores de calidad de agua

Son muy pocos los grupos de organismos vivos que se puedan considerar como bio indicadores ideales; existen muchos autores que consideran a los macro invertebrados muy cercanos a lo que significa un bio indicador ideal; las razones por las cuales pueden ser considerados como tal corresponden a las siguientes características (10, 12, 76):

- Se les puede observar a simple vista; si bien es cierto a veces es necesario utilizar una lupa o lentes de poco aumento para poder establecer estructuras morfológicas para su diferenciación, la manipulación de los mismos no es difícil debido a que pueden ser percibidos a simple vista esto genera un enorme beneficio y facilidad en la aplicación de las evaluaciones de macro invertebrados
- Son abundantes y de amplia distribución; como se estableció en las publicaciones mencionadas previamente y en las que se seguirán observando en el presente documento se observa macro invertebrados prácticamente en todos los cuerpos acuáticos naturales del planeta y de hecho de acuerdo a las características que presentan pueden ser fácilmente “seleccionados” por las características propias de cada uno de los cuerpos de agua.
- Las técnicas de muestreo son fáciles, están estandarizadas y no requieren equipos costosos, como se observará en los siguientes ítems el método más usado corresponde a la red Surber que corresponde a una red tipo manga generándose un cuadrado de 30 cm de lado del cual con la utilización de algunos cepillos especiales se frota el fondo del cuerpo de agua para que la

fuerza del agua empuje a los macro invertebrados al interior de la malla; estas mallas están estandarizadas para tener una cocada de 500 micras, y son de relativo bajo costo.

- La mayoría de los macro invertebrados considerados en los estudios son sedimentarios, es decir pertenecen al bentos, por lo que reflejan claramente las condiciones locales ya que al estar ubicados en la misma zona van a recibir los impactos que sufra la modificación del medio en su entorno.
- Presentan ciclos de vida relativamente largos, esto va a permitir poder detectar dentro de los cuerpos de agua variación respecto a la abundancia y diversidad de cada uno de los grupos taxonómicos de los macro invertebrados.
- Debido a su alta diversidad presentan una diferente gama de tolerancia frente a los diferentes tipos de contaminantes; está relacionado fundamentalmente a la capacidad que tienen de soportar las bajas concentraciones de oxígeno; sin embargo, como se observará posteriormente también existe una relación respecto al tipo de branquias ya que ésta puede ser bloqueada por la presencia de algunos metales.
- Presentan baja variabilidad genética, lo que evita que la posibilidad de modificación genética sea un efecto que perturbe dentro de los resultados de las evaluaciones.
- Relativa facilidad en su identificación en base a imágenes referenciales; si bien es cierto para poder aplicar las diferentes técnicas de evaluación con macro invertebrados es necesario poder reconocer las familias de los grupos de invertebrados involucrados, esto se puede realizar mediante la comparación de las imágenes a través de una lupa o estereoscopios con gráficos en diferentes guías que permiten la identificación de estas familias.

Al respecto Elias, (22) en el año 2021 publica Efectividad de las especies de macroinvertebrados para discernir los niveles de contaminación en el medio acuático; en el que mencionan que el mundo se está transformando más rápidamente que nunca como resultado de la urbanización y la industrialización. Tal destrucción implacable de la naturaleza ha superado la capacidad de la madre Tierra para sustentar el ecosistema acuático. Aparte de las especies de macroinvertebrados de agua dulce, no existe una medida única de la disminución del ecosistema de agua

dulce que pueda capturar los cambios a corto y largo plazo o la tendencia de la salud general del ecosistema de agua dulce. Al respecto, los macroinvertebrados y las variables fisicoquímicas se utilizaron como sustitutos para determinar los niveles de deterioro dentro y entre las cuencas de los ríos Pangani y Wami-Ruvu en Tanzania. La distribución espacial de las comunidades de macroinvertebrados en las cuencas está significativamente influenciada por diferentes niveles de variables ambientales como resultado de la geomorfología y los usos inadecuados de la tierra. La ordenación del Análisis de Componentes Principales (PCA) mostró dos patrones distintos de biometría que claramente discriminan los sitios de referencia de los sitios de monitoreo en cada cuenca y, en consecuencia, demuestran las diferencias en la calidad del agua y el hábitat físico entre las categorías de sitios. De manera similar, se observaron especies distintivas de macroinvertebrados que variaron considerablemente entre las categorías de sitios en los ríos estudiados en función de los niveles de tolerancia. Los sitios impactados se caracterizan por la ausencia de taxones sensibles o la presencia de pocos, si es que los hay; mayor predominio de sólo unos pocos taxones tolerantes a la contaminación. Por lo tanto, los órdenes más diversos con una gama más amplia de ocurrencias y tolerancia a la contaminación (Ephemeroptera (E), Diptera (D), Odonata (O) y Trichoptera (T)) pueden considerarse como bioindicadores potenciales en el desarrollo de índices de biomonitoreo para Ríos de África Tropical, ya que mostraron un poder de discriminación significativo que separó los sitios de referencia de los de seguimiento.

Por otro lado, Ghosh y Col (35) en el año 2017 publicaron el artículo titulado Eficiencia del índice de tolerancia a la contaminación (PTI) de macroinvertebrados para detectar contaminación acuática en un lago en herradura en India; este artículo evalúa la eficiencia del Índice de Tolerancia a la Contaminación basado en macroinvertebrados (PTI), para detectar contaminación acuática en el lago en herradura Chhariganga, India. Los PTIs calculados se compararon con los resultados de un conjunto de parámetros fisicoquímicos del agua y del sedimento, y con una determinación de la diversidad de macroinvertebrados llevada a cabo paralelamente en el mismo lago. Los valores obtenidos del PTI cayeron dentro de un rango (entre 20 y 31) que, de acuerdo con la literatura, es indicativo de ausencia de contaminación orgánica, y que son normalmente reportados para sistemas desprovistos de actividad antropogénica (por ejemplo, actividades contaminantes de enriamiento del yute durante los monzones).

Sin embargo, a la luz de los resultados de los parámetros fisicoquímicos de agua y sedimento, y con el soporte de los índices de diversidad de macroinvertebrados usando datos del mismo lago, fue posible concluir que los valores de PTI obtenidos no reflejan el verdadero estado de contaminación del lago en herradura. Como los valores de PTI y los índices de diversidad se contradicen entre sí en detectar la contaminación, se aconseja tomar en consideración ambos parámetros cuando se usen macroinvertebrados para determinar la salud acuática.

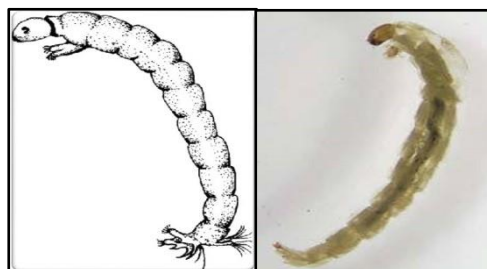
Chriwa y Col (12) en el año 2017 publicaron su artículo titulado Uso de índices de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la salud de los ecosistemas para la detección de paisajes degradados en Malawi en el que se realizó un estudio en el Proyecto de Desarrollo Rural de Lilongwe West (RDP) en el centro de Malawi investigar el uso potencial de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores asequibles y rentables de la degradación del paisaje en Malawi. Se estudiaron macroinvertebrados bentónicos en dos reservorios, Bunda y Kamuzu Dam I. En los dos reservorios se encontraron 778 individuos pertenecientes a diez (10) grupos taxonómicos: gusanos oligoquetos (30,70%), bivalvos (15,04%), sanguijuelas (12,08%), crustáceos (11,18%), quironómidos (8,99%), gasterópodos (8,22%), ninfas de mosca de piedra (4,24%), ninfas de efímera (3,60%), larvas de caddisfly (2,70%) y ninfa de libélula (2,70%). La aplicación de pruebas t en métricas de ensamblaje comunitario, índice de tolerancia a la contaminación (PTI), biodiversidad e índices físico-químicos mostró que los dos reservorios diferían significativamente ($p < 0.05$) en el 69% de los índices biológicos y el 11% de los índices físico-químicos, con el reservorio de Bunda con menos EPT (efímeras, moscas de piedra, moscas caddis), más gusanos oligoquetos, más larvas de quironómidos, índice de Simpson más alto (D), índice de diversidad de Simpson más bajo (1-D), índice de Shannon (H), índice de Margalef (D Mg) y los índices de Pielou (J), menor PTI, mayor porcentaje de quironómidos y menor visibilidad del disco Secchi que la presa Kamuzu I. Los resultados muestran que el embalse de Bunda está bastante contaminado con materia orgánica arrastrada desde los paisajes agrícolas circundantes a través de la erosión del suelo. La deforestación y las prácticas agrícolas insostenibles explicaron la degradación del paisaje alrededor de los embalses, mientras que la Reserva Forestal Dzalanyama protegió gran parte del río Lilongwe en el que se encuentra la presa Kamuzu I. Los paisajes en el área de captación del embalse de Bunda se consideran

degradados y se recomienda su restauración mediante el establecimiento de una cubierta vegetal. Los macroinvertebrados bentónicos tienen un alto potencial de uso como indicadores biológicos de la salud de los ecosistemas para la identificación de paisajes degradados deforestados en Malawi y otros países en desarrollo de los trópicos.

3.3 MACRO INVERTEBRADOS COMO BIO INDICADORES DE CONTAMINACIÓN ORGÁNICA EN AGUA

De hecho es conocido que uno de los principales problemas de contaminación de los cuerpos de agua está asociado a la acumulación de materia orgánica en él, generada fundamentalmente por el vertimiento de aguas residuales o aguas servidas; el componente fundamental de las mismas corresponde a la materia orgánica que actúa en los cuerpos de agua receptores consumiendo el oxígeno disuelto, de hecho, la presencia de macro invertebrados resistentes a la baja concentración de oxígeno siendo estos dominantes sobre aquellos que tienen poca resistencia a la baja concentración de oxígeno nos puede mostrar el nivel de contaminación que presente el cuerpo de agua (31, 51, 60, 65).

Como se mencionó en el párrafo anterior la diferencia en la respuesta a la concentración de oxígeno se debe básicamente a la estructura de las branquias que suele presentar cada uno de los grupos, y a la presencia de un pigmento respiratorio con mayor eficiencia; de hecho el caso por ejemplo de la familia Chiromonidae (Fig No. 4), que debido a la presencia de un pigmento respiratorio como la hemoglobina es mucho más resistente a la escasez de oxígeno que otras familias, por lo que su presencia en abundancia en las muestras indica un nivel de calidad de agua baja o contaminada con materia orgánica.



Fuente: Ríos, Acosta y Prat (2014) (62)

Figura 4 Familia Chiromonidae

Como se reporta en el trabajo de Fierro y Col. (31) del año 2021 titulado Influencia de la agricultura intensiva en los conjuntos de macroinvertebrados bentónicos y la calidad del agua en la cuenca del río Aconcagua (centro de Chile) en el que se evaluó la variación natural en los conjuntos de macroinvertebrados (MIB) y la calidad del agua en una de las principales cuencas con mayor actividad agrícola en Chile (Cuenca del Río Aconcagua). Tomamos muestras a lo largo del ciclo anual; Se establecieron nueve sitios de muestreo a lo largo de la cuenca, clasificándose según la cobertura del área agrícola como menos perturbado, intermedio y más perturbado. Recolectamos 56 taxones de macroinvertebrados en toda el área de estudio. El análisis multivariado muestra diferencias significativas entre las tres categorías de perturbaciones en diferentes estaciones, tanto las variables de calidad del agua como la estructura del MIB. El análisis del modelo lineal basado en la distancia (DistLM) para todas las estaciones explicó más del 95,9% de los conjuntos de macroinvertebrados, lo que se explica significativamente por la demanda química de oxígeno, el pH, los coliformes totales, los nitritos, la elevación y la temperatura del agua. La prueba ANOVA reveló diferencias significativas en la proporción de individuos no insectos, la densidad de macroinvertebrados y el número de taxones entre las tres categorías de perturbación ($p < 0.05$). En general, la temperatura del agua, la conductividad, la demanda química de oxígeno, el amonio, los nitritos y los nitratos aumentaron sus valores aguas abajo en la cuenca. Nuestros resultados indican que el gradiente de elevación y el incremento en el uso de la tierra agrícola en la cuenca tuvieron una fuerte influencia en la calidad del agua y el MIB. Una mejor comprensión de estos ecosistemas podría ayudar a la conservación y al manejo integrado de cuencas.

Por otro lado, Gholizadeh y Zibaei (34) en el año 2021 publicaron su artículo titulado Evaluación de la contaminación de efluentes de piscifactorías utilizando bioindicadores basados en comunidades de macroinvertebrados en el que mencionan el progreso de la industria de la acuicultura en Irán como un proceso de mantenimiento económico y ambiental necesita una herramienta eficiente y de bajo costo para el control regular de los entornos adyacentes. El monitoreo biológico por macroinvertebrados es operativo para la evaluación de la calidad del agua. La operación de muestreo se llevó a cabo para investigar la influencia de las aguas

residuales de la acuicultura en las comunidades de macroinvertebrados en 4 estaciones durante un año (primavera, verano, otoño e invierno) en el río Chehel Chai. 2040 (19% primavera, 18% verano, 25% otoño y 38% invierno) se reconocieron ejemplares de macroinvertebrados pertenecientes a 6 órdenes y 14 familias. La mayor abundancia entre las estaciones perteneció a Diptera y Chironomidae. Se identificaron dos grupos de conjuntos de macroinvertebrados (sensibles a la tolerancia) y tres grupos de estaciones (río arriba, emisario, abajo 1 y abajo 2) con análisis de mapa de calor. El estudio demostró que las granjas de trucha arcoíris aumentan significativamente la influencia del material orgánico en partículas finas (% FPOM), NO₃ y PO₄. Según los resultados del HFBI, la contaminación orgánica del agua en diferentes estaciones se clasificó como buena (río arriba), apropiada, relativamente pobre y mala (emisario). Los resultados combinados de los biomarcadores mostraron que la estación emisora tenía más contaminación orgánica que su estación predecesora (calidad de agua relativamente baja), lo que requería una gestión más eficiente basada en la capacidad de auto purificación del río Chehel Chai.

En su publicación Su y Col. (72) del año 2021, titulada Evaluación de la salud de ríos pequeños y medianos: comparación entre el método de indicador integral y el método de seguimiento biológico mencionan que los ríos de tamaño pequeño a mediano juegan un papel importante en el funcionamiento del ecosistema acuático. En los países en desarrollo, limitados por la cantidad de sitios de monitoreo en ríos de tamaño pequeño a mediano, es posible que un único método estándar de evaluación de la salud de los ríos no refleje las situaciones reales bajo la presión del aumento de las actividades humanas y los proyectos de conservación del agua, como evaluar el estado de salud de estos ríos es una preocupación mundial. Se evaluó, un río de tamaño pequeño a mediano en China: el río Qiaobian (QBR) mediante dos métodos esenciales de evaluación de la salud del río, es decir, la curva adecuada para el hábitat de macroinvertebrados (M-HSC) y el marco de presión-estado-respuesta (PSR). Se evaluó la aplicabilidad de los dos métodos. Los resultados demostraron que ambos métodos eran adecuados y lograron una mayor precisión que el marco de evaluación de la calidad del agua, un método estándar que se ha aplicado ampliamente a ríos de tamaño pequeño a mediano en China, mientras que se encontraron pequeñas diferencias en la efectividad entre los dos métodos. Aunque los métodos PSR y M – HSC mostraron el mismo grado de salud en la temporada de lluvias, el M – HSC es

más recomendable debido a su conveniencia. Por el contrario, en la estación seca, PSR reflejó mejor las situaciones reales de QBR que M – HSC. El PSR fue más aplicable a los ríos urbanos al evaluar los impactos de las perturbaciones antropogénicas en la salud de los ríos, en contraste con el M-HSC, que fue más adecuado para los ríos en áreas rurales para evaluar los efectos de los proyectos de conservación del agua.

En la publicación de Desrosiers, Pinel-Alloul y Spilmont, (17) del año 2020 titulada Selección de índices y métricas de macroinvertebrados para evaluar la calidad de los sedimentos en el río San Lorenzo (QC, Canadá) se pretendió evaluar la presión antropogénica en el río San Lorenzo mediante la evaluación de las relaciones entre la composición y la contaminación química de los sedimentos y la estructura de la comunidad de macroinvertebrados utilizando una selección de índices y métricas. Se propuso (i) determinar la composición de la comunidad de macroinvertebrados en sedimentos a través de un gradiente de perturbación, (ii) seleccionar índices y métricas de macroinvertebrados relevantes para la evaluación de la calidad de los sedimentos, (iii) investigar si las respuestas de índices seleccionados y las métricas difieren entre hábitats y/o clases de calidad de sedimentos y, finalmente, (iv) determinar los umbrales para contaminantes críticos relacionados con cambios significativos en los índices y métricas más relevantes. Se determinaron contaminantes orgánicos e inorgánicos, así como otras variables de los sedimentos (tamaño de grano del sedimento, carbono orgánico total, nutrientes, etc.) y conjuntos de macroinvertebrados en 59 sitios a lo largo del río. Se demostró que catorce índices y métricas de macroinvertebrados, de los 264 seleccionados inicialmente, eran los más efectivos para ser utilizados en la bioevaluación del río San Lorenzo. Sin embargo, la variación en los índices y métricas de macroinvertebrados sigue estando fuertemente explicada por las características del hábitat, como el tamaño del grano del sedimento o el nivel de nutrientes. También influyen los metales y, en menor medida, los contaminantes orgánicos como los hidrocarburos del petróleo.

Sin embargo, Johnson (39) en su publicación de año 2019 titulada ¿La biodiversidad de macroinvertebrados de agua dulce está siendo dañada por productos químicos sintéticos en las aguas residuales municipales? En la cual menciona que históricamente, los índices de diversidad de macroinvertebrados han jugado un papel vital en demostrar los impactos dañinos de los efluentes de aguas residuales de mala

calidad. La reducción de la diversidad de macroinvertebrados en el pasado se asoció con alto contenido orgánico, bajo oxígeno y alto contenido de amoníaco. Existe la hipótesis actual de que la profusión de contaminantes microorgánicos que escapan en las aguas residuales de la sociedad moderna está dañando a los macroinvertebrados. Si bien existe evidencia de una biodiversidad reducida aguas abajo de las plantas de tratamiento de aguas residuales, no está claro si tales contaminantes son los responsables. Sin embargo, la evidencia de la revisión de los registros de monitoreo a largo plazo muestra mejoras consistentes y bienvenidas en la diversidad desde la década de 1990 en el Reino Unido. Es desconcertante que no se haga un mayor uso de estos registros de macroinvertebrados a largo plazo para abordar cuestiones de impactos químicos.

3.4 APLICACIÓN Y MÉTODOS DE MACROINVERTEBRADOS COMO BIOINDICADORES

A través del tiempo se ha ido estandarizando la metodología de muestreo para la aplicación de macro invertebrados como bioindicadores de contaminación y calidad de agua; por lo que se establecen algunas consideraciones previas a la realización del mencionado muestreo; una vez que se identifica la zona del río o lago en el cual se va llevar a cabo el muestreo se debe escoger lugares en esa zona que representen todos los hábitats posibles de substrato de fondo (41, 47); es decir, se debe considerar arena, piedras, lodos, restos de vegetación; además de ello también considerar la presencia de plantas acuáticas que pueden ser flotantes emergentes o sumergidas; otro elemento a tomar en consideración suelen ser las raíces de árboles en los cuales también se suele fijar una gran cantidad de macro invertebrados bentónicos; se establece que el área total de muestreo debe cubrir aproximadamente de 10 a 20 m² y esto debe realizarse durante un período de entre 20 a 30 minutos. Se debe tener cuidado, de no realizar muestreos después de que se han presentado lluvias intensas ya que el efecto del incremento en la corriente del agua puede modificar no sólo la presencia de grupos de macro invertebrados sino además su abundancia; en el caso de ríos de gran dimensión se debe considerar hacer el muestreo en ambas orillas ya que podría generarse variabilidad debido a las condiciones de cada una de estas orillas; para el caso de lagos de todas maneras se tiene que considerar cuatro orillas tratando de ubicarlas de forma perpendicular una al frente de otra (48, 50, 51).

Otro de los detalles que hay que considerar es el instrumento o artefacto de muestreo; escoger el adecuado va a depender del objetivo que se tenga en evaluación, una de las consideraciones iniciales que se debe tomar en cuenta es si se requiere un estudio cualitativo o cuantitativo; en este punto se debe hacer notar que existen índices cualitativos e índices cuantitativos incluso los propios índices tienen las dos versiones; por la facilidad del tratamiento de la información se sugiere el trabajo con índices cualitativos, pero para trabajos de investigación o el análisis de factores mucho más detallados es necesario la utilización de métodos cuantitativos.

El método cualitativo más utilizado es el de la red de pantalla en esta solo se pretende determinar la biodiversidad de macro invertebrados en la zona de muestreo más no la abundancia o cualquier otro dato cuantitativo; la red pantalla consiste en una malla que puede ser metálica o plástica y que tiene una área aproximada de 1 m²; una vez se ingresa a la zona de muestreo que principalmente debe ser la zona de remanso, en los ríos o pegadas a las orillas de los lagos; una persona se encarga de sujetar la malla y la otra al pie de la misma de remover el substrato de fondo para que se puedan liberar los macro invertebrados y así ser atrapados sobre la malla; se puede ayudar con algunas escobillas plásticas para remover sedimentos sobre piedras troncos y otros, no impediría o modificaría la calidad muestreo por tratarse de un tipo cualitativo.



Fuente: Ríos, Acosta y Prat (2014) (62)

Figura 5 Red de Pantalla

El método cuantitativo más utilizado corresponde a la red Suber que consiste en un marco metálico el cual normalmente es de 30 cm de lado; asociado a él se encuentra

una manga de malla con un tejido fino de alrededor de 0.5 mm; esta red Surber se coloca contra la corriente y la zona que queda en el cuadrante de 30 x 30 es removida con la ayuda de escobillas o la mano todo el material va a ser arrastrado por la fuerza del agua hacia el interior de la malla, en este caso procede al conteo de individuos porque se ha estandarizado el área en la cual se ha muestreado que corresponde a 30 x 30 cm es decir 900 cm².

Con respecto a la cantidad de puntos de muestreo se recomienda trabajar con no menos de cinco puntos de muestreo los cuales deben estar ubicados de manera equidistante entre 10 a 20 m de longitud entre punto y punto; se debe considerar cada uno de estos muestreos como repeticiones, tomándose la opción de poder trabajar a través de promedios para cada uno de los muestreos o a través de sumatoria total considerándolo cinco muestreos como uno solo (20, 75).

En el campo se suele hacer la disgregación del material obtenido para separar y a los macroinvertebrados identificados, estos son colocados en frascos acondicionados con formol al 10% y transportados a gabinete para la verificación de la identificación de las familias a través de guías correspondientes (20, 75).



Fuente: Ríos, Acosta y Prat (2014) (62)

Figura 6 Red de Suber

Con respecto a métodos de muestreo Szekeres y Col (75) en el año 2019 publicaron el artículo titulado Comparación de métodos de muestreo de aguas profundas y litorales para evaluar conjuntos de macroinvertebrados a lo largo del perfil longitudinal de un río muy grande (el río Danubio, Europa); en el que examinan comparativamente

el papel de los métodos de muestreo de aguas profundas y litorales en la evaluación de conjuntos de macroinvertebrados y en la caracterización de cambios longitudinales en la estructura de conjuntos a lo largo del curso > 2500 km de largo del río Danubio, Europa. La eficacia de la detección de taxones se correspondía bien con un gradiente costero-mar adentro en el muestreo (es decir, la distancia desde la costa). No obstante, cada método (es decir, muestreo de múltiples hábitats litorales, muestreo de barrido y dragado de aguas profundas) contribuyó en cierto grado a la riqueza general de taxones y la composición de especies. El muestreo en diferentes zonas de profundidad caracterizó diferentes ensamblajes y, en consecuencia, la posición costero-mar adentro fue un determinante al menos tan importante de la estructura del ensamblaje como la posición longitudinal de los sitios de muestreo en el río. Aunque se encontró una congruencia significativa en la variabilidad espacial de los ensamblajes entre los métodos de muestreo, las relaciones fueron solo moderadas. El estudio sobre el gran río Danubio confirma que los estudios de ríos más pequeños en otras regiones geográficas que el monitoreo litoral proporciona una mayor riqueza de taxones y cambios más sensibles a las gradientes longitudinales que las muestras de aguas profundas. No obstante, también muestra que el muestreo en diferentes zonas de profundidad proporciona información complementaria sobre la estructura del ensamblaje. Comprender los cambios en los conjuntos de macroinvertebrados relacionados con las diferencias en el método de muestreo es crucial para mejorar la bioevaluación y la gestión ambiental de los grandes ríos.

Por otro lado, Ligeiro y Col (42) en el año 2020 publicaron el artículo titulado La elección de métodos de campo y de laboratorio afecta la detección de perturbaciones antropogénicas utilizando conjuntos de macroinvertebrados de arroyos; en el mencionan que la detección exacta y precisa de los impactos antropogénicos en los ecosistemas fluviales utilizando macroinvertebrados como indicadores biológicos depende del uso de métodos de laboratorio y de campo apropiados. Se evaluó la capacidad de respuesta a las perturbaciones antropogénicas de las métricas y la composición del ensamblaje comparando combinaciones alternativas comúnmente empleadas de muestreo de campo y métodos de conteo de individuos. Se derivaron cuatro conjuntos de datos, en el campo 1) realizando un muestreo de múltiples hábitats (MH o 2) dirigiendo muestras en paquetes de hojas (muestreo de un solo hábitat - SH) y, en el laboratorio A) contando todos los individuos de las muestras, o

B) simulando submuestreo de 300 individuos por muestra. Recolectamos nuestros datos de 39 sitios de arroyos de cabecera en una cuenca de drenaje ubicada en el Cerrado brasileño. Se utilizó un índice de perturbación integrado cuantitativo (IDI), basado en mediciones de perturbación local y de cuenca, para caracterizar la intensidad de las alteraciones antropogénicas en cada sitio. La riqueza familiar y el % de individuos de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (% EPT) obtenidos de cada conjunto de datos se compararon con el IDI a través de regresiones lineales simples, y las diferencias en la composición del ensamblaje entre los sitios menos y más perturbados se probaron utilizando el Análisis de varianza multivariante permutacional (PERMANOVA). Al contar todos los individuos, las diferencias en la riqueza taxonómica y la composición de los ensamblajes de macroinvertebrados entre los sitios menos y más perturbados fueron más pronunciadas en el método de muestreo MH que en el SH. Los paquetes de hojas parecían concentrar una gran abundancia y diversidad de macroinvertebrados en sitios muy perturbados, actuando como "focos de biodiversidad" en estas situaciones, lo que probablemente redujo la respuesta de los conjuntos al gradiente de perturbación cuando se apuntó a este sustrato. Sin embargo, el muestreo MH produjo resultados más débiles que el SH cuando se realizó el submuestreo. Los individuos % EPT respondieron mejor al gradiente de perturbación cuando se empleó SH, y su eficiencia no se vio afectada por el procedimiento de submuestreo. Se concluyó que ningún método fue el mejor en todas las situaciones, y la eficiencia de un protocolo de muestreo depende de la combinación de métodos de laboratorio y de campo que se utilicen. Si bien el conteo total de individuos con muestreo multihabitat obtuvo los mejores resultados para la mayoría de las variables evaluadas, la decisión de qué procedimientos utilizar depende de la cantidad de tiempo y recursos disponibles, de las variables de interés, de la disponibilidad de tipos de hábitat en los sitios muestreados, y sobre los otros métodos que se emplean en el protocolo de muestreo.

Además, Doretto y Col en el año 2020 (20) en su artículo Eficiencia de la red Surber en diferentes sustratos y condiciones de flujo: conocimientos para el muestreo de macroinvertebrados y el biomonitorio de ríos; mencionan que en el biomonitorio se ha prestado gran atención a la selección de los mejores índices y métricas, a menudo descuidando un aspecto simple pero fundamental: ¿cuán confiables son las metodologías de muestreo? Se prueba la eficiencia de la red Surber en la recolección

de macroinvertebrados de arroyos comparando dos muestras recolectadas consecutivamente en la misma parcela. Se encontró que el tamaño de partícula del sustrato y la profundidad y velocidad del agua afectaron significativamente la eficiencia del muestreo, especialmente con respecto a la riqueza total de taxones, la riqueza y densidad de EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera). Por lo tanto, este estudio proporciona información útil para recolectar macroinvertebrados de arroyos utilizando la red Surber en diferentes condiciones cercanas al lecho.

Callisto y Col. (8) en el año 2021 publicaron Grupos de macroinvertebrados bentónicos detectan las consecuencias de un derrame de aguas residuales: un estudio de caso de un desafío ambiental de América del Sur; en el que mencionan que grupos de macroinvertebrados bentónicos se utilizan para evaluar los factores de estrés y las presiones antropogénicas a nivel mundial, aunque la variabilidad espacial y temporal considerable en esos conjuntos se produce de forma natural y en su muestreo. Se evaluó los efectos de un derrame de aguas residuales domésticas sin tratar sobre la ocurrencia espacio-temporal, la estructura y la dinámica de conjuntos de macroinvertebrados bentónicos, mediante el uso de modelos de probabilidad de ocupación y series de tiempo. El estudio produjo tres resultados claves: (1) Las probabilidades de colonización, extirpación y ocupación del sitio de ensamblajes resistentes y sensibles no fueron influenciadas por las variables predictoras medidas antes y después del derrame ni entre sitios. (2) Con el tiempo, la ocupación de sitios para la proporción de taxones sensibles aumentó mientras que la proporción de taxones resistentes disminuyó. (3) Los sustratos artificiales redujeron la variabilidad natural más que el muestreo Surber de sustratos naturales, pero la riqueza de la familia de macroinvertebrados difirió con el tiempo independientemente del dispositivo de muestreo. Se concluyó que el monitoreo riguroso y los análisis de datos de los bioindicadores bentónicos pueden ser un enfoque rentable para evaluar los efectos bióticos de las descargas de aguas residuales en los arroyos urbanos neotropicales.

3.5 MACROINVERTEBRADOS PRESENTES EN AGUAS LOTICAS Y LENTICAS EN SUD AMÉRICA

Luego de realizado el muestreo y la visualización a través de equipos ópticos adecuados, como son lupas, estereoscopios o microscopios con bajo aumento se identifican los diferentes grupos taxonómicos de macro invertebrados; en la siguiente tabla se observan los más comunes para Sudamérica y el Perú.

Tabla 2 Grupos de invertebrados más comunes para Sudamérica y el Perú

Phylum	Clase	Orden
Coelenterata	Hydrozoa	Hidroidea
Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida
Nematoda	Nematomorpha	Gordioidea
Annelida	Oligochaeta	Haplotaxida
	Hirudinea	Glossiphoniiformes
		Hirudiniformes
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera
		Plecoptera
		Trichoptera
		Neuroptera
		Hemiptera
		Coleóptera
		Odonata
		Lepidoptera
		Díptera
		Arachnoidea (Hidracarina)
Mollusca	Gastropoda	Mesogastropoda
		Basomatophora
	Bivalvia (Pelecypoda)	Unionoidea
		Veneroidea

Fuente: Ríos, Acosta y Prat (2014) (62)

En la tabla anterior se observan los grupos de macroinvertebrados comúnmente encontrados en los cuerpos lóticos idénticos en ríos de América del Sur y en los pocos reportes que existe en el Perú; se debe hacer notar que existen grupos en los cuales

el nivel taxonómico puede ser usado para establecer la presencia del mismo, como por ejemplo el caso de los Coelenterata donde lo más probable es encontrar a hidras; o el caso de Nemátoda, donde se suelen encontrar a los Gordioideos, pero hay otros grupos donde es importante llegar hasta el nivel de familia como el caso de los Artrópodos, Insecta y el orden de los Ephemeropteras, en los cuales existen familias que tienen mucha importancia como indicadores de calidad de agua.

3.5.1. Coelenterata Hidrozoa

En este grupo se encuentran las hidras, que son organismos de cuerpo cilíndrico, su tamaño se encuentra en el rango de los 2 y 25 mm de longitud; se le suele observar en la parte anterior un total de cinco a ocho tentáculos, son organismos principalmente sésiles, es decir que viven fijos a algún sustrato; el color predominante en ellos es un color verde sin embargo este color puede modificarse por varios factores, siendo el más importante el tipo de alimento ingerido (48, 50, 63).

Las hidras corresponden al grupo de los carnívoros, se alimentan fundamentalmente de artrópodos y anélidos los cuales son capturados a partir de los tentáculos; se suele reportar su presencia en temperaturas de alrededor de 20 °C, un pH de 7.0 a 8.2.; pero su característica fundamental como indicador es que se les observa en aguas bien oxigenadas por lo tanto su presencia denota agua de buena calidad, al menos debido a la presencia de buena cantidad de oxígeno disuelto (48, 50, 63).



Fuente: Roldan Pérez 2013
Figura 7 Hidra

3.5.2. Platyhelminthes; Turbellaria, Tricladida

Correspondiente al grupo de los denominados gusanos planos, el organismo que se

desarrolla a nivel de agua dulce corresponde a las denominadas Planarias, siendo el género más reportado para el Perú el género *Dugesia*; se caracteriza por tener el cuerpo alargado y plano con un tamaño aproximado de 30 mm de longitud; en muchos casos la forma de la cabeza suele ser triangular y presenta dos ojos u ocelos bastante visibles en ella; son organismos que viven en aguas con cierta presencia de materia orgánica es decir con algo de deficiencia de oxígeno disuelto, debido fundamentalmente a que su respiración que será a través de la piel y por difusión presenta una buena superficie corporal para el intercambio gaseoso y además tiene la posibilidad de tener estrategias para soportar condiciones de baja concentración de oxígeno (48, 50, 63).

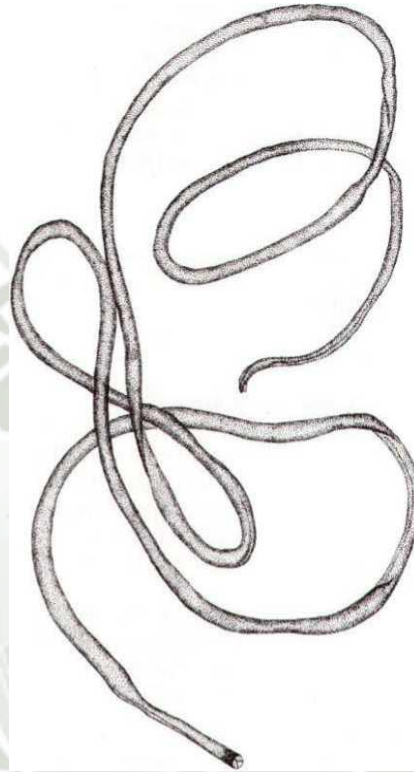


Fuente: Roldan Pérez 2013
Figura 8 *Dugesia*

3.5.3. Nematoda; Nematomorpha, Gordioidea

Al grupo de los nemátodos también se les conoce con el nombre de gusanos redondos, si bien es cierto siempre se han asociado a organismos parásitos, existen algunos grupos que se desarrollan en agua dulce como el caso de los denominados gorgodiaceos, estos gusanos en su estado adulto llega a medir de 10 a 70 cm de longitud con un diámetro de 0.3 a 2.5 mm; presentan una oración blanca amarillenta pero en algunas circunstancias puede observarse un color gris oscuro; existe un denominado dimorfismo sexual, es decir que los machos son diferentes a las hembras; la diferencia se establece a través del tamaño siendo el macho menor que la hembra y además el macho presenta un enfriamiento en el extremo posterior que es muy

característico; el estado que se observa a nivel de agua dulce tanto en ríos, arroyos corresponde a un nivel intermedio en su ciclo de desarrollo y necesita huéspedes para poder completar el ciclo; sin embargo su presencia en los cuerpos de agua depende de aguas con baja concentración de materia orgánica y una buena cantidad de oxígeno disuelto (48, 50, 63).

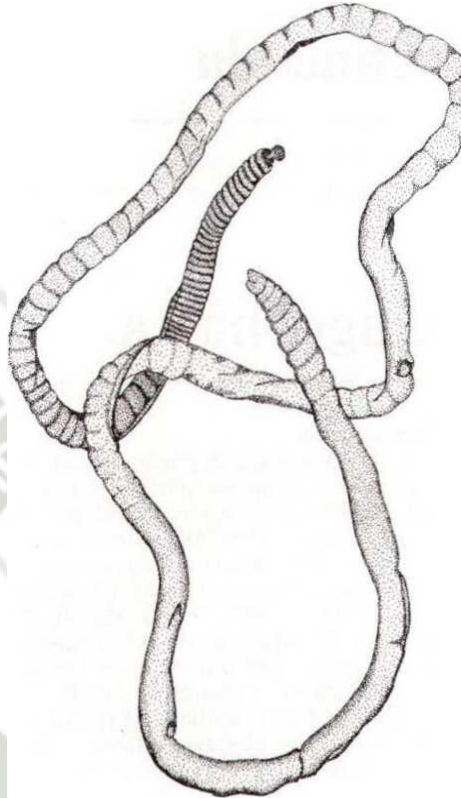


Fuente: Roldan Pérez 2013
Figura 9 Gordioida

3.5.4 Annelida; Oligochaeta, Haplotaxida

Caracterizados porque el cuerpo de estos gusanos se encuentra formado por anillos, dentro del grupo mencionado se encuentra el llamado Tubifex, que en general son denominados tubificidos, su tamaño varía de 1 a 30 mm tienen típicamente una respiración cutánea sin embargo sobreviven a bajas concentraciones de oxígeno por lo tanto es común encontrarlos en aguas con alta carga orgánica o bastante contaminadas; estos tubificidos, pueden además vivir enterrados en el sustrato hasta varios metros siempre y cuando exista la humedad suficiente en el grupo existe una buena diversidad de familias y géneros sin embargo todos ellos tienen la misma característica como indicador de calidad de agua, se encuentran en aguas de baja

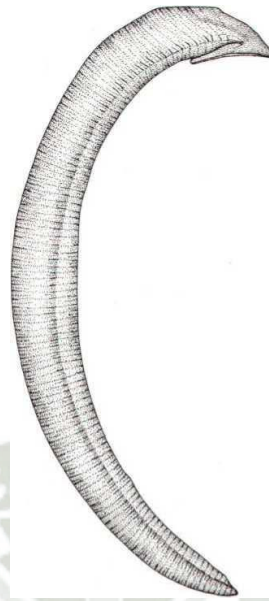
calidad principalmente comprometidas por contaminación con materia orgánica (48, 50, 63).



Fuente: Roldan Pérez 2013
Figura 10 Tubifex

3.5.5. Annelida; Hirudinea, Glossiphoniiformes y Hirudiniformes

Otro grupo de anélidos corresponde a los Hirudineos, las comúnmente denominadas sanguijuelas; en este caso se hace la descripción de los dos órdenes que corresponden a los Glossiphoniiformes e Hirudiniformes, que para el caso de indicadores de calidad de agua se les va a considerar como similares; los tamaños pueden variar de 4 mm a 45 cm, presentan el cuerpo aplanado y de forma foliar, es decir, parecido a una hoja; su cuerpo está constituido por 34 segmentos y presenta una ventosa ventral denominada acetábulo que es característica del grupo; la presencia de estos organismos en el agua denota también una alta cantidad de materia orgánica, por lo que se supone el agua tendría un elevado nivel de contaminación orgánica y por lo tanto una baja calidad (48, 50, 63).



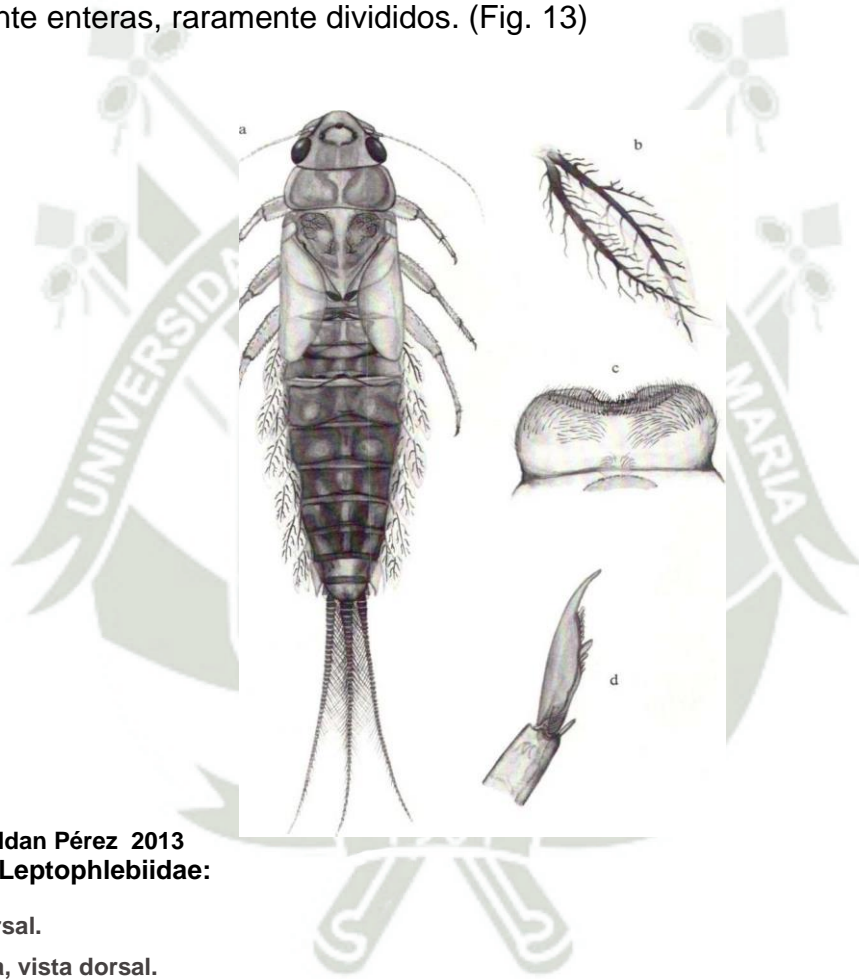
Fuente: Roldan Pérez 2013
Figura 11 Sanguijuela

3.5.6. Arthropoda; Insecta, Ephemeroptera

El grupo de los artrópodos corresponde al grupo más grande dentro del reino animal, correspondiendo a más de 1 millón de especies; por otro lado la clase de los insectos corresponde también a la más numerosa, no es de sorprender por lo tanto de que los órdenes de esta clase sean de importancia fundamental como indicadores de calidad de agua; dentro de ellos se tiene el orden de los Ephemeroptera, denominados así debido a su vida efímera o muy corta en su estado adulto, siendo así significativamente más grande el estado de larva el cual se desarrolla en ambientes acuáticos; en la mayoría de los casos todo el ciclo vital demora de tres a cuatro días; los huevos se depositan generalmente en la superficie del agua y presentan estructuras que les permiten fijarse al sustrato; la respiración la realizan a través de branquias normalmente abdominales las cuales varían en forma y en número de acuerdo a la especie. Los efemerópteros, habitan fundamentalmente aguas limpias y bien oxigenadas; por lo general son indicadores de buena calidad de agua; y lo que se suele observar comúnmente es un estado denominado Ninfa el cual se observa adherido a sustratos o a veces enterradas en fondos rocosos o arenosos (48, 50, 63). Las familias más reportadas como indicadores dentro de los efemerópteros corresponden a Leptophlebiidae y Baetidae

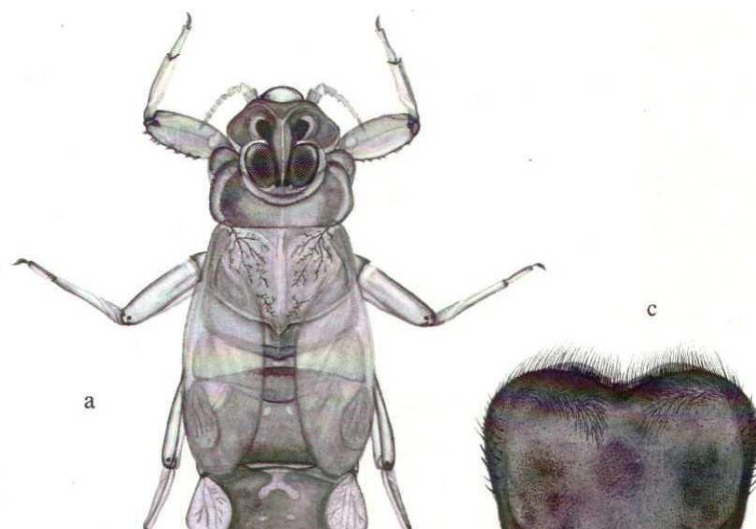
Leptophlebiidae se caracteriza por tener branquias abdominales en los segmentos 2 a 7 bifurcadas (Fig. 12), en penachos, con todos los márgenes orlados o con doble lamela terminada en filamentos.

Mientras que Baetidae presenta branquias ovaladas acorazonadas; lámelas simples, dobles o triples, nunca terminando en filamentos; márgenes interiores de las agallas usualmente enteras, raramente divididos. (Fig. 13)



Fuente: Roldan Pérez 2013
Figura 12 Leptophlebiidae:

- a. Vista dorsal.
- b. Branquia, vista dorsal.
- c. Labrum.
- d. Uña tarsal, vista dorsal.





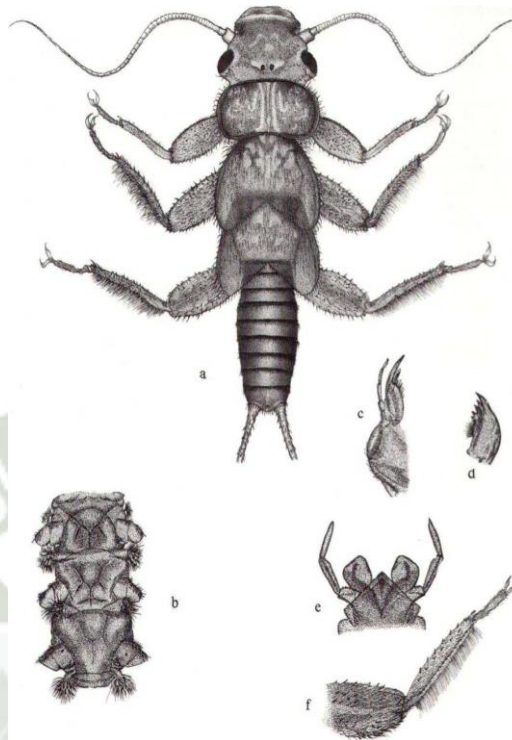
Fuente: Roldan Pérez 2013
Figura 13 Baetidae:

- a. Vista dorsal.
- b. Branquia, vista dorsal.
- c. Labrum, vista dorsal.
- d. Uña tarsal, vista lateral.

3.5.7. Arthropoda; Insecta, Plecoptera

Dentro de los insectos se encuentra el orden Plecoptera, que corresponde a un orden pequeño; sin embargo sus larva se encuentran bastante adaptadas para vivir en aguas rápidas y bien oxigenadas lo que hace que sean un indicador importante dentro de la calidad de agua la distribución de esta clase es cosmopolita es decir se les encuentra en muchos lugares del mundo; las ninfas se caracterizan por tener dos cerci, largas antenas, branquias torácicas en posición ventral y a veces branquias anales; su tamaño fluctúa entre 10 - 30 milímetros y la coloración predominante corresponde al amarillo pálido, hasta un café oscuro o negro; como ya se estableció

la respiración es a través de branquias y en algunos casos a través de ciertas partes de la superficie corporal (48, 50, 63).



Fuente: Roldan Pérez 2013

Figura 14 Plecoptera familia Perlidae,

- a. Nínfa.
- b. Tórax, vista ventral.
- c. Maxila.
- d. Mandíbula.
- e. Labium. f. Pata.

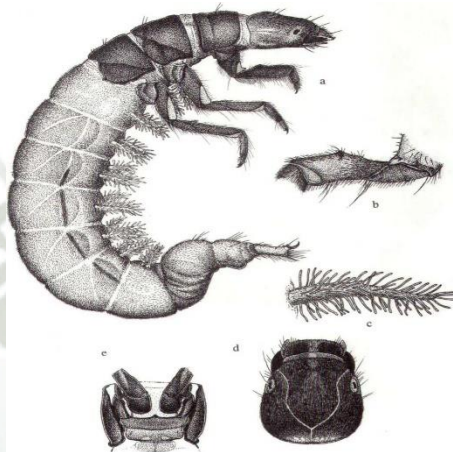
3.5.8. Arthropoda; Insecta, Tricóptera

Dentro del grupo de los insectos se encuentran los Tricóptera, los cuales se caracterizan porque su estado larvario tiende a construir refugios, que justamente son utilizados para su identificación; estos son organismos que viven en ambientes lóticos y lénticos, la mayoría de ellos vive en agua limpia oxigenada y se les considera muy buenos indicadores de aguas oligotróficas (48, 50, 63).

Dentro de las familias más abundantes en nuestra región corresponden a Hydropsychidae que se caracteriza por presentar abdomen con hileras de agallas branquiales ventrolaterales (Fig. 15) con prominente cepillo de largos pelos en la base

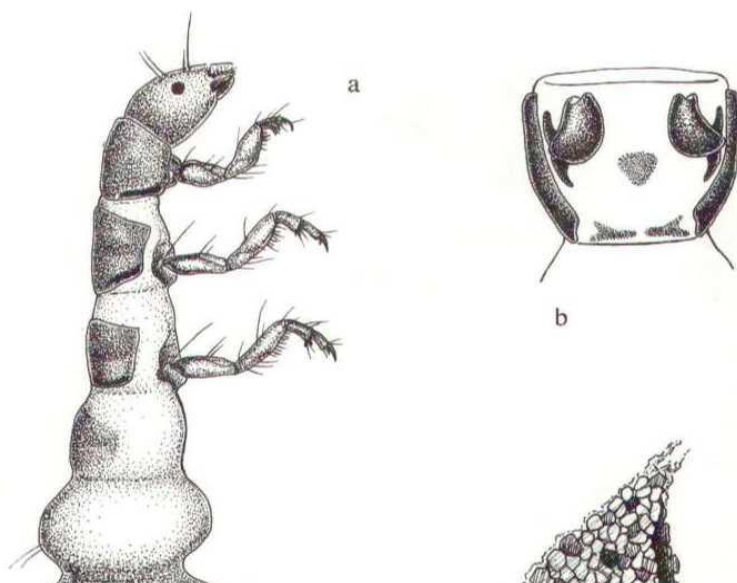
de la uña anal, las larvas y pupas construyen refugios de piedras, arena, como de material vegetal.

Hydroptilidae. Abdomen carente de agallas branquiales (Fig. 16), y solamente con dos a tres pelos en la base de la uña anal, las larvas de tamaño muy pequeño. Construyen casas portables en forma de sacos de finos granos de arena o material vegetal.



Fuente: Roldan Pérez 2013
Figura 15 Hydroptilidae:

- a. Larva, vista lateral.
- b. Primera pata mesial.
- c. Agalla abdominal.
- d. Cabeza, vista dorsal.
- e. Protórax, vista ventral.

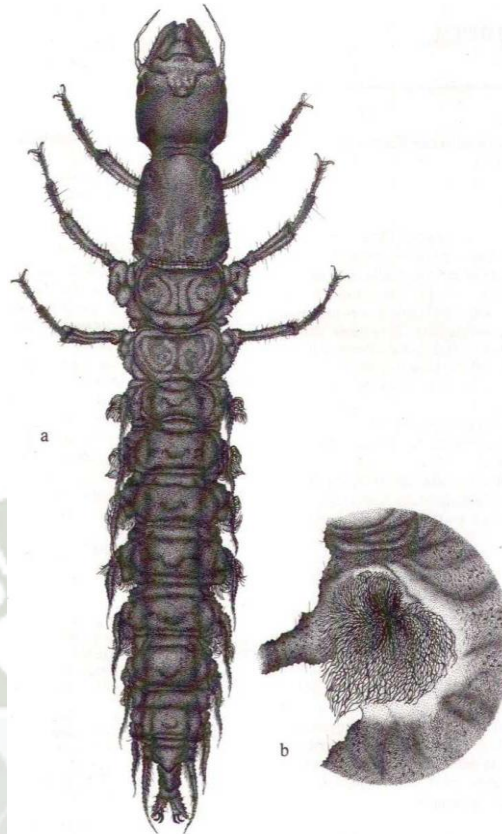


Fuente: Roldan Pérez 2013
Figura 16 Hydroptilidae

- a. Larva, vista lateral.
- b. Protórax, vista ventral.
- c. Casa, vista lateral.

3.5.9. Arthropoda; Insecta, Neuróptera

No corresponde a un grupo grande dentro de los insectos, sólo se reporta para Sudamérica la familia Corydalidae, caracterizada por ser individuos con tamaños que van entre los 16 - 70 mm corresponden a los más grandes dentro del grupo presenta una coloración gris oscura en la mayoría de los casos; se desarrollan típicamente en aguas corrientes y limpias debajo de piedras y pueden ser considerados como indicadores de aguas oligotrófica o levemente mesotróficas (48, 50, 63).



Fuente: Roldan Pérez 2013

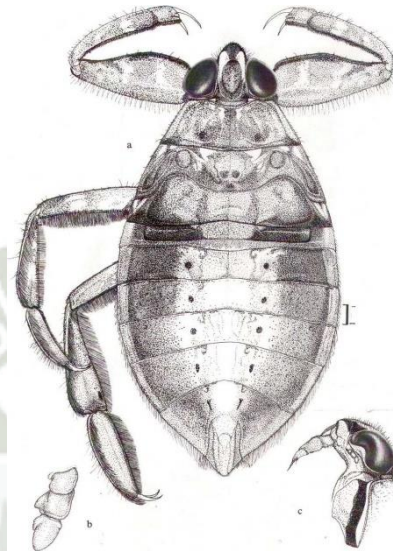
Figura 17 Neuróptera familia Corydalidae

- a. Ninfa.
- b. Branquia abdominal.

3.5.10. Arthropoda; Insecta, Hemíptera

El grupo de los cementeros corresponde a insectos que también se han denominado chinches de agua, la característica morfológica distintiva en la modificación de sus partes funcionales en forma de un pico chupador; además de ello tiene la presencia de hemielitros, que son alas con la mitad de consistencia dura y otra porción membranosa; su respiración no es exclusivamente acuática por lo que presentan diversas formas de tomar oxígeno del aire, tubos anales, canales abdominales y reservorios dorsales donde se ubican los espiráculos, estos organismos son básicamente encontrados en aguas lentas, o en lagos y lagunas; no se les considera

buenos indicadores de calidad de agua sobre todo porque tienen diversas posibilidades de obtención de oxígeno de la atmósfera; sin embargo suelen ser abundantes en aguas con alta carga orgánica. Una de las familias más comunes en nuestra región corresponde a Belostomatidae (48, 50, 63).



Fuente: Roldan Pérez 2013
Figura 18 Hemiptero Familia Belostomatidae

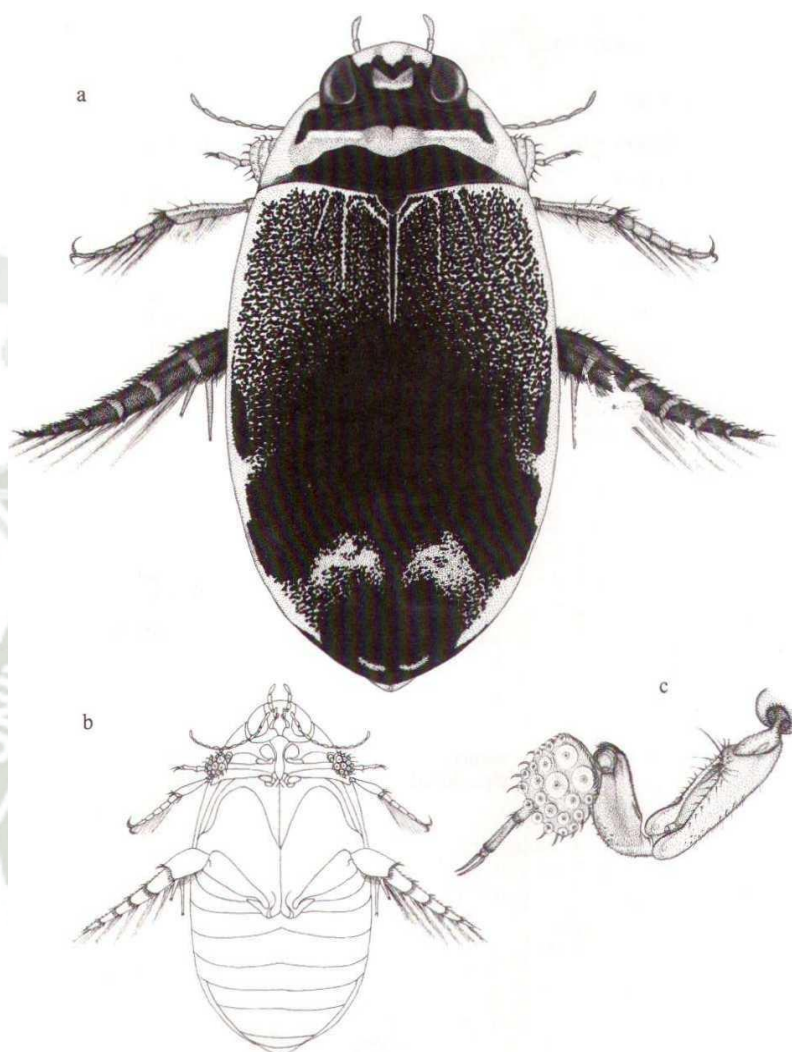
3.5.11. Arthropoda; Insecta, Coleóptero

Dentro de los insectos, los coleópteros representan a uno de los grupos más grandes, si bien es cierto existen especies de adultos acuáticos, los estados más usados como indicadores corresponden a larvas; las formas son diversas dependiendo de las especies; estos organismos suelen vivir en aguas continentales lóxicas idénticas y corresponden a buenos indicadores para calidad de agua oligotrófica (48, 50, 63). En nuestra región son tres las familias cuyas larvas son frecuentes en las muestras tomadas de los ríos para determinar calidad de agua por la utilización de macro invertebrados estas corresponden a:

Dystiscidae, caracterizado por presentar un cuerpo usualmente estrechado gradualmente hacia los extremos; patas delgadas; a menudo con filamentos abdominales.

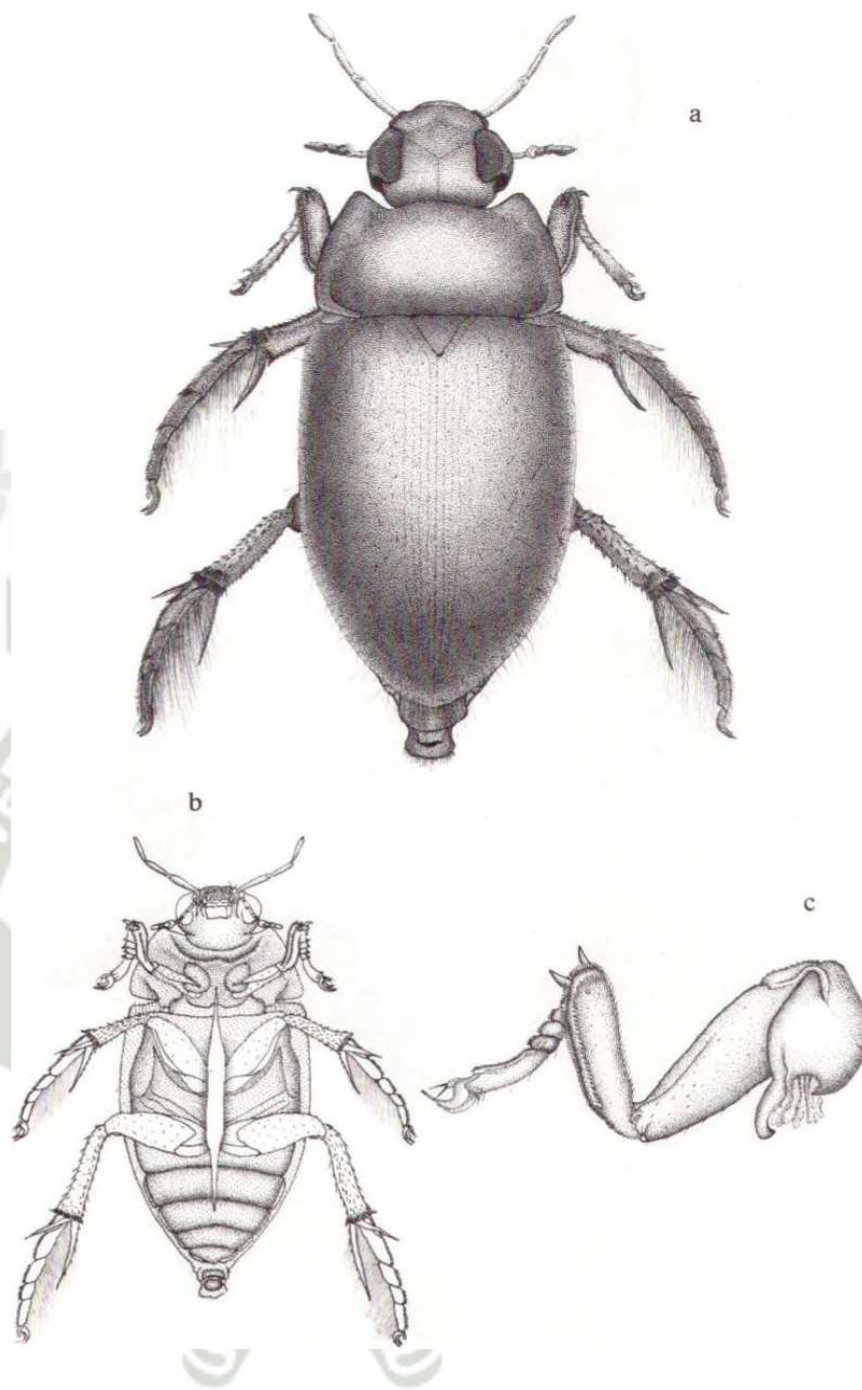
Hydrophilidae, caracterizado por presentar un abdomen constituido por ocho segmentos y usualmente blandos; con antenas muy largas y la cabeza con mandíbulas bien desarrolladas y dentadas dirigidas hacia delante.

Elmidae, en este caso se caracterizan por presentar un abdomen con nueve segmentos y usualmente duro; el segmento noveno a veces con agallas escondidas en cámaras caudales; la base de la mandíbula usualmente con protuberancia pubescente similar a un cepillo, cardo diferente.



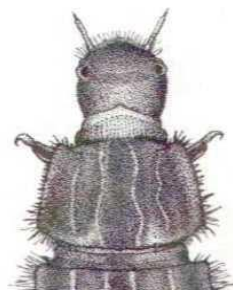
Fuente: Roldan Pérez 2013
Figura 19 Familia Dytiscidae:

- a. Vista dorsal.
- b. Vista ventral.
- c. Primera pata,



Fuente: Roldan Pérez 2013
Figura 20 Familia Hydrophilidae:.

- a. Vista dorsal.
- b. Vista ventral.
- c. Primera pata. vista lateral.

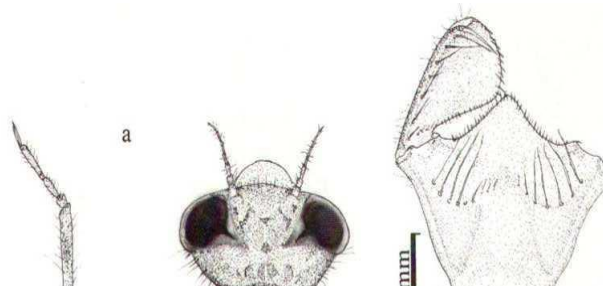


Fuente: Roldan Pérez 2013

Figura 21 Elmidae: larva, vista dorsal

3.5.12. Arthropoda; Insecta, Odonata

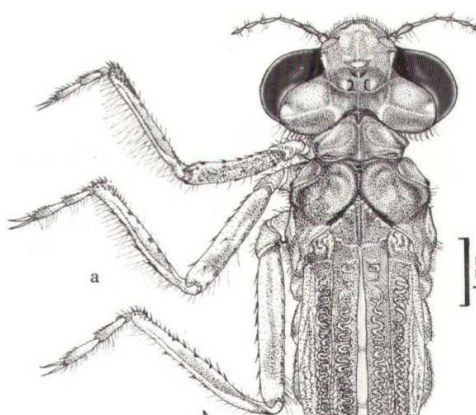
Los odonatos corresponde a uno de los grupos de insectos más antiguos, se calcula su existencia en más de 200 millones de años, la postura de huevos la realizan sobre vegetación flotante o emergente el ciclo vital de este grupo dura entre 100 a 200 días, presentan larvas depredadoras y con aguda visión, la respiración que presentan es a través de la piel y a través de branquias anales; su hábitat está relacionado a pozos pantanos, corrientes lentas y poco profundas la mayoría de las familias son buenos indicadores de aguas meso eutróficas; dentro de las familias más comunes reportadas como indicadores de calidad de agua para nuestra región (48, 50, 63) tenemos a: Libellulidae, se caracteriza por tener lóbulos laterales del labio con crenulaciones altas y moderadas. Espinas del VIII segmento abdominal ausentes o más cortas que la longitud medio dorsal del segmento IX. Gancho dorsal presente sobre el segmento abdominal IX; cuando las espinas laterales son largas, hay una serie de ganchos dorsales grandes y cultriformes.

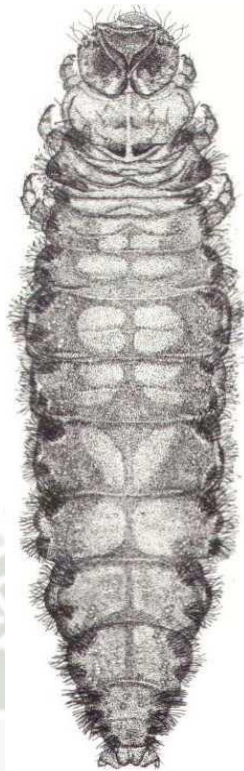


Fuente: Roldan Pérez 2013
Figura 22 Libellulidae:

- a. Vista dorsal.
- b. Labio, vista dorsal.
- c. Abdomen, vista lateral.
- d. Palpo labial derecho.

Coenagrionidae, el cual se caracteriza por presentar un lóbulo medio del labio, entero; tres cinco setas mentonianas o ausentes; (si sólo hay una seta mentoniana presente, las branquias caudales no presentan la porción proximal de la branquia engrosada y oscura, la porción apical delgada y más claramente pigmentada; (usualmente con seis setas pálpales). Con 0-6 setas pálpales; la porción proximal de la agalla no difiere marcadamente de la porción distal y el nodus no atraviesa el ancho total de la branquia.





Fuente: Roldan Pérez 2013

Figura 23 Coenagrionidae:

- a. Vista dorsal.
- b. Palpo labial derecho.
- c. Labio, vista dorsal.

3.5.13. Arthropoda; Insecta, Lepidóptera

Los lepidópteros acuáticos corresponden al grupo más poco estudiado en el neotrópico, lo cual resulta contraproducente ya que los terrestres son el grupo más abundante para la zona sobre todo de América del Sur; los estados larvarios de lepidópteros acuáticos suelen desarrollar capullos de seda a través de los cuales les permite la circulación del agua; viven en ambientes donde el agua es muy oxigenada y normalmente en cursos de agua con alta velocidad se pueden considerar como indicadores de agua oligotróficas (48, 50, 63).

Fuente: Roldan Pérez 2013
Figura 24 Lepidóptera

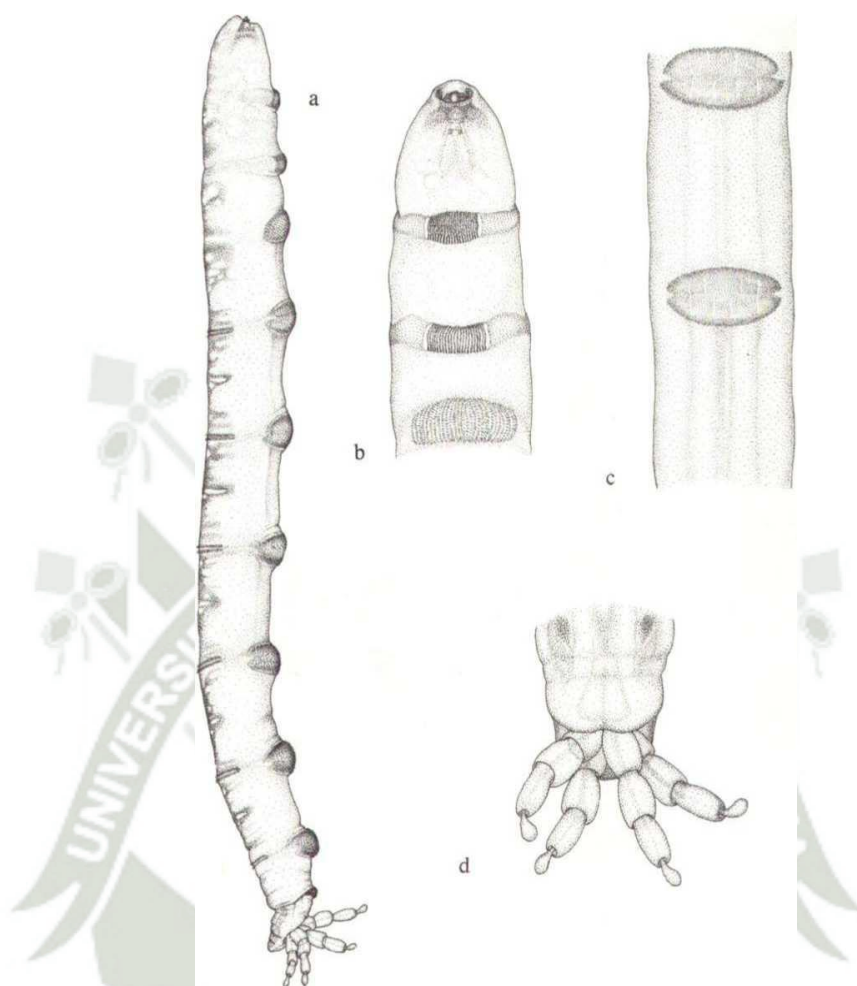
3.5.14. Arthropoda; Insecta, Díptera

Corresponden al grupo más complejo dentro de los insectos y con una amplia distribución; el desarrollo larvario de las especies acuáticas es sumamente variable puede durar desde una semana hasta un año; la característica que más resalta sobre los estados larvarios de los dípteros es la ausencia de patas torácicas. Por otro lado, se debe mencionar que el cuerpo está formado por tres segmentos torácico y nueve abdominales; corresponde a un cuerpo blando y cubierto de cerdas, espinas apicales o corona de ganchos en prolongaciones que ayudan a la locomoción y a la adhesión al sustrato; la coloración de las larvas es variable, se observa desde color amarillo, blanco o negro. La respiración de las larvas de los dípteros se da a través de la cutícula o mediante sifones aéreos; algunos pocos poseen branquias traqueales y otros pigmentos respiratorios sumamente desarrollados como la hemoglobina lo cual les permite soportar ambientes con muy poco oxígeno (48, 50, 63); el grupo de los dípteros presentan una serie de variaciones respecto a su calidad como indicadores ya que hay especies de aguas muy limpias como el caso de la familia Simuliidae; y otras de aguas muy contaminadas como en el caso de las familias Tipulidae y Chironomidae.

Dentro de las familias reportadas más comunes para esta región como indicadores de calidad de agua tenemos a las siguientes:

Tipulidae, caracterizado por presentar una cabeza no retráctil y disco espiracular en

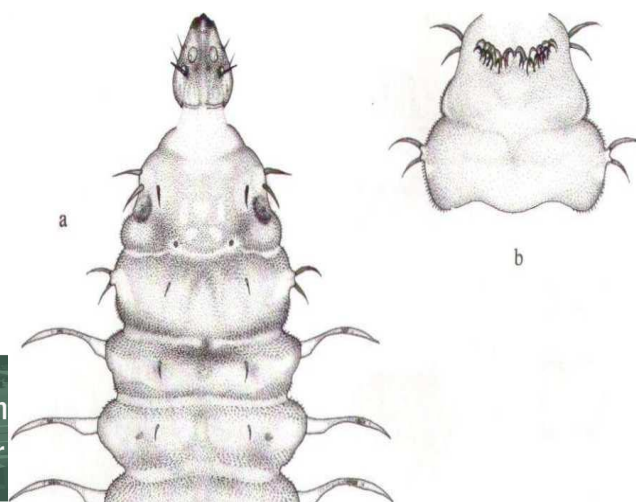
el último segmento abdominal.



Fuente: Roldan Pérez 2013
Figura 25 Tipulidae:

- a. Vista lateral.
- b. Segmentos torácicos vistos ventralmente.
- c. Segmentos abdominales ventrales.
- d. Segmento caudal.

Ceratopogonidae, caracterizados por presentar cabeza retráctil, ausencia de disco espiracular, el tórax y abdomen no diferenciado.

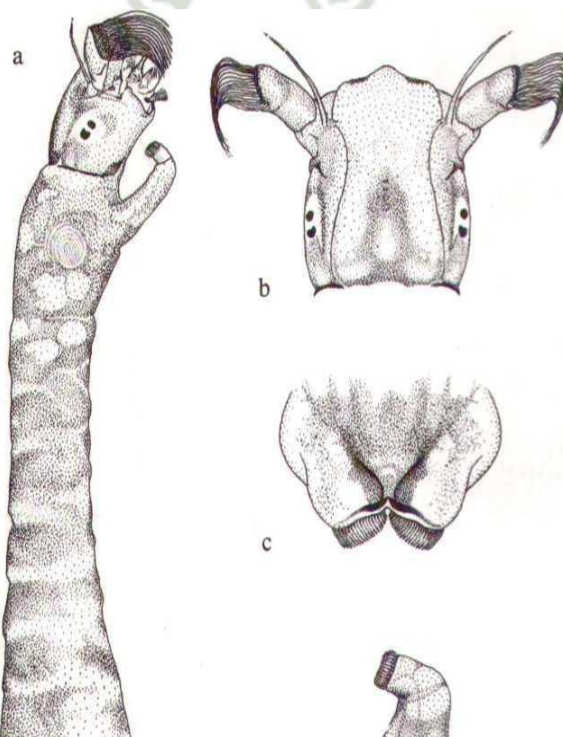


Fuente: Roldan Pérez 2013

Figura 26 Ceratopogonidae:

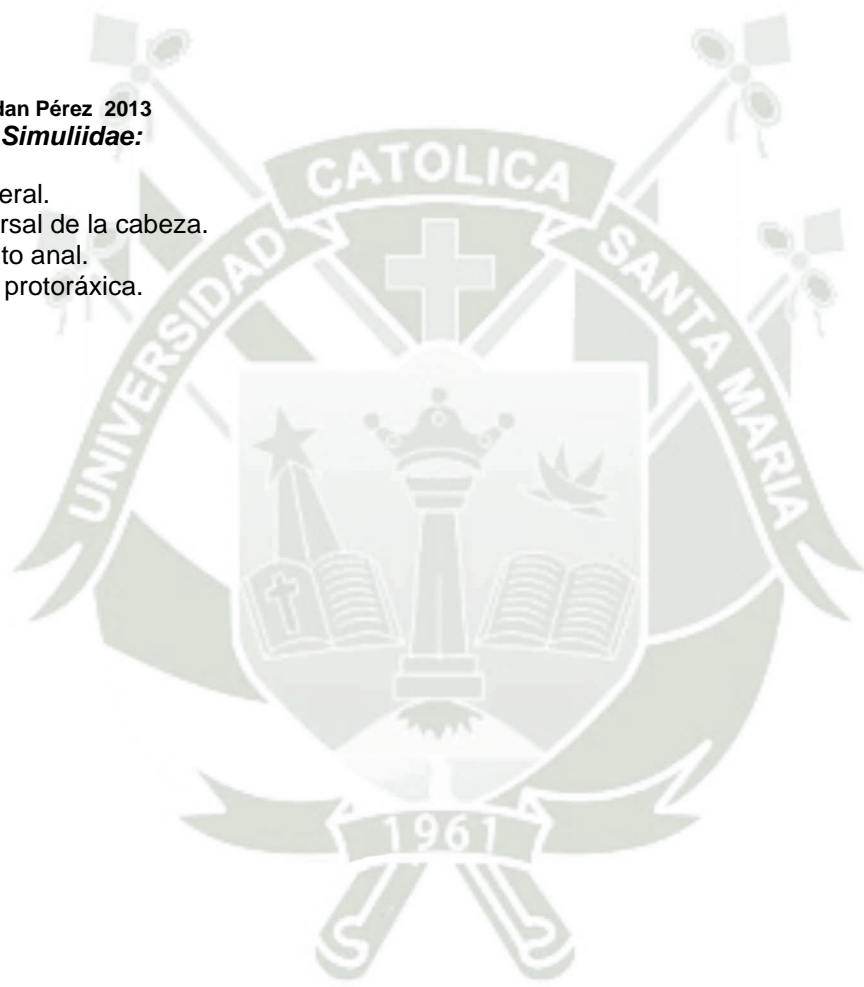
- a. Vista dorsal.
- b. Segmentos torácicos ventrales,
- c. Segmento caudal.

Simuliidae, Prolongaciones presentes en segmentos anteriores y posteriormente con un disco adhesivo, larva metapneústica (larva con tipo de aparato respiratorio con un único par de estigmas abiertos y funcionales, ubicados posteriormente)

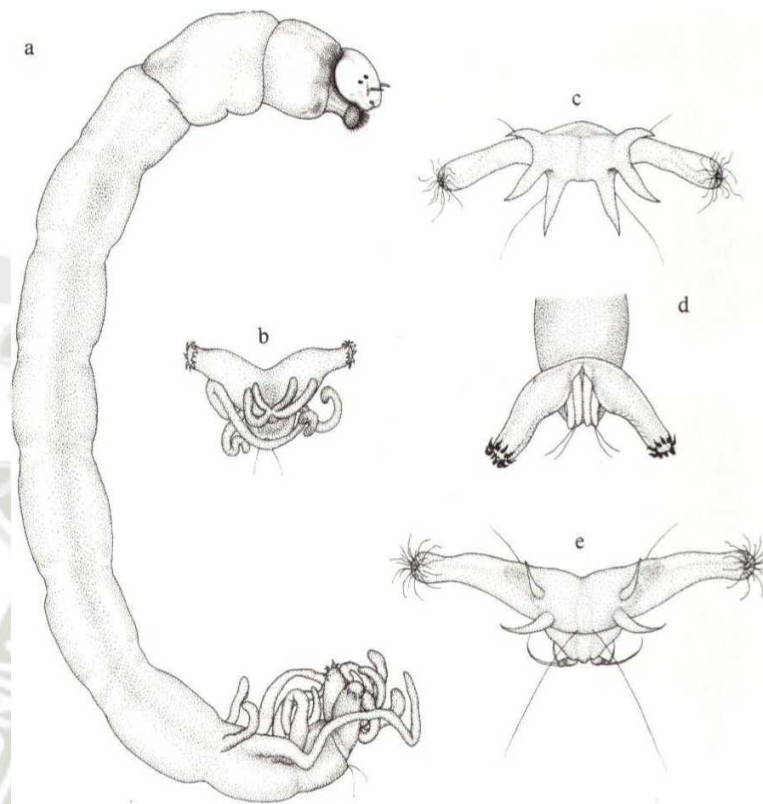


Fuente: Roldan Pérez 2013
Figura 27 Simuliidae:

- a. Vista lateral.
- b. Vista dorsal de la cabeza.
- c. Segmento anal.
- d. Propata protorácica.



Chironomidae, Dos prolongaciones, una a nivel del protórax y otra en el último segmento abdominal, larva apneústica (sin respiración traqueal)

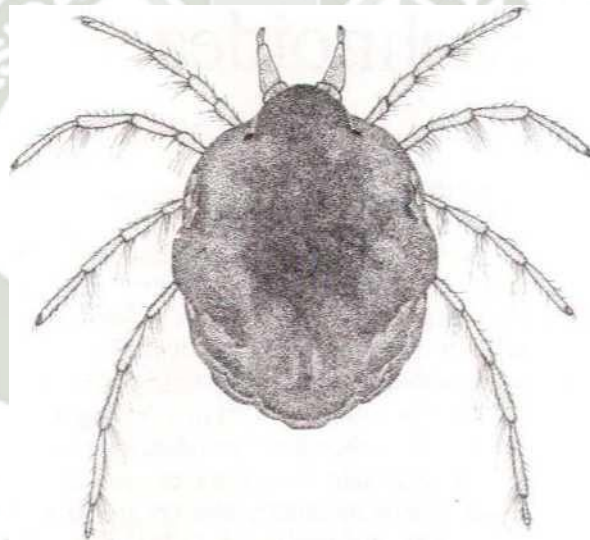


Fuente: Roldan Pérez 2013
Figura 28 Chironomidae:

- a. Larva.
- b. Subfamilia Chironominae.
- c. y e. Subfamilia Tanypodinae.
- d. Subfamilia Orthocladinae.

3.5.15. Arthropoda; Arachnoidea, Acari

El grupo de los arácnidos está compuesto básicamente por arañas, escorpiones y los ácaros; dentro de este último grupo se encuentran los ácaros del agua (hidroacarina), el único grupo de arácnidos netamente acuáticos; se caracterizan porque su cuerpo tiene forma globular u ovoide y presentan coloraciones vistosas a veces amarillos, rojos, azules, verdes y pardos; presentan el cefalotórax y el abdomen fusionados en un solo cuerpo, el tamaño varía de 0.4 a 3 mm. Los ácaros acuáticos a pesar de presentar un sistema traqueal tienen respiración a través de la piel esto hace que sean muy sensibles a la falta de oxígeno característica que permite catalogarlos como un indicador de calidad de agua bastante limpia y bien oxigenada.



Fuente: Roldan Pérez 2013
Figura 29 Acari

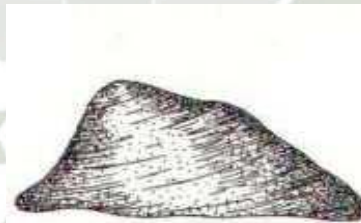
3.5.16. Mollusca; Gasteropoda, Mesogastropoda y Basomatophora

Alrededor del 75% de moluscos corresponden al grupo de los gasterópodos, dentro del cual se cuentan especies terrestres y especies acuáticas, dentro de las especies acuáticas hay que mencionar a Mesogastropoda con la familia Neritidae, éste se caracteriza por presentar una concha sub cónica, oval subglobosa o globosa con pocas vueltas.



Fuente: Roldan Pérez 2013
Figura 30 Mesogastropoda; familia Neritidae

El otro grupo corresponde a Basomatophora, con la Familia Ancyliidae. Concha pequeña (menor de 10 mm), pateloide con apertura amplia. Viven en aguas corrientes con buena oxigenación.



Fuente: Roldan Pérez 2013
Figura 31 Basomatophora, Familia Ancyliidae

3.5.17. Mollusca; Bivalvia

Los moluscos bivalvos no son muy reconocidos en nuestra región, sin embargo es importante mencionarlos porque si bien es cierto, no son muy abundantes pero existen algunos pocos reportes escritos de la presencia de algunas familias en la parte de los andes centrales del Perú; la característica fundamental de ellos es estar formados por dos valvas de formas diferentes y constituidas por un conjunto de líneas secuenciadas; se les asocia a agua con una buena cantidad de oxígeno y presencia

de mucho mineral, sobre todo carbonato de calcio.

3.6 ÍNDICES DESARROLLADOS PARA DETERMINACIÓN DE CALIDAD DE AGUA MEDIANTE EL USO DE MACROINVERTEBRADOS

El desarrollo de índices para la determinación de calidad de agua mediante el uso de macro invertebrados ha tenido un desarrollo bastante acelerado en las últimas décadas; tanto así que en la Comunidad Económica Europea se considera ya como un parámetro cumplimiento legal, considerado como la “calidad ecológica del río” o del cuerpo de agua correspondiente; existe una gran cantidad de estos índices que han sido validados y aplicados a diferentes realidades del mundo y también en la zona de Sudamérica (23, 35, 47, 62); basta con referirse a las siguientes publicaciones para tener una idea al respecto:

Castillo-Figueroa, y Col (10) en el año 2018 publicaron Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua en Colombia: una revisión sistemática. En el que mencionan que el uso de macroinvertebrados acuáticos para evaluar la calidad del agua ha ido en aumento durante los últimos 50 años en Colombia; realizando una revisión sistemática de 109 referencias para analizar la producción científica relacionada con la evaluación de la calidad del agua en ecosistemas de agua dulce colombianos, utilizando macroinvertebrados acuáticos. Se describe las características bibliográficas, geográficas, ecológicas y metodológicas de estos estudios. En las últimas dos décadas, hubo un aumento de más del 50% de las publicaciones. La región andina fue la más estudiada, mientras que las otras regiones tuvieron poca investigación. Los ecosistemas lóticos fueron ampliamente estudiados, a diferencia de los lénticos. La principal ordenación del uso de la tierra fue agrícola. Los índices BMWP y de diversidad fueron los más utilizados en los análisis.

Por otro lado, Eriksen, y Col. (24) en el año 2021, en su artículo, Una perspectiva global sobre la aplicación de macroinvertebrados ribereños como indicadores biológicos en África, América Central y del Sur, México y Asia Meridional; plantean como objetivo generar una primera visión global de las presiones y métodos utilizados

para evaluar la calidad ambiental de ríos y arroyos utilizando macroinvertebrados. En total, se revisaron 314 estudios de revisión por pares, publicados en el período 1997 - 2018, de economías en desarrollo en África, América Central y del Sur, México y Asia Meridional. Para establecer una perspectiva global, los resultados de la revisión de la literatura se compararon con otros conjuntos de datos compilados, manuales de biomonitoreo, encuestas ambientales y revisiones de la literatura de Europa, América del Norte y Australasia. La revisión de la literatura de las economías en desarrollo mostró que el muestreo era más habitual durante el flujo base, utilizando muestreo kick o Surber, con niveles de identificación taxonómica principalmente por género o familia. Las evaluaciones se realizaron con mayor frecuencia utilizando métricas (singulares y multimétricas; > 70% de las aplicaciones) y se basaron en atributos de la comunidad relacionados con la riqueza y el dominio (58% de los estudios), la sensibilidad (40%), la diversidad por heterogeneidad (32%) y rasgos funcionales (25%). Dentro de cada categoría, las métricas más utilizadas fueron la riqueza y el predominio de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT), los sistemas de puntuación del Grupo de Trabajo de Monitoreo Biológico (BMWP/ASPT), la diversidad de Shannon-Wiener y los rasgos de alimentación. En general, el 92% de los estudios revisados informaron que el uso de macroinvertebrados, al menos en algunas de sus respuestas, logró detectar la degradación de la calidad ambiental en los ríos investigados. Dadas las muchas similitudes en los métodos aplicados en todo el mundo, en la actualidad, consideramos que una evaluación global de la calidad ambiental fluvial puede ser factible mediante el uso de identificaciones a nivel familiar de muestras de macroinvertebrados. Se propone una métrica común global (multimétrica), que comprende tres de las métricas de evaluación de ríos más comunes de la literatura revisada, pero también de otros lugares, a saber, el BMWP/ASPT, la diversidad de Shannon-Wiener y la riqueza del EPT. Las preocupaciones recientes con respecto al estado mundial de la naturaleza y las consecuencias para las comunidades de agua dulce, según lo informado por la plataforma intergubernamental de ciencia y política sobre biodiversidad y servicios de los ecosistemas (IPBES), enfatizan la necesidad urgente de tal síntesis.

Así mismo Saad y Col. (65) en el año 2019 en su artículo Uso de macroinvertebrados bentónicos como indicadores para evaluar la calidad del agua en el río Nilo, Egipto, menciona que las especies de invertebrados macrobentónicos son de diferente

sensibilidad a los parámetros bióticos de su entorno. Por tanto, se utilizan como bioindicadores de las estadísticas y la calidad del agua del medio acuático. Se evaluó el uso de invertebrados bentónicos para la evaluación biológica de la calidad del agua. Se seleccionaron veintitrés estaciones a lo largo del río Nilo desde Asuán hasta El Cairo para el muestreo de macroinvertebrados bentónicos. La fauna bentónica fue recolectada estacionalmente por una draga rectangular naturalista con una malla neta de 500 μm . Durante el período de seguimiento (cuatro temporadas), se identificaron cuarenta taxones. Pertenecen a individuos sensibles al bentos (25%) y bentos medio tolerantes (10%) y bentos tolerantes (65%). Las relaciones entre las comunidades macrobentónicas y las circunstancias del ecosistema acuático se han utilizado últimamente para realizar el puntaje de Monitoreo Biológico de la Calidad del Agua (BMWQ) para evaluar el nivel de calidad del agua del río Nilo. Se calculan la puntuación total de BMWQ (T-BMWQ) y la puntuación media de BMWQ (A-BMWQ), y también se examinan sus relaciones con los índices de diversidad de MacArther, Margalef, Menhinick y la riqueza familiar. Las puntuaciones de BMWQ son medidas más sutiles para evaluar la respuesta de los macroinvertebrados a la contaminación orgánica que los índices de diversidad y la densidad de población total. Sin embargo, la puntuación A-BMWQ es más sensible a los cambios en la composición familiar que la puntuación T-BMWQ, mientras que la puntuación T-BMWQ es más sutil para la riqueza familiar y el tamaño de la muestra. Se sugiere la puntuación A-BMWQ para la evaluación biológica de la calidad del agua dulce. También se calculó el Índice Biótico de Trent (TBI) en cada estación. Todos estos índices biológicos examinados en este estudio utilizando macroinvertebrados bentónicos demostraron que algunas estaciones en el río Nilo se clasificaron como de buena calidad de agua, la mayoría de las estaciones estudiadas tenían una calidad de agua moderada y muy pocas estaciones se clasificaron como de mala calidad de agua.

3.6.1 Índice Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, EPT, para determinar calidad de agua

Corresponde a uno de los índices más usados para determinar la calidad de agua a través de macro invertebrados; la elección de este índice está en relación directa a su simpleza ya que se trata únicamente de determinar en las muestras tomadas en el agua el número de familias que corresponden a estos órdenes de insectos; dicho en

otras palabras, se tienen que contar las familias pertenecientes al orden Ephemeroptera, luego contar las familias que pertenecen al orden Plecoptera y finalmente contar las familias que pertenecen al orden Trichoptera; el número total de familias sumadas para cada orden es comparada con la siguiente tabla; la confiabilidad del índice EPT radica en la sensibilidad de todas las familias que pertenecen a estos órdenes respecto sobre todo a la contaminación por materia orgánica; sin embargo, también se observa que existe modificación respecto a la cantidad de estas familias cuando el agua se encuentra contaminada con determinados metales pesados.

Tabla 3. Aplicación del índice EPT

Índice EPT	Calidad de agua
> 10	Sin impacto
6 - 10	Levemente impactado
2 - 5	Moderadamente impactado
0 - 1	Severamente impactado

Fuentes: Saal y Col. 2021 (65)

Así por ejemplo Rak, Omar y Kutty (61) en el año 2017; en su artículo titulado, Influencia de las características del hábitat en el ensamblaje y distribución de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT) en ríos recreativos seleccionados en Kelantan, Malasia; mencionan que desarrollar un estudio para identificar los factores del hábitat que contribuyen a la variación del EPT en tres ríos recreativos en Kelantan, Malasia. Por lo tanto, la implementación adicional del índice EPT como bioindicador puede estandarizarse y ser eficiente. Los resultados mostraron que el ensamblaje y distribución del EPT en estos ríos varía, aunque no hay una diferencia significativa en la calidad del agua. La calidad del agua de todos los ríos está en el rango de nivel "bueno". Por lo tanto, se realizó un análisis de regresión para confirmar los principales factores que influyen en la variación del ensamblaje del EPT dentro de los ríos recreativos seleccionados en Kelantan, Malasia. La composición del sustrato apareció como el factor principal que influyó en la variación en la distribución y composición de EPT en una buena calidad del agua a partir del análisis. Así, se concluye que la composición del sustrato es el factor principal que influye en la composición y

distribución del EPT en el río recreativo (buena calidad del agua).

Sin embargo, se han realizado trabajos de investigación que buscan el ajuste del índice para determinadas condiciones así por ejemplo Masese y Raburu (47) en el año 2017 en su publicación Mejora en el rendimiento del índice EPT para adaptarse a múltiples factores estresantes en arroyos afrotropicales; menciona que el índice EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera) puede estar sesgado por la amplia tolerancia a múltiples factores estresantes de las familias Baetidae, Caenidae e Hydropsychidae, lo que afecta el desempeño del índice EPT como indicador de múltiples factores estresantes en los ecosistemas acuáticos. Se evaluó el efecto de las familias de BCH sobre el índice EPT y se consideraron alternativas para mejorar su desempeño. Se probó la hipótesis de que la eliminación de las familias de BCH mejora la sensibilidad del índice EPT a los factores estresantes inducidos por humanos en arroyos y ríos. Se recolectaron macroinvertebrados en enero-marzo de 2009 en 22 sitios en los ríos Nyando y Nzoia, cuenca del lago Victoria, Kenia. Se probaron nueve derivadas y modificaciones del índice EPT para las respuestas a un gradiente de perturbación, clasificadas en tres categorías de condiciones (referencial, intermedia y deteriorada). La sensibilidad de la derivada de abundancia proporcional del índice EPT mejoró cuando se eliminaron las familias de BCH, mientras que la de la derivada de riqueza mejoró marginalmente. Otras modificaciones consideradas tuvieron un desempeño deficiente en comparación con las métricas del EPT-BCH. La amplia distribución del BCH en todos los sitios, independientemente del nivel de perturbación, redujo la sensibilidad del índice EPT en los arroyos estudiados. La eliminación de las familias de BCH mejoró la sensibilidad del índice a múltiples factores estresantes en arroyos y ríos afrotropicales.

3.6.2 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP)

Éste índice BMWP, corresponde a uno más complejo sin embargo termina siendo también un índice cualitativo basado en la identificación de familias de diferentes órdenes; así, la familia de los órdenes de macro invertebrados se ordenan en 10 niveles con puntuaciones que van del uno al 10, siendo 10 el número que representa mayor tolerancia y uno el número que representa menor tolerancia a contaminantes; esta tolerancia se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 4. Puntuación de tolerancia para el Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP)

Familias	Puntuación
O Polythoridae D Blephariceridae, Athericidae E Heptageniidae P Perlidae T Lepidostomatidae, Odontoceridae, Hydrobiosidae, Ecnomidae	1
E Leptophlebiidae O Cordulegastridae, Corduliidae, Aeshnidae, Perilestidae T Limnephilidae, Calamoceratidae, Leptoceridae, Glossosomatidae B Blaberidae	2
C Ptilodactylidae, Psephenidae, Lutrochidae O Gomphidae, Lestidae, Megapodagrionidae, Protoneuridae, Platystictidae T Philopotamidae Cr Talitridae, Gammaridae	3
O Libellulidae M Corydalidae T Hydroptilidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae E Euthyplociidae, Isonychidae	4
L Pyralidae T Hydropsychidae, Helicopsychidae C Dryopidae, Hydraenidae, Elmidae, Limnichidae E Leptohiphidae, Oligoneuriidae, Polymitarciidae, Baetidae Cr Crustacea Tr Turbellaria	5
C Chrysomelidae, Curculionidae, Haliplidae, Lampyridae, Staphylinidae Dytiscidae, Gyrinidae, Scirtidae, Noteridae D Dixidae, Simulidae, Tipulidae, Dolichopodidae, Empididae, Muscidae, Sciomyzidae, Ceratopogonidae, Stratiomyidae, Tabanidae H Belostomatidae, Corixidae, Naucoridae, Pleidae, Nepidae, Notonectidae O Calopterygidae, Coenagrionidae E Caenidae Hi Hidracarina	6
C Hydrophilidae D Psychodidae Mo Valvatidae, Hydrobiidae, Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae, Bithyniidae, Bythinellidae, Sphaeridae A Hirudinea: Glossiphonidae, Hirudidae, Erpobdellidae Cr Asellidae	7
D Chironomidae, Culicidae, Ephydriidae	8
D Syrphidae A Oligochatea (todas las clases)	10

D, Diptera; **E**, Ephemeroptera; **P**, Plecoptera; **T**, Trichoptera; **O**, Odonata; **C**, Coleoptera; **M**, Megaloptera; **H**, Hemiptera; **L**, Lepidoptera; **B**, Blattodea; **Tr**, Tricladida; **Cr**, Crustacea; **A**, Annelida; **Mo**, Mollusca.

Fuentes: Saal y Col. 2021 (65)

Cada una de las familias identificadas en el muestreo se correlacionan con su puntuación de tolerancia; posteriormente todos estos valores se suman y el resultado se compara con la siguiente tabla

Tabla 5. Aplicación del índice BMWP

Clase	Valor del BMWP	Calidad de agua
I (a)	150	Muy buena calidad
I (b)	101-102	Muy buena calidad
II	61-100	Buena calidad
III	36-60	Calidad media
IV	16-35	Escasa calidad
V	< 15	Calidad mala

Fuentes: Saal y Col. 2021

Pineda y Col (60) en el año 2018 publicaron Índices bióticos para evaluar la calidad del agua: BMWP; en el que a partir de un análisis bibliográfico de los principales estudios de investigación publicados sobre los valores de índice utilizados para evaluar calidad del agua, las características generales del índice denominado Biological Monitoring Working Party (BMWP) es descrito; Se mide el grado de complejidad de las evaluaciones de la calidad del agua y se evalúa la integración de nuevas tecnologías analizadas mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se estudia el índice BMWP, así como su aplicación de 1978 a 2017, especificando su distribución temporal y espacial, sus tendencias actuales y complementarias. El análisis se basa en la aplicación de la Teoría de Gráficos, particularmente en el Análisis de Redes Sociales desde un enfoque holístico.

El Sayed y Col. (21) en el año 2020, en su publicación titulada, Una evaluación integrada de la calidad del agua de las ramas Damietta y Rosetta (río Nilo, Egipto) utilizando índices químicos y biológicos.; comentan que Rosetta y Damietta son las

principales ramas del río Nilo en Egipto. Proporcionan el agua dulce necesaria para diferentes usos para unos 20 millones de personas. Se utilizaron índices químicos y biológicos para evaluar la calidad del agua y proporcionar una imagen completa del estado ambiental en el área investigada. Generalmente, los parámetros químicos, excepto el oxígeno disuelto, estaban en niveles más altos en Rosetta Branch en comparación con Damietta Branch. Asimismo, la Rama Damietta mostró con frecuencia la presencia de familias de macroinvertebrados que son bioindicadores de agua de calidad moderada y buena. Por el contrario, las especies más resistentes a la contaminación se registraron con frecuencia en Rosetta Branch. Según el WQI canadiense, el agua de Rosetta Branch se clasifica de "marginal" a "pobre" para los usos para beber y la vida acuática y de "regular" a "buena" para el uso del riego. Por otro lado, la calidad del agua de Damietta Branch se clasifica como "regular" con respecto al agua potable y "buena" para la vida acuática y el riego. Basado en el uso de familias de macroinvertebrados como bioindicadores, el índice del Grupo de Trabajo de Monitoreo Biológico (BMWP) y el Índice de Contaminación Biótica del Nilo (NBPI) indicaron que la calidad del agua de la Rama Damietta estaba dentro de la clase "moderada", mientras que la Rama Rosetta se clasifica de "muy contaminado" a clases "extremadamente contaminadas". Los resultados demostraron que tanto el BMWP como el NBPI han coincidido con el CWQI para los índices de vida potable y acuática ($p < 0,0001$), lo que indica la validez de BMWP y NBPI para evaluar la calidad del agua del área investigada.

3.6.3 Índice biótico de los andes (Andean Biotic Index, ABI)

Ríos, Acosta y Prat, (62) en el año 2014, publicaron su artículo, revisión de la tolerancia a los valores de contaminación para familias de macroinvertebrados y evaluación del desempeño del índice; en este artículo se propone una modificación del índice BMWP, que mencionan puede ser aplicado para la zona de los andes, este índice que fue denominado Andean Biotic Index (ABI), tiene una metodología similar al BMWP; es decir se ha creado una puntuación de tolerancia para las diferentes familias de macro invertebrados, pero en este caso considerando las familias presentes en la zona de los andes y además considerando también las condiciones especiales que presentan los ríos de esa zona.

Al igual que el caso anterior se considera los valores de tolerancia para cada una de las familias luego estas se suman y se comparan con la tabla respectiva.

Tabla 6. Puntuación de tolerancia para el Índice biótico de los andes (Andean Biotic Index, ABI)

Orden	Familia	Puntuación
Turbellaria		5
Hidrudinea		5
Oligochaeta		1
Gasteropoda	Ancylidae	6
	Physidae	3
	Hydrobiidae	3
	Lymnaeidae	3
	Planorbiidae	3
Bivalvia	Sphaeriidae	3
Amphipoda	Hyalellidae	6
Ostracoda		3
Hydracarina		4
Ephemeroptera	Baetidae	4
	Leptophlebiidae	10
	Leptohyphidae	7
	Oligoneuridae	10
Odonata	Aeshnidae	6
	Gomphidae	8
	Libellulidae	6
	Coenagrionidae	6
	Calopterygidae	8
	Polythoridae	10
Plecoptera	Perlidae	10
	Gripopterygidae	10
Heteroptera	Veliidae	5
	Gerridae	5
	Corixidae	5
	Notonectidae	5
	Belostomatidae	4
	Naucoridae	5

Trichoptera	Helicopsychidae	10
	Calamoceratidae	10
	Odontoceridae	10
	Leptoceridae	8
	Polycentropodidae	8
	Hydroptilidae	6
	Xiphocentronidae	8
	Hydrobiosidae	8
	Glossosomatidae	7
	Hydropsychidae	5
	Anomalopsychidae	10
	Philopotamidae	8
	Limnephilidae	7
Lepidoptera	Pyralidae	4
Coleoptera	Ptilodactylidae	5
	Lampyridae	5
	Psephenidae	5
	Scirtidae	5
	Staphylinidae	3
	Elmidae	5
	Dryopidae	5
	Gyrinidae	3
	Dytiscidae	3
	Hydrophilidae	3
	Hydraenidae	5
Diptera	Blepharoceridae	10
	Simuliidae	5
	Tabanidae	4
	Tipulidae	5
	Limoniidae	4
	Ceratopogonidae	4
	Dixidae	4
	Psychodidae	3
	Dolichopodidae	4
	Stratiomyidae	4
	Empididae	4
	Chironomidae	2
	Culicidae	2
	Muscidae	2

	Ephydriidae	2
	Athericidae	10
	Syrphidae	1
Collembola		0
Acari	Hidracarina	4
Tricladia/Seriata	Planariidae	5
Haplotaxida	Haplotaxidae	3
Glossiphoniiformes	Glossiphoniidae	1
Veneroida	Sphaeriidae	3
Megaloptera	Corydalidae	6
Hydroida	Hydridae	10

Fuente: Ríos, Acosta y Prat, (2014) (62)

Para la categorización de las clases de agua de acuerdo al índice ABI se considera la siguiente tabla.

Tabla 7 Aplicación del índice ABI

Clase	Valor del ABI	Calidad de agua
I (a)	150	Aguas muy limpias
I (b)	101-102	Aguas limpias
II	61-100	Aguas ligeramente contaminadas
III	36-60	Aguas contaminadas
IV	16-35	Aguas muy contaminadas
V	< 15	Aguas fuertemente contaminadas

Fuente: Ríos, Acosta y Prat, (2014) (62)

4. PERSPECTIVAS FUTURAS

Una vez revisada la información previa relacionada con el uso de los macro invertebrados como indicadores de calidad de agua, el reto sería desarrollar protocolos de aplicación de esta metodología para los ríos, no sólo de Arequipa sino para todo el sur del Perú; según Castillo-Figueroa y Col (10) además de Ericksen y Col (24) la aplicación de estos protocolos redundaría en la calidad de la evaluación; por lo tanto, se estarían proponiendo trabajos de investigación que estén relacionados con la validación de los grupos de Trichoptera, Ephemeroptera y Plecoptera; comparando la existencia de diversas familias de estos órdenes con las características fisicoquímicas previamente consideradas a través de resultados de análisis de laboratorios acreditados o de laboratorios de alta confiabilidad (4, 8, 48, 60); como menciona Mwedzi y Col. (52), la idea es interrelacionar los niveles de contaminación presentes en los cuerpos de agua, con la presencia de las familias de los órdenes mencionados pero con las propias características que se presentan en nuestra región; no debemos dejar de considerar que existe una alta biodiversidad en todo el Perú; y que la región Sur no es exenta a esta característica; y esto se debe entre otros factores a la tremenda diversidad de hábitat que se observan en pequeñas extensiones de terrenos, es decir, la presencia de micro hábitat; resulta por lo tanto importante determinar la confiabilidad de la capacidad indicadora que presentan estos macro invertebrados en nuestra región debido fundamentalmente a esta enorme diversidad de hábitats.

A manera de una propuesta metodológica para el desarrollo de estos bio indicadores en ríos de la región Arequipa, y tomando de referencia los trabajos Pineda-Pineda y Co. (60), Ríos-Touma y col (62) y Roldan (63); se mencionan los siguientes pasos:

- El primer paso sería, determinar el tramo del río a ser evaluado, lo cual permite establecer una zona la cual se necesita tener un conocimiento acerca de la calidad de agua que presenta, ya sea porque ésta será utilizada para abastecer las necesidades de una población humana, o que pueda ser utilizada para uso agrícola, o que simplemente corresponde a un río el cual brindará otro tipo de servicios ambientales a las poblaciones de su entorno.

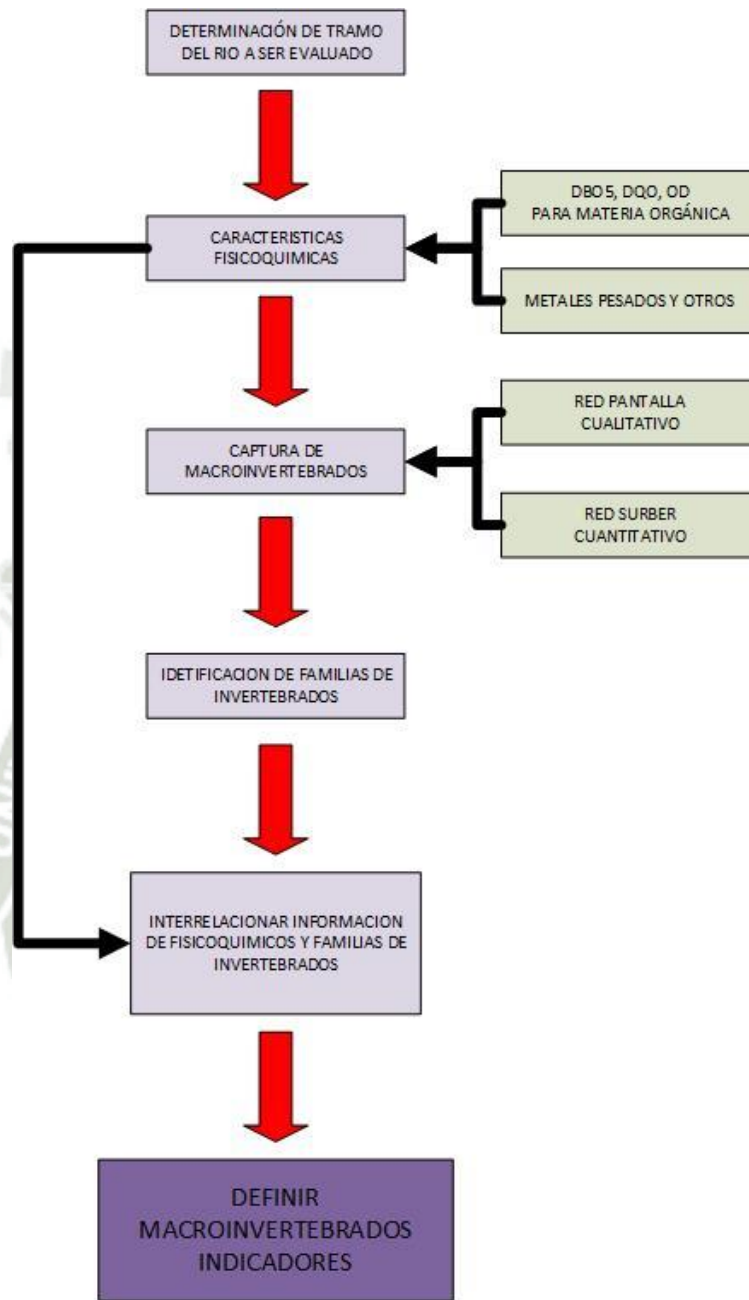
- El segundo paso sería establecer las características fisicoquímicas que presenta el agua en la zona de estudio; aquí se debe establecer una diferencia en el sentido de que lo que se desea puede ser identificar el nivel de contaminación por materia orgánica, que normalmente se da por vertimiento de aguas residuales urbanas, o el nivel de contaminación generado a partir de metales pesados, que normalmente se encuentra asociado al vertimiento de aguas industriales o mineras; para el primer caso es fundamental determinar parámetros tales como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), la demanda química de oxígeno (DQO) y el oxígeno disuelto (OD); en el caso de la demanda bioquímica y la demanda química de oxígeno se establece una relación directa con el contenido de materia orgánica en el agua, es decir, entre más elevado es el valor se espera tener una mayor cantidad de materia orgánica en el cuerpo de agua analizado; por otro lado el oxígeno disuelto, es un parámetro que también nos puede identificar la presencia de materia orgánica ya que esta última será abundante, provoca el consumo del mismo, por lo tanto, si el valor de oxígeno disuelto es bajo quiere decir que hay un alto contenido de materia orgánica en el agua.

Para el caso de los metales pesados, considerando el trabajo de Ko y Col. (41) y de Schmera y col (67), es importante identificar cuál de ellos se encuentran por encima de lo establecido en las normas legales, en este caso tendría que aplicarse los estándares de calidad ambiental para agua establecidos en el D.S. 004-2017-MINAM, los análisis en la actualidad son económicamente más factibles ya que con el uso de la tecnología del ICP-masa, se puede identificar una gran variedad de metales pesados en muestras de agua.

- El tercer paso ya estaría relacionado con la captura de los macro invertebrados en el cuerpo de agua estudiado; para ello se deben fijar estaciones equidistantes en todo el tramo de estudio, estas estaciones deben estar espaciadas 200 m de distancia entre cada una aproximadamente. En cada una de estas estaciones se establecen cinco puntos de muestreo los cuales distan 10 m uno de otro, en cada uno de estos puntos se coloca la malla, sea esta la red de pantalla (para método cualitativo) o la red Surber, (para método cuantitativo); para la ubicación de las mismas se tiene que tomar en cuenta la dirección del desplazamiento de agua de tal manera que todo el proceso de

manipulación de la red se realiza aguas abajo de la misma para que el chapoteo generado por el muestreo no modifique el material que ingresa a las redes; una vez colocada la red se procede a remover el fondo del sustrato permitiendo que el material depositado en él se introduzca al interior de la red que sea capturada por él; en el caso de la red Surber, el material removido va a corresponder a 900 cm^2 , ya que el área de muestreo tiene 30 cm de lado, esto resulta importante para luego llevar a cabo la contabilidad de los individuos capturados; todo el material obtenido en la red luego es colocado en frascos de vidrio los cuales contienen formol al 10% para luego ser trasladado a laboratorio para la visualización de los macro invertebrados.

- El cuarto paso involucra la identificación de los macro invertebrados, para ello se utilizan las guías de referencia citadas en la bibliografía del presente trabajo, y mediante la observación de componentes morfológicos, presencia de antenas, patas, branquias, forma del cuerpo, forma de la cabeza, presencia de conchas protectoras, etc. se logra determinar a la familia a la cual pertenecen cada uno de estos macro invertebrados; si se ha optado por un método cuantitativo, además de llevar a cabo el conteo de cada uno de los individuos por cada familia identificada.
- Finalmente se debe comparar el conjunto de familias identificadas y contabilizadas frente a las características fisicoquímicas determinadas en el agua, para este caso se pueden utilizar una serie de herramientas estadísticas como podría ser el índice de correlación de Pearson, u otros para establecer la relación que existe entre determinadas familias y la presencia del contaminante; de hecho si se encuentran por ejemplo valores elevados de demanda química de oxígeno y con ello la presencia de cierto tipo de familias, es lógico pensar en un segundo momento que sólo se muestran los macro invertebrados podemos tener idea de que existe esta contaminación por materia orgánica sin necesidad de hacer el análisis de la demanda bioquímica de oxígeno.

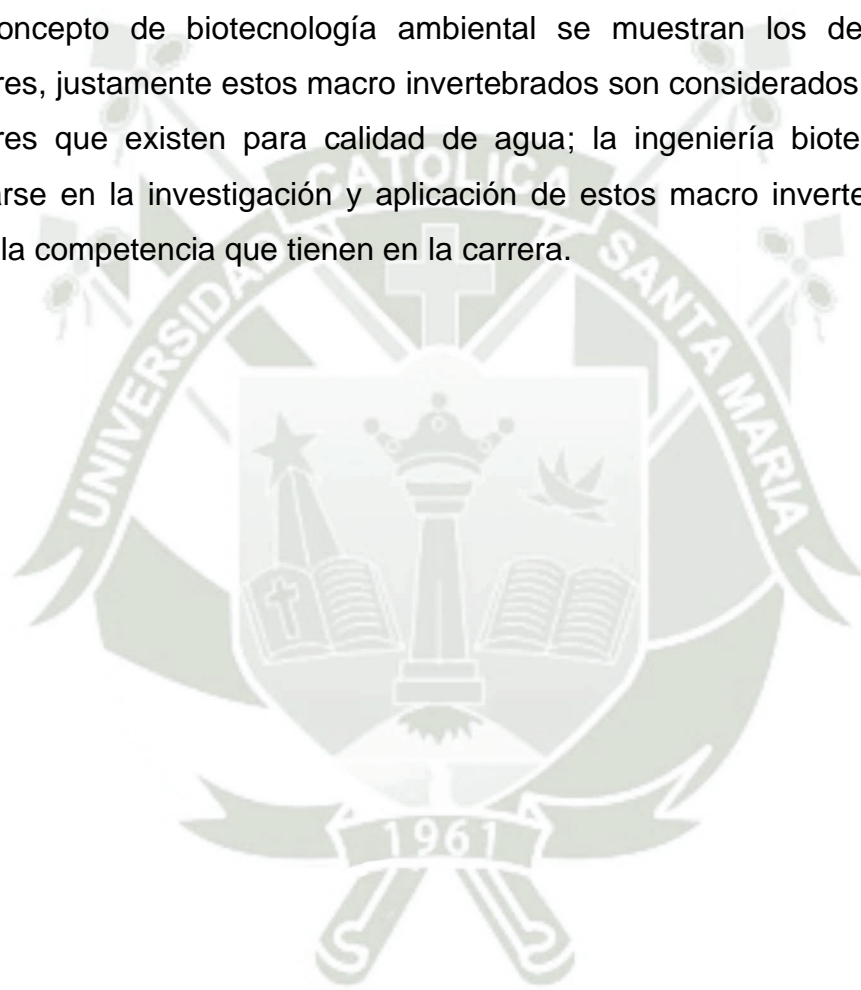


Fuente: Elaboración propia

Figura 32 Proceso generalizado del planteamiento de investigación para determinar a macro invertebrados indicadores

Por otro lado, se debe considerar que no sólo el índice EPT es el único que se puede aplicar para la región sur del Perú, también existe el índice ABI, descrito y aplicado por Ríos, Acosta y Prat, (62), el cual, a pesar que incluye una mayor complejidad ya que establece la identificación de un mayor número de familias, sin embargo, como se ha revisado en la bibliografía, este método tiene mayor confiabilidad; pero al igual que en el caso anterior tiene que ser validado para nuestra región.

En el concepto de biotecnología ambiental se muestran los denominados bio indicadores, justamente estos macro invertebrados son considerados los mejores bio indicadores que existen para calidad de agua; la ingeniería biotecnológica debe involucrarse en la investigación y aplicación de estos macro invertebrados por ser parte de la competencia que tienen en la carrera.



CONCLUSIONES

1. La utilización de macro invertebrados como bioindicadores de calidad de agua, marca principalmente la presencia de materia orgánica; sin embargo, también se ha encontrado reportes donde existe variación en la composición de la familia de los macro invertebrados debido a la presencia de metales pesados, esta última característica está en proceso de investigación.
2. Dentro del análisis de la utilización de macro invertebrados como indicadores para los contaminantes presentes en ríos se ha establecido la utilización de los mismos en diferentes partes del mundo; se utiliza como unidad de identificación al nivel taxonómico de familias, siendo el grupo de los insectos el que mayor cantidad de familias aporta a estos bio indicadores.
3. A partir de la utilización de los macro invertebrados como bio indicadores de calidad de agua se ha establecido que el índice de mayor facilidad de aplicación corresponde al índice EPT Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera; sin embargo, también se ha desarrollado el índice ABI (Andean Biotic Index), el cual se ha adaptado para la utilización de macro invertebrados que se encuentran en los ríos de los andes de Sudamérica incluyendo el Perú.

REFERENCIAS

1. Akyildiz GK, Duran M. Evaluation of the impact of heterogeneous environmental pollutants on benthic macroinvertebrates and water quality by long-term monitoring of the buyuk menderes river basin. *Environ Monit Assess* 2021 1935 [Internet]. 2021 Apr 17 [cited 2021 Nov 17];193(5):1–23. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-021-08981-8>
2. Allan JD. Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. *Annu Rev Ecol Evol Syst*. 2004;35:257–84.
3. Alomía J, Iannacone JA, Alvariño L, Ventura K. Benthic macroinvertebrates for assessing water quality of the high river basin of the Huallaga River, Peru. *Biol*. 2017;15(1):65–84.
4. Alvarez-Arango LF. Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. [Internet]. Bogota: instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt; 2005 [cited 2021 Nov 11]. Available from: <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/31357>
5. Banagar G, Riaz B, Rahmani H, Jolodar MN. Monitoring and assessment of water quality in the Haraz River of Iran, using benthic macroinvertebrates indices. *Biol* 2018 7310 [Internet]. 2018 Aug 31 [cited 2021 Nov 17];73(10):965–75. Available from: <https://link.springer.com/article/10.2478/s11756-018-0107-5>
6. Bekele TG, Ambelu A, Chegen RG, Bekele AG, Mekonen S, Endale H. Relevance of macroinvertebrate communities as a water quality monitoring tool in ecosystems under harsh environmental conditions in the Rift Valley region. *Environ Monit Assess* 2021 1933 [Internet]. 2021 Feb 20 [cited 2021 Nov 17];193(3):1–13. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-021-08923-4>
7. Bennetsen E, Gobeyn S, Everraert G, Goethals P. Setting Priorities in River Management Using Habitat Suitability Models. *water Artic*. 2021;13(886):1–19.

8. Callisto M, Massara RL, Linares MS, Hughes RM. Benthic macroinvertebrate assemblages detect the consequences of a sewage spill: a case study of a South American environmental challenge. *Limnol* 2021 [Internet]. 2021 Oct 9 [cited 2021 Nov 11];1–14. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10201-021-00680-0>
9. Cárdenas E, Lugo L, González J, Tenjo A. Aplicación del índice biótico de familias de Macroinvertebrados Para La Caracterización Del Río Teusaca, afluente del río Bogotá. *UDCA Actual Divulg Científica*. 2018;21(2):587–97.
10. Castillo-Figueroa D, Garzón-Salamanca LL, Albarracín-Caro JF. Aquatic macroinvertebrates as water quality bioindicators in Colombia: A systematic review. *Neotrop Biol Conserv* [Internet]. 2018 Sep 4 [cited 2021 Nov 17];13(3):235–48. Available from: <http://revistas.unisinos.br/index.php/neotropical/article/view/nbc.2018.133.06>
11. Chattopadhyay S, Oglęcki P, Keller A, Kardel I, Piniewski M, Mirosław-świątek D. Effect of a summer flood on benthic macroinvertebrates in a medium-sized, temperate, lowland river. *Water (Switzerland)*. 2021;13(7):1–23.
12. Chirwa E, Gichuki J, Masese F, Rabson Chirwa E, Chilima L. Use of Benthic Macroinvertebrate Indices as Bioindicators of Ecosystem Health for the Detection of Degraded Landscapes in Malawi. *Int J Agric* [Internet]. 2017 [cited 2021 Nov 11];5(6):128–34. Available from: <http://www.openscienceonline.com/journal/ijaff>
13. Croijmans L, de Jong JF, Prins HHT. Oxygen is a better predictor of macroinvertebrate richness than temperature—a systematic review. *Environ Res Lett* [Internet]. 2021 Jan 21 [cited 2021 Nov 17];16(2):023002. Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab9b42>
14. Custodio M, Custodio M. A Review of Water Quality Indices Used to Assess the Health Status of High Mountain Wetlands. *Open J Ecol* [Internet]. 2019 Mar 19 [cited 2021 Nov 17];9(3):66–83. Available from: <http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=91393>

15. Custodio M, Peñaloza R. Influence of Water Quality on the Variation Patterns of the Communities of Benthic Macroinvertebrates in the Lakes of the Central Highlands of Peru. *Open J Mar Sci* [Internet]. 2019 Jan 16 [cited 2021 Nov 17];09(01):1–17. Available from: [//file.scirp.org/Html/1-1470458_89927.htm](http://file.scirp.org/Html/1-1470458_89927.htm)
16. de Vries J, Kraak MHS, Skeffington RA, Wade AJ, Verdonschot PFM. A Bayesian network to simulate macroinvertebrate responses to multiple stressors in lowland streams. *Water Res.* 2021;194.
17. Desrosiers M, Pinel-Alloul B, Spilmont C. Selection of Macroinvertebrate Indices and Metrics for Assessing Sediment Quality in the St. Lawrence River (QC, Canada). *Water* 2020, Vol 12, Page 3335 [Internet]. 2020 Nov 27 [cited 2021 Nov 11];12(12):3335. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/12/3335/htm>
18. Ding S, Li F, Lin J, Zhang Y, Jia X. Assessing limitation factors and thresholds for macroinvertebrate communities in response to land use gradients. *E3S Web Conf.* 2021;259:01007.
19. Dominguez E, Fernández HR. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Primera. Eduardo Domínguez HRF, editor. *Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo, Tucuman: Fundación Miguel Lillo; 2009. 656 p.
20. Doretto A, Bo T, Bona F, Fenoglio S. Efficiency of Surber net under different substrate and flow conditions: insights for macroinvertebrates sampling and river biomonitoring. *Knowl Manag Aquat Ecosyst* [Internet]. 2020 [cited 2021 Nov 11];421(421):10. Available from: https://www.kmae-journal.org/articles/kmae/full_html/2020/01/kmae190144/kmae190144.html
21. El Sayed SM, Hegab MH, Mola HRA, Ahmed NM, Goher ME. An integrated water quality assessment of Damietta and Rosetta branches (Nile River, Egypt) using chemical and biological indices. *Environ Monit Assess* 2020 1924 [Internet]. 2020 Mar 11 [cited 2021 Nov 17];192(4):1–16. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-020-8195-4>

22. Elias JD, Elias JD. Effectiveness of Macroinvertebrate Species to Discern Pollution Levels in Aquatic Environment. *Open J Ecol* [Internet]. 2021 Mar 23 [cited 2021 Nov 11];11(4):357–73. Available from: <http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=108650>
23. England J, Chadd R, Dunbar MJ, Sarremejane R, Stubbington R, Westwood CG, et al. An invertebrate-based index to characterize ecological responses to flow intermittence in rivers. *Fundam Appl Limnol*. 2019;193(1):93–117.
24. Eriksen TE, Brittain JE, Søli G, Jacobsen D, Goethals P, Friberg N. A global perspective on the application of riverine macroinvertebrates as biological indicators in Africa, South-Central America, Mexico and Southern Asia. *Ecol Indic*. 2021;126(March).
25. Eriksen TE, Brittain JE, Søli G, Jacobsen D, Goethals P, Friberg N. A global perspective on the application of riverine macroinvertebrates as biological indicators in Africa, South-Central America, Mexico and Southern Asia. *Ecol Indic*. 2021 Jul 1;126:107609.
26. Etemi FZ, Bytyçi P, Ismaili M, Fetoshi O, Ymeri P, Shala–Abazi A, et al. The use of macroinvertebrate based biotic indices and diversity indices to evaluate the water quality of Lepenci river basin in Kosovo. <https://doi.org/10.1080/1093452920201738172> [Internet]. 2020 May 11 [cited 2021 Nov 17];55(6):748–58. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10934529.2020.1738172>
27. Fenoglio S, Doretto A. Monitoring of neotropical streams using macroinvertebrate communities: Evidence from honduras. *Environ - MDPI*. 2021;8(4).
28. Field-Juma A, Roberts-Lawler N. Using partnerships and community science to protect wild and scenic rivers in the Eastern United States. *Sustain*. 2021;13(4):1–22.
29. Fierro P, Bertrán C, Tapia J, Hauenstein E, Peña-Cortés F, Vergara C, et al. Effects of local land-use on riparian vegetation, water quality, and the functional

- organization of macroinvertebrate assemblages. *Sci Total Environ.* 2017 Dec 31;609:724–34.
30. Fierro P, Hughes RM, Valdovinos C. Temporal Variability of Macroinvertebrate Assemblages in a Mediterranean Coastal Stream: Implications for Bioassessment. *Neotrop Entomol* 2021 [Internet]. 2021 Aug 30 [cited 2021 Nov 17];1–13. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13744-021-00900-3>
 31. Fierro P, Valdovinos C, Lara C, Saldías GS. Influence of intensive agriculture on benthic macroinvertebrate assemblages and water quality in the aconcagua river basin (Central Chile). *Water (Switzerland)*. 2021;13(4).
 32. Ge Y, Xia C, Wang J, Zhang X, Ma X, Zhou Q. The efficacy of DNA barcoding in the classification, genetic differentiation, and biodiversity assessment of benthic macroinvertebrates. *Ecol Evol* [Internet]. 2021 May 1 [cited 2021 Nov 11];11(10):5669–81. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ece3.7470>
 33. Gholizadeh M. Effects of floods on macroinvertebrate communities in the Zarin Gol River of northern Iran: implications for water quality monitoring and biological assessment. *Ecol Process* [Internet]. 2021 Dec 1 [cited 2021 Nov 17];10(1):1–11. Available from: <https://ecologicalprocesses.springeropen.com/articles/10.1186/s13717-021-00318-0>
 34. Gholizadeh M, Zibaei M. Evaluation of fish farm effluent contamination using bio-indicators based on macroinvertebrate communities. *Turkish J Fish Aquat Sci.* 2021;21(3):107–16.
 35. Ghosh D, Biswas JK, Ghosh D, Biswas JK. Efficiency of Pollution Tolerance Index (PTI) of macroinvertebrates in detecting aquatic pollution in an oxbow lake in India. *Univ Sci* [Internet]. 2017 [cited 2021 Nov 11];22(3):237–61. Available from: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-74832017000300237&lng=en&nrm=iso&tlng=en

36. Gillespie BR, Kay P, Brown LE. Limited impacts of experimental flow releases on water quality and macroinvertebrate community composition in an upland regulated river. *Ecohydrology* [Internet]. 2020 Mar 1 [cited 2021 Nov 17];13(2):e2174. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/eco.2174>
37. Gleason JE, Rooney RC. Aquatic macroinvertebrates are poor indicators of agricultural activity in northern prairie pothole wetlands. *Ecol Indic.* 2017 Oct 1;81:333–9.
38. Jerves-Cobo R, Forio MAE, Lock K, Van Butsel J, Pauta G, Cisneros F, et al. Biological water quality in tropical rivers during dry and rainy seasons: A model-based analysis. *Ecol Indic.* 2020 Jan 1;108:105769.
39. Johnson AC. Is freshwater macroinvertebrate biodiversity being harmed by synthetic chemicals in municipal wastewater? *Curr Opin Environ Sci Heal.* 2019 Oct 1;11:8–12.
40. Khatri N, Raval K, Jha AK. Integrated water quality monitoring of Mahi river using benthic macroinvertebrates and comparison of its biodiversity among various stretches. *Appl Water Sci* [Internet]. 2021 Aug 1 [cited 2021 Nov 17];11(8):1–14. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-021-01451-z>
41. Ko NT, Suter P, Conallin J, Rutten M, Bogaard T. Aquatic macroinvertebrate indicators in the zawgyi irrigation channels and a river in the central dry zone of myanmar. *Sustain.* 2020;12(21):1–17.
42. Ligeiro R, Hughes RM, Kaufmann PR, Heino J, Melo AS, Callisto M. Choice of field and laboratory methods affects the detection of anthropogenic disturbances using stream macroinvertebrate assemblages. *Ecol Indic.* 2020 Aug 1;115:106382.
43. Liu Z, Zhou T, Cui Y, Li Z, Wang W, Chen Y, et al. Environmental filtering and spatial processes equally contributed to macroinvertebrate metacommunity dynamics in the highly urbanized river networks in Shenzhen, South China. *Ecol Process.* 2021;10(1).

44. Lubanga HL, Manyala JO, Sitati A, Yegon MJ, Masese FO. Spatial variability in water quality and macroinvertebrate assemblages across a disturbance gradient in the Mara River Basin, Kenya. *Ecohydrol Hydrobiol.* 2021 Apr 7;
45. Luo, K., Hu, X., He, Q., Wu, Z., Cheng, H., Hu, Z., & Mazumder A. Impacts of rapid urbanization on the water quality and macroinvertebrate communities of streams: A case study in Liangjiang New Area, China. *Sci Total Environ.* 2018;6221:1601–14.
46. Maitland VC, Robinson CV, Porter TM, Hajibabaei M. Freshwater diatom biomonitoring through benthic kick-net metabarcoding. *PLoS One* [Internet]. 2020;15(11 November):1–18. Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0242143>
47. Masese FO, Raburu PO. Improving the performance of the EPT Index to accommodate multiple stressors in Afrotropical streams. <http://dx.doi.org/102989/1608591420171392282> [Internet]. 2017 Oct 13 [cited 2021 Nov 16];42(3):219–33. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.2989/16085914.2017.1392282>
48. Meneses Campo Y, Castro Rebolledo MI, Jaramillo Londoño AM. Comparación de la calidad del agua en dos ríos altoandinos mediante el uso de los índices BMWP/COL. y ABI. *Acta Biológica Colomb.* 2019;24(2):299–310.
49. Merga LB, Mengistie AA, Alemu MT, Van den Brink PJ. Biological and chemical monitoring of the ecological risks of pesticides in Lake Ziway, Ethiopia. *Chemosphere* [Internet]. 2021;266:129214. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129214>
50. Moreno F. Composición Y Abundancia De Macroinvertebrados Acuáticos En El Río Acacias Departamento Del Meta, Colombia [Internet]. 2018. Available from: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/35371>
51. Munne A, Bonada N, Cid N, Gallart F, Sola C, Bardina M, et al. A proposal to classify and assess ecological status in mediterranean temporary rivers:

- Research insights to solve management needs. *Water* (Switzerland). 2021;13(6):1–20.
52. Mwedzi T, Siziba N, Odume ON, Nyamazana E, Mabika I. Responses of macroinvertebrate community metrics to urban pollution in semi-arid catchments around the city of Bulawayo, Zimbabwe. *Water SA*. 2020;46(4):583–92.
 53. Namba H, Iwasaki Y, Morita K, Ogino T, Mano H, Shinohara N, et al. Comparing impacts of metal contamination on macroinvertebrate and fish assemblages in a northern Japanese river. *PeerJ*. 2021;9:1–18.
 54. Ntloko P, Palmer CG, Akamagwuna FC, Odume ON. Exploring macroinvertebrates ecological preferences and trait-based indicators of suspended fine sediment effects in the tsitsa river and its tributaries, eastern cape, south africa. *Water* (Switzerland). 2021;13(6).
 55. Owens MC, Williams CJ, Haynes JM. Effects of forested buffers on benthic macroinvertebrate indicators of water quality in the Western Finger Lakes, New York. <https://doi.org/10.1080/2044204120201804786> [Internet]. 2021 [cited 2021 Nov 17];11(1):78–88. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/20442041.2020.1804786>
 56. Palma A. Guía para la identificación de macroinvertebrados acuáticos de Chile. 2017;(August):123. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/318970118>
 57. Peace Musonge SL, Boets P, Lock K, Damanik Ambarita NM, Forio MAE, Verschuren D, et al. Baseline assessment of benthic macroinvertebrate community structure
 58. Peng FJ, ter Braak CJF, Rico A, Van den Brink PJ. Double constrained ordination for assessing biological trait responses to multiple stressors: A case study with benthic macroinvertebrate communities. *Sci Total Environ* [Internet]. 2021;754:142171. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142171>

59. Perlatti F, Martins EP, de Oliveira DP, Ruiz F, Asensio V, Rezende CF, et al. Copper release from waste rocks in an abandoned mine (NE, Brazil) and its impacts on ecosystem environmental quality. *Chemosphere*. 2021;262.
60. Pineda-Pineda et al., Jair J. Pineda-Pineda et al. Biotic Indices to Evaluate Water Quality, BMWP. *Int J Environ Ecol Fam Urban Stud*. 2018;8(5):23–36.
61. Rak AE, Omar SAS, Kutty AA. Influence of habitat characteristics on the assemblage and distribution of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (EPT) at selected recreational rivers in Kelantan, Malaysia. *J Fundam Appl Sci* [Internet]. 2018 Apr 9 [cited 2021 Nov 16];9(7S):37–48. Available from: <https://www.ajol.info/index.php/jfas/article/view/168464>
62. Ríos-Touma B, Acosta R, Prat N. The Andean biotic index (ABI): Revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation. *Rev Biol Trop*. 2014;62(April):249–73.
63. Roldán Pérezl Gabriel. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos. PRIMERA. Impreades Presencia S.A., editor. Bogota: FINANCIERA ENERGETICA NACIONAL; 2013.
64. Rust AJ, Randell J, Todd AS, Hogue TS. Wildfire impacts on water quality, macroinvertebrate, and trout populations in the Upper Rio Grande. *For Ecol Manage*. 2019 Dec 1;453:117636.
65. Saad S, Gawad A. Using benthic macroinvertebrates as indicators for assessment the water quality in River Nile, Egypt. <https://doi.org/10.1080/2314808X20191700340> [Internet]. 2019 Jan 2 [cited 2021 Nov 17];6(1):206–19. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/2314808X.2019.1700340>
66. Saal I, Bouchelouche D, Hamache C, Arab A. Evaluation of the surface water quality in the Kebir-Rhumel catchment area (northeast Algeria) using biotic indices and physico-chemical analyses. *Environ Sci Pollut Res* 2020 2834 [Internet]. 2020 Aug 31 [cited 2021 Nov 17];28(34):46565–79. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-020-10598-2>

67. Schmera D, Heino J, Podani J, Erős T, Dolédec S. Functional diversity: a review of methodology and current knowledge in freshwater macroinvertebrate research. *Hydrobiologia*. 2017;787(1):27–44.
68. Shenton MD, Nichols SJ, Bray JP, Moulding BJB, Kefford BJ. The Effects of Road De-icing Salts on Water Quality and Macroinvertebrates in Australian Alpine Areas. *Arch Environ Contam Toxicol* 2021 [Internet]. 2021 Apr 20 [cited 2021 Nov 17];1–15. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00244-021-00827-1>
69. Simeone D, Tagliaro CH, Beasley CR. Amazonian freshwater mussel density: A useful indicator of macroinvertebrate assemblage and habitat quality. *Ecol Indic* [Internet]. 2021;122:107300. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107300>
70. Simeone D, Tagliaro CH, Beasley CR. Amazonian freshwater mussel density: A useful indicator of macroinvertebrate assemblage and habitat quality. *Ecol Indic* [Internet]. 2021;122:107300. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107300>
71. Steinman AD, Hassett MC, Oudsema M, Rediske R. Alum efficacy 11 years following treatment: phosphorus and macroinvertebrates. <https://doi.org/10.1080/1040238120171402834> [Internet]. 2018 Apr 3 [cited 2021 Nov 11];34(2):167–81. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10402381.2017.1402834>
72. Su Y, Li W, Liu L, Hu W, Li J, Sun X, et al. Health assessment of small-to-medium sized rivers: Comparison between comprehensive indicator method and biological monitoring method. *Ecol Indic* [Internet]. 2021;126:107686. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107686>
73. Su Y, Li W, Liu L, Hu W, Li J, Sun X, et al. Health assessment of small-to-medium sized rivers: Comparison between comprehensive indicator method and biological monitoring method. *Ecol Indic* [Internet]. 2021;126:107686. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107686>

74. Sundar, S., Heino, J., Roque, F. D. O., Simaika, J. P., Melo, A. S., Tonkin, J. D., ... & Silva DP. No Title. *Aquat Conserv Mar Freshw Ecosyst*. 2020;30(6):1238–50.
75. Szekeres J, Borza P, Csányi B, Graf W, Huber T, Leitner P, et al. Comparison of littoral and deep water sampling methods for assessing macroinvertebrate assemblages along the longitudinal profile of a very large river (the Danube River, Europe). *River Res Appl* [Internet]. 2019 Sep 1 [cited 2021 Nov 11];35(7):989–98. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/rra.3486>
76. Thamsenanupap P, Seetapan K, Prommi T. Caddisflies (trichoptera, insecta) as bioindicator of water quality assessment in a small stream in northern thailand. *Sains Malaysiana*. 2021;50(3):655–65.
77. Yorulmaz B, Ertaş A. Water quality assessment of Selendi Stream and comparative performance of the indices based on benthic macroinvertebrates and physicochemical parameters. *Biol* 2021 769 [Internet]. 2021 Apr 26 [cited 2021 Nov 17];76(9):2599–607. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11756-021-00756-3>.



ANEXO No. 1

DATOS GENERALES DE REVISION DE ARTICULOS

	BASE DE DATOS	REVISTA	TITULO DE LA INVESTIGACION	AUTORES	AÑO DE PUBLICACION	PAIS	PALABRAS CLAVES	APLICACION DE INDICES
1	Springer	Environmental Science and Pollution Research	Evaluation of the impact of heterogeneous environmental pollutants on benthic macroinvertebrates and water quality by long-term monitoring of the buyuk menderes river basin	Akyildiz GK, Duran M	2020	Alemania	Atmospheric Protection/Air Quality Control/Air Pollution; Ecotoxicology; Environment; Environmental Chemistry; Environmental Health; Waste Water Technology / Water Pollution Control / Water Management / Aquatic Pollution; general	
2	Google Scholar	Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics	Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems	Allan, J. David	2004	USA	Catchment; Disturbance; River; Stream health; Stressor response	
3	Google Scholar	The Biologist (Lima)	Benthic macroinvertebrates for assessing water quality of the high river basin of the Huallaga River, Peru.	Alomía, J. Iannacone, J. A. Alvariano, L. Ventura, K.	2017	Perú	invertebrates; aquatic organisms; benthos; dry season; physicochemical properties; riparian vegetation; river banks; rivers; water quality; watersheds; wet season	SI
4	Google Scholar	<i>Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander von Humboldt</i>	Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua.	Alvarez-Arango, Luisa Fernanda	2005	Colombia	macroinvertebrados acuáticos metodologías Proyecto	SI
5	Scopus	Biología	Monitoring and assessment of water quality in the Haraz River of Iran, using benthic macroinvertebrates indices	Banagar, Gholamreza Riazi, Borhan Rahmani, Hossein Jolodar, Mehdi Naderi	2018	Perú	Cell Biology; Life Sciences; Microbiology; Plant Sciences; Zoology; general	SI
6	Springer	Environmental Monitoring and Assessment	Relevance of macroinvertebrate communities as a water quality monitoring tool in ecosystems under harsh environmental conditions in the Rift Valley region	Bekele, Tadiyose Girma Ambelu, Argaw Chegen, Ruth Gebretsadik Bekele, Amanuel Girma Mekonen, Seblework Endale, Hailu	2021	Suiza	Atmospheric Protection/Air Quality Control/Air Pollution; Ecology; Ecotoxicology; Environmental Management; Monitoring/Environmental Analysis; Water quality	SI

7	Scopus	water Article	Setting Priorities in River Management Using Habitat Suitability Models	Bennetsen, Elina Gobeyn, Sacha Everraert, Gert Goethals, Peter	2021	Suiza	affil-; claims in; decision support; ecological water quality; habitat suitability modeling; mdpi stays neutral; published maps and institutional; publisher; s note; with regard to jurisdictional	
8	Scopus	Limnology	Benthic macroinvertebrate assemblages detect the consequences of a sewage spill: a case study of a South American environmental challenge	Callisto, Marcos Massara, Rodrigo L. Linares, Marden S. Hughes, Robert M.	2021	Brazil	Ecology; Environment; Freshwater & Marine Ecology; Sensitive indicators; Urban streams; general	SI
9	Google Scholar	U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica	Aplicación del índice biotico de familias de Macroinvertebrados Para La Caracterización Del Río Teusaca, afluente del rio Bogotá	Cárdenas, Estrella Lugo, Ligia González, Julio Tenjo, Ana	2018	Colombia	agua; calidad del; contaminación del agua; invertebrados acuáticos; ríos; tesaurus; UNESCO	SI
10	Scopus	Neotropical Biology and Conservation	Aquatic macroinvertebrates as water quality bioindicators in Colombia: A systematic review	Castillo-Figueroa, Dennis Garzón- Salamanca, Laura L. Albarracín-Caro, Juan F.	2018	Brazil	Aquatic insects; Biotic indices; Bmwp; Diversity indices; Lentic ecosystems; Lotic ecosystems; Water pollution	SI
11	Scopus	Water	Effect of a summer flood on benthic macroinvertebrates in a medium-sized, temperate, lowland river	Chattopadhyay, Somsubhra Ogłęcki, Paweł Keller, Agata Kardel, Ignacy Piniewski, Mikołaj Miroslaw-świątek, Dorota	2021	Suiza	Biological diversity; Channel bed; Ecosystem resilience; Flow-ecology relationships; Macroinvertebrate communities; Moderate flood	
12	Open Science	International Journal of Agriculture	Use of Benthic Macroinvertebrate Indices as Bioindicators of Ecosystem Health for the Detection of Degraded Landscapes in Malawi	Chirwa, Elias Gichuki, John Masese, Frank Rabson Chirwa, Elias Chilima, Limbikani	2017	USA	Benthic Macroinvertebrates; Bioindicators; Ecosystem Health; Lilongwe; Malawi	SI
13	ELSERVIER	Environmental Research Letters	Oxygen is a better predictor of macroinvertebrate richness than temperature—a systematic review	Croijmans, L. de Jong, J. F. Prins, H. H.T.	2021	Holanda	Biodiversity; Invertebrate; Lotic; Oxygen; Systematic review; Temperature	
14	Google Scholar	Open Journal of Ecology	A Review of Water Quality Indices Used to Assess the	Custodio, María Custodio, María	2019	Perú	Biotic Indices; Conventional Indices; Diversity Indices;	SI

			Health Status of High Mountain Wetlands				Sustainable Management; Water Quality	
15	Clarivate Analytics	Open Journal of Marine Science	Influence of Water Quality on the Variation Patterns of the Communities of Benthic Macroinvertebrates in the Lakes of the Central Highlands of Peru	Custodio, María Peñaloza, Richard	2019	Perú	Benthic Macroinvertebrates; Diversity; High Andean Wetlands; Water Quality	SI
16	Scopus	Water	Selection of Macroinvertebrate Indices and Metrics for Assessing Sediment Quality in the St. Lawrence River (QC, Canada)	Desrosiers, Mélanie Pinel-Alloul, Bernadette Spilmont, Charlotte	2020	Canadá	St. Lawrence River; bioassessment; indices and metrics; macroinvertebrates; sediment quality	SI
17	Google Scholar	E3S Web of Conferences	Assessing limitation factors and thresholds for macroinvertebrate communities in response to land use gradients	Ding, Sen Li, Feilong Lin, Jianing Zhang, Yuan Jia, Xiaobo	2021	China		
18	Google Scholar	Sistemática y biología. Fundación Miguel Lillo	Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos	Dominguez, E Fernández, H R	2009	Argentina		SI
19	Scopus	Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems	Efficiency of Surber net under different substrate and flow conditions: insights for macroinvertebrates sampling and river biomonitoring	Doretto, Alberto Bo, Tiziano Bona, Francesca Fenoglio, Stefano	2020	Francia	Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture; Diversity; EDP Sciences; Knowledge and management of aquatic ecosystems; benthic invertebrates; collection; journal; metrics; revue; stream	SI
20	Springer	Environmental Monitoring and Assessment	An integrated water quality assessment of Damietta and Rosetta branches (Nile River, Egypt) using chemical and biological indices	El Sayed, Seleim M. Hegab, Mahmoud H. Mola, Hesham R. A. Ahmed, Nasr M. Goher, Mohame E.	2020	Egipto	Atmospheric Protection/Air Quality Control/Air Pollution; Ecology; Ecotoxicology; Environmental Management; Monitoring/Environmental Analysis	
21	Google Scholar	Open Journal of Ecology	Effectiveness of Macroinvertebrate Species to Discern Pollution Levels in Aquatic Environment	Elias, Julius D.	2021	Tanzania	Bio-Indicator; Biomonitoring; Freshwater; Macro-Invertebrate; Pollution and Tolerance	
22	ELSERVIER	Fundamental and Applied Limnology	An invertebrate-based index to characterize ecological responses to flow intermittence in rivers	England, Judy Chadd, Richard Dunbar, Michael J.	2019	Alemania	Biotic index; Flow; Intermittence; Intermittent rivers and ephemeral streams; Temporary rivers; Temporary streams	SI

				Sarremejane, Romain Stubbington, Rachel Westwood, Christian G. Leeming, David				
23	ELSERVIER	Ecological Indicators	A global perspective on the application of riverine macroinvertebrates as biological indicators in Africa, South-Central America, Mexico	Eriksen, Tor E. Brittain, John E. Søli, Geir Jacobsen, Dean Goethals, Peter Friberg, Nikolai	2021	Mexico	Bioindicators; Biomonitoring; Pollution; Rivers; Water quality	SI
24	Scopus	Journal of Environmental Science and Health	The use of macroinvertebrate based biotic indices and diversity indices to evaluate the water quality of Lepenci river basin in Kosovo	Etemi, Ferdije Zhushi Bytyçi, Pajtim Ismaili, Murtezan Fetoshi, Osman Ymeri, Prespa Shala–Abazi, Albona Muja-Bajraktari, Nesade Czikkely, Marton	2020	Servia	Lepenci river basin; Macroinvertebrates; biotic index; diversity index; water quality	SI
25	Scopus	Environments - MDPI	Monitoring of neotropical streams using macroinvertebrate communities: Evidence from honduras	Fenoglio, Stefano Doretto, Alberto	2021	Honduras	BMWP; Biological indicators; LCBD; Richness; Río Cangrejal	SI
26	Web of science	Sustainability	Using partnerships and community science to protect wild and scenic rivers in the Eastern United States	Field-Juma, Alison Roberts-Lawler, Nancy	2021	USA	Citizen science; Clean Water Act; Community science; Dam removal; NPDES; Water quality monitoring; Wild and Scenic Rivers Act	
27	ELSERVIER	Science of The Total Environment	Effects of local land-use on riparian vegetation, water quality, and the functional organization of macroinvertebrate assemblages	Fierro, Pablo Bertrán, Carlos Tapia, Jaime Hauenstein, Enrique Peña-Cortés, Fernando Vergara, Carolina Cerna, Cindy Vargas-Chacoff, Luis	2017	Chile	Agriculture; Anthropogenic disturbance; Bioindicators; Exotic forest plantations; Riparian forests	
28	Springer	Neotropical Entomology	Temporal Variability of Macroinvertebrate Assemblages in a	Fierro, Pablo Hughes, Robert M.	2021	Chile	Agriculture; Entomology; Life Sciences; general; multimetric index	SI

			Mediterranean Coastal Stream: Implications for Bioassessment	Valdovinos, Claudio				
29	Wiley	Ecology and Evolution	The efficacy of DNA barcoding in the classification, genetic differentiation, and biodiversity assessment of benthic macroinvertebrates	Ge, Yihao Xia, Chengxing Wang, Jun Zhang, Xiujie Ma, Xufa Zhou, Qiong	2021	China	DNA barcoding; benthic macroinvertebrates; biodiversity assessment; species identification	
30	Springer	Ecological Processes	Effects of floods on macroinvertebrate communities in the Zarin Gol River of northern Iran: implications for water quality monitoring and biological assessment	Gholizadeh, Mohammad	2021	Iran	Bio-assessment; Climate change; Hydrology; Macroinvertebrate	SI
31	Scielo	Universitas Scientiarum	Efficiency of Pollution Tolerance Index (PTI) of macroinvertebrates in detecting aquatic pollution in an oxbow lake in India	Ghosh, Dipankar Biswas, Jayanta Kumar Ghosh, Dipankar Biswas, Jayanta Kumar	2017	India	aquatic health; diversity indexes; macroinvertebrates; pollution; water quality	SI
32	Wiley	Ecohydrology	Limited impacts of experimental flow releases on water quality and macroinvertebrate community composition in an upland regulated river	Gillespie, Ben R. Kay, Paul Brown, Lee E.	2020	Inglaterra	LIFE scores; Water Framework Directive (WFD); environmental flows; macroinvertebrates; regulated rivers; reservoir; water quality	SI
33	ELSERVIER	Ecological Indicators	Aquatic macroinvertebrates are poor indicators of agricultural activity in northern prairie pothole wetlands	Gleason, Jennifer E. Rooney, Rebecca C.	2017	Canadá	Aquatic invertebrates; Bioassessment; Biological integrity; Biomonitoring; Marshes; Sloughs	SI
34	ELSERVIER	Ecological Indicators	Biological water quality in tropical rivers during dry and rainy seasons: A model-based analysis	Jerves-Cobo, Rubén Forio, Marie Anne Eurie Lock, Koen Van Butsel, Jana Pauta, Guillermina Cisneros, Felipe Nopens, Ingmar Goethals, Peter L.M.	2020	Ecuador	Andes; Biological water quality; Cuenca River basin; Ecological assessment; Ecological modelling; Generalized Linear Models; Pollution	SI
35	ELSERVIER	Current Opinion in Environmental	Is freshwater macroinvertebrate biodiversity being harmed by	Johnson, Andrew C.	2019	Reino Unido	Biodiversity; Macroinvertebrate; River; Sensitivity; Wastewater; Water quality	SI

		Science & Health	synthetic chemicals in municipal wastewater?					
36	Springer	Applied Water Science	Integrated water quality monitoring of Mahi river using benthic macroinvertebrates and comparison of its biodiversity among various stretches	Khatri, Nitasha Raval, Krutarth Jha, Ashutosh K.	2021	India	Aquatic; Diversity Score; Jaccard similarity index; Saprobic Score; Species richness; Water quality	SI
37	ELSERVIER	Ecological Indicators	Choice of field and laboratory methods affects the detection of anthropogenic disturbances using stream macroinvertebrate assemblages	Ligeiro, Raphael Hughes, Robert M. Kaufmann, Philip R. Heino, Jani Melo, Adriano S. Callisto, Marcos	2020	Brazil	Biomonitoring programs; Leaf packs; Method comparisons; Multihabitat sampling; Single-habitat sampling; Subsampling effect	
38	Springer	Ecological Processes	Environmental filtering and spatial processes equally contributed to macroinvertebrate metacommunity dynamics in the highly urbanized river networks in Shenzhen, South China	Liu, Zhenyuan Zhou, Tingting Cui, Yongde Li, Zhengfei Wang, Weimin Chen, Yushun Xie, Zhicai	2021	China	Community assembly; Environmental filtering; Macroinvertebrate metacommunity; Seasonal variation; Spatial processes; Urban river	
39	ELSERVIER	Ecohydrology & Hydrobiology	Spatial variability in water quality and macroinvertebrate assemblages across a disturbance gradient in the Mara River Basin, Kenya	Lubanga, Henry L. Manyala, Julius O. Sitati, Augustine Yegon, Mourine J. Masese, Frank O.	2021	Kenia	Afrotropics; Biomonitoring; Functional organization; Land-use; Macroinvertebrates	SI
40	ELSERVIER	Science of The Total Environment	Impacts of rapid urbanization on the water quality and macroinvertebrate communities of streams: A case study in Liangjiang New Area, China	Luo, K., Hu, X., He, Q., Wu, Z., Cheng, H., Hu, Z., & Mazumder, A.	2018	China	Canonical correspondence analysis; Liangjiang New Area; Macroinvertebrate; Urban stream; Urbanization	SI
41	Google Scholar	PLoS ONE	Freshwater diatom biomonitoring through benthic kick-net metabarcoding	Maitland, Victoria Carley Robinson, Chloe Victoria Porter, Teresita M. Hajibabaei, Mehrdad	2020	USA		

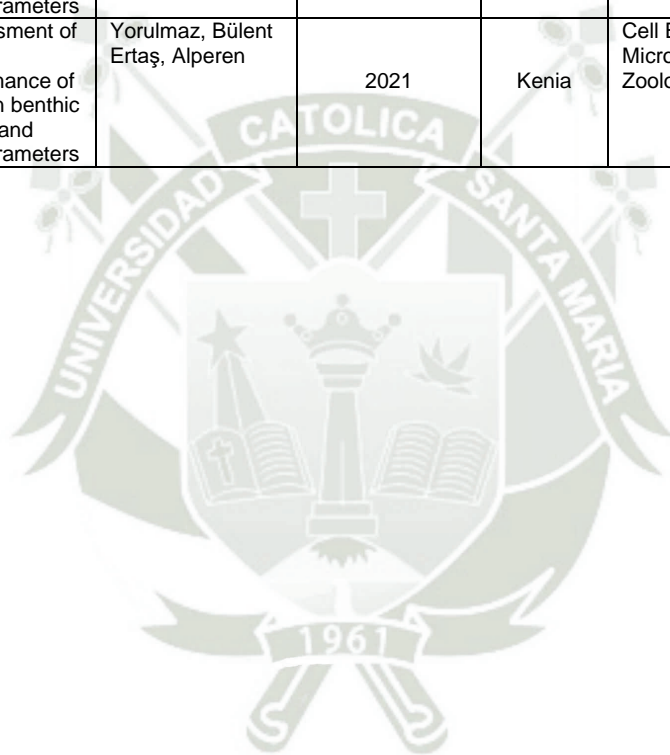
42	Google Scholar	African Journal of Aquatic Science	Improving the performance of the EPT Index to accommodate multiple stressors in Afrotropical streams	Masese, F. O. Raburu, P. O.	2017	Kenia	EPT index; biomonitoring; macroinvertebrates; urban streams; water pollution; water quality	
43	Scielo	Acta Biológica Colombiana	Comparación de la calidad del agua en dos ríos altoandinos mediante el uso de los índices BMWP/COL. y ABI.	Meneses Campo, Yaneth Castro Rebolledo, María Isabel Jaramillo Londoño, Angelica Maria	2019	Colombia	estado ecológico; impacto ambiental; indicadores biológicos; macroinvertebrados acuáticos; índices bióticos	SI
44	ELSERVIER	Chemosphere	Biological and chemical monitoring of the ecological risks of pesticides in Lake Ziway, Ethiopia	Merga, Lemessa B. Mengistie, Alemayehu A. Alemu, Miresa T. Van den Brink, Paul J.	2021	Etiopia	Agricultural activity; Fungicides; Insecticides; Mixture toxicity	
45	Scopus	Water	A proposal to classify and assess ecological status in mediterranean temporary rivers: Research insights to solve management needs	Munne, Antoni Bonada, Nuria Cid, Nuria Gallart, Francesc Sola, Carolina Bardina, Monica Rovira, Albert Sierra, Clara Soria, Maria Fortuno, Pau Llorens, Pilar Latron, Jerome Estrela, Teodoro Fidalgo, Arancha Serrano, Inmaculada Jimenez, Sara Vega, Rosa Prat, Nards	2021	Reino Unido	Intermittent rivers and ephemeral streams; Mediterranean; Non-perennial rivers; River basin management plans; Temporary rivers; Water framework directive	
46	Google Scholar	PeerJ	Comparing impacts of metal contamination on macroinvertebrate and fish assemblages in a northern Japanese river	Namba, Hiroki Iwasaki, Yuichi Morita, Kentaro Ogino, Tagiru Mano, Hiroyuki Shinohara, Naohide Yasutaka, Tetsuo Matsuda, Hiroyuki	2021	Japon	Abandoned mines; Aquatic insects; Cross taxon congruence; Ecological risk assessment; Environmental assessment; Fish; Legacy mines; Metal pollution; Salmonids; Trace metals	

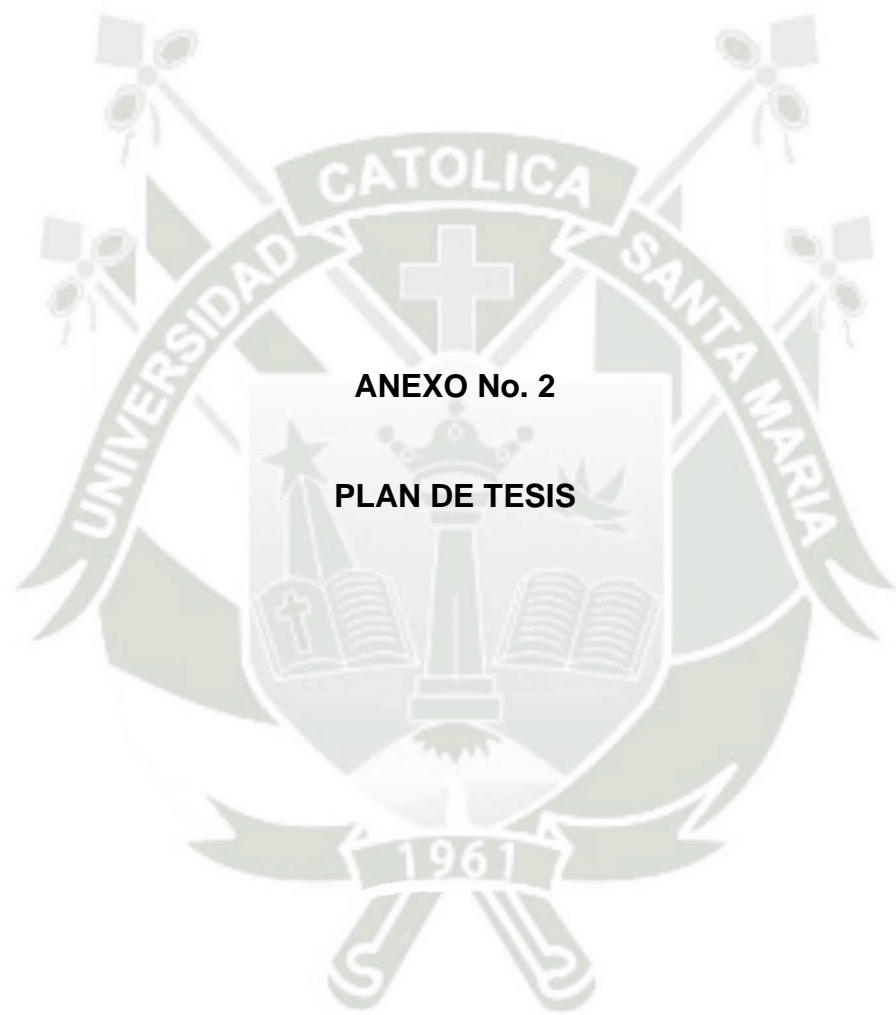
				Kamo, Masashi				
47	Scopus	Water	Exploring macroinvertebrates ecological preferences and trait-based indicators of suspended fine sediment effects in the tsitsa river and its tributaries, eastern cape, south africa	Ntloko, Phindiwe Palmer, Carolyn G. Akamagwuna, Frank C. Odume, Oghenekaro N.	2021	Sud Africa	Biomonitoring; Freshwater; Pollution; RLQ; Sediments	SI
48	Google Scholar	Inland Waters	Effects of forested buffers on benthic macroinvertebrate indicators of water quality in the Western Finger Lakes, New York	Owens, Mitchell C. Williams, Clayton J. Haynes, James M.	2021	USA	Finger Lakes; benthic macroinvertebrates; land use change; riparian buffers; watershed management	SI
49	Google Scholar	ResearchGate	Guía para la identificación de macroinvertebrados acuáticos de Chile	Palma, A.	2017	Chile		SI
50	ELSERVIER	Limnologica	Baseline assessment of benthic macroinvertebrate community structure and ecological water quality in Rwenzori rivers (Albertine rift valley, Uganda) using biotic-index tools	Peace Musonge, S.L. Boets, Pieter Lock, Koen Damanik Ambarita, Naomi Minar Forio, Marie Anne Eurie Verschuren, Dirk Goethals, Peter L.M.	2019	Uganda	Albertine rift valley; Biotic index; Ecological assessment; Macroinvertebrate diversity; River monitoring; Rwenzori; Uganda	
51	ELSERVIER	Science of the Total Environment	Double constrained ordination for assessing biological trait responses to multiple stressors: A case study with benthic macroinvertebrate communities	Peng, Feng Jiao ter Braak, Cajo J.F. Rico, Andreu Van den Brink, Paul J.	2021	Alemania	Benthic macroinvertebrates; Biomonitoring; Double constrained correspondence analysis; Multiple stressors; RLQ; Trait-environment relationships	
52	ELSERVIER	Chemosphere	Copper release from waste rocks in an abandoned mine (NE, Brazil) and its impacts on ecosystem environmental quality	Perlatti, Fabio Martins, Eve Pimentel de Oliveira, Daniel Pontes Ruiz, Francisco Asensio, Verónica Rezende, Carla Ferreira Otero, Xosé Luis	2021	Brazil	Benthic organism; Biodiversity; Copper emission; Environment contamination; Mining waste	

				Ferreira, Tiago Osório				
53	Google Scholar	International Journal of Environment, Ecology, Family and Urban Studies	Biotic Indices to Evaluate Water Quality, BMWP	Pineda-Pineda et al., Jair J. Pineda-Pineda et al.	2018	USA	2018; accepted; bioindicator; graphics; holistic approach; ijeefusoct20184; jul 11; jun 21; monitoring; network analysis; paper id; published; received; sep 19	SI
54	Google Scholar	Journal of Fundamental and Applied Sciences	Influence of habitat characteristics on the assemblage and distribution of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (EPT) at selected recreational rivers in Kelantan, Malaysia	Rak, A. E. Omar, S.A.S. Kutty, A. A.	2018	Malasia	EPT; recreational rivers; regression analysis; substrate	SI
55	Google Scholar	Revista de Biologia Tropical	The Andean biotic index (ABI): Revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation	Ríos-Touma, Blanca Acosta, Raúl Prat, Narcís	2014	Ecuador	Altitudinal distribution; Andes; Aquatic macroinvertebrates; BMWP adaptations; Biomonitoring; Tolerance to pollution; Water quality	SI
56	Google Scholar	FINANCIERA ENERGETICA NACIONAL	Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos	Roldán Pérezl Gabriel	2013	Colombia		SI
57	Google Scholar	Forest Ecology and Management	Wildfire impacts on water quality, macroinvertebrate, and trout populations in the Upper Rio Grande	Rust, Ashley J. Randell, Jackie Todd, Andrew S. Hogue, Terri S.	2019	Mexico		
58	Taylor & Francis	Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences	Using benthic macroinvertebrates as indicators for assessment the water quality in River Nile, Egypt	Saad, Soad Gawad, Abdel	2019	Egipto	BMWQ; River Nile; benthic macroinvertebrates; biotic index; water quality	SI
59	Springer	Environmental Science and Pollution Research	Evaluation of the surface water quality in the Kebir-Rhumel catchment area (northeast Algeria) using biotic indices and physico-chemical analyses	Saal, Imane Bouchelouche, Djaouida Hamache, Ceria Arab, Abdeslem	2020	Argelia	Atmospheric Protection/Air Quality Control/Air Pollution; Ecotoxicology; Environment; Environmental Chemistry; Environmental Health; Waste Water Technology / Water Pollution Control / Water Management / Aquatic Pollution; general	SI
60	Springer	Hydrobiologia	Functional diversity: a review of methodology and current knowledge in freshwater macroinvertebrate research	Schmera, Dénes Heino, Jani Podani, János Erős, Tibor Dolédec, Sylvain	2017	Reino Unido	Environmental variables; Functional redundancy; Human impact; Taxonomic resolution; Traits	SI

61	Springer	Archives of Environmental Contamination and Toxicology	The Effects of Road De-icing Salts on Water Quality and Macroinvertebrates in Australian Alpine Areas	Shenton, Mark D. Nichols, Susan J. Bray, Jon P. Moulding, Benjamin J.G. Kefford, Ben J.	2021	Australia	Ecotoxicology; Environmental Chemistry; Environmental Health; Monitoring/Environmental Analysis; Pollution; Soil Science & Conservation; general	SI
62	ELSERVIER	Ecological Indicators	Amazonian freshwater mussel density: A useful indicator of macroinvertebrate assemblage and habitat quality	Simeone, Diego Tagliaro, Claudia Helena Beasley, Colin Robert	2021		Biodiversity; Bivalve declines; Ecological functions; Exploitation; Functional groups; Management	SI
63	Taylor & Francis	Lake and Reservoir Management	Alum efficacy 11 years following treatment: phosphorus and macroinvertebrates	Steinman, Alan D. Hassett, Michael C. Oudsema, Maggie Rediske, Richard	2018	USA	Alum treatment; internal phosphorus loading; macroinvertebrates; west Michigan	
64	ELSERVIER	Ecological Indicators	Health assessment of small-to-medium sized rivers: Comparison between comprehensive indicator method and biological monitoring method	Su, Yifan Li, Weiming Liu, Liu Hu, Wei Li, Jinjing Sun, Xuyang Li, Yun	2021	China	Anthropogenic disturbances; Ecological indicator; M-HSC model; PSR framework; Water conservancy projects	SI
65	Wiley	Aquatic Conservation	Conservation of freshwater macroinvertebrate biodiversity in tropical regions	Sundar, S., Heino, J., Roque, F. D. O., Simaika, J. P., Melo, A. S., Tonkin, J. D., ... & Silva, D. P.	2020	USA		SI
66	Wiley	River Research and Applications	Comparison of littoral and deep water sampling methods for assessing macroinvertebrate assemblages along the longitudinal profile of a very large river (the Danube River, Europe)	Szekeres, József Borza, Péter Csányi, Béla Graf, Wolfram Huber, Thomas Leitner, Patrick Milosević, Djurdj Paunović, Momir Pavelescu, Claudia Erős, Tibor	2019	Alemania	dredging; kick and sweep sampling; macroinvertebrates; multihabitat sampling; potamon; spatial congruency; very large river	
67	Google Scholar	Sains Malaysiana	Caddisflies (trichoptera, insecta) as bioindicator of water quality assessment in	Thamsenanupap, P. Seetapan, K.	2021	Tailandia	Bioindicator; Caddisfly larvae; Freshwater ecosystems; Water quality variables	SI

			a small stream in northern thailand	Prommi, T.				
68	Springer	Biologia	Water quality assessment of Selendi Stream and comparative performance of the indices based on benthic macroinvertebrates and physicochemical parameters	Yorulmaz, Bülent Ertaş, Alperen	2021	Hungria	Cell Biology; Life Sciences; Microbiology; Plant Sciences; Zoology; general	SI
69	Springer	Biologia	Water quality assessment of Selendi Stream and comparative performance of the indices based on benthic macroinvertebrates and physicochemical parameters	Yorulmaz, Bülent Ertaş, Alperen	2021	Kenia	Cell Biology; Life Sciences; Microbiology; Plant Sciences; Zoology; general	SI





ANEXO No. 2

PLAN DE TESIS

1. TITULO

Identificación de aproximaciones teóricas para el uso de macro invertebrados Trichoptera, Ephemeroptera y Plecoptera en la determinación de calidad de agua en ríos

2. AUTOR

MONTOYA PAUCA, KAREN DANIELA

Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas, Universidad Católica de Santa María, Arequipa – Perú.

- **ASESOR**

Msc. Ing. Kenny Davi Alvarado Quiroz

3. INTRODUCCION

Dentro de los múltiples problemas ambientales, y sin desmerecer otros, la contaminación que se genera sobre los cuerpos de agua lóticos, que incluye ríos riachuelos y arroyos, se van incrementando constantemente; esto se debe, entre otros factores al crecimiento poblacional y el desarrollo urbano desordenado que no toma en cuenta su ubicación respecto a las fuentes de agua, es decir, la mayor parte de ciudades y nuevos asentamientos humanos se construyen al lado de ríos y fuentes de agua dulce, (1) que obviamente son importantes para el abastecimiento de este recurso para las poblaciones humanas, pero que, sin embargo, en muchas circunstancias, y sobre todo en el Perú, en estos se vierten aguas residuales de todo tipo generando problemas de contaminación y baja de calidad del recurso para las poblaciones humanas vecinas que también requieren de recursos (7).

Existe un conjunto de procedimientos que permiten controlar este problema de contaminación; desde la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales hasta modelos de educación ambiental dirigidos a la población remarcando la importancia de proteger el recurso agua; sin embargo, es importante en cierta manera, poder determinar cuál es la efectividad que tienen estas medidas aplicadas; el conocer la efectividad permite establecer cambios o mejoras en los procesos o incluso a proponer mejores procesos o procesos complementarios, dicho de otra forma, ayuda a que se tomen las decisiones correctas respecto a la gestión del recurso agua (13).

El procedimiento lógico para poder determinar la efectividad de las medidas de control

de contaminación en cuerpos de agua está relacionado directamente con los monitoreos de la calidad de la misma, considerando para ello parámetros preestablecidos a través de la legislación peruana, dentro de ellos el más importante corresponde a los estándares de calidad de agua (ECA) establecidos por el D.S. 004-2017-MINAM en el cual se fija los valores máximos de contaminantes que pueden estar presente en los cuerpos de agua, considerando a estos últimos como un medio receptor. Si se revisa la norma en cuestión, se establece que los procedimientos para determinar todos los parámetros incluidos, se basan en análisis de tipo fisicoquímico y microbiológico con métodos estándar ya establecidos a través de una larga data, y que tienen que ser realizados mediante laboratorios acreditados; de hecho, muchos de estos parámetros son de poco entendimiento para la población, que no tiene un conocimiento adecuado de los conceptos fisicoquímicos ni microbiológicos.

El modelo de gestión de cualquier recurso, y no es excepción para el caso del recurso agua, va a tener éxito siempre y cuando el proceso sea concordado con todos los actores que participan en la mencionada gestión, esto, en el caso del agua involucra, entre otros, a la población usuaria del recurso; y la participación concordada en el análisis del problema de contaminación y la toma de decisiones respecto a las medidas de control, tienen como problema fundamental el poco entendimiento que se tiene de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos establecidos por normativa legal que deben considerarse; es por ello que existe la alternativa de utilizar la biotecnología y dentro de ella a los bioindicadores que representan una herramienta que permitiría superar este problema y permitir un mejor entendimiento de los niveles de contaminación de los cuerpos de agua con la aplicación de los mismos (20).

Uno de los bioindicadores más utilizados a nivel mundial para la determinación de calidad de agua corresponde a los macro invertebrados (5), estos últimos son organismos vivos, habitantes de los cuerpos de agua dulce que se encuentran en el límite de la visibilidad humana, es decir, que pueden ser observados a simple vista, pero que para poder identificar sus estructuras corporales se suele utilizar estereoscopios, si bien es cierto, hablar de macro invertebrados involucra un grupo muy grande de organismos, a través del tiempo se han ido desarrollando protocolos los cuales permiten identificar ciertas familias sistemáticas como indicadores de la calidad de agua en las diferentes regiones

y países (21).

Índices bióticos como el BMWP/COL de biological monitoring working party, el índice EPT de Ephemeroptera, Plecoptera y Tricoptera; o el índice ABI de Andean Biotic Index, entre otros, son índices que utilizan la presencia y abundancia de individuos de ciertas familias de macro invertebrados para que en base al desarrollo de escalas arbitrarias se establezca los niveles de calidad de agua (21); estos métodos muestran como ventaja, que pueden ser de más fácil entendimiento para los pobladores, ya que las escalas que son producto de los mismos, son de fácil lectura, es decir, que indica el nivel de calidad en muy bueno, bueno, regular, malo, y muy malo; sin embargo, esta escala arbitraria viene siendo avalada por información científica rigurosa establecida por la presencia de estos macro invertebrados (21).

No se ha identificado información que permita una adecuada aplicación de estos índices en los ríos de la región como el río Chili, Tambo, Ocoña y Majes-Camaná, en la región Arequipa; sin embargo, a partir de esta aproximación teórica, es decir por búsqueda bibliográfica, se puede establecer a especies de las familias Trichoptera, Plecoptera, Ephemeroptera y además de la familia de los Chiromonidos, como bioindicadores, es decir, que nos dan a conocer el nivel de contaminantes que presentan en el agua estos ríos, considerándose estos grupos como los más apropiados. Estos grupos de invertebrados, entre otros, pueden mostrar el nivel de contaminación del agua de los ríos (bioindicador).

Se puede por lo tanto, resumir, mencionando que existen métodos desarrollados para utilizar a los macro invertebrados como indicadores de contaminación de agua del río, los cuales, si bien es cierto están contrastados contra los valores fisicoquímicos y microbiológicos, sin embargo, son de más fácil lectura y determinación que los antes mencionados; se pretende realizar la búsqueda bibliográfica correspondiente para poder dar la base teórica para esas metodologías y que éstas puedan ser aplicadas en los ríos de la región tales como el río Chili, Tambo, Ocoña y Majes-Camaná. Se debe mencionar además que la utilización de estos macro invertebrados se encuentran relacionados con la determinación del nivel de contaminación, pero no relacionados con el tratamiento, depuración o mejora de algún parámetro fisicoquímico.

4. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Una de las limitaciones que se observan en la utilización de los macro invertebrados como indicadores de calidad de agua, es que cada uno de los grupos de los mismos tiene que ser identificados en cada una de las regiones donde se pretende aplicar la metodología; sin embargo, a través del conocimiento de los diferentes contaminantes presentes en un determinado río, se podría de cierta manera establecer cuáles son los macro invertebrados que deberían identificarse para poder aplicarlos como indicadores. Se debe recurrir a la búsqueda de información para que a partir de los contaminantes reportados para los ríos de la Región (datos que se obtendrán a partir de los informes de la Autoridad Nacional del Agua, ANA) y que serán comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos en el D.S. 004-2017-MINAM, se puedan identificar y asociar los macro invertebrados y los respectivos procedimientos para poder aplicarlos como bioindicadores en nuestra región. Sin embargo, en general se pueden considerar especies de Trichoptera, Plecoptera, Ephemeroptera y además de los Chiromonidos, considerándose estos grupos como los más apropiados.

Para el Perú se debe tomar en cuenta una clasificación de ríos en el cual se basa en la disposición geográfica que estos tienen; así tendríamos los ríos de la vertiente occidental, que son los que desembocan hacia el océano pacífico, caracterizados por presentar caudales abundantes y desarrollar gran velocidad de agua; por otro lado tenemos a los ríos que van hacia la vertiente oriental, y que terminan en la olla amazónica, son ríos que tienen poca velocidad y por lo tanto acumulan gran cantidad de sedimentos; finalmente los ríos que desembocan hacia la cuenca del lago Titicaca que son una mezcla de los anteriores. La utilización de los macro invertebrados como indicadores de calidad de agua aplican a ríos que tiene la característica de los de la vertiente occidental.

5. JUSTIFICACIÓN

La base de la justificación se establece en los objetivos de desarrollo sostenibles (ODS) No. 6, que corresponde a “agua limpia y saneamiento”; en el cual podemos considerar de manera específica las siguientes metas:

6.5 Implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles.

6.6 Proteger y reestablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.

6.7 Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento

En estas metas se justifica el uso de los macro invertebrados ya que permitiría que las comunidades locales tenga un mejor entendimiento de la calidad de agua de su entorno lo cual es socialmente importante; desde lo tecnológico permitiría reducir la frecuencia de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, lo cual también tiene una connotación económica ya que los costos para la determinación de macro invertebrados son mucho más bajos que los de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

6. OBJETIVOS DE LA REVISIÓN

6.1. Objetivo general

Identificar las aproximaciones teóricas para el uso de macro invertebrados Trichoptera, Ephemeroptera y Plecoptera en la determinación de calidad de agua en ríos.

6.2. Objetivos específicos

1. Identificar bibliográficamente las características de los contaminantes presentes en ríos.
2. Analizar la utilización de macro invertebrados como bioindicadores para los contaminantes presentes en ríos.
3. Comparar los diferentes índices que utilizan los macro invertebrados con potencial para ser utilizados en los ríos de la región Arequipa.

6.3. Hipótesis

Luego de realizar la revisión de información, se cree posible poder identificar aproximaciones teóricas que permitan aplicar el uso de macro invertebrados para determinar la calidad de agua en ríos, es decir, como bioindicadores.

6.4. Variables

Variable Independiente

Macroinvertebrados presentes como bioindicadores

DESCRIPTORES EN ESPAÑOL	DESCRIPTORES EN INGLÉS
Macro invertebrados	Macro invertebrates
Ríos	Rivers
Contaminación	Polution
Índices bióticos	Biotic Index
Demanda Química de Oxígeno	Chemical Oxygen Demand
Oxígeno disuelto	Dissolved oxygen
Materia orgánica	Organic material
Metales pesados	Heavy metals

Variable dependiente

Calidad de agua

7. CARACTERÍSTICAS DE LA BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA

7.1. Base de datos

Se considera para la presente investigación la utilización de las siguientes bases de datos (motores de búsqueda):

- a. Scopus
- b. Web of Science
- c. Science Direct
- d. Google Academic

7.2. Selección de descriptores / cadena de búsqueda

Debido a que se pretende realizar una revisión crítica es que se considera los siguientes descriptores:

Tabla No. 1 Descriptores propuestos para la investigación

Para la búsqueda también se utilizarán los operadores Booleanos los cuales son AND, OR y NOT

Se pretende también desarrollar una bitácora de búsqueda la cual tendría la siguiente estructura

Tabla No. 2 Propuesta de bitácora para la investigación

MOTOR DE BÚSQUEDA	FECHA	ECUACIÓN	NÚMERO DE RESULTADOS	RESULTADOS MÁS RELEVANTES
-------------------	-------	----------	----------------------	---------------------------

La construcción de las ecuaciones de búsqueda se da mediante la combinación de los descriptores y los operadores booleanos, de tal manera que una combinación es una ecuación y va a mostrar resultados en la búsqueda; por ejemplo si se combina Macro invertebrados, ríos e índices bióticos como descriptores y se les asocia con operadores booleanos tendríamos:

Macroinvertebrados AND ríos AND índices bióticos

Esta última sería la formula, la cual sería colocada en el buscador correspondiente y se obtendrán resultados de artículos que incluya a esos descriptores o en el titulo o en las palabras claves.

7.3. Criterios de inclusión y exclusión

Los criterios de inclusión están basados en los artículos definidos por los descriptores y que serán aplicados a los motores de búsqueda con la utilización de los operadores Booleanos, generándose de esa manera las ecuaciones de búsqueda; por otro lado, de acuerdo al motor de búsqueda, se consideran los artículos científicos de mayor impacto o mayor citación; respecto a la temporalidad se consideran los artículos de los últimos cinco años.

8. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividades	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12
Revisión bibliográfica												
Selección del tema												
Elección de la base de datos determinación de descriptores												
Selección y procesamiento de información												
Análisis y discusión de resultados												
Redacción del informe final												
Sustentación												