



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
CARRERA DE BIOLOGÍA**

PRINCIPALES MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO
INDICADORES DE LA CALIDAD DE AGUAS CONTINENTALES,
EMPLEADOS EN ECUADOR DURANTE 2015 – 2021.

TRABAJO PRÁCTICO

Previo a la obtención del título de

BIÓLOGA

Autor:

JESSICA LISSETH MOYA HERRERA

Tutor:

BLGA. MARÍA HERMINIA CORNEJO RODRÍGUEZ PHD.

La Libertad – Ecuador

2022

TRIBUNAL DE GRADO



Blgo. Duque Marín Richard, MSc.

Decano

FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR



Ing. Villón Moreno Jimmy, M.Sc.

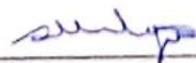
Director

CARRERA DE BIOLOGÍA



Blga. Cornejo Rodríguez María Herminia PhD.

DOCENTE TUTOR

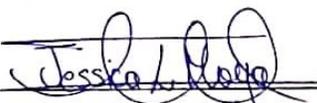


Ac. Mendoza Lombana Sonnya, Ph.D

DOCENTE DE ÀREA

DECLARACION EXPRESA

La responsabilidad por las ideas, hechos, investigaciones y resultados expuestos en este trabajo de titulación, pertenecen exclusivamente al autor, el patrimonio intelectual de la misma a la universidad Estatal Peninsula de Santa Elena.



Moya Herrera Jessica Lisseth

C.I 0706270576

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por bendecir mi vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad, y por supuesto, por darme la sabiduría para tener con éxito mi carrera profesional.

También quiero agradecer a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, Facultad de Ciencias del Mar, Carrera de Biología y sus directivos y docentes que me formaron como una profesional competente en esta hermosa y tan importante carrera.

A mis padres y a mi querida familia, por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento y por sus oraciones, consejos y palabras de aliento que hicieron de mí una mejor persona.

A la Blga. María Herminia Cornejo Rodríguez PhD., por haberme aconsejado e impartido sus conocimientos profesionales como tutora, también por la paciencia brindada, la confianza y apoyo, además de sus acertadas correcciones en este trabajo.

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme fortaleza y vida, permitiéndome alcanzar esta meta anhelada.

A mi padre José Augusto Moya Moya y a mi querida madre Blanca Magaly Herrera Encarnación por ser el apoyo y pilar fundamental en los buenos y malos momentos de mi vida, brindándome la confianza a lo largo de mi trayectoria profesional y humana, inculcándome buenos valores y motivándome a seguir adelante, a nunca darme por vencida y alcanzar todos mis objetivos propuestos.

Especialmente a mi querido hermano José Augusto Moya Herrera , por ser el motivo de mi inspiración.

Jessica Lisseth Moya Herrera

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN	2
JUSTIFICACIÓN	4
2. OBJETIVOS.....	6
2.1 OBJETIVO GENERAL	6
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
3. MARCO TEÓRICO	7
3.1. Macroinvertebrados acuáticos.....	7
3.2. Principales grupos	8
3.2.1. Efemerópteros.....	8
3.2.2. Plecópteros	9
3.2.3. Odonatos	10
3.2.4. Hemípteros	11
3.2.5. Coleópteros.....	12
3.2.6. Dípteros.....	13
3.2.7. Tricópteros	14
3.3. Evaluación de condiciones biológicas empleando macroinvertebrados	15
3.4. Variabilidad en la composición de los macroinvertebrados acuáticos	16
3.5. Importancia ecológica de los macroinvertebrados.....	17
3.6. Importancia económica de los macroinvertebrados	17
4. METODOLOGÍA	18
4.1. Área de estudio	18
Tipo de investigación	18
Delimitación de la investigación.....	19
Métodos y técnicas de investigación	19
Métodos teóricos.....	19
Métodos empíricos	19
4.2. Análisis de datos	20
5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	21
6. CONCLUSIONES	38
7. RECOMENDACIONES.....	40
8. BIBLIOGRAFÍA	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Familias de Macroinvertebrados del Filo Artrópoda empleadas como bioindicadores de la calidad del agua.	22
Tabla 2: Familias de Macroinvertebrados del Filo Mollusca empleadas como bioindicadores de la calidad del agua.	25
Tabla 3: Familias de Macroinvertebrados del Filo Annelida empleadas como bioindicadores de la calidad del agua.	27
Tabla 4: Familias de Macroinvertebrados del Filo Platelminetos empleadas como bioindicadores de la calidad del agua.	29
Tabla 5: Principales familias de macroinvertebrados, citados en este trabajo de investigación.	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Especímenes de macroinvertebrados	7
Figura 2: Ninfas de efemerópteros.	8
Figura 3: Ninfa de plecóptero	9
Figura 4: Ninfa de odonato	10
Figura 5: Ninfa de hemíptero.....	11
Figura 6: Ninfa de coleóptero	12
Figura 7: Larva de díptero	13
Figura 8: Larva de tricóptero	14

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Composición porcentual de las clases de macroinvertebrados.	21
Gráfico 2: Composición porcentual de los órdenes de macroinvertebrados del filo Artrópoda.	24
Gráfico 3: Composición porcentual de los órdenes de macroinvertebrados del filo Mollusca.	26
Gráfico 4: Composición porcentual de los órdenes de macroinvertebrados del filo Mollusca.	28
Gráfico 5: Composición porcentual de las familias de macroinvertebrados.	29

ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN

Ilustración 1: Espécimen de Baetidae	30
Ilustración 2: Espécimen de Hyalellidae	31
Ilustración 3: Espécimen de Tubificidae	31
Ilustración 4: Espécimen de Chironomidae	31
Ilustración 5: Espécimen de Elmidae	32
Ilustración 6: Espécimen de Glossosomatidae	32
Ilustración 7: Espécimen de Simuliidae	32
Ilustración 8: Espécimen de Limnephilidae	33
Ilustración 9: Espécimen de Blepharoceridae.....	33
Ilustración 10: Espécimen de Glossiphoniidae	33

PRINCIPALES MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO INDICADORES DE LA CALIDAD DE AGUAS CONTINENTALES, EMPLEADOS EN ECUADOR DURANTE 2015 – 2021

Autor: Lisseth Moya Herrera

Tutor: Blga. María Cornejo Rodríguez PhD.

RESUMEN

La situación de el alto crecimiento poblacional a nivel mundial y a la cada vez mayor capacidad de producción, ha conducido inevitablemente a una mayor presión sobre las fuentes de abasto de agua, básicamente como resultado de la necesidad de producir más alimentos y energía, así como de proporcionar mayores volúmenes de agua a las zonas urbanas y a las actividades productivas, principalmente la agricultura y la industria. Por ello, con el objetivo de determinar los principales macroinvertebrados acuáticos empleados como indicadores de la calidad de aguas continentales. Se realizó una revisión bibliográfica y la caracterización biológica de las especies, y se obtuvo información de un total de 635 especies de macroinvertebrados, comprendidos en 21 órdenes, 7 clases y 4 filo. Y que, además, a nivel de clase el grupo mayormente representativo es Insecta con el 72% de las especies empleadas, seguida por la clase Clitellata con el 10%, Malacostraca y Gastropoda con el 7% respectivamente, y el 4% restante estuvo constituido por grupos minoritarios en cuanto a número de especies, como es Rhabditophora, Arachnida y Bivalvia. Concluyendo que es indiscutible el empleo de macroinvertebrados para monitorear la salud ecológica de los ecosistemas puesto que presentan ventajas por encima de los métodos físicos y químicos tradiciones, por otro lado, que se presenta una mayor diversidad de especies de macroinvertebrados en cuerpos con mala calidad de agua, con valores de pH, oxígeno disuelto, coliformes totales, y metales pesados por encima de los límites máximos permisibles.

Palabras claves: Especies acuáticas, bioindicadores, calidad de agua.

1. INTRODUCCIÓN

En el planeta existen alrededor de 1 400 millones de kilómetros cúbicos de agua, de los cuales únicamente el 2.5% corresponde a agua dulce, la misma que se encuentra localizada en cerca de tres cuartas partes, en glaciares y mantos de hielo, la mayoría en Antártica, el Ártico y Groenlandia. El porcentaje restante corresponde a lagos, embalses, ríos, arroyos y humedales donde se retienen las aguas superficiales de manera muy heterogénea, con menos del uno por ciento del agua dulce no congelada (Boyd, 2019).

La situación de el alto crecimiento poblacional a nivel mundial y a la cada vez mayor capacidad de producción, ha conducido inevitablemente a una mayor presión sobre las fuentes de abasto de agua, básicamente como resultado de la necesidad de producir más alimentos y energía, así como de proporcionar mayores volúmenes de agua a las zonas urbanas y a las actividades productivas, principalmente la agricultura y la industria (FAO, 2016). Inclusive, los efectos del excesivo uso del suelo se reflejan en los recursos hídricos, que sufren degradación de su calidad a través de la contaminación agroquímica, incremento de la carga orgánica y aumento de la sedimentación (Suga & Tanaka, 2013). Sin embargo, la producción y consumo de bienes y servicios no solo ha traído consigo una mayor demanda del líquido, sino también una mayor generación de aguas residuales, de las cuales una proporción importante se vierte sin tratamiento en los cuerpos de agua superficiales. Como resultado, muchos ecosistemas dulceacuícolas y marinos muestran signos evidentes de contaminación, con lo cual no solo se han reducido en cantidad y calidad de sus servicios ecosistémicos, sino que también se ha perdido la biodiversidad y el equilibrio ecológico, y en algunos casos de manera irremediable (PNUMA, 2007).

Gamboa et al. (2008), comentan en el contexto del desarrollo sustentable, con perspectivas hacia el aprovechamiento y conservación de ambientes acuáticos, que las especies acuáticas como indicadores de la calidad de aguas o bioindicadores juegan un papel importante en el manejo adecuado de los recursos, debido a que su uso se está proponiendo como una nueva herramienta para conocer la calidad del agua. Lo anterior no quiere decir que se desplace al método tradicional de los análisis fisicoquímicos, sino más bien que su uso simplifica en gran medida las actividades de campo y laboratorio, por lo que sólo se requiere de la identificación y cuantificación de los organismos basándose, además, en índices de diversidad ajustados a intervalos que califican la calidad del agua.

Uno de los grupos de los organismos acuáticos más utilizados como bioindicadores de la degradación ambiental, son los macroinvertebrados de la comunidad bentónica, debido a que son muy abundantes, se encuentran en prácticamente todos los ecosistemas de agua dulce y su recolección es simple y de bajo costo (Aguas urbanas, 2018). Por lo cual, el propósito de esta investigación es compilar información concreta y precisa acerca de los principales macroinvertebrados acuáticos que son empleados como indicadores de la calidad de aguas continentales, mediante la revisión sistemática de fuentes bibliográficas de publicaciones institucionales o artículos científicos publicados en Ecuador, durante el periodo 2015 – 2021. Y, así, llenar ese vacío de información que tienen comunidades aledañas a cuerpos de agua y que puedan aplicar dichos conocimientos en la prevención de enfermedades de origen hídrico, y por consiguiente, sentar las bases para futuros estudios en dinámica poblacional, ecología, biodiversidad y control de la calidad del agua en zonas afectadas por la contaminación antrópica.

JUSTIFICACIÓN

Debido a que en el Ecuador, y como en los llamados países en desarrollo, la situación ambiental es considerada como alarmante en cuanto a la calidad del agua, y algunos indicadores así lo demuestran; casos tales como: la alta tasa de deforestación y erosión de los suelos, la desordenada e irracional utilización de los recursos naturales, deficiencia en el manejo de desechos sólidos y aguas grises, y por supuesto el deterioro de las cuencas hidrográficas por las actividades industriales, agrícolas y ganaderas, entre otros (Gutiérrez, 2010). Es importante recordar que, el agua es patrimonio natural, estratégico y de bien público, que debe ser usado en armonía integrando valores sociales, comunitarios, ambientales, culturales, económicos y políticos. Además, el Estado ecuatoriano a través de la constitución vigente, garantiza “la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico” y propone el control y verificación por medio de métodos que permitan monitorear procesos contaminantes y cualquier actividad que pueda afectar la calidad del agua y el equilibrio de los ecosistemas (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

Por otro lado, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) ha reportado que en nuestro país sólo el 5% de las aguas servidas son tratadas antes de ser descargadas en el curso de agua natural, por lo que el abastecimiento de agua es uno de los principales agentes de transmisión de enfermedades infecciosas digestivas, que afectan principalmente a los pobres y comunidades aisladas que no poseen acceso al agua potable (OPS, 2020). Por tal razón, el presente estudio bibliográfico contribuirá con información actualizada basada en las principales especies empleadas como indicadoras de la calidad del agua, las mismas que facilitarán identificar en lo posible el grado de contaminación en la que se encuentra un determinado cuerpo de agua. Así mismo, servirá como una fuente de información

de bioindicadores del Ecuador para conocimientos del personal técnico del área y la ciudadanía en general.

Se propone el empleo de bioindicadores como herramientas claves para el monitoreo biológico del agua, planteándolo como un método práctico y fácil, en comparación con los costosos análisis químicos o de toxicidad, además, por la capacidad que poseen animales y plantas en acumular información que los análisis químicos – físicos no develan.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar los principales macroinvertebrados acuáticos empleados como indicadores de la calidad de aguas continentales, en el Ecuador durante el periodo 2015 – 2021, para proponer su empleo de bioindicadoras como herramientas claves para el monitoreo biológico del agua, mediante la revisión bibliográfica y la caracterización biológica de las especies.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Compilar información referente a los principales macro invertebrados empleados como indicadores de la calidad de agua en el Ecuador, mediante la sistematización de la bibliografía consultada en revistas científicas, páginas web y repositorios institucionales.
- Caracterizar taxonómicamente los grupos de macroinvertebrados acuáticos indicadores de la calidad del agua, mediante el tratamiento y sistematización de la información compilada.
- Listar las ventajas y desventajas del uso de especies acuáticas en la evaluación de la calidad del agua, mediante la sistematización de la información consultada.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Macroinvertebrados acuáticos

Son todos aquellos invertebrados con tallas superiores a 500 micras, tales como: esponjas, planarias, sanguijuelas, oligoquetos, moluscos y crustáceos, siendo específicamente el grupo de insectos el mayormente distribuido en los ecosistemas dulceacuícolas (figura 1). Su rol en la naturaleza se deriva a constituir el componente de biomasa con mayor importancia por su abundancia y diversidad, así mismo, al intervenir en la transferencia de energía desde los eslabones inferiores a los consumidores superiores de la cadena trófica como lo son los grandes vertebrados (Ladrera, 2012).

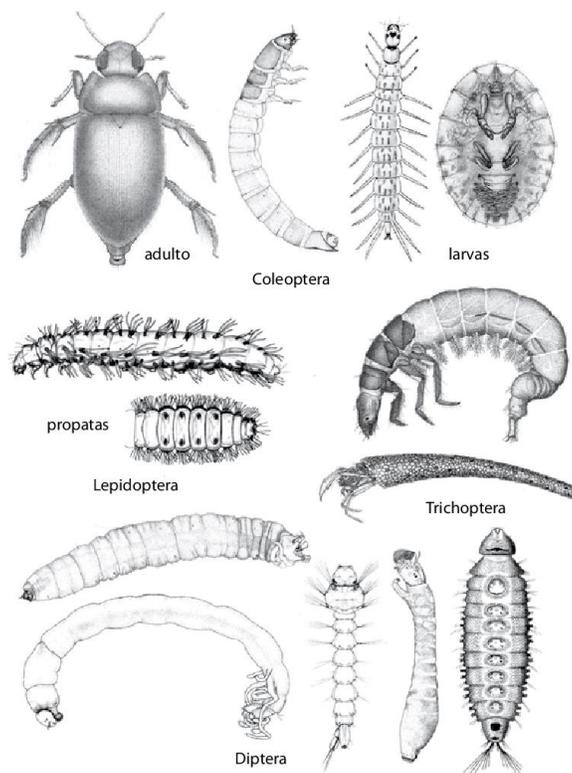


Figura 1: Especímenes de macroinvertebrados
Fuente: Mccafferty, 1983.

3.2. Principales grupos

3.2.1. Efemerópteros

Caracterizados por presentar un tiempo de vida relativamente efímero al llegar a la etapa adulto que puede ir desde pocos minutos u horas, mientras que durante sus estadios larvarios está puede vivir hasta dos años en medios acuáticos (ver ejemplo en la figura 2). Su alimentación se basa en materia orgánica muerta y de origen vegetal, la respiración la realizan a través de branquias abdominales y miden de 2 a 3 mm.



Figura 2: Ninfas de efemerópteros.

Fuente: Flowers & de la Rosa, 2010.

Debido, a que un gran número de familias de este orden muestran una alta exigencia en lo que se refiere a la calidad de las aguas de los medios susceptibles en los que habitan, donde el grado de contaminación difiere en la presencia o ausencia de estos organismos, convirtiéndose de tal modo en buenos indicadores de la calidad de los ecosistemas, siendo abundantes especialmente en medios influenciados por el ser humano (Gómez & Zamar, 2017). Sin embargo, dentro del orden, los diferentes géneros muestran una gran variedad de tolerancias a las condiciones ambientales; por ejemplo, en los Heptageniidae, el género *Epeorus* está limitado a las aguas rápidas, limpias y

bien oxigenadas, pero el género *Stenonema* puede encontrarse en ríos tibios, lentos y con alguna contaminación (Flowers & de la Rosa, 2010).

3.2.2. Plecópteros

De acuerdo con Gutiérrez (2010), los plec6pteros son insectos con metamorfosis incompleta, que pasan tan solo por tres estadios de desarrollo: huevo, ninfa y adulto (ver ejemplo en la Figura 3).



Figura 3: Ninfa de plec6ptero
Fuente: Guti6rrez, 2010.

En sus estadios larvarios o de ninfa, viven 6nicamente en medios acu6ticos sobre el fondo de cauces de agua frías y con buena concentraci6n de ox6geno, mientras que en la etapa adulta suelen encontrarse en zonas rocosas por donde se desplazan a trav6s del vuelo, previo a la transformaci6n en adulto, las ninfas maduras se arrastran fuera del agua sobre rocas, troncos o cualquier otro sustrato, inclusive a varios metros en lo alto de los 6rboles. Al igual que la mayoría de insectos acu6ticos, los plec6pteros juegan un papel fundamental en el flujo de energía y reciclaje de nutrimentos hacia el sistema terrestre y en las cadenas tr6ficas dentro del sistema acu6tico (Cornejo & Guti6rrez, 2019).

3.2.3. Odonatos

Conocidos también como libélulas y caballitos del diablo (ver ejemplo en la Figura 4), son bioindicadores efectivos para la evaluación de ambientes acuáticos al cumplir los parámetros de buen indicador, tales como: taxonomía, ecología y distribución ampliamente estudiada, susceptibles y con respuesta rápida a los cambios por contaminación de sus hábitats reflejándose en la migración o colonización según sea el caso y en cambios de abundancia en sus poblaciones, especies con desarrollo ontogénico relativamente largo lo que permite su monitoreo a mediano o largo plazo, y amplia dispersión (Campos *et al.*, 2016).



Figura 4: Ninfa de odonato
Fuente: SEA, 2019.

Sus larvas o ninfas son zoofágos, por lo que poseen un labro prensil y dentado para la captura de sus presas que generalmente son oligoquetos, efemerópteros o dípteros, e inclusive renacuajos y alevines de peces. Pueden vivir en una amplia variedad de hábitats, pero son más frecuentes en las zonas con poca velocidad de corriente de los cursos fluviales, como remansos o en pequeñas lagunas (Ladrera, 2012).

3.2.4. Hemípteros

Conocidos comúnmente como zapateros por tener hábitos de vivir sobre la superficie del agua (ver ejemplo en la Figura 5), presentan modificaciones morfológicas para la depredación, y se constituyen como el quinto grupo más abundante dentro de los insectos, pudiendo llegar a convertirse en plagas de campos agrícolas y parcelas silvestres, y hasta ser portadores y transmisores de enfermedades que afectan la salud del ser humano.



Figura 5: Ninfa de hemíptero

Fuente: SEA, 2019.

Los hemípteros presentan diversos hábitos alimenticios, pudiendo ser: fitófagos, detritívoros, polenófagos, zoófagos, zoofitófagos, e inclusive hematófagos. Existe una gran variedad de hemípteros conocidos por su gran diversidad y abundancia entre las cuales tenemos a la Cicadellidae de la cual aproximadamente están reconocidas 22.000 especies, consideradas como bioindicadores de gran importancia para la fitosanitaria de los ecosistemas (Paredell & Defea, 2019).

3.2.5. Coleópteros

Los coleópteros, también conocidos como escarabajos (ver ejemplo en la Figura 6), son un conocido grupo de insectos que son fácilmente reconocibles debido a sus duras alas (élitros), existen más de 350,000 especies conocidas, siendo los más grande de todos los órdenes de insectos, además, poseen una enorme variedad de formas, tamaños y hábitos, con una distribución amplia y diversificada alrededor de la plataforma continental, en ambientes acuáticos sus comunidades pueden ser muy abundantes y representativas en relación a las demás especies de insectos



Figura 6: Ninfa de coleóptero
Fuente: Vitanza, 2015.

Este grupo posee una gran importancia en la biología y ecología de los ecosistemas, debido a los diferentes procesos en los cuales se hacen presentes, por lo que hoy en día se considera que la información proporcionada por estos organismos a nivel de especie y etapa de su ciclo de vida, es altamente representativa para el establecimiento de sistemas de evaluación ecológica que se basan particularmente en cambios físico – químicos, cobertura vegetal o permanencia y tamaño del cuerpo de agua en los diferentes ecosistemas acuáticos (Valladares et al., 2013).

3.2.6. Dípteros

Dentro de los macroinvertebrados, el orden Diptera presenta la mayor abundancia y densidad en las muestras de ríos, lo cual se debe a la amplia distribución de estos organismos y a su gran adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales e inclusive en condiciones extremas (ver ejemplo en la figura 7).



Figura 7: Larva de díptero
Fuente: Springer, 2017.

Los dípteros de las familias Chironomidae y Simuliidae tienen importancia ecológica y tienden a ser muy abundantes en aguas eutroficadas, en áreas de cultivos de arroz, en lugares turísticos y en general, en todos los ecosistemas acuáticos continentales. Por otro lado, la familia Simuliidae juega un papel importante en los ambientes lóticos porque sus estadios inmaduros hacen parte de la red trófica, pero también porque convierten el material particulado en pellets de mayor tamaño los cuales pueden ser consumidos por la ictiofauna de las corrientes donde se encuentran habitando. Además, los adultos tienen un rol significativo en la transmisión de agentes patógenos para el ser humano y animales que inclusive podrían conllevar a la muerte (Rodríguez et al., 2022).

3.2.7. Tricópteros

Constituyen uno de los grupos de insectos más importantes de los ecosistemas acuáticos, con larvas exclusivamente acuáticas y los adultos son voladores que viven al aire libre (ver ejemplo en la Figura 8). Algunas especies fabrican estuches con materiales tan diversos como arena, grava o restos vegetales y en el interior del mismo desarrollan su ciclo larvario. Su modo de alimentación es muy variado, con especies herbívoras, detritívoras y depredadoras, y presentan en general cierta exigencia en cuanto a la calidad del agua.



Figura 8: Larva de tricóptero
Fuente: Springer, 2017.

Los tricópteros desempeñan un papel muy importante en los ecosistemas acuáticos, ya que forman parte de la cadena trófica y son el principal alimento de una gran variedad de peces, aves y otros vertebrados que se encuentran cerca de los cuerpos de agua. Además, se consideran como potencialmente útiles en estudios sobre calidad del agua debido a su sensibilidad frente a los cambios físicos y químicos (Contreras & Granados, 2016).

3.3. Evaluación de condiciones biológicas empleando macroinvertebrados

Las comunidades de macroinvertebrados son selectas para la valoración de la integridad de los ecosistemas acuáticos, ya que han demostrado ser excelentes indicadores de la calidad del medio, al poseer las características necesarias como factibilidad de muestreos, sensibilidad, validez científica, entre otros. No obstante, se ha estudiado que la estacionalidad puede ser un factor que determina la presencia o ausencia de ciertos grupos taxonómicos, y sobre la importancia de la determinación de la abundancia y diversidad de macroinvertebrados no varía solamente a causa de impactos ambientales antropogénicos que alteran la calidad del agua, sino también se reflejan variaciones importantes como consecuencia de la variabilidad natural de las condiciones ambientales de los cuerpos de agua (Boyd, 2019). Sin embargo, se debe tener en cuenta que dicha variabilidad natural que presentan los macroinvertebrados varía según la comunidad de organismos sujeta a evaluación, por lo tanto, se debe considerar utilizar determinados criterios de evaluación ajustados a las características biológicas de cada grupo de bioindicadores.

Cabe indicar que caracterizar la comunidad de macroinvertebrados al menos en dos épocas del año, con diferentes condiciones ambientales, permite conocer cómo ésta responde a cambios en el entorno en forma natural, de tal forma que se puedan llevar a cabo evaluaciones que faciliten diferenciar si su presencia o ausencia se debe procesos de contaminación y o a la estacionalidad (Terneus & Yáñez, 2018). En definitiva, dichos organismos ocupan un hábitat a cuyas exigencias ambientales se encuentran adaptados; cualquier cambio en las condiciones ambientales se reflejará en la estructura, composición y dinámica de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos que allí habiten (Yáñez & Bárcenas, 2012).

3.4. Variabilidad en la composición de los macroinvertebrados acuáticos

El uso de los macroinvertebrados para el monitoreo de la calidad de las aguas es una práctica habitual desde que se clasificaron los organismos según su tolerancia a diversos grados de contaminación (Palomino et al., 2016). Para su aplicación y adopción se han elaborado índices bióticos basados en el análisis de la diversidad y estructura de las comunidades de macroinvertebrados que existen en las diferentes regiones de Ecuador.

Los índices bióticos son herramientas de valoración de la calidad del agua basados en las diferentes respuestas, grado de sensibilidad o tolerancia que pueden presentar los organismos acuáticos a las alteraciones de su medio. La mayoría de estos índices se han elaborado para usarlos en un área geográfica concreta y, posteriormente, se han adaptado a otras zonas, adecuando las listas de taxones y los valores de sensibilidad. En general los índices bióticos precisan de muestreos cualitativos o semicuantitativos. Entre los índices bióticos más utilizados cabe citar los siguientes:

- TBI (Trent biotic Index, para la calidad del agua en los ríos Midland)
- EBI (Extended Biotic Index, para el Mar Adriático del Norte)
- BS (Biotic Score, para los ríos argentinos),
- BMWP (Biological Monitoring Working Party, para los ríos brasileños)
- ASPT (Average Score per Taxon, para los ríos brasileños)
- IBE (Indice biótico Estesio, para los ríos italianos)
- BBI (Belgian Biotic Index, para los ríos de Bélgica)

De los índices citados, el BMWP es el que presenta mayor versatilidad, razón por la que muchos países lo adoptaron, entre ellos España, Portugal, Costa Rica, Colombia, Argentina, Ecuador y Venezuela. En general, para la aplicación de éste índice BMWP, se requiere de un muestreo de tipo cualitativo que incluya todas las familias de macroinvertebrados que habiten en el tramo en estudio del cuerpo de

agua seleccionado; cada familia presente recibe una valoración y mediante una suma de puntuaciones asignadas a ellas, se obtiene una cifra que se asocia a un nivel específico de afectación.

3.5. Importancia ecológica de los macroinvertebrados

De acuerdo con González y colaboradores (2012), los macroinvertebrados son organismos considerados como excelentes indicadores de la calidad de agua, debido a que un gran número de ellos se desarrollan en agua de buena calidad, y otra parte de ellos se han adaptado a condiciones hostiles con altos niveles de contaminación, por ello, cada individuo independientemente de su hábitat, se convierte en un indicador por excelencia. En este contexto, es importante mencionar que, en los últimos años la terminología de la calidad del agua ha ido cambiando, a medida que se han integrado nuevas variables que complementan la información, además, la constitución de los macroinvertebrados dentro de la cadena trófica como constructores del componente de biomasa animal más importante de los cuerpos de agua continentales, al generar la materia y energía necesaria para la nutrición de los consumidores superiores; controlar la producción primaria de los ecosistemas.

3.6. Importancia económica de los macroinvertebrados

Ciertos grupos de macroinvertebrados son considerados como plagas, específicamente los de los órdenes Diptera, Culicidae, Simuliidae y Tabanidae, debido a que su alimentación se basa en sangre de animales vertebrados, resultando una molestia para el sector ganadero. Otros de los problemas que collevan estos grupos biológicos, es la transmisión de enfermedades tales como: dengue, fiebre amarilla, chikunguña y Zika, por medio de especies vectores específicos (Hanson et al., 2018).

4. METODOLOGÍA

4.1. Área de estudio

Se realizó una búsqueda bibliográfica de las publicaciones realizadas en Ecuador, país situado en la región noroccidental de América del Sur y compuesto por veinticuatro provincias. Limita al norte con Colombia, al sur y al este con Perú y al oeste con el océano Pacífico (figura 9). Y de acuerdo con la clasificación de la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua, esta investigación se enfocará en aguas con fines de preservación de flora y fauna en aguas dulces frías o cálidas, y en aguas de estuarios, y aguas de descarga de efluentes del sistema de alcantarillado público.



Figura 9: Mapa de Ecuador
Fuente: Peña, 2010.

Tipo de investigación

Desde el punto de vista de los objetivos de la investigación, ésta es retrospectiva - descriptiva porque se compiló información acerca de las principales especies

de macroinvertebrados acuáticos empleados como indicadores de la calidad del agua en Ecuador, mediante la exploración de publicaciones realizadas en revistas científicas, repositorios digitales de universidades ecuatorianas y bibliotecas virtuales del Ecuador.

Delimitación de la investigación

La investigación se delimitó teniendo en cuenta el periodo de tiempo que abarcaron las publicaciones científicas realizadas en los años 2015 – 2021.

Métodos y técnicas de investigación

Métodos teóricos

- **Inductivo – Deductivo:** Establece las bases para abordar criterios teóricos conceptuales en base a las publicaciones que contengan información de las especies indicadoras de la calidad del agua empleadas en Ecuador y de esta forma organizar en los resultados los datos obtenidos de la investigación.
- **Analítico sintético:** Establece la relación y coherencia existente entre las materias teóricas, fundamentos y criterios con el objeto de investigación.

Métodos empíricos

- **Análisis documental:** para abordar los aspectos teóricos-conceptuales de la investigación se realizó una revisión y análisis de la literatura y de esta forma, establecer relaciones para la confección de dicho trabajo investigativo.

4.2. Análisis de datos

Para el análisis de la información se almacenó en una hoja de cálculo de Excel, a través de la construcción de tablas para organizar y clasificar los grupos según su taxonomía.

5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo a la investigación realizada se obtuvo información de un total de 635 especies de macroinvertebrados, comprendidos en 21 órdenes, 7 clases y 4 filo. Estas especies de acuerdo a los registros, han sido empleadas como bioindicadores de la calidad de agua durante 2015 al 2021.

En el gráfico 1, se muestra que a nivel de clase el grupo mayormente representativo es Insecta con el 72% de las especies empleadas, seguida por la clase Clitellata con el 10%, Malacostraca y Gastropoda con el 7% respectivamente, y el 4% restante estuvo constituido por grupos minoritarios en cuanto a número de especies, como es Rhabditophora, Arachnida y Bivalvia.

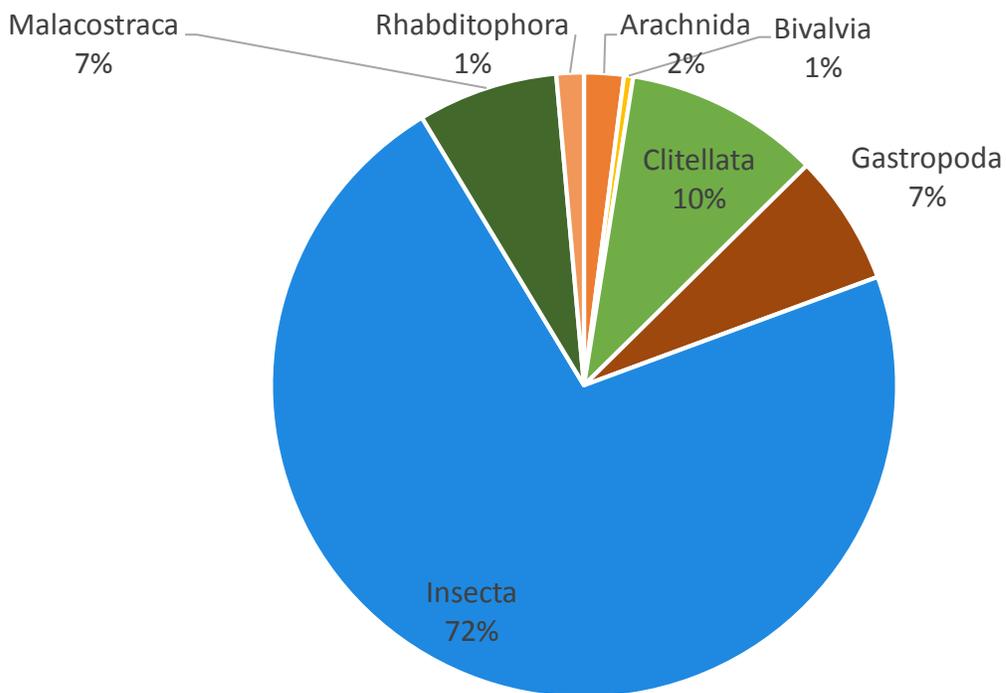


Gráfico 1: Composición porcentual de las clases de macroinvertebrados.

Estudios realizados por Forero et al. (2015), manifiestan que el empleo de estos invertebrados se debe a los diversos mecanismos de adaptación que estos poseen para vivir bajo las condiciones específicas de su hábitat, en donde la cantidad de nutrientes y la calidad de agua están determinada en muchas ocasiones, por la intervención antrópica. En la tabla 1, se observan cada una de las familias que se han registrado dentro del grupo de los artrópodos, considerando su orden, clase y filo y en donde se resalta que se determinaron un total de 516 especies pertenecientes a este grupo taxonómico.

Tabla 1: Familias de Macroinvertebrados del Filo Artrópoda empleadas como bioindicadores de la calidad del agua.

Clase	Orden	Familia	# especies
Arachnida	Hydracarina	Hydrachnidae	3
	Araneae	Lyniphiidae	6
		Theridiidae	2
		Clubionidae	2
Insecta	Diptera	Tipulidae	8
		Muscidae	6
		Blepharoceridae	12
		Limoniidae	7
		Simuliidae	25
		Ceratopogonidae	11
		Blepharoceridae	10
		Tabanidae	2
		Dixidae	3
		Empididae	7
		Culicidae	5
		Syrphidae	2
		Psychodidae	1
		Chironomidae	36
		Plecoptera	Gripopterygidae
	Perlidae		5
	Coleoptera	Haliplidae	4
		Elmidae	34
		Scirtidae	8
		Ptilodactylidae	2
		Dytiscidae	1
		Lampyridae	2

		Psephenidae	4
		Staphylinidae	3
		Dryopidae	3
		Gyrinidae	1
	Ephemeroptera	Baetidae	84
		Leptophlebiidae	3
		Oligoneuridae	5
	Trichoptera	Limnephilidae	22
		Calamoceratidae	1
		Hydropsychidae	3
		Hydrobiosidae	12
		Hydroptilidae	3
		Polycentropodidae	5
		Leptoceridae	5
		Glossosomatidae	31
		Helicopsychidae	1
		Odontoceridae	4
		Xiphocentronidae	2
		Anomalopsychidae	5
		Philopotamidae	2
	Lepidoptera	Pyralidae	2
	Odonata	Aeshnidae	11
		Gomphidae	3
		Libellulidae	7
		Coenagrionidae	5
		Calopterygidae	2
		Polythoridae	6
	Heteroptera	Veliidae	8
		Gerridae	3
		Corixidae	9
		Notonectidae	2
		Belostomatidae	1
		Naucoridae	1
Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	45
	Decapoda	Palaemonidae	1
		Total	516

Fuente: Moya, 2022.

Por otro lado, al observar el siguiente gráfico de los órdenes que constituyen el filo Artrópoda, se puede mencionar que el orden mayormente representativo y con un

mayor número de especies es el orden Diptera con el 26,2%, seguido de Trichoptera con el 18,6% y ocupando el tercer lugar el orden Ephemeroptera con el 17,8% (ver gráfico 2). Y con base en lo mencionado por Paradell & Defea (2019), los dípteros son uno de los órdenes de insectos más diverso con al alrededor de 153.000 especies a nivel mundial y que, además, en cuanto a características morfológicas y ecológicas presentan sin número de variaciones que los convierten únicos e importantes dentro del medio en el que habiten.

Mientras que las especies del orden Trichoptera juegan papeles ecológicamente importantes en ríos y quebradas, al ser parte de la alimentación de peces, ranas, aves, murciélagos y arañas, participando básicamente de todos los procesos ecológicos (Springer, 2017).

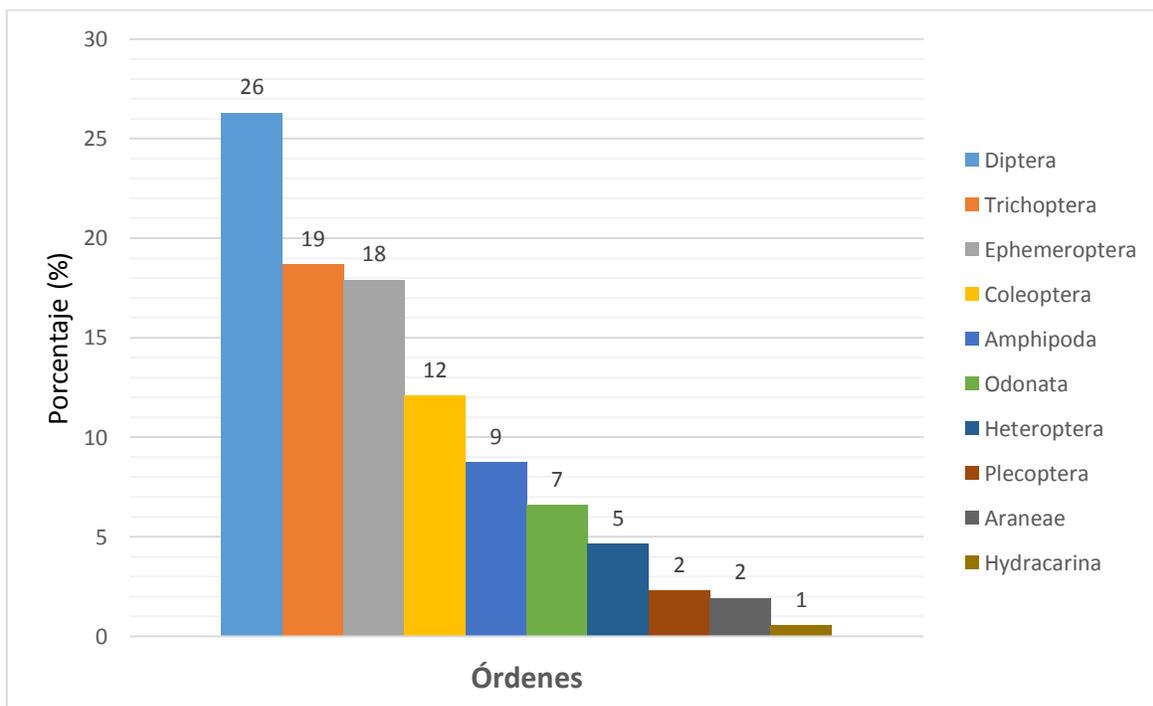


Gráfico 2: Composición porcentual de los órdenes de macroinvertebrados del filo Artrópoda.

Así mismo, para el filo Mollusca se registraron un total de 46 especies comprendidas en 18 familias, 5 órdenes y 2 clases (tabla 2). De las cuales destaca la familia Physidae con 13 especies. No obstante, de acuerdo con Núñez (2017), el estudio taxonómico de la familia Physidae es hasta el momento, motivo de controversias y que a pesar de los numerosos trabajos que han abordado el tema desde diferentes ópticas, la historia de las especies de esta familia se encuentra con complicaciones sistemáticas.

Tabla 2: Familias de Macroinvertebrados del Filo Mollusca empleadas como bioindicadores de la calidad del agua.

Filo	Clase	Orden	Familia	# especies
Mollusca	Bivalvia	Veneroidea	Sphaeriidae	1
		Mytilida	Mytilidae	1
		Ostreoida	Ostreidae	1
	Gastropoda	Basommatophora	Physidae	13
			Lymnaeidae	7
		Gasteropoda	Ancylidae	2
			Hydrobiidae	6
			Limnaeidae	8
			Planorbidae	1
			Littorinidae	3
			Thiaridae	1
			Potamididae	2
		Total		46

Fuente: Moya, 2022.

En este contexto, la composición de familias de macroinvertebrados empleados como indicadores de la calidad de agua de este orden, se de presenta de la siguiente manera: Gasteropoda representando el 46.94%, Basommatophora 40.86%, seguido por el orden Veneroidea con el 6.12% respectivamente, mientras que el 6.12% restante estuvo conformado por grupos minoritarios por número de especies como es Ostreidae y Mytilida (ver gráfico 3).

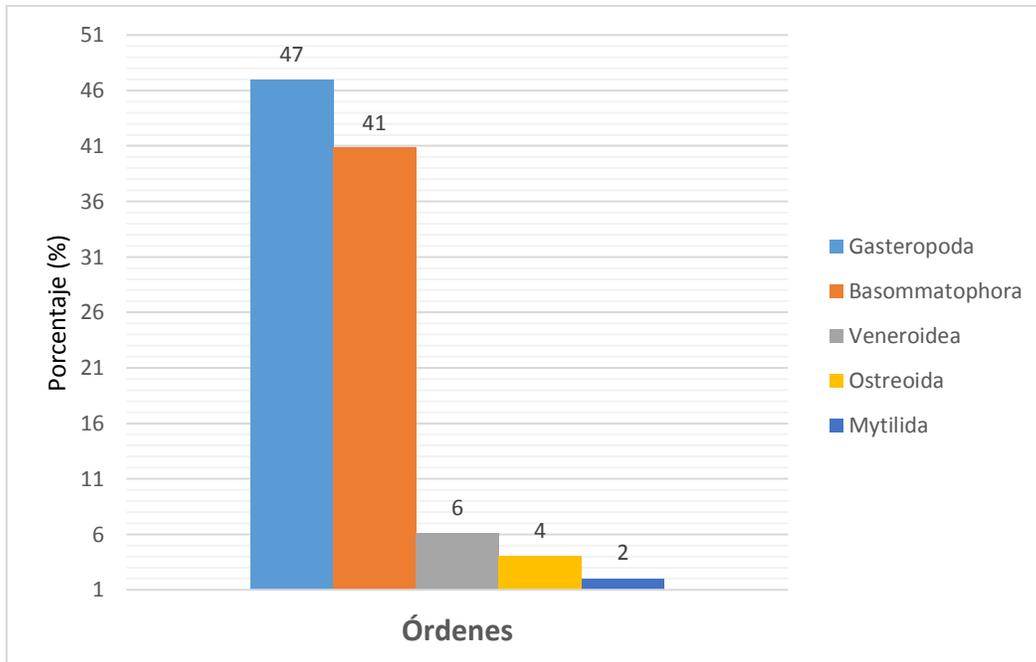


Gráfico 3: Composición porcentual de los órdenes de macroinvertebrados del filo Mollusca.

Los gasterópodos como grupo mayormente diverso y representativo dentro del grupo de los moluscos, son considerados como indicadores potenciales del grado de perturbación del medio ambiente, producto de algunas prácticas inadecuadas y procedimientos agropecuarios que provocan a largo plazo desestabilización ecológica y transformación de las propiedades químicas, físicas y biológicas del ambiente, afectando la calidad de la materia orgánica, su pH, la temperatura, la humedad, la textura, la porosidad, y la cobertura vegetal del suelo, provocando a su vez el desequilibrio, pérdidas o cambios en la composición de las comunidades de moluscos (Hanson et al., 2018).

Es importante recalcar que debido a que ciertas especies de moluscos consumidos por el ser humano, como los bivalvos, al acumular en su interior sustancias disueltas en agua o suspendidas en ella; gracias a que son organismos filtradores (McMahon, 2015). Estos organismos pueden acumular metales pesados, tales como: plomo, cadmio, níquel y cobre; es por ello que dichos organismos pueden ser empleados como bioindicadores de la calidad del agua, al reflejar la situación del medio en el que habita dicho organismo considerado (COFA, 2019).

En cuanto al filo Annelida se citaron 64 especies comprendidas en 4 familias, 3 órdenes y una clase, de las cuales se destaca la familia Tubificidae con un total de 38 especies. Y de acuerdo con la bibliografía, la familia Tubificidae, son un componente común en las diferentes comunidades acuáticas continentales, con una amplia distribución mundial, así como también una clara adaptación a un extenso rango de condiciones ambientales (ver tabla 3).

Tabla 3: Familias de Macroinvertebrados del Filo Annelida empleadas como bioindicadores de la calidad del agua.

Filo	Clase	Orden	Familia	# especies
Annelida	Clitellata	Haplotaxida	Tubificidae	38
		Hirudinida	Glossiphoniidae	17
		Anelida	Haplotaxidae	5
			Oligochaeta	4
Total				64

Fuente: Moya, 2022.

Por otro lado, y con respecto a su posición en la comunidad, es interesante destacar que estos ejemplares son frecuentes en ambientes enriquecidos orgánicamente y representan una importante vía en la transferencia de energía, pero también de tóxicos de los niveles tróficos inferiores a los superiores, y debido a su sensibilidad a diversos agentes contaminantes, son considerados como indicadores potencialmente útiles en el diagnóstico de la calidad ecológica de los sistemas acuáticos (Armendáriz, 2008). De igual forma, en el gráfico 4 se puede observar que para el orden Annelida la familia más representativa con el 59.4% fue Haplotaxida, seguida de Hirudinida representando el 26.6%, y como último, pero no menos significativo se ubicó la familia Anelida con el 14.1% restante.

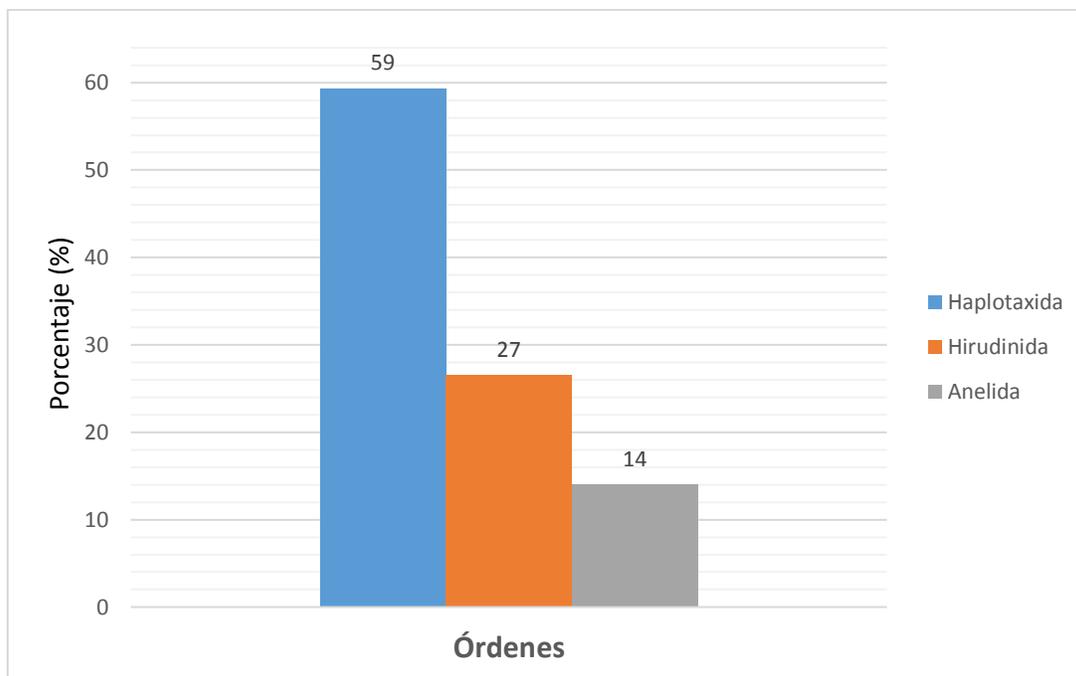


Gráfico 4: Composición porcentual de los órdenes de macroinvertebrados del filo Annelida.

Es importante recalcar que de acuerdo con Yáñez (2017), los macroinvertebrados del grupo Haplotaxida, engloban a lombrices (*Oligochaeta*) y especies afines, caracterizadas por poseer una homología bastante homogénea, con quetas subdesarrolladas y una distribución cosmopolita, habitando en lugares húmedos o bajo el agua. La presencia de estos organismos en determinado medio, va a favorecer a incrementar la disponibilidad de nutrientes (N, P y K) y descomposición de la materia orgánica a través de la incorporación de residuos, activando de esta manera los procesos de mineralización y humificación. Por tal razón este grupo de organismos va a favorecer la obtención de información sobre las propiedades, procesos, características y buen funcionamiento del medio.

Por último, en la tabla 4, se muestra que en Ecuador se ha considerado también al grupo de Platelminetos, en donde consta únicamente la Familia *Planariidae* con 9 especies identificadas, y taxonómicamente pertenecientes al orden *Tricladida* y clase *Rhabditophora*.

Tabla 4: Familias de Macroinvertebrados del Filo Platyhelminthes empleadas como bioindicadores de la calidad del agua.

Filo	Clase	Orden	Familia	# especies
Platyhelminthes	Rhabditophora	Tricladida	Planariidae	9
Total				9

Fuente: Moya, 2022.

Para complementar la caracterización taxonómica, se elaboró el siguiente gráfico 5 en donde se muestran las principales familias de macroinvertebrados pertenecientes a los filos anteriormente mencionados, y su composición porcentual según el número de especies empleadas como indicadores de la calidad de agua en Ecuador durante 2015 - 2021. En donde se puede señalar que la familia Baetidae representa el 24% del total de especies registradas, seguida de la familia Hyalellidae con el 13%, y ocupando el tercer lugar la familia Tubificidae con el 11%, principalmente.

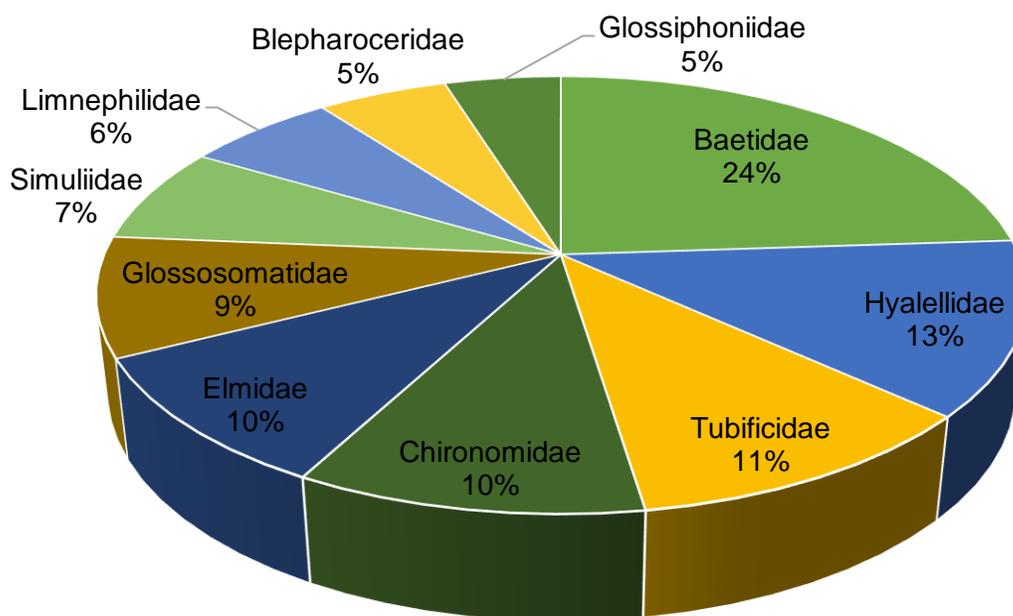


Gráfico 5: Composición porcentual de las familias de macroinvertebrados.

Se registra que la familia Baetidae, por sus características biológicas, es una de las más destacadas como bioindicadoras, debido a que pasan casi toda su vida (meses y hasta años), como ninfas acuáticas y sólo viven como adultos pocas horas o 2 o 3 días. Por lo tanto, en el manejo de los ecosistemas acuáticos, los baétidos son un importante grupo taxonómico que puede ser monitoreado durante periodos más largos por medio de sus ninfas; es decir, se puede evaluar en épocas de sequía y altas lluvias. Lo anterior contribuye al registro de información contrastante a nivel temporal, y debido a la gran diversidad de hábitats que ocupan en los sistemas acuáticos, lo fácil y poco costoso que resulta su muestreo y, los variados rangos de tolerancia a la contaminación que presentan las especies, los baétidos constituyen un importante grupo para estudios de impacto ambiental, de conservación y de biodiversidad en sentido general (Forero et al., 2016). A continuación, se ilustran a través de un espécimen representativo por cada una, las principales familias de macroinvertebrados, citados en este trabajo de investigación (ver tabla 5).

Tabla 5: Principales familias de macroinvertebrados, citados en este trabajo de investigación.

TAXONOMÍA	FOTOGRAFÍA
<p>Filo: Arthropoda Clase: Insecta Orden: Ephemeroptera Familia: Baetidae</p>	 <p>Ilustración 1: Especimen de Baetidae Fuente: Flowers, 2010</p>

Filo: Arthropoda
Clase: Malacostraca
Orden: Amphipoda
Familia: Hyalellidae



Ilustración 2: Espécimen de Hyalellidae
Fuente: Ríos, 2012

Filo: Annelida
Clase: Clitellata
Orden: Haplotaxida
Familia: Tubificidae



Ilustración 3: Espécimen de Tubificidae
Fuente: Armendáriz, 2008

Filo: Arthropoda
Clase: Insecta
Orden: Diptera
Familia: Chironomidae



Ilustración 4: Espécimen de Chironomidae
Fuente: Cornejo, 2019

Filo: Arthropoda
Clase: Insecta
Orden: Coleoptera
Familia: Elmidae



Ilustración 5: Espécimen de Elmidae
Fuente: González, 2020

Filo: Arthropoda
Clase: Insecta
Orden: Trichoptera
Familia: Glossosomatidae



Ilustración 6: Espécimen de Glossosomatidae
Fuente: Oviedo, 2018

Filo: Arthropoda
Clase: Insecta
Orden: Diptera
Familia: Simuliidae



Ilustración 7: Espécimen de Simuliidae
Fuente: Springer, 2010

Filo: Arthropoda
Clase: Insecta
Orden: Trichoptera
Familia: Limnephilidae



Ilustración 8: Espécimen de Limnephilidae
Fuente: Armendáriz, 2015

Filo: Arthropoda
Clase: Insecta
Orden: Diptera
Familia: Blepharoceridae



Ilustración 9: Espécimen de Blepharoceridae
Fuente: Flowers, 2010

Filo: Arthropoda
Clase: Clitellata
Orden: Rhynchobdellida
Familia: Glossiphoniidae



Ilustración 10: Espécimen de Glossiphoniidae
Fuente: González, 2020

Fuente: Moya, 2022.

➤ **Ventajas y desventajas del uso de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua**

VENTAJAS

Es indiscutible que el empleo de macroinvertebrados para monitorear la salud ecológica de los ecosistemas presenta ventajas por encima de los métodos físicos y químicos tradicionales (González et al., 2016), tales como:

1. Costo significativamente económico en su implementación, al no necesitar de equipos costosos que, además requieren de un largo tiempo de entrenamiento para su aplicación, como el requerido para los análisis fisicoquímicos.
2. Los bioindicadores añaden un componente temporal que es acotado por la duración de su vida o el tiempo durante el cual permanecen en la localidad de estudio, permitiendo la integración de las condiciones pasadas, presentes o actuales, mientras que las mediciones químicas y físicas sólo caracterizan las condiciones en el momento del muestreo.
3. Las concentraciones a las que se exponen los organismos pueden ser tan bajas que para detectarlas por los métodos tradicionales, necesitaríamos usar tecnología de alta sensibilidad posiblemente a un costo prohibitivo. Sin embargo, basta la observación de la conducta de los organismos bioindicadores para poder detectarlas. Además, de acuerdo al rango particular de tolerancia de las distintas especies bioindicadoras, podemos determinar si dichas concentraciones realmente tienen repercusiones sobre ellas.
4. La determinación de las concentraciones de los contaminantes en el ambiente no refleja necesariamente la concentración de éstos en los

organismos, debido a que una buena proporción de los contaminantes no entra al organismo de los macroinvertebrados, así mismo, por el hecho de que algunos contaminantes persisten poco tiempo en el ambiente, pero se acumulan en determinados organismos.

5. Debido a que los organismos en la naturaleza rara vez se ven afectados por un solo contaminante. Determinar los efectos conjuntos de éstos, es imposible de hacer mediante los análisis químicos tradicionales. Sin embargo, mediante el estudio de los bioindicadores, es posible establecer los efectos aditivos, sinérgicos y antagónicos de los contaminantes, puesto a que los métodos químicos tradicionales, tampoco permiten conocer el efecto real de los contaminantes sobre los organismos, ya que son incapaces de evaluar procesos como la bioactivación y la desintoxicación.
6. Los bioindicadores pueden advertirnos del efecto de ciertos estresores ambientales como las especies invasoras, la fragmentación del hábitat, la sobreexplotación de los recursos o el impacto del turismo sobre el ambiente, que son difíciles de evaluar por otros métodos.

DESVENTAJAS

Existen inconvenientes en ciertas evaluaciones de la calidad del agua a través de macroinvertebrados bioindicadores como lo señala González y colaboradores (2016). Pero su eficacia para evaluar el ambiente ha sufrido críticas que cuestionan incluso algunos conceptos implícitos en la filosofía de los bioindicadores. Wicklum y Davies en 1995, argumentaron que tanto la integridad como la salud son conceptos subjetivos, ya que se basan en la representación de ecosistemas no alterados que probablemente ya no existen, Estos investigadores agregan que hay muchos puntos finales naturales posibles que pueden ser alcanzados por un ecosistema, que podría decirse tiene “integridad o salud ecológica”. La consecuencia de tal subjetividad es que esos conceptos son vulnerables a la

interpretación, hecho que potencialmente, podría conducir a una mayor degradación de los ecosistemas. Tanto así que este problema conceptual puede evitarse si en vez de intentar contrastar nuestros resultados con los de un ecosistema sin alteración alguna, nos enfocamos en analizar las variaciones que presente nuestra localidad de estudio a lo largo del tiempo.

Algunos de los supuestos en los cuales descansa el concepto de especies bioindicadoras tales como la correlación entre la riqueza de especies del taxón indicador y el número de especies de otros grupos taxonómicos menos conocidos y entre la alta riqueza de especies o la diversidad del hábitat con la presencia de especies raras o amenazadas. Por ello, este tema continúa siendo debatido debido a que también existen estudios que apoyan dichos supuestos, y otra crítica más, proviene del hecho de que es prácticamente imposible que dos especies ocupen el mismo nicho, lo cual hace improbable una correspondencia entre la especie indicadora y las especies que evaluemos a partir de éstas. Por lo tanto, una especie determinada puede servir como indicadora únicamente para un estrecho rango de condiciones ecológicas dentro del tipo de hábitat y ningún indicador biológico nos proporcionará toda la información necesaria para conocer el estado de todo un ecosistema. Más aun, debido a que los programas de monitoreo usualmente utilizan un pequeño número de indicadores, sin tener en cuenta la complejidad del sistema ecológico evaluado. Sin embargo, este problema puede solucionarse mediante la evaluación de taxones que ocupen diferentes niveles de la cadena trófica y que varíen en su sensibilidad a los diferentes estresores ambientales, por ello McMahon y colaboradores (2015), mencionan que muchos factores no relacionados con la degradación de la integridad ecológica de un ecosistema local pueden influir en las poblaciones de especies indicadoras, por lo que es difícil separar la influencia de factores individuales que afectan a una población.

Se agrega que la capacidad para detectar disturbios en el ambiente depende del taxón que se elija. Algunos taxones con tiempos de generación cortos reaccionan

más rápido que aquellos de tiempos generacionales más largos ante el mismo disturbio, por lo que estos últimos no pueden ser considerados para advertirnos de un inminente peligro, ya que los efectos del disturbio sobre la demografía de dichas especies se observarían mucho tiempo después.

6. CONCLUSIONES

Se compiló información relevante acerca de los principales macroinvertebrados empleados como indicadores de la calidad de agua en el Ecuador, de tal modo que se obtuvo un total de 635 especies, comprendidas en 21 órdenes, 7 clases y 4 filo. Mostrando que a nivel de clase el grupo mayormente representativo es Insecta con el 72% de las especies empleadas, seguida por la clase Clitellata con el 10%, Malacostraca y Gastropoda con el 7% respectivamente, y el 4% restante estuvo constituido por grupos minoritarios en cuanto a número de especies, como es Rhabditophora, Arachnida y Bivalvia.

En cuanto a la caracterización taxonómica del filo artrópoda, se concluyó que el orden mayormente representativo y con un mayor número de especies es el orden Diptera con el 26,2%, seguido de Trichoptera con el 18,6% y ocupando el tercer lugar el orden Ephemeroptera con el 17,8%. Mientras que para el filo Mollusca se registraron un total de 46 especies comprendidas en 18 familias, 5 órdenes y 2 clases, en donde el orden Gasteropoda representó el 46.94%, Basommatophora 40.86%, seguido por el orden Veneroidea con el 6.12% respectivamente, mientras que el 6.12% restante estuvo conformado por grupos minoritarios por número de especies como es Ostreidae y Mytilida. En cuanto al filo Annelida se citaron 64 especies comprendidas en 4 familias, 3 órdenes y una clase, de las cuales se destaca la familia Tubificidae con un total de 38 especies. Y, por último, el grupo de Platelmintos, en cual consta únicamente por la Familia Planariidae con 9 especies identificadas, y taxonómicamente pertenecientes al orden Tricladida y clase Rhabditophora.

Finalmente, se concluyó que gracias a diversos estudios enfocados en ampliar el conocimiento taxonómico y ecológico de algunos grupos de macroinvertebrados, han permitido contar con mejores herramientas para determinar la calidad del agua de los ecosistemas acuáticos del Ecuador, y además, que es indiscutible que el

empleo de macroinvertebrados para monitorear la salud ecológica de los ecosistemas presenta ventajas por encima de los métodos físicos y químicos tradicionales, como es el bajo costo de operación.

7. RECOMENDACIONES

Continuar con los estudios de macroinvertebrados acuáticos de manera práctica, para alcanzar los conocimientos necesarios que definan los patrones de bioindicadores de las especies principalmente empleadas.

Definir especies de bioindicadores para cada parámetro a evaluar en los cuerpos de agua.

Realizar correlaciones entre parámetros físicos, químicos y ambientales a partir de la presencia o ausencia de un determinado grupo de macroinvertebrados.

Difundir y proponer el uso de bioindicadores como método ecológico para la evaluación de la calidad de agua, en comunidades vulnerables y aledañas a focos de contaminación.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Agua Urbanas (14 de noviembre de 2018). Monitoreo biológico de calidad de agua, Aguas Urbanas – Núcleo Interdisciplinario. Recuperado de: [http://www.aguasurbanas.ei.udelar.edu.uy/index.php/2018/11/14/monitoreo-biologico-de-calidad-de-agua/#:~:text=A%20estos%20organismos%20se%20los,y%20peces%20\(Tabla%201\).](http://www.aguasurbanas.ei.udelar.edu.uy/index.php/2018/11/14/monitoreo-biologico-de-calidad-de-agua/#:~:text=A%20estos%20organismos%20se%20los,y%20peces%20(Tabla%201).)
- Armendáriz, L. (2008). LIFE CYCLE OF DERO (AULOPHORUS) COSTATUS MARCUS, 1944 (TUBIFICIDAE, OLIGOCHAETA) IN A VEGETATED POND AT LOS TALAS, ARGENTINA. *Gayana (Concepción)*, 72(1), 23-30. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-65382008000100004>
- Boyd, T. (03 de abril de 2019). *¿Por qué se están derritiendo los glaciares y el hielo marino?*, WWF. Recuperado de: <https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/por-que-se-estan-derritiendo-los-glaciares-y-el-hielo-marino>
- Campos, F., Velasco, T., Sanz, G., Casanueva, P., Albuquerque, M. & Antunes, I. (2016). *Ischnura Graellsii* (Insecta: Odonata) A Water Pollution Biovulnerability Indicator—Probability Mapping Using Spatial Uncertainty. *River Research and Applications*, 32(3), 483-489.
- Castro, M. (2014). Indicadores de la calidad del agua. *Ingeniería solidaria*. vol. 10, no 17, p. 111-124.
- Constitución de la República del Ecuador (2008). Constitución de la República del Ecuador 2008. Registro Oficial 449 de 20 de octubre de 2008.
- Contreras, A. & Granados, C. (2016). Tricópteros asociados a siete afluentes de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Revista mexicana de biodiversidad*, 87(2), 436-442.
- Cornejo, A. & Gutiérrez, P. (2019). PB Orden Plecoptera (Insecta) en Panamá: listado, distribución de especies, comparación con la riqueza taxonómica regional. *Puente Biológico*, 7(1), 109-129. Recuperado a partir de <http://pluseconomia.unachi.ac.pa/index.php/puentebiologico/article/view/398>

- Escobar, M., Terneus, E. & Yáñez, P. (2013). El plancton como bioindicador de la calidad del agua en zonas agrícolas andinas, análisis de caso. *Qualitas*, 5(1), 17-37.
- FAO (2003). Recursos hídricos. Sistema de información sobre el uso del agua en la agricultura y el medio rural de la FAO. Disponible en: www.fao.org/nr/water/aquastat/water_res/indexesp.stm. Fecha de consulta: octubre de 2021.
- Flowers, R. & De la Rosa, C. (2010). Ephemeroptera. *Revista de Biología Tropical*, 58 (Suppl. 4), 63-93. Retrieved June 26, 2022, from http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442010000800004&lng=en&tlng=es.
- Forero, A. (2015). Estudio de la familia Baetidae (Ephemeroptera: Insecta) en una cuenca con influencia de la urbanización y agricultura: río Alvarado- Tolima. 2013. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 1(25), pp. 12-21.
- Forero, A., Gutiérrez, C. & Reinoso, G. (2016). Composición y estructura de la familia Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) en una cuenca andina colombiana. *Hidrobiológica*, 26(3), 459-474. Recuperado en 23 de julio de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972016000300459&lng=es&tlng=es.
- Gamboa, M., Reyes, R. & Arrivillaga, J. (2008). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 48(2), 109-120. Recuperado en 08 de noviembre de 2021, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1690-46482008000200001&lng=es&tlng=es
- Gómez, G. & Zamar, M. (2017). Efemerópteros en ambientes urbanos de la provincia de Jujuy (República Argentina). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 76(3-4), 1-10.

- González, C., Vallarino, A. Pérez, J. & Low, A. (2016). Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental. México. Editorial: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).
- González, S. (2012). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua de quebradas abastecedoras del municipio de Manizales. *Boletín Científico del Museo de Historia Natural*, 16(2), pp. 135-148. [Consulta: 31 de julio de 2017]. Disponible en: [http://200.21.104.25/boletincientifico/downloads/Boletin\(16\)2_12.pdf](http://200.21.104.25/boletincientifico/downloads/Boletin(16)2_12.pdf).
- Guillén, V., Teck, H., Kohlmann, B. & Yeomans, J. (2012). Microorganismos como bioindicadores de la Calidad del Agua. *Tierra tropical: sostenibilidad, ambiente y sociedad*, 8(1), 65-93.
- Gutiérrez, P. (2010). Plecoptera. *Revista de Biología Tropical*, 58 (Suppl. 4), 139-148. Retrieved June 26, 2022, from: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442010000800006&lng=en&tlng=es.
- Hanson, P. (2018). Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical*, Volumen 58, pp. 1-38. [Consulta: 01 de agosto de 2017]. Disponible en: <http://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v58s4/a01v58s4.pdf>.
- IBERDROLA (2021). La contaminación del agua: cómo no poner en peligro nuestra fuente de vida, IBERDROLA S.A. Recuperado de: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/contaminacion-del-agua>
- Jiménez, M. & Vélez, M. (2006). Análisis comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial. *Avances en recursos hidráulicos*, (14), 53-69.
- Ladrera, R. (2012). Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos. Recuperado 26 de junio del 2022, en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4015812>
- Merino, A., Conforme, C., Conforme, V. & Barzola, L. (2020). Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua de la parte céntrica del río Jipijapa-Ecuador. *RECIMUNDO*, 4(4), 454-467.

- Nuñez, C. & Fragoso, P. (2020). Uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua en la cuenca media del río Guatapurí (Valledupar, Colombia). *Información tecnológica*, 31(6), 207-216.
- Núñez, V. (2017). Revisión de dos especies de Physidae. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(1), 93-108.
- OPS (2020). *Agua y saneamiento*. Organización Panamericana de la Salud. Recuperado de: <https://www.paho.org/es/temas/agua-saneamiento>
- Palomino, K., Soto, K., Oscanoa, A., Vilcahuaman, D. & Echevarria, I. (2016). La biodiversidad de macroinvertebrados como indicadores de calidad de agua en los ríos de Junín. *Ingenium*, 1(2).
- Paradell, S. & Defea, B. (2019). Indicadores de biodiversidad en colecciones científicas: diagnosis de la colección Cicadellidae (Insecta:Hemiptera) del Museo de la Plata, Argentina. *Revista de Zoología*. 39(1). 19-32. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/cal/v39n1/0366-5232-cal-39-01-00019.pdf>
- PNUMA (2007). *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial*. GEO4 Medio ambiente para el desarrollo. PNUMA. Dinamarca, 91-120.
- Rodríguez, J., Pinilla, G. & Moncada, L. (2021). Estructura de la comunidad de dípteros acuáticos en tramos de los cursos altos de los ríos fucha y bogotá. *Acta Biológica Colombiana*, 26(2), 147-159.
- Springer, M. (2017). Capítulo 7: Trichoptera. *Revista de Biología Tropical*, 58 (Suppl. 4), 151-198. Retrieved July 22, 2022, from http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442010000800007&lng=en&tlng=es.
- Suga, C. & Tanaka, M. (2013). Influencia de un remanente de bosque en las comunidades de macroinvertebrados en un arroyo tropical degradado. *Hydrobiologia*. 703 (20), págs. 203 – 213.
- Terneus, E. & Yáñez, P. (2018). Principios fundamentales en torno a la calidad del agua, el uso de bioindicadores acuáticos y la restauración ecológica fluvial

en Ecuador. *Revista de Ciencias de la Vida*, 27(1), 36-50. <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.03>

- Valladares, L., Calmont, B., Sodati, F., & Brustel, H. (2013). Contribución al conocimiento de los coleópteros (Coleoptera) de la Provincia de Almería (Andalucía, sureste de España)-2ª nota. *Boletín de la Sociedad Andaluza de Entomología*, (22), 25-66.
- Yáñez, P. & Bárcenas, M. (2012). "Determinación de los niveles de tolerancia a hidrocarburos y potencial de fitorremediación de cuatro especies vegetales del sector Baeza-El Chaco, Ecuador." *La Granja Revista de Ciencias de la Vida* 15(1):27– 48. [en línea] doi:<http://dx.doi.org/10.17163/lgr.n15.2012.03>.
- Yáñez, W. (2017). Bioindicadores para la determinación de la calidad del suelo en la microcuenca de la quebrada Jun Jun (Tesis de Grado). Universidad Técnica de Ambato. Cevallos. Ecuador. Recuperado de: <chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26630/1/Tesis-181%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20536.pdf>