



**UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL**  
**SEDE CENTRAL**

Utilización de los macroinvertebrados para la determinación de la calidad del agua, ubicada en cinco cuencas ubicadas en el Corredor Biológico Garcimuñoz, Alajuela, Costa Rica

**INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN**

Lic. Adrián Arce Arias  
Investigador- Universidad Técnica Nacional

**ENERO 2018**

# ÍNDICE

1. Resumen ejecutivo.....	3
2. Introducción.....	4
2.1. Antecedentes .....	4
2.2. Planteamiento del Problema .....	5
2.3. Objetivo .....	5
2.4. Justificación.....	6
<b>3. Marco Teórico.....</b>	<b>7</b>
3.1. El Corredor Biológico Garcimuñoz .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3.2. Generalidades de los macroinvertebrados .....	9
3.3. Importancia de los macroinvertebrados.....	21
3.4. Importancia Económica de los macroinvertebrados .....	22
3.5. Ordenes de macroinvertebrados ubicados en el CBGM .....	25
4. Metodología .....	44
5. Resultados .....	49
6. Conclusiones.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
8. Recomendaciones .....	54
9. Bibliografía .....	56
10. Anexos .....	58

## **1. Resumen ejecutivo**

Los Corredores Biológicos son creados para fomentar la conectividad ambiental de las Áreas Silvestres Protegidas y procura el manejo participativo de los recursos naturales de la mano con las comunidades y sus ciudadanos pues ellos serán los beneficiados al lograr recibir servicios ecosistémicos que ofrecen estas conexiones biológicas los cuales mejoran y aumentan gracias a la gestión que se logre ejercer a nivel de organizaciones, gobierno local y en el ámbito nacional.

El proyecto pretende generar una línea base para determinar cuál es la calidad del agua de 5 estaciones de muestreo ubicadas en la Cuencas del Corredor Biológico Garcimuñoz, utilizando el índice BMWP-CR (Biological Monitoring Working Party, modificado para Costa Rica), esta actividad ha sido normada en nuestro país por medio del Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (Decreto No. 33903-MINAE-S; 17 setiembre 2007), el cual establece que la calidad del agua debe ser analizada tomando en cuenta dos aspectos fundamentales: el componente químico y el biológico en el cual emplea los macroinvertebrados que se ubican en las diferentes fuentes de agua que se muestrean.

Como resultados de esta investigación se resalta la generación de información que presenta la línea base concerniente a 10 muestreos (macroinvertebrados acuáticos y análisis químicos) realizados en las microcuencas hidrográficas que se ubican en el CBGM, entre ellas río Picagres, río Jarís y Quebrada Honda en el Cantón de Mora provincia de San José y el río Tambor, río Prendas, río Poas, el río Ciruelas y la Quebrada el Tigre, río Tizate y río Mastate ubicados en la Provincia de Alajuela, se determinó que 5 de las 10 microcuencas monitoreadas se encuentran clasificadas en el color naranja el cual clasifica aguas de calidad mala, muy contaminadas, tres microcuencas con el color amarillo, que se clasifican como aguas de calidad mala, contaminadas y solamente el río Picagres el cual se clasifica con el color verde (aguas de calidad regular, contaminación moderada) pero con parámetros muy cercanos al color amarillo, lamentablemente la microcuenca del río Ciruelas se clasifica con parametros de aguas extramadamente contaminadas, color rojo, dicha información se respalda con los estudios químicos del agua realizados en cada sitio de muestreo así como la colección de macroinvertebrados encontrados en los monitoreos biológicos, entre los ordenes más muestreados se encuentran el Odonata, Ephemeroptera, Diptera, Hemiptera, Crustacea y Molusca.

Se debe de gestionar lo antes posible la divulgación de resultados, pues dos de los ríos monitoreados son utilizados por pobladores locales con el fin de recreación principalmente los fines de semana y se evidencio durante la época seca del año 2016 y 2017, la presencia de muchos niños que se bañaban con sus padres, en estas fuentes de agua que a simple vista parecieran ser aguas muy limpias pero ya después de analizar los resultados se puede concluir la necesidad inmediata de no utilizar estas fuentes como recreación, complementariamente a esta actividad se deberá de desarrollar una estrategia que propicie la toma de acciones que involucren actores involucrados en el ámbito local ademas de continuar con investigaciones que refuercen los conocimiento aportados con el fin de mejorar a corto plazo las condiciones del recurso hídrico presente en las microcuencas monitoreadas.

## **2. INTRODUCCIÓN**

Los macroinvertebrados son aquellos organismos que según su habitad y presencia son utilizados como bioindicadores de la calidad del agua, son larvas de insectos que se pueden ver a simple vista, se llaman macro porque son grandes (miden entre 2 milímetros y 30 centímetros), invertebrados porque no tienen huesos, y acuáticos porque viven en los lugares con agua dulce: esteros, ríos, lagos y lagunas. Estos animales proporcionan importante información sobre la calidad del agua, algunos de ellos requieren agua de buena calidad para sobrevivir; otros, en cambio, resisten, crecen e inclusive abundan cuando hay contaminación (Carrera Reyes & Fierro Peralbo, 2001).

El uso de macroinvertebrados como indicadores de calidad de agua empezó hace más de 100 años en Europa, hoy en día, constituye una herramienta muy útil y de relativamente bajo costo, por lo que es ampliamente utilizado en todo el mundo. A diferencia de los análisis físico-químicos, los cuales representan la condición del agua en el momento del muestreo, los indicadores biológicos muestran tendencias a través del tiempo, es decir, se pueden comparar condiciones pasadas y presentes (Roldan 1996).

De igual manera, mediante el uso de indicadores biológicos es posible detectar eventos puntuales de toxicidad, los cuales a menudo no son detectados por las mediciones físico-químicas estándares. Sin embargo, el uso de bioindicadores también tiene sus limitaciones, especialmente para determinar la calidad de agua para consumo humano, porque no necesariamente detecta la presencia de patógenos o condiciones químicas potencialmente peligrosas para la salud humana (Pacheco 2014).

Entre la lista de atributos que poseen los macroinvertebrados para la bioindicación acuática, se pueden mencionar: 1) su amplia distribución, tanto a nivel geográfico, como con respecto a la variedad de ambientes que habitan, 2) su gran diversidad taxonómica, la cual resulta en un amplio rango de respuestas ante las perturbaciones o la contaminación, 3) su carácter relativamente sedentario, el cual facilita un análisis espacial de la contaminación, 4) sus ciclos de vida relativamente largos, que permiten observar los efectos de la contaminación a lo largo del tiempo (p.ej. contaminaciones intermitentes o de concentraciones variables) y 5) los métodos de muestreo son sencillos y de bajo costo.

## **2.1 Antecedentes**

El uso de macroinvertebrados como indicadores de calidad de agua empezó hace más de 100 años en Europa, hoy en día, constituye una herramienta muy útil y de relativamente bajo costo, por lo que es ampliamente utilizado en todo el mundo. A diferencia de los análisis físico-químicos, los cuales representan la condición del agua en el momento del muestreo, los indicadores biológicos muestran tendencias a través del tiempo, es decir, se pueden comparar condiciones pasadas y presentes (Roldan 1996).

De igual manera, mediante el uso de indicadores biológicos es posible detectar eventos puntuales de toxicidad, los cuales a menudo no son detectados por las mediciones físico-químicas estándares. Sin embargo, el uso de bioindicadores también tiene sus limitaciones, especialmente para determinar la calidad de agua para consumo humano, porque no necesariamente detecta la presencia de patógenos o condiciones químicas potencialmente peligrosas para la salud humana (Pacheco 2014).

Entre la lista de atributos que poseen los macroinvertebrados para la bioindicación acuática, se pueden mencionar: 1) su amplia distribución, tanto a nivel geográfico, como con respecto a la variedad de ambientes que habitan, 2) su gran diversidad taxonómica, la cual resulta en un amplio rango de respuestas ante las perturbaciones o la contaminación, 3) su carácter relativamente sedentario, el cual facilita un análisis espacial de la contaminación, 4) sus ciclos de vida relativamente largos, que permiten observar los efectos de la contaminación a lo largo del tiempo (p.ej. contaminaciones intermitentes o de concentraciones variables) y 5) los métodos de muestreo son sencillos y de bajo costo. Una lista más exhaustiva de estas ventajas, incluyendo también las dificultades que se pueden presentar y como sobrellevarlas, se puede encontrar en Rosenberg & Resh (1993). Otros trabajos importantes sobre el tema incluyen: Chapman (1996), Boon & Howell (1997), Mandaville (1999), Adams (2002) y Rosenberg *et al.* (2008), entre otros.

## **2.2. Planteamiento del problema**

Entre 2002 y 2012 Costa Rica aumentó su deuda ecológica y, por tanto, comprometió la sostenibilidad en el uso de sus recursos naturales. Con la metodología de la huella ecológica, la diferencia entre el ritmo de uso real de los recursos que hace la población (huella ecológica) y la biocapacidad del territorio (los recursos disponibles considerando su capacidad productiva y su ritmo de regeneración natural) pasó de 3% en 2002 a 11% en 2012 (Estado de la Nación, 2011). Solo el 4% de las aguas residuales en el país son tratadas antes de ir a parar a los ríos y otros cuerpos de agua, como desembocaduras, embalses, bahías, golfos y mares. Casi todo lo que sale de casas, comercios e industria va dar a los afluentes, contaminándolos con materia orgánica (heces y orina) y otras sustancias químicas y metales pesados, lo que convierte a nuestros ríos en cloacas. (2013, *XIX Informe del Estado de la Nación*).

El agua es uno de los recursos fundamentales para la vida, no solo es parte integrante de la estructura orgánico-molecular de todo ser vivo, sino que además participa en innumerables procesos y reacciones químicas, físicas y biológicas que condicionan su propia existencia.

En muchos países del mundo este recurso se ha vuelto cada vez más escaso, llegando a convertirse en un tema polémico e inclusive de enfrentamiento y problema entre diversos usuarios (Sepúlveda, 2002).

Un plan de monitoreo periódico y la existencia de un programa de planificación en la utilización de los recursos hídricos son urgentes en las diferentes comunidades de nuestro país. Por ejemplo, la Universidad para la Paz (Naciones Unidas, 2002) anota que “se estima que el 80% de todas las enfermedades y más de un 33% de los fallecimientos en los países en desarrollo se deben al consumo de agua contaminada y que, en promedio, hasta un 10% del tiempo productivo de cada persona se pierde a causa de enfermedades relacionadas con el agua”.

## **2.3 Objetivo de la investigación**

Determinar la calidad del agua de 10 microcuencas hidrográficas que se ubican en el Corredor Biológico Garcimuñoz, con el fin de generar línea base para toma la toma de decisiones, utilizando protocolos de Biomonitoreo y el índice BMWP – CR con macroinvertebrados como bioindicadores.

## 2.4 Justificación

La contaminación del agua se realiza en todo el país, tanto de parte del sector productivo como de parte de las familias y el sector público en general. Es necesario cambiar de forma radical esta actitud de que “el agua se lleva o asimila la contaminación”, las medidas de supervisión y control en la actualidad son sumamente débiles para mantener el recurso, para cambiar y elevar el tipo de valoración que tenemos del mismo. La gestión del recurso ha sido sectorizada y centralizada y es necesario que la gestión del recurso hídrico sea integrada con el desarrollo de las cuencas y al final con el tipo de desarrollo que ambicionamos a nivel nacional. En este sentido los profesionales en el campo han recomendamos una gestión por cuencas, que supere las divisiones políticas que existen, que por lo tanto tenga un ente rector y una serie de responsables a nivel nacional de los diferentes tipos de uso del recurso (ICE, Ministerio de Salud, ICAA, etc.), pero que se administre en forma descentralizada y con participación ciudadana.

Diversos estudios advierten sobre el aumento de la carga orgánica y la presencia de metales pesados, químicos y otros contaminantes en los ríos de la Gran Área Metropolitana (GAM) principalmente en áreas de constante crecimiento demográfico. Esto sucede en el contexto de un desarrollo urbano desordenado, sin adecuadas regulaciones en la materia de legislación y con lentos avances en el mejoramiento de la infraestructura (Angulo, 2013).

La investigación efectuada servirá para la toma de decisiones por parte de los actores involucrados tomando en como entidad principal al Consejo local del Corredor Biológico Garcimuñoz, el cual está integrado por miembros pobladores de los diferentes cantones que se ubican dentro de los límites del Corredor, estos pobladores son líderes comunales consientes de la gran importancia de conservar el recurso hídrico existente para el disfrute de las presentes y futuras generaciones, dentro de las responsabilidades e;de este grupo se encuentra el velas por el uso adecuado del recurso hídrico presente en esta región.

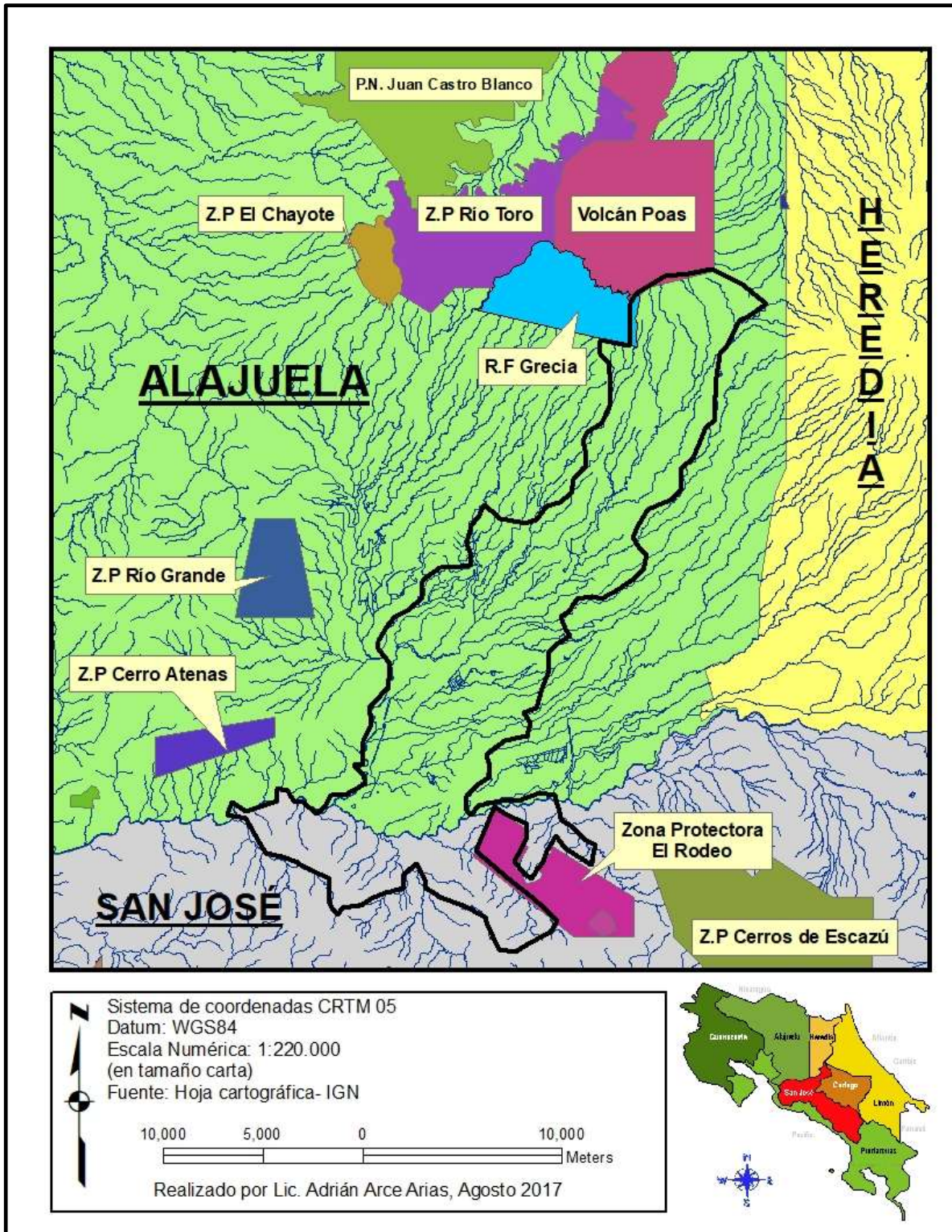
### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 El Corredor Biológico Garcimuñoz**

Un Corredor Biológico es un territorio delimitado cuyo fin es proporcionar conectividad entre paisajes, ecosistemas y hábitats, naturales o modificados, para asegurar el mantenimiento de la diversidad y los procesos ecológicos y evolutivos. Está integrado por áreas naturales bajo regímenes de administración especial, zonas núcleo, de amortiguamiento, o de usos múltiples; proporcionando espacios de concentración social para promover la inversión en la conservación y uso sostenible de la biodiversidad en esos territorios (Decreto ejecutivo 34433-MINAE, 2015).

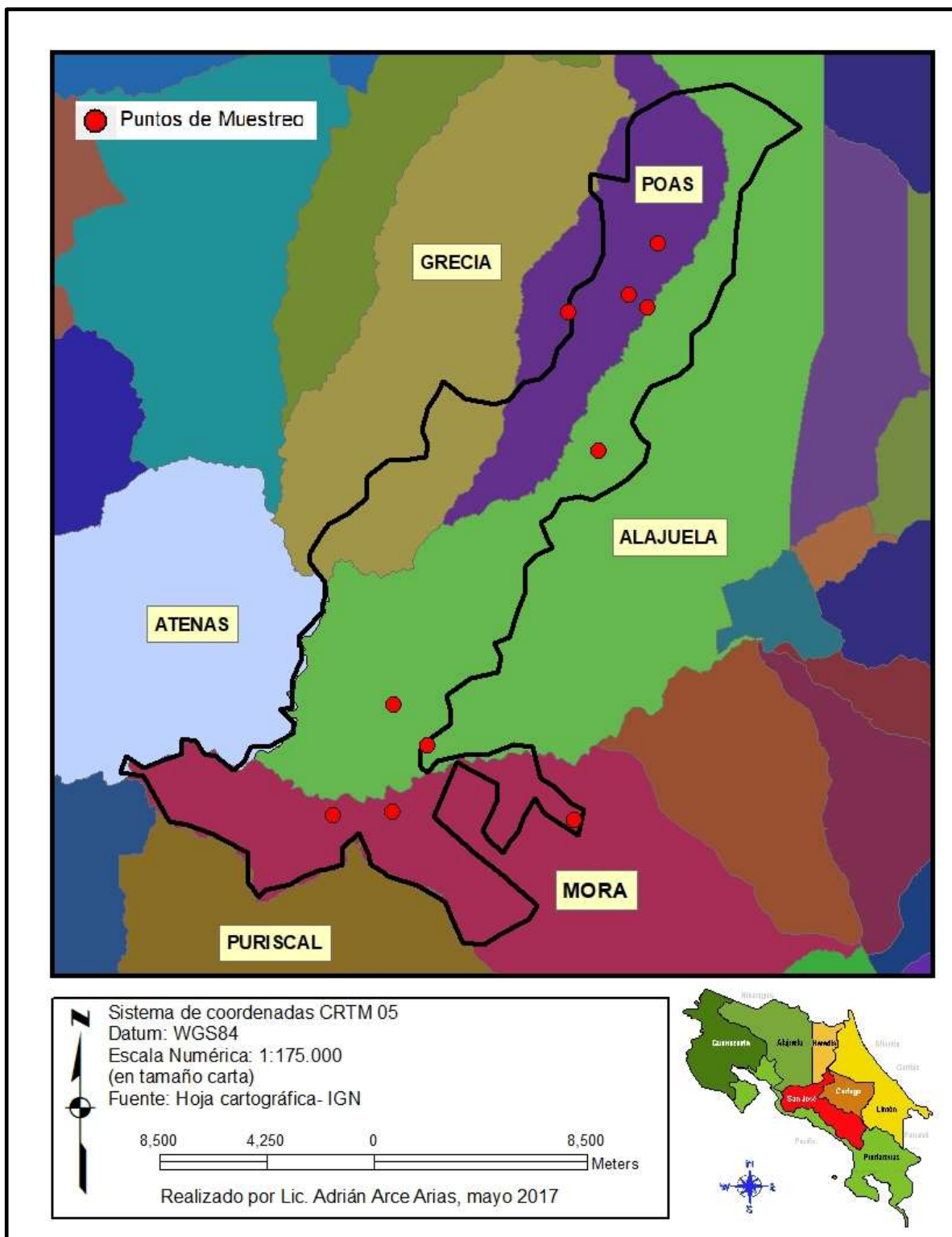
El Corredor Biológico Garcimuñoz (CBG), se localiza en la parte Oeste del Valle Central, conectando el Parque Nacional Volcán Poas, la Reserva Forestal de Grecia, la Zona Protectora Cerros de Atenas y la Zona Protectora Cerros de Escazú, todas estas incluidas dentro de la Reserva de la Biosfera Cordillera Volcánica Central (UNESCO), lo mismo que la Zona Protectora el Rodeo, que está en su totalidad dentro del CBG, también la mayor parte de la Zona Protectora Quitirrisí, siendo esta territorio Indígena Huetar. También conectando con el Corredor Biológico Montes del Aguacate.

Todo esto a través de los ríos Poás, Grande, Virilla, Picagres y Jaris, dentro de este Corredor esta la totalidad de los distritos Turrúcares, Garita, Tambor, Sabanilla y San Antonio del cantón central de Alajuela; los distritos Sabana Redonda, San Pedro, San Juan y Carrillos del cantón de Poás, el distrito Tacaes del cantón de Grecia; estos de la provincia de Alajuela y los distritos Picagres, Piedras Negras y Colon del cantón de Mora de la provincia de San José. De ahí parte la idea de distintos objetivos para el desarrollo sostenible del CBG, entre ellos están; la preservación de uno de los últimos vestigios del Bosque Húmedo Pre-montano (bh-P) natural del valle Central. En ellos se encuentran especies vegetales y animales de gran valor, algunas ya en vías de extinción. Otro de los objetivos del Sistema Nacional de áreas de Conservación (SINAC) es proteger el Recurso Hídrico (nacientes, humedales, ríos y riachuelos), para un mejor uso sostenible y de calidad para todos los involucrados con el abastecimiento dado por las nacientes encontradas dentro del corredor. Las referencias confirman que el CBG fue el Primer asentamiento español en el Valle Central y según datos históricos estaba situado entre Turrúcares y el río Ciruelas. Este punto se encuentra aproximadamente en la parte central del corredor, además de estar en el sitio donde surgió la idea de la propuesta de ahí su nombre". (Corredor Biológico Garcimuñoz, 2015).



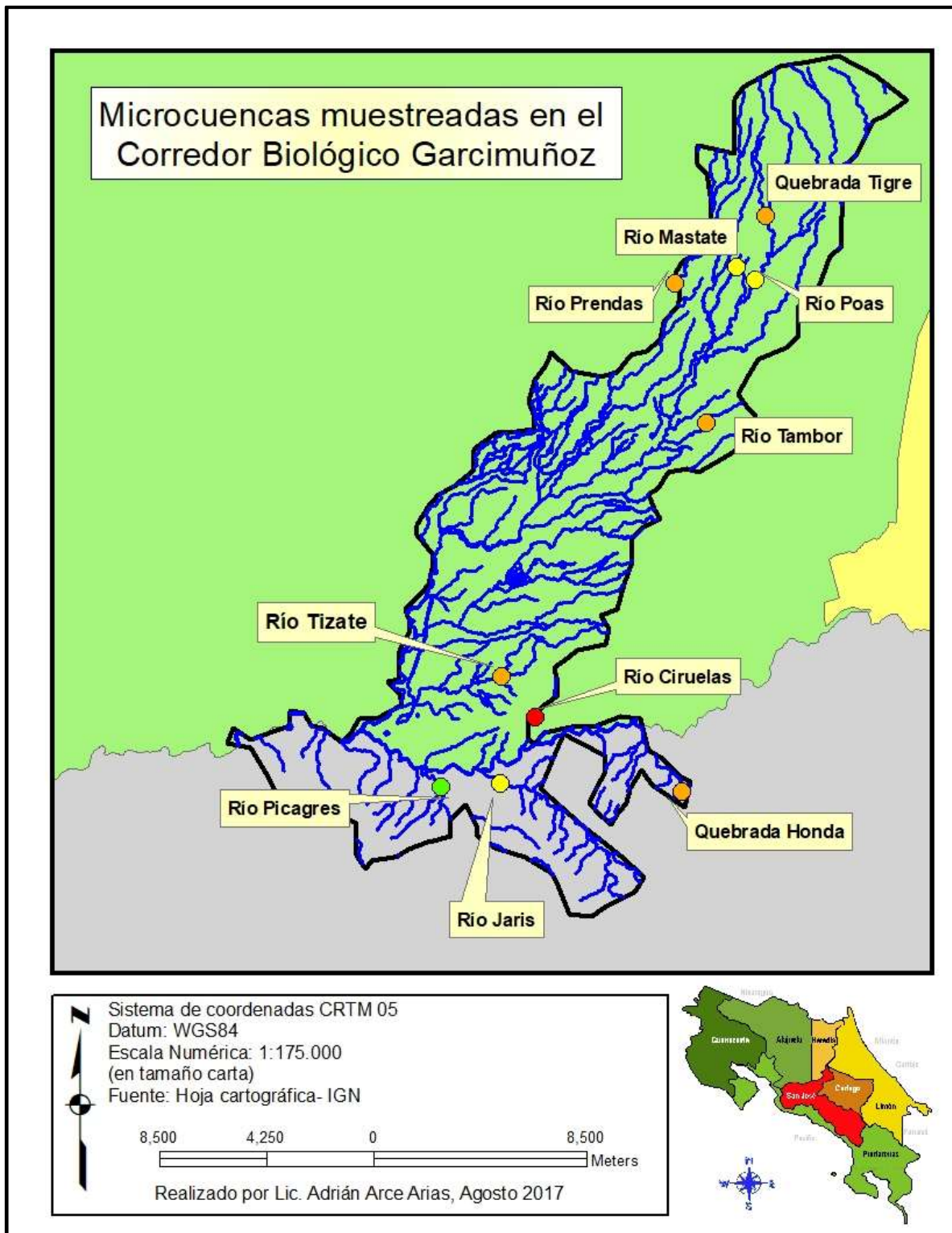
**Mapa 1.** Ubicación del Corredor Biológico Garcimuñoz.

**Fuente:** El autor, 2017.



**Mapa 2.** Ubicación según cantones del Corredor Biológico Garcimuñoz.

**Fuente:** El autor, 2017.



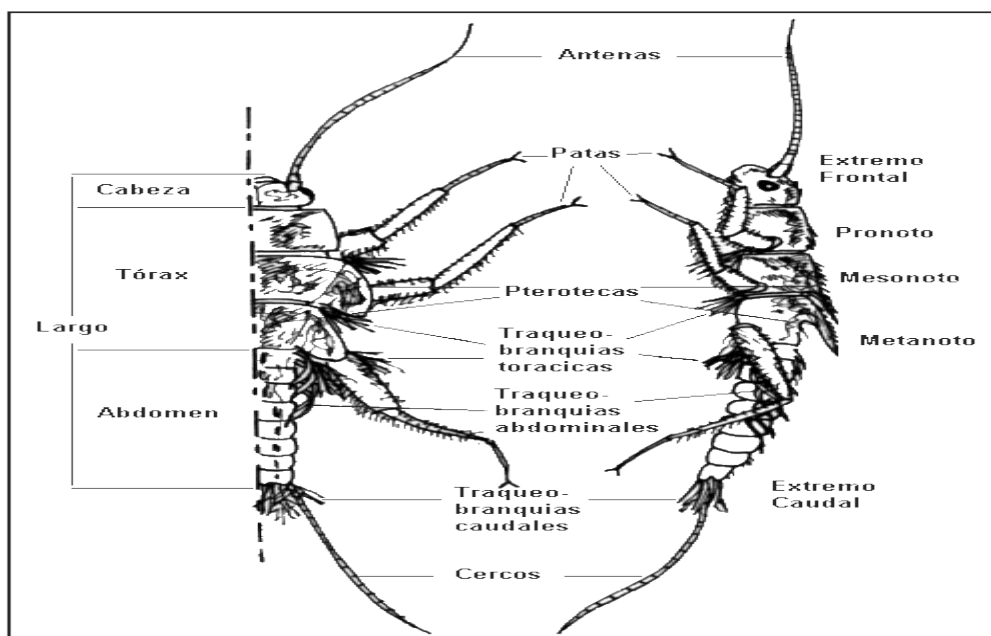
**Mapa 3.** Ubicación de los puntos de muestreo Corredor Biológico Garcimuñoz.

**Fuente:** El autor, 2017.

### 3.2. Generalidades de los macroinvertebrados

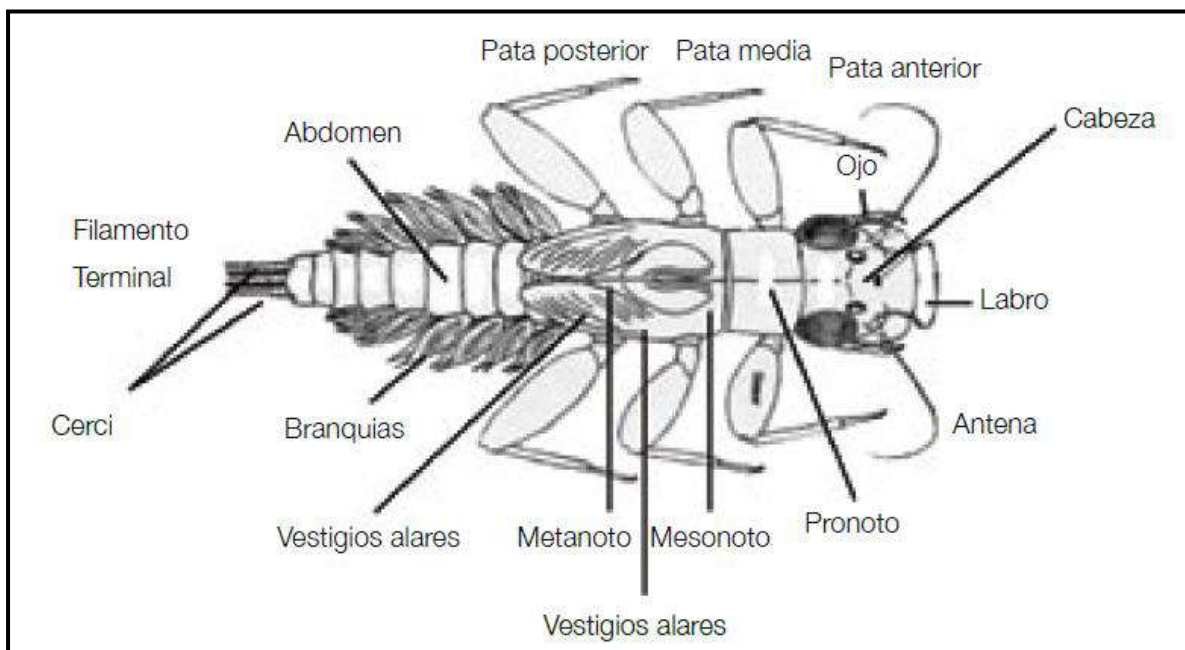
Son aquellos macroorganismos que según su habital y presencia son utilizados como bioindicadores de la calidad del agua, son larvas de insectos que se pueden ver a simple vista, se llaman macro porque son grandes (miden entre 2 milímetros y 30 centímetros), invertebrados porque no tienen huesos, y acuáticos porque viven en los lugares con agua dulce: esteros, ríos, lagos y lagunas. Estos animales proporcionan excelentes señales sobre la calidad del agua, y, al usarlos en el monitoreo, puede entender claramente el estado en que ésta se encuentra: algunos de ellos requieren agua de buena calidad para sobrevivir; otros, en cambio, resisten, crecen y abundan cuando hay contaminación (HANSON. SPRINGER. RAMIREZ, 2010).

Los macroinvertebrados se multiplican en grandes cantidades, se pueden encontrar miles en un metro cuadrado. Son parte importante en la alimentación de los peces, pueden alimentarse de: plantas acuáticas, restos de otras plantas y algas, otros invertebrados y peces, 11 pequeños restos de comida en descomposición y elementos nutritivos del suelo, animales en descomposición, elementos nutritivos del agua y sangre de otros animales (Roldan 1996). Los macroinvertebrados tienen muchas formas; así, las conchas son redondeadas, los escarabajos son ovalados, las lombrices son alargadas y los caracoles tienen forma de espiral (Roldan 1996).



**Figura 1.** Partes de un macroinvertebrado en estado larval.

**Fuente:** Herrera, M. 2005.



**Figura 2.** Partes de un macroinvertebrado en estado larval.

**Fuente:** Herrera, M. 2005.

Para englobar a las familias en grupos tróficos, se tiene en cuenta el hábito alimentario de las especies mayoritarias de la familia, se distinguen los siguientes grupos tróficos:

**Desmenuzadores:** Invertebrados que se alimentan de restos vegetales en descomposición: hojas, ramas, raíces, etc. Dichos restos proceden generalmente de la vegetación de ribera. Este grupo reduce la materia orgánica gruesa a partículas más finas que son utilizadas por otros invertebrados (HANSON. SPRINGER. RAMIREZ, 2010).

**Recolectores:** Las pequeñas partículas orgánicas que se depositan en el fondo son su principal fuente de alimentación.

**Filtradores:** Se alimentan de partículas orgánicas en suspensión, para poder capturar estas partículas, que suelen tener menos de 1 milímetro de diámetro, estos grupos han desarrollado adaptaciones. Un ejemplo son las pre-mandíbulas cuyos filamentos de pequeñas dimensiones retienen las partículas en suspensión. Otros animales desarrollan la estrategia de tejer redes para retener las partículas (HANSON. SPRINGER. RAMIREZ, 2010).

**Raspadores:** Las algas microscópicas, bacterias y hongos que forman el perifiton son su fuente de alimento. Este se encuentra en zonas que reciben luz suficiente.

**Parásitos:** se alimentan de otras especies de macroinvertebrados.

**Depredadores:** Se alimentan de otros invertebrados, de larvas de peces e incluso de renacuajos, para cazar animales vivos hay distintos métodos: algunos buscan activamente, como es el caso de las planarias. Estos animales se deslizan por el lecho del río e inmovilizan a sus presas con neurotoxinas, otras especies depredan al acecho: las ninfas de algunas libélulas se entierran y son capaces de detectar el movimiento en la superficie, cuando esto sucede proyectan su mandíbula hacia fuera y capturan a su presa (HANSON. SPRINGER. RAMIREZ, 2010).

### 3.2.1. Locomoción de los macroinvertebrados

Algunos macroinvertebrados viven en la superficie del agua (**neuston**) mientras que otros permanecen suspendidos en la columna del agua (**plancton**) o bien nadan activamente (**necton**). Estos grupos generalmente no habitan en aguas con corriente y pueden ser muy abundantes y diversos en lagos y lagunas. La mayoría de los animales dulceacuícolas viven sobre algún tipo de sustrato, ya sea en el fondo (**bentos**) o en los tallos de plantas acuáticas, madera, rocas y otros. Se denomina **epineuston** a los organismos que viven en la fase aérea sobre la película de agua (HANSON. SPRINGER. RAMIREZ, 2010).

**Plancton:** El zooplancton de agua dulce es dominado por dos grupos de crustáceos: los cladóceros y los copépodos. Ellos requieren una amplia superficie corporal para mantenerse en la columna de agua y aun así utilizan los apéndices para actuar en contra de la tendencia a hundirse. Los Chaoboridae (Diptera) son quizás el único grupo de insectos planctónicos (HANSON. SPRINGER. RAMIREZ, 2010).

**Buceadores (“divers”):** Varios chinches y algunos escarabajos adultos (Dytiscidae e Hydrophilidae) obtienen su oxígeno en la superficie del agua, pero bucean y nadan para alimentarse; a menudo pasan tiempo agarrándose de objetos sumergidos. Todos estos insectos tienen un cuerpo hidrodinámico y patas traseras en forma de remo con pelos natatorios (HANSON. SPRINGER. RAMIREZ, 2010).

**Nadadores (“swimmers”):** Algunos insectos que viven permanentemente sumergidos son capaces de nadar con movimientos como los de un pez. Entre los arranques breves de natación, pasan su tiempo agarrados de rocas, tallos de plantas acuáticas u otros objetos sumergidos. Entre ellos, los Baetidae, Isonychiidae y algunos Leptophlebiidae (Ephemeroptera) tienen un cuerpo hidrodinámico y un abdomen aplanado para impulsarse y nadar. Otros nadadores incluyen muchos ácaros Hydrachnidiae, que tienen pelos natatorios en las patas (HANSON. SPRINGER. RAMIREZ, 2010).

**Agarradores (“clingers”):** En áreas de corriente fuerte, los macroinvertebrados a menudo muestran adaptaciones para agarrarse o sujetarse al sustrato. Algunos macroinvertebrados tienen un cuerpo que funciona como una gran ventosa (larvas de Psephenida; Heptageniidae), uñas largas y fuertes (adultos de Elmidae y Dryopidae), ganchos en la punta del abdomen (Megaloptera y algunos Trichoptera) o una combinación de ganchos y sedas en la punta del abdomen (Simuliidae). Algunas larvas poseen ventosas en la parte ventral de su cuerpo, como los dípteros Blephariceridae y Psychodidae, para pegarse fuertemente a la superficie de las rocas. Los Trichoptera, Lepidoptera y Chironomidae utilizan seda para construir casitas y refugios y pegarlas al sustrato, la cual también es empleada como un “hilo de seguridad”, para evitar que la larva sea arrastrada por la corriente. Muchos Ephemeroptera y Plecoptera que viven en corrientes fuertes tienen el cuerpo aplanado y las patas proyectadas lateralmente, lo que ayuda a minimizar la resistencia a la corriente del agua (HANSON. SPRINGER. RAMIREZ, 2010).

**Reptadores (“sprawlers”):** Muchos Ephemeroptera, Odonata (p. ej. Libellulidae), Plecoptera y Trichoptera que viven en hábitats o micro-hábitats con menos corriente, se arrastran en la superficie del sustrato, ya sea encima de las rocas (incluso la superficie inferior), sedimentos, hojarasca o madera (HANSON. SPRINGER. RAMIREZ, 2010).

**Trepadores (“climbers”):** Varios macroinvertebrados viven en las partes sumergidas de las plantas acuáticas, aunque muchos de éstos no se alimentan de la planta. Algunos de ellos son depredadores, como las ninfas de diversas familias de libélulas (Odonata) y algunos hemípteros acuáticos (p. ej. Belostomatidae).

**Excavadores (“burrowers”):** Varios macroinvertebrados excavan y se entierran en los sedimentos blandos. A menudo tienen muchas setas en la parte dorsal del cuerpo, la cabeza aplanada y patas anteriores adaptadas para excavar. Por ejemplo, Ephemeridae

y Polymitarcyidae (Ephemeroptera) construyen túneles en forma de u, mientras que Gomphidae (Odonata) simplemente se entierran. Otros excavadores incluyen algunos Chironomidae y otros Diptera, cangrejos y la mayoría de las almejas. Algunas especies no excavadoras se entierran en etapas jóvenes o como respuesta a condiciones de sequía. Muchos invertebrados pequeños no son excavadores activos, pero su pequeño tamaño (<1mm) les permite vivir entre los granos de arena y en el fango (espacios intersticiales) del fondo; esta comunidad de invertebrados se llama **meiofauna** (HANSON. SPRINGER. RAMIREZ, 2010).

### **3.2.2. Importancia Económica de los macroinvertebrados**

Algunos macroinvertebrados de agua dulce, principalmente Diptera, pueden ser plagas. Las larvas de Culicidae, Simuliidae y algunos Tabanidae viven en agua dulce, pero los adultos son terrestres y las hembras chupan la sangre de vertebrados. La mayoría de estos casos solo resultan en una molestia para los seres humanos, pero el ganado a veces pierde peso cuando no puede pastar con tranquilidad por culpa de estas moscas fastidiosas, desde el punto de vista humano, las especies más problemáticas son las que transmiten enfermedades y sin duda el grupo que tiene mayor importancia médica es el de los zancudos o mosquitos (Culicidae). Por ejemplo, *Aedes aegypti*, una especie introducida a las Américas desde África hace varios siglos, es el vector principal del dengue y la fiebre amarilla (ambos son virus) sus larvas se encuentran principalmente en aguas efímeras (latas vacías, llantas, canoas, etc.). *Anopheles albimanus*, una especie nativa, es el vector principal del paludismo o malaria (un protozoario) y sus larvas se encuentran en los márgenes de ríos o pantanos, donde el agua es soleada y crecen las algas verdes filamentosas (HANSON. SPRINGER. RAMIREZ, 2010).

En Guatemala, *Simulium ochraceum* (Simuliidae) transmite un nemátodo introducido de África (*Onchocerca volvulus*) que causa oncocercosis (ceguera de río o enfermedad de Robles). los simúlidos (bocones) también son vectores de protozoarios que infectan muchas especies de aves silvestres (HANSON. SPRINGER. RAMIREZ, 2010).

Varios cangrejos de la familia Pseudohelphusidae son hospederos secundarios de trematodos de pulmones, *Paragonimus caliensis* y *P. mexicanus* (Platyhelminthes: Troglotrematidae) (Blair *et al.* 1999). Cuando se alimentan de cangrejos crudos, el gusano puede pasar a los mamíferos; luego pasa a ciertos caracoles y finalmente a los

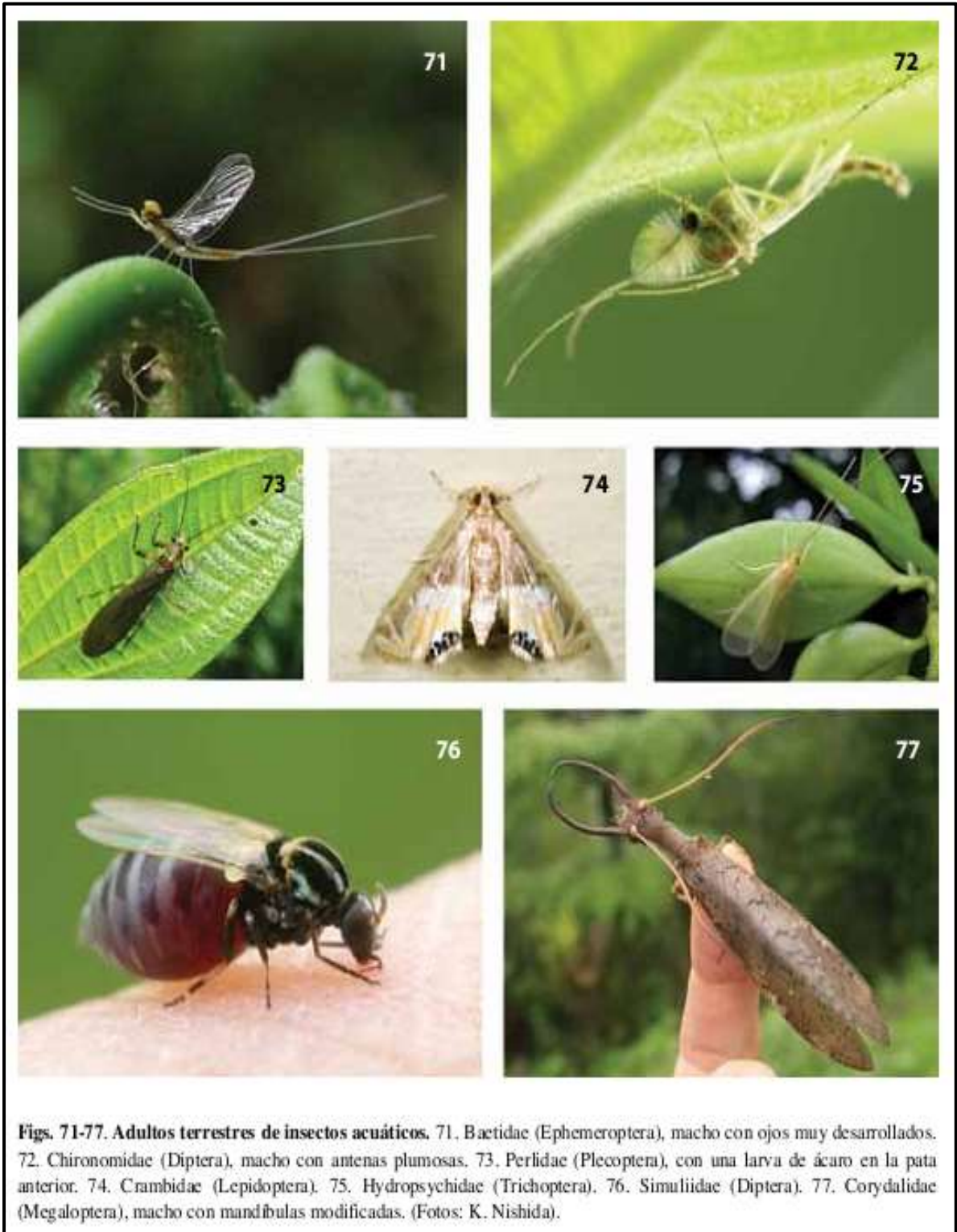
cangrejos otra vez, algunas pocas especies de insectos acuáticos pueden alcanzar poblaciones tan altas (miles por metro cuadrado en el agua) que una emergencia masiva de adultos representa una molestia para los seres humanos, aunque no chupen sangre, ni muerdan.

El mejor ejemplo son los “chayules” (algunos Chironomidae) que de vez en cuando salen del Río San Juan en la frontera norte entre Nicaragua y Costa Rica, en números casi astronómicos e inundan el área con nubes de mosquitos, muy pocos invertebrados dulceacuícolas son plagas de cultivos puesto que hay muy pocos cultivos acuáticos. El ejemplo principal es el arroz inundado y aún en este caso la mayoría de las plagas son insectos terrestres que atacan las partes aéreas de la planta. Sin embargo, gorgojos (Curculionidae) del género *Lissorhoptrus* son acuáticos, los adultos tienen setas natatorias en las tibiae medias (aunque no son buenos nadadores) y se alimentan principalmente de las hojas flotando en la superficie del agua. Las larvas se alimentan de las raíces y tienen espiráculos adaptados para acceder el oxígeno dentro las raíces sumergidas (HANSON. SPRINGER. RAMIREZ, 2010).

En cultivos de peces y camarones, algunos macroinvertebrados acuáticos pueden causar problemas, ya sea por competencia o por depredación, especialmente en los estanques con larvas o estadios jóvenes (p. ej. Belostomatidae de Hemiptera y varias familias de Odonata).

Por otro lado, algunos macroinvertebrados tienen una importancia económica positiva. Por ejemplo, algunas especies de camarones dulceacuícolas se cultivan para proveer alimento a los seres humanos (New & Valenti 2000).

En México se utilizan los hemípteros de la familia Corixidae y en la India los Belostomatidae, como alimento. Además, varios macroinvertebrados de agua dulce se utilizan como suplemento alimenticio de mascotas (peces, tortugas y aves), finalmente, hay que señalar la gran importancia que tienen los macroinvertebrados acuáticos en los estudios de calidad de agua, evaluación ambiental y en el biomonitoreo acuático (HANSON. SPRINGER. RAMIREZ, 2010).



**Figura 3. Adultos terrestres de macroinvertebrados acuáticos.**

**(Fuente: Fotografías K. Nishida 2014).**

#### **4. METODOLOGÍA**

El enfoque metodológico utilizado en esta investigación es el cuantitativo pues de acuerdo con Tamayo (2007), consiste en el contraste de teorías ya existentes, a partir de una serie de hipótesis surgidas de la misma, siendo necesario obtener una muestra, ya sea en forma aleatoria o discriminada, pero representativa de una población o fenómeno objeto de estudio. Las características que destacan en la metodología cuantitativa, en términos generales es que esta elige una idea, que transforma en una o varias preguntas de investigación relevantes; luego de estas deriva hipótesis y variables; desarrolla un plan para probarlas; mide las variables en un determinado contexto; analiza las mediciones obtenidas (con frecuencia utilizando métodos estadísticos), y establece una serie de conclusiones respecto de la (s) hipótesis, La metodología cuantitativa utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente, y confía en la medición numérica, el conteo y frecuentemente el uso de estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento en una población.

La metodología que se utilizó fue la que se describe en el “Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales”, publicado en la gaceta en setiembre del 2007 (MINAE-S no. 33903), las cuales se clasifican en dos, tomando en cuenta la profundidad y el ancho de los ríos y quebradas:

##### **A. Ríos y quebradas con profundidades iguales o menores a 1 metro, y ancho igual o menor a 15 metros.**

- i. Técnica: Red de mano con malla de 500  $\mu\text{m}$ . y apertura de 20 a 25 cm.
- ii. Zona de muestreo: Diferentes micro-hábitats dentro del río.
- iii. Mecanismo de muestreo: muestra compuesta de tres sub-muestras con red de mano, cada una recolectada en un tiempo de 5 minutos. El muestreo se realiza con el desplazamiento por los micro-hábitats identificados en el sitio, removiendo el fondo del río y colectando el material removido en la red. En caso de que el volumen de la muestra resulte inmanejable, se podrá proceder a una división aleatoria de la muestra, en la cual cada submuestra será representativa de la muestra total.

iv. Preservación de la muestra: con etanol de 96°; preservación de los organismos: en etanol de 70°.

**B. Ríos y quebradas con profundidades mayores a 1 metro, y ancho mayor a 15 metros.**

i. Técnica: Red de mano con malla de 500 µm. y apertura de 20 a 25 cm.

ii. Zona de muestreo: Orillas hasta 1 metro de profundidad, ubicando diferentes micro-hábitats dentro del río, removiendo el fondo del río y colectando el material removido en la red.

iii. Mecanismo de muestreo: Muestra compuesta de tres sub-muestras con red de mano, cada una recolectada en un tiempo de 5 minutos. El muestreo se realiza con el desplazamiento por los micro-hábitats identificados en el sitio, removiendo el fondo del río y colectando el material removido en la red. En caso de que el volumen de la muestra resulte inmanejable, se podrá proceder a una división aleatoria de la muestra, en la cual cada submuestra será representativa de la muestra total.

iv. Preservación de la muestra: Utilización de etanol de 96°; preservación de los organismos: en etanol de 70°.

c. Ríos y quebradas de difícil acceso o donde no se pueda utilizar Red de Mano

i. Técnica: Sustrato artificial consistente en adoquines dentro de mallas de plástico, según el protocolo de muestreo del Apéndice II.

ii. Número de sustratos por punto de muestreo: 4.

iii. Distancia entre sustratos: 10 metros.

iv. Zona de muestreo: Diferentes micro-hábitats dentro del río.

v. Tiempo de exposición: Mínimo 30 días entre la colocación y la recolección.

vi. Mecanismo de muestreo: Recolección de los sustratos artificiales, limpieza y concentración del material.

vii. Preservación de la muestra: Utilización de etanol de 96°; preservación de los organismos: en etanol de 70°.

En caso de duda de los resultados del muestreo realizado con las metodologías "a" y "b", se deberá recurrir al método de la colecta directa, basado en el muestreo manual con pinzas, por un tiempo de 120 minutos. Se hace una colecta de todo tipo de sustratos encontrados en los diferentes microhábitats, tales como piedras, hojarasca, madera. Con los sustratos de gran tamaño, se podrán recolectar los organismos directamente haciendo uso de las pinzas y con los sustratos pequeños (piedras

pequeñas, hojas por ejemplo), se colocarán dentro de una bandeja blanca, de fondo plano que contiene agua a un nivel que apenas cubra la superficie del fondo. Los organismos en la bandeja con agua, empezarán a moverse, lo que facilita su observación y recolección. Todos los organismos recolectados se colocan en un vial con alcohol de 70°, debidamente rotulado.

Es importante mencionar que el trabajo debe ser realizado por un biólogo colegiado y el material recolectado debe ser depositado en una colección oficial.

El estudio que se realizó en diez micro cuencas ubicadas en el Corredor Biológico Garcimuñoz, distribuidos en los cantones de Mora provincia de San José, poas y Alajuela en la provincia de Alajuela, el período de estudio fue de enero 2016 a noviembre 2017, con la aplicación de la metodología **A.** la cual se aplica a **Ríos y quebradas con profundidades iguales o menores a 1 metro, y ancho igual o menor a 15 metros**, se realizaron un total de 10 recolectas de insectos acuáticos, uno en época lluviosa y uno en época seca, los sitios de muestreo fueron ubicados de acuerdo con las facilidades de acceso tanto para vehículos sencillos como para personas que no cuentan con ningún medio de transporte; con el fin de facilitar la replica futura de los muestreos, generándose la georreferenciación mediante un receptor GPS marca Garmin, utilizando el sistema de posición CRTM 05 así como el mapeo de cada sitio el cual se realizó mediante el programa Arc Gis 9.0.

**Tabla. 1.** Georreferenciación de los sitios muestreados

<b>UBICACIÓN</b>	<b>PUNTO GPS NORTE</b>	<b>PUNTO GPS ESTE</b>	<b>ALTURA M.S.N.M</b>
Río Jaris, cantón de Mora Provincia de San José	1095912	465176	484
Río Picagres, cantón de Mora Provincia de San José	1095775	462813	441
Río Tambor, cantón Alajuela, provincia de Alajuela	1110253	473363	1177
Quebrada Tigre, cantón poas, provincia de Alajuela	111850	475746	1422
Río Ciruelas, cantón Alajuela, provincia de Alajuela	109856	466568	470

Río Póas, cantón de Poas Provincia de Alajuela	115942	475307	1060
Quebrada Honda, cantón de Mora Provincia de San José	109522	473508	490
Río Prendas, cantón Poas, provincia de Alajuela	115480	472652	1140
Río Tizate, cantón Alajuela, provincia de Alajuela	1100193	465229	569
Río Mastate, cantón Poas, provincia de Alajuela	1116143	473800	1188

**Fuente:** Autor (2017)

#### **4.1. Muestreo de insectos acuáticos:**

En cada sitio de muestreo se seleccionaron cuatro micro ambientes: acumulaciones de hojas, fondo rocoso, fondo arenoso y lodoso. Durante treinta minutos, dos personas removieron el sustrato para la captura de los insectos acuáticos corriente abajo en dos redes triangulares Wildco con apertura 305 x 305 x 305mm, bolsa de 152 mm de profundidad y malla de 800 x 900 mm nylon multifilamento (tiempo total de esfuerzo 10min). El material colectado fue separado en bandejas de color claro para distinguir los organismos capturados. Todos los individuos fueron preservados en envases plásticos con alcohol etílico al 70% para su posterior traslado e identificación en el laboratorio de la Universidad Técnica Nacional.

El reconocimiento taxonómico se efectuó mediante el uso de claves taxonómicas disponibles (McCafferty 1981, Edmunds *et al.* 1996, Evans *et al.* 1996, Morse *et al.* 1996, Polhemus 1996, Roldán 1996, Stewart *et al.* 1996, Westfall *et al.* 1996, White *et al.* 1996, Wiggins 1996, Springer *et al.* 2010 en prensa), al nivel más detallado posible, en la mayoría de los casos a nivel de género y los individuos identificados de un mismo taxón se preservaron en frascos individuales con alcohol etílico al 70% con el fin de registrar la abundancia numérica de cada grupo.

Para determinar la calidad del agua se aplicará el índice BMWP-CR, el cual emplea las familias de insectos acuáticos asociadas con los cuerpos de agua (Anexo 1) y está incorporado en la normativa ambiental de Costa Rica, el cual clasifica en 6 colores el nivel del agua monitoreada según sea la cantidad de familias de macroinvertebrados encontrados.

BMWP'-CR	Nivel de Calidad del Agua
>120	Aguas de calidad excelente
101-120	Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible
61-100	Aguas de calidad regular, contaminación moderada
36-60	Aguas de calidad mala, contaminadas
16-35	Aguas de calidad mala, muy contaminadas
<15	Aguas de calidad muy mala extremadamente contaminada

(Reglamento No. 33903 MINAE-5, La Gaceta No. 178)

**Cuadro 1.** Clasificación según cantidad de familias de macroinvertebrados

**Fuente:** Reglamento Número 33903 MINAE-S La Gaceta 178.

## 4.2. Análisis de los datos

Para el análisis de los datos de los Macroinvertebrados se utilizaron las abundancias relativas, con el fin de caracterizar la comunidad en términos de estructura, distribución espacial general, distribución temporal y distribución espacio-temporal. Esto con el fin de obtener una idea de la composición y características de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos de las cuencas seleccionadas.

Para estimar la diversidad entomofaunística se calculará el índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ), de acuerdo, con las especificaciones de Henderson & Seaby (1997). Las diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) de la diversidad genérica total durante el período de estudio para cada par de sitios y fechas de muestreo se calculará mediante la prueba de t, siguiendo los criterios de Magurran (1988).

### **4.3. Métodos de recolección utilizados**

#### **4.3.1. Red de mano o pantalla.**

Consiste en usar una red de más o menos 1 m<sup>2</sup> con un ojo de malla de 500  $\mu$ m aproximadamente; la red está sujeta a dos mangos de madera o aluminio tal como lo muestra la figura. Una persona se coloca en contra de la corriente y sustenta la red con ambas manos, mientras la otra, colocada en dirección de la corriente, remueve el fondo con los pies o con las manos (se recomienda usar guantes fuertes para evitar heridas). El material removido se acumula en la red y con él, las larvas que hayan en el sustrato.

#### **4.3.2. Recolección manual.**

Consiste en levantar rocas, piedras, ramas sumergidas y troncos en cuya superficie se encuentra numerosos organismos adheridos. Los organismos adheridos. Los organismos deben ser tomados con pinzas de aluminio u otro material suave o con la ayuda de pinceles son el fin de no dañar las estructuras externas de los organismos recolectados. El material se guarda directamente en viales o frascos pequeños con alcohol al 70 %. Esta práctica debe repetirse muchas veces hasta cubrir un área que se considere representativa (10 a 15 m<sup>2</sup>). El muestreo se considera suficiente cuando comienzan a aparecer de manera repetitiva los mismos organismos sobre los sustratos.

#### **4.3.3. Red Surber.**

Consta de dos marcos metálicos unidos por bisagras, uno de los cuales se coloca sobre el fondo del sustrato y el otro queda en posición vertical para sostener una red de unos 80 cm. de longitud y con un ojo de malla de aproximadamente 500  $\mu$ m. El marco que se coloca sobre el fondo de la corriente mide por lo regular de 9 m<sup>2</sup> (son referencias de fabricantes), pero puede ser mayor o menor y uno mismo puede construirla; lo importante es disponer de un marco de medidas conocidas para poder calcular el tamaño del área muestreada. Así se podrá conocer posteriormente cuantos organismos se recolectaron por m<sup>2</sup> y de que clases. La red se coloca sin contra de la corriente y se remueve el fondo con la mano; el material recolectado queda atrapado en la red y se vacía luego en un recipiente con alcohol al 70 % para ser separado en el laboratorio.

## 5. RESULTADOS

**Tabla 3.** Distribución y abundancia relativa de los ordenenes de macroinvertebrados ubicados en los muestreos de las microcuencas del Corredor Biológico Garcimuñoz (2017).

Sitio de muestreo	Annelida	Crustacea	Coleoptera	Diptera	Ephemeroptera	Hemiptera	Molusco	Megaloptera	Odonata	Plecoptera	Trichoptera	TOTAL	% A.R
Río Picagres		6		6	32	10	1	10	10	7		82	15,9
Río Mastate	4	2		10	12	6			8			42	8,2
Río Poás		4			23	8	9	3	9		4	60	11,7
Río Jaris		8	10	16	12	14	4		8		5	77	15,0
Río Tizate		6			16		5		10		6	43	8,3
Río Prendas		2			6		6		34		9	57	11,1
Quebrada Honda		4			8	9	7		8			36	7,0
Río Tambor	6	4		8	4	6	4					32	6,2
Queb. Tigre	14			8	2	4	2					30	5,8
Río Ciruelas	10			2		4	40					56	10,9
<b>TOTAL</b>	<b>34</b>	<b>36</b>	<b>10</b>	<b>50</b>	<b>115</b>	<b>61</b>	<b>78</b>	<b>13</b>	<b>87</b>	<b>7</b>	<b>24</b>	<b>515</b>	<b>100</b>
<b>% A.R</b>	<b>6,6</b>	<b>7,0</b>	<b>1,9</b>	<b>9,7</b>	<b>22,3</b>	<b>11,8</b>	<b>15,1</b>	<b>2,5</b>	<b>16,9</b>	<b>1,4</b>	<b>4,7</b>	<b>100,0</b>	

Fuente: A.Arce (2017).

**Tabla 4.** Clasificación BMWP-CR, de los sitios muestreados, familias de macroinvertebrados ubicados en las cuencas del Corredor Biológico Garcimuñoz (2017).

Sitio de muestreo	Annelida	Crustacea	Coleoptera	Diptera	Ephemeroptera	Hemiptera	Molusca	Megaloptera	Odonata	Plecoptera	Trichoptera	BMWP-CR
Río Picagres		Crustacea 5		Psychodidae 3	Leptophlebiidae 8 Baetidae 5 Euthyplocidae 6	Naucoridae 4	Hydrobiidae 3	Corydalidae 6	Polytholidae 9 Anisoptera 6	Perlidae 9		64
Río Mastate	Oligochatea 1	Crustacea 5		Chironomidae 1	Baetidae 5 Caenidae 4	Belostomatidae 4			Libellulidae 6 Polythoridae 9 Lestidae 7 Coenagrionidae 4			46
Río Poas		Crustacea 5	Elmidae 5 Psephenidae 7		Baetidae 5 Euthyplocidae 6 Oligoneuridae 5 Belostomatidae 4	Belostomatidae 4	Hydrobiidae 3	Corydalidae 6	Calopterygidae 4		Hydropsychidae 5	59
Río Jaris		Crustacea 5	Sciitidae 4 Psephenidae 7	Psychodidae 3	Leptophlebiidae 8	Naucoridae 4	Hydrobiidae 3		Libellulidae 6 Polytholidae 9		Hydropsychidae 5	50
Río Tizate		Crustacea 5			Leptohyphida 5		Hydrobiidae 3		Coenagrionidae 4		Hydropsychidae 5	22
Río Prendas		Crustacea 5			Baetidae 5	Naucoridae 4	Hydrobiidae 3		Calopterygidae 4 Libellulidae 6		Hydropsychidae 5	32
Quebrada Honda		Crustacea 5			Baetidae 5	Naucoridae 4	Hydrobiidae 3		Calopterygidae 4			21
Río Tambor	Hirudinea 3	Crustacea 5		Psychodidae 3	Baetidae 5	Naucoridae 4	Hydrobiidae 3					23
Queb. Tigre	Hirudinea 3			Psychodidae 3	Baetidae 5	Naucoridae 4	Hydrobiidae 3					18
Río Ciruelas	Hirudinea 3			Psychodidae 3		Naucoridae 4	Hydrobiidae 3					13

Fuente: A.Arce (2017).

Evidenciando la Tabla 5, se puede observar la variedad de resultados obtenidos en los análisis químicos realizados a los puntos de muestreo realizados en las cuencas del Corredor Biológico Garcimuñoz, se evidencian parámetros con diferencias significativas en los valores del cloro residual combinado así como el cloro residual libre y en lo que respecta a los coliformes fecales estos 10 muestreos se clasifican como de clase 2, pues sus parámetros van de 20 – 1000 Coliformes Fecales (NMP/100 ml). Cabe mencionar que estos análisis fueron realizados por un Laboratorio Certificado y normado por el Reglamento Número 33903 MINAE-S La Gaceta 178, “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, según decreto No. 25018-MEIC, publicado en el Diario Oficial La Gaceta No. 59 del 25 de marzo de 1996.

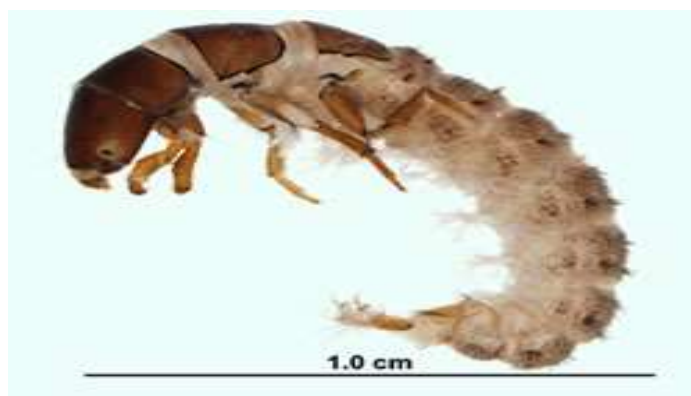
PARAMETROS	Río Picagres	Río Jaris	Río Tambor	Río Ciruelas	Q. Tigre	Río Mastate	Río Poas	Río Prendas	Río Tizate	Río Quebrada Honda
Potencial de Hidrogeno (pH)	8,23	8,11	7,6	7,57	7,82	7.70	7.71	7.81	8.21	7.86
Temperatura	21.8	21.9	22.8	22.4	18.2	19.3	19.5	20.3	24.9	20.9
Turbides	1,87 NTU	0,87 NTU	0,37 NTU	1,1 NTU	0,41 NTU	1,3NTU	1.1 NTU	0,81 NTU	4.2 NTU	1 NTU
Color	<3 CU	<3 CU	<3 CU	<10 CU	<3 CU	15 CU	<5 CU	<15 CU	<10 CU	<5 CU
Olor	Inoloro	Inoloro	Inoloro	Inoloro	Inoloro	Inoloro	Inoloro	Inoloro	Inoloro	Inoloro
Sabor	Insipido	Insipido	Insipido	Insipido	Insipido	Insipido	Insipido	Insipido	Insipido	Insipido
Conductibilidad Electrica	211 mS-cm	242 mS-cm	109 mS-cm	218 mS-cm	159 mS-cm	108 mS-cm	138 mS-cm	137 mS-cm	310 mS-cm	400mS-cm
Cloro Residual Libre	<0,5 mg/L	<0,05 mg/L	<0,05 mg/L	<0,05 mg/L	<0,05 mg/L	<0,19 mg/L	<0,19 mg/L	<0,16mg/L	<0,19 mg/L	<0,3 mg/L
Cloro Residual combinado	0,09 mg/L	0,22 mg/L	0,15 mg/L	0,28 mg/L	0,05 mg/L	0,05 mg/L	0,05 mg/L	0,05 mg/L	0,05mg/L	1.0 mg/L
Coliformes fecales	810 NMP/100mL	100 NMP/100mL	48 NMP/100mL	120 NMP/100mL	64 NMP/100mL	< 1 NMP/100mL	< 1 NMP/100mL	48 NMP/100mL	2.8x10 <sup>1</sup> NMP/100mL	3.5x10 <sup>1</sup> NMP/100mL
Escherichia Coli	< 1 NMP/100mL	< 1 NMP/100mL	< 1 NMP/100mL	< 1 NMP/100mL	< 1 NMP/100mL	< 1 NMP/100mL	< 1 NMP/100mL	< 1 NMP/100mL	< 1 NMP/100mL	< 1 NMP/100mL

Fuente: El Autor 2017.

## 6. Descripción general de los órdenes de macroinvertebrados comunes de las microcuencas del Corredor Biológico Garcimuñoz

### 6.1 Orden Trichoptera.

La mayoría de los tricópteros viven en aguas corrientes, limpias y oxigenadas, debajo de piedras, troncos y material vegetal, algunas especies viven en aguas quietas y remansos de ríos y quebradas. En esta existencia en el fondo, se encuentran absolutamente expuestas a ser arrastradas por la corriente, y por ello, transformarse en alimento para peces y otros depredadores. En su existencia inmadura se dedican a rondar por entre las piedras del fondo, principalmente en los sectores más oxigenados de los ríos, que incluyen los rápidos y aguas más agitadas, especialmente de zonas elevadas. Los tricópteros son insectos que se caracterizan por construir casas o refugios que construyen en un estado larval, los cuales sirven a menudo para su identificación. Las larvas se alimentan de material vegetal, algas y detritos, que se encuentran sobre las rocas. Algunas larvas son depredadoras (Roldán 1992, 1996). En general, son buenos indicadores de aguas oligotróficas, cuando se encuentran junto con efemerópteros y plecópteros, no hay duda de que se trata de ecosistemas en buenas condiciones (Roldán 1992, 1996). Por concordancia etimológica el nombre del orden Trichoptera, hace alusión a los adultos y significa “ala con pelos” (del griego, “trichos” =pelos, “pteron” =alas). Las larvas emplean seda para la construcción de redes y refugios fijos a piedras y palos, frecuentemente portando una trampa de filtración para la captura de alimento como algas, detritos y macroinvertebrados. Consta de las siguientes familias: Dipseudopsidae, Ecnomidae, Hydropsichidae, Stenopsychidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Psychomyiidae, Xiphocentronidae, entre otras.



**Figura 4. Individuo del orden Trichoptera**

**(Fuente: Guevara, M. M. Herrera. 2006).**

## 6.2. Orden Diptera

Es uno de los órdenes más numerosos y diversificados en todo el mundo, ocupando en sus distintos estadios inmensa variedad de nichos ecológicos tanto terrestres como acuáticos, incluyendo parásitos, predadores y degradadores. Aun en una misma familia se puede hallar una gran diversidad (Lopretto y tell, 1995). Su importancia radica en la abundancia de numerosas especies, variedad de hábitos alimenticios, y en su participación como vectores de diversos organismos patógenos al hombre y animales, tanto domésticos como silvestres, causantes de diversas enfermedades de las cuales las más conocidas son: paludismo, oncocercosis, leishmaniasis, fiebre amarilla, encefalitis dengue etc. La familia Simuliidae se destaca por su importancia sanitaria y al igual que la Culicidae y Ceratopogonidae se desarrollan en ambientes acuáticos en donde cumplen además un papel relevante en el ciclo bioenergético (Coscaron, 2001). Forman los principales macroinvertebrados bentónicos, de muchos sistemas de aguas quietas y aguas corrientes y entre ellos, las larvas de quironomidos son particularmente ubicuas en su distribución. La morfología es muy variable así como la biología y la reproducción la respiración de las larvas. Los adultos no son acuáticos, pero la mayoría de sus ciclos vitales incluyen formas inmaduras dulceacuícolas (Wetzel, 1981). Los Díptera Chironomidae comprenden una de las familias mejor representadas por su abundancia y diversidad en los ambientes acuáticos continentales. Sus estados inmaduros (larvas y pupas) constituyen una franja importante en la ecología de la comunidad bentónica de la mayoría de los cuerpos de agua tanto naturales como artificiales, en aguas someras o profundas, corrientes o estancadas, sobre amplias superficies o en pequeños reservorios (Bromeliáceas, axilas de las plantas) motivando el desarrollo de extensos estudios sobre su taxonomía y biología en todo el mundo. Actualmente estos estudios tienen gran importancia para bioindicación, clasificación de lagos, tipificación de ríos y arroyos (Paggi, 2001). El periodo larvario de los dípteros, con tres o cuatro mudas, puede durar desde algunas semanas hasta dos años en las distintas especies, muchas de las cuales pasan el invierno en este estado. La mayoría de especies tienen una sola generación al año, algunas dos y otras pocas tienen un ciclo vital de dos años de duración (Wetzel, 1981).



**Figura 5. Individuos del orden Diptera**

**(Fuente: Guevara, M. M. Herrera. 2006).**

### 6.3. Orden Ephemeroptera (Alas efímeras)

Este nombre hace referencia a la corta vida de los adultos de estos individuos cuyo único fin es la reproducción de acuerdo a Domínguez et al. (2001) los Efemerópteros como consumidores primarios, son un componente importante de la fauna bentónica, tanto en número de individuos como en biomasa. Procesan una cantidad importante de materia orgánica, ya sea triturando las partículas grandes, o filtrando las pequeñas. Estos organismos se pasan prácticamente toda su vida, hasta un año, como ninfas acuáticas y sólo viven como adultos desde pocas horas hasta dos o tres días para alcanzar el apareamiento. Son insectos hemimetábolos, considerados como un grupo primitivo y son los únicos que poseen alas antes de llegar a adultos. Las ninfas de los efemerópteros por lo regular viven en aguas claras, bien oxigenadas con bajo contenido de carga orgánica de desecho y, por tal razón, se consideran indicadores de aguas de buena calidad. Los organismos del orden Ephemeroptera poseen ciertas características que los hacen importantes como indicadores ecológicos de la calidad de hábitat: Presentan una dispersión limitada, quizás porque los adultos son de vida corta, con poca capacidad para volar, y las ninfas son de hábitat acuáticos a los cuales están fuertemente relacionadas, debido a que permanecen adheridas a rocas, hojarasca o sumergidas en el lecho arenoso o lodoso de los cuerpos de agua, por lo tanto, cuando hay alteraciones en el medio que las rodea, toda su actividad es afectada (Zúñiga y Rojas,1995).



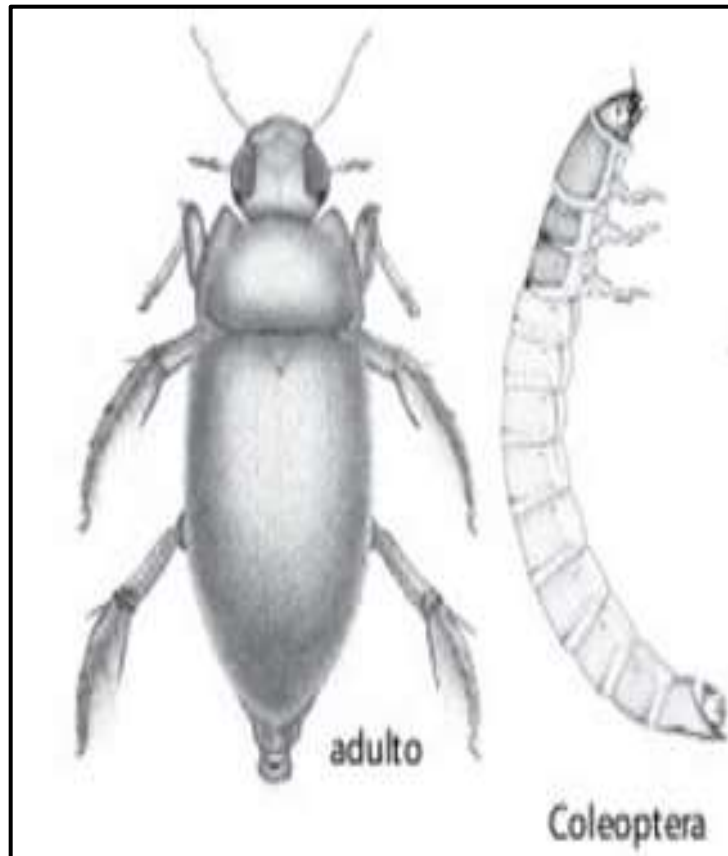
**Figura 6. Individuos del orden Ephemeroptera**

**(Fuente: Domínguez E. & H. Fernández. 2009).**

## 6.4 Orden Coleoptera

Los coleópteros comprenden el mayor orden de insectos en diversidad con alrededor de 300.000 especies, y con aproximadamente 5000 especies acuáticas, es categorizado como uno de los principales grupos de artrópodos de agua dulce. Además, los coleópteros ocupan un amplio espectro de hábitats acuáticos, incluyendo sistemas de aguas frías, de corrientes rápidas, aguas salobres, aguas estancadas de estuarios y ciénagas, y costas rocosas (Merritt y Cummins, 1996). Los coleópteros acuáticos adultos se caracterizan por poseer un cuerpo compacto. Las partes bucales se pueden observar fácilmente y según la forma de las mandíbulas se puede determinar su nicho ecológico. Las antenas son visibles y, por lo general, varían en forma y número de segmentos. El primer par de alas está por lo general modificado en élitros, los cuales cubren dorsalmente el tórax y el abdomen de la mayoría de los coleópteros (Roldán, 1988). En cuanto a las larvas, exhiben formas muy diversas. Las partes bucales son visibles y 80 presentan una cápsula esclerotizada en la cabeza. El abdomen presenta agallas laterales o ventrales de forma variada. Además, está dividido en esternitos y, por lo general, el último esternito abdominal presenta un opérculo (Roldán, 1988). La mayoría de los coleópteros acuáticos viven en aguas continentales lóxicas y lénticas, representadas en ríos, quebradas, riachuelos, charcas, lagunas, aguas temporales, embalses y represas.





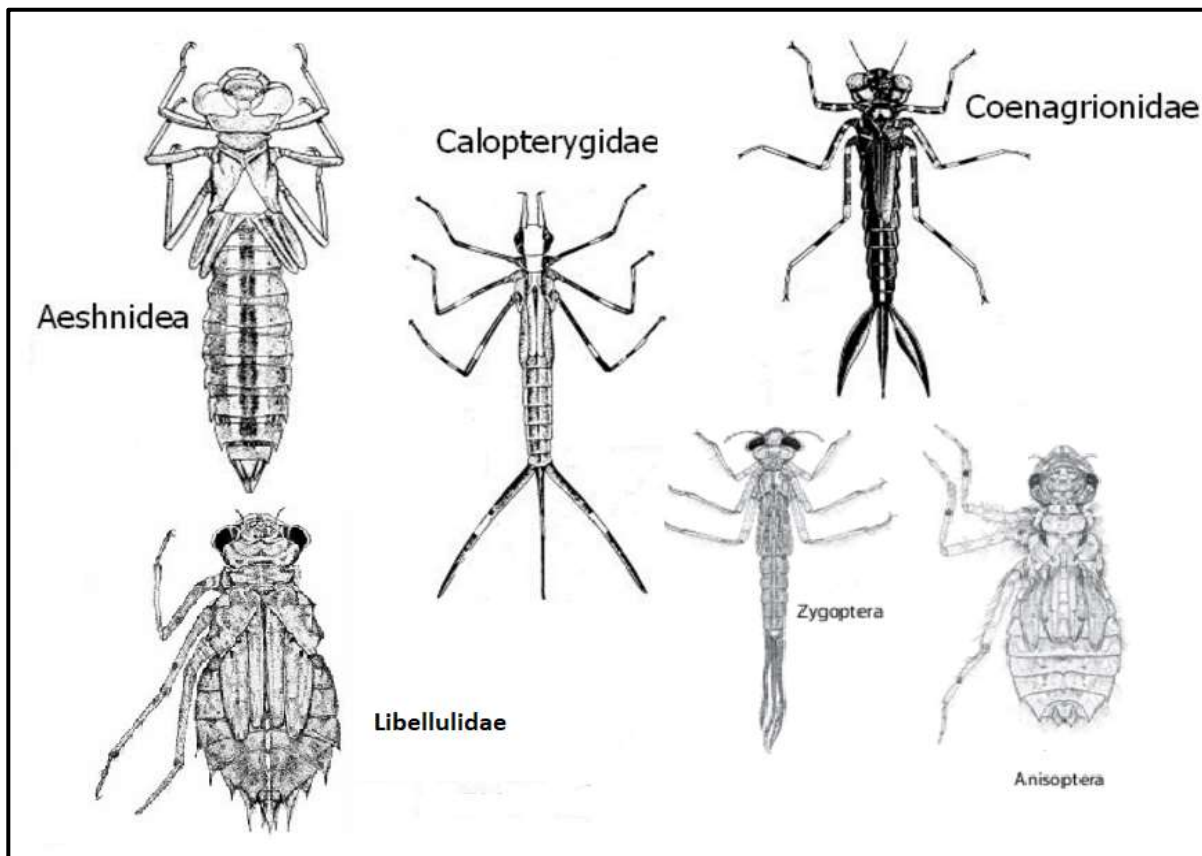
**Figura 5. Individuos del orden Coleoptera**

(Fuente: Domínguez E. & H. Fernández. 2009).

### 6.5. Orden Odonata

Los odonatos, conocidos como libélulas, gallegos, pipilachas o caballitos del diablo, tienen tamaño muy diverso, pero en general son de medianos a grandes (30 a 70 mm). Su cuerpo es largo y delgado y poseen dos pares de alas membranosas, la cabeza es grande y muy móvil, con ojos grandes y brillantes (Esquivel 1997). Las antenas son muy cortas y en forma de pelo, el tórax es robusto e inclinado hacia atrás, por lo cual las alas están localizadas en su parte posterior y las patas en la parte delantera, muy cerca de la boca (Esquivel 1997). Las patas tienen espinas finas y son progresivamente más grandes de adelante hacia atrás. Las alas son generalmente transparentes; poseen muchas venas y una mancha rectangular en el ápice llamada estigma. El abdomen es largo y delgado, un poco más grueso y corto en las hembras. Los machos se distinguen por presentar genitales externos y visibles en la región ventral de los segmentos abdominales 2 y 3, las ninfas acuáticas se caracterizan por presentar aparato bucal del tipo

masticador, con el labium alargado y articulado (pala) formando un robusto órgano prensil para sujetar la presa (Roldán, 1988). La mayoría de los odonatos ponen sus huevos en el agua o cerca de ella de muy diversas formas, algunos son introducidos entre la vegetación acuática o entre la madera podrida, otros pueden ser depositados en masas sobre algún objeto inmediatamente bajo la superficie del agua, o puestos en cintas o anillos en el agua, o introducidos en el barro húmedo cercano a la orilla del agua. Las ninfas de las especies más pequeñas alcanzan la madurez en un año y son carnívoras. Se alimentan de larvas de otros insectos, pequeños crustáceos, renacuajos y hasta pequeños peces. Los adultos son también carnívoros (Del Cet 1999). En Costa Rica se han encontrado cerca de 300 especies distribuidas en dos subórdenes (Anisoptera y Zygoptera) y 14 familias. En general se encuentran desde el nivel del mar hasta alrededor de los 4000 metros, aunque son más abundantes a altitudes medias. En Costa Rica son más diversos en el lado Atlántico, debido quizá a la existencia de más tipos de habitats acuáticos en esa vertiente. (Esquivel 1997)



**Figura 5. Individuos del orden Odonata**

**(Fuente: Domínguez E. & H. Fernández. 2009).**

## 6.6. Orden Plecoptera

Se caracterizan por presentar sus estadios inmaduros (ninfas) totalmente acuáticos y con algunas excepciones ligados exclusivamente a los ambientes lóticos; en estos últimos se encuentran generalmente en aguas rápidas, turbulentas, frías y altamente oxigenadas, es por esta razón que se consideran excelentes bioindicadores de calidad de agua (Fernández y Domínguez, 2001). Las ninfas son acuáticas, similares al adulto, a excepción del desarrollo de las alas y órganos genitales. Presentan el cuerpo alargado, subcilíndrico, a veces deprimido, de tamaño variado (5 a 60 mm) cuando están maduras. La cabeza presenta ojos desarrollados y ampliamente separados. Aparato bucal bien desarrollado en especial en las especies depredadoras. Tórax con patas terminadas en dos uñas y almohadillas alares desarrolladas en las larvas maduras. Las branquias en diferente número y morfología, se ubican a lo largo de todo el cuerpo (mentón, submentón, cuello, tórax, base de las patas, abdomen y región anal) según las distintas especies. Estas branquias pueden persistir como vestigios en el estado adulto, brindando caracteres diagnósticos útiles (Fernández y Domínguez, 2001). La dieta de las larvas también es variada, así pueden ser: herbívoras, detritívoras o carnívoras, alimentándose de plantas acuáticas, algas o detritus o de 82 otros insectos y pequeños animales. Las ninfas herbívoras por lo general son cilíndricas o robustas (Albariño y Balseiro, 1998), mientras que las carnívoras son aplanadas dorsoventralmente (Fernández y Domínguez, 2001).



**Figura 8. Individuos del orden Plecoptera.**

**(Fuente: Domínguez E. & H. Fernández. 2009).**

## 6.7. Orden Hemiptera

Se caracterizan principalmente por un aparato bucal picador chupador armado de un pico, metamorfosis gradual y, por lo general, posesión de alas. Con pocas excepciones los ojos compuestos son grandes, las antenas tienen de cuatro a diez segmentos, los segmentos individuales son frecuentemente largos, presentan dos pares de alas con venación relativamente simple reducida y el abdomen carece de cercos (Ross 1982).

Con excepción de algunas familias en donde la cabeza y el tórax están unidos, como es el caso de Pleidae y Naucoridae, la cabeza el tórax y el abdomen generalmente están bien definidos en los hemípteros acuáticos y semiacuáticos (Merritt y Cummins 1984). Cabeza: Los ojos son usualmente prominentes y bien desarrollados, los ocelos pueden presentarse aunque están ausentes en muchas familias acuáticas pueden presentarse también en las formas aladas de algunas especies semiacuáticas.



**Figura 8. Individuos del orden Hemiptera.**

**(Fuente: Domínguez E. & H. Fernández. 2009).**

## 6.8. Orden Neuroptera

Este orden comprende las familias corydalidae y Sialida, la familia Corydalidae se ha encontrado ampliamente distribuida, principalmente entre los 1.000 y 2.000 m de altura (Roldán, 1988). El tamaño de los individuos de la familia Corydalidae varía entre los 10.0 y 70.0 mm; son tal vez uno de los insectos más grandes y llamativos que se encuentran en el agua. Su coloración es por lo regular oscura. Se caracterizan por poseer un par de mandíbulas fuertes y grandes y por tener un par de propatas anales, lo que los diferencia de la otra familia (Sialidae), la cual posee un solo filamento terminal, los huevos son puestos sobre la vegetación semiacuática. Viven en aguas corriente limpias, debajo de piedras, troncos y vegetación sumergida; son grandes depredadores.

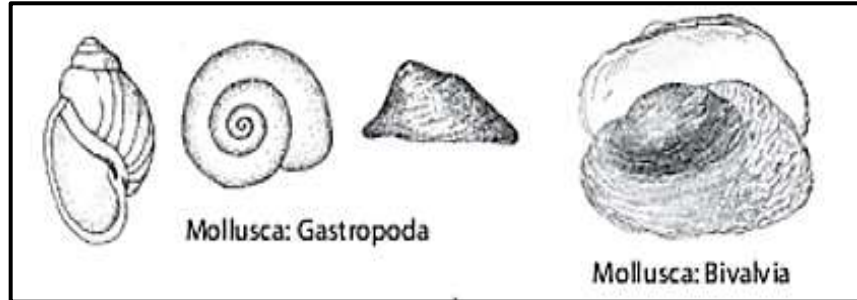


**Figura 9. Individuos del orden Neuroptero.**

**(Fuente: Domínguez E. & H. Fernández. 2009).**

## 6.9. Filo Mollusca

Este filo es muy diverso, de las siete clases cinco son exclusivamente marinas; sólo los caracoles y las almejas incluyen especies dulceacuícolas. Una de las características de los moluscos es una concha de carbonato de calcio, por lo que requieren aguas relativamente alcalinas. (HANSON. SPRINGER. RAMIREZ, 2010).



**Figura 10. Individuos del filo Mollusca.**

(Fuente: Thorp y Covich 2001).

### 6.9.1. Clase Gastropoda

La mayoría de los caracoles son marinos, pero hay varias especies terrestres y aproximadamente 5% viven en agua dulce (Strong *et al.* 2008). Muchos son raspadores que se alimentan de algas unicelulares (perifiton) y/o bacterias adheridas a los sustratos, pero algunos (Ampulariidae) son macroherbívoros. Varían en tamaño desde 2 hasta 70mm y existen dos grupos principales. Los prosobranquios (Neritimorpha y Caenogastropoda) generalmente son grandes, con conchas relativamente gruesas, tienen branquias y a menudo requieren agua con ciertas propiedades físico-químicas. Mientras que los caracoles pulmonados (Heterobranchia) generalmente tienen conchas más pequeñas y delgadas, y en vez de branquias su cavidad de manto funciona como un pulmón para respirar aire; por lo general, ellos pueden tolerar una variedad de condiciones ambientales. Algunos miembros del último grupo (tribu Ancylini, “lapas”) tienen una concha en forma de copa en vez de una concha espiral (HANSON. SPRINGER. RAMIREZ, 2010).

### 6.9.2 Clase Bivalvia

Las almejas son principalmente marinas; solo el 16% de las especies habitan en agua dulce (Bogan 2008). Éstas varían en tamaño de 2 a 180mm y su color puede ser pardo claro, verde, cobrizo o negro. Viven enterrados en el sustrato o fijados a la vegetación acuática. Las almejas utilizan sus branquias no solamente para su respiración, sino también para filtrar fitoplancton y detritus del agua; son más abundantes en aguas no contaminadas. (HANSON. SPRINGER. RAMIREZ, 2010). En contraste con las especies marinas, la mayoría de las almejas dulceacuícolas

han eliminado una etapa planctónica de su ciclo de vida, que sería especialmente problemático en aguas con corriente. Por lo general incuban los huevos entre las branquias; algunas (p. ej. Sphaeriidae) liberan almejas miniaturas, mientras que otras (unionida) liberan larvas que parasitan las branquias de peces (antes de pasar a la etapa adulta).

## 6.10. Filo Annelida

La clasificación tradicional de los anélidos en tres grupos (poliquetos, oligoquetos y sanguijuelas, no se mantiene con los análisis filogenéticos recientes (Zrzavý *et al.* 2009). Los oligoquetos representan un grupo parafilético, aunque junto con las sanguijuelas forman un grupo monofilético, la clase Clitellata, que incluye la gran mayoría de los anélidos dulceacuícolas y terrestres. Los poliquetos, otro grupo parafilético, son principalmente marinos aunque incluyen algunas pocas especies dulceacuícolas (<2% de las especies en total), las cuales son muy escasas (Glasby & Timm 2008). La mayoría de los oligoquetos son terrestres (lombrices de tierra), pero 22% de las especies viven en agua dulce y algunas pocas son marinas (Martin *et al.* 2008). Las especies dulceacuícolas generalmente son pequeñas (1mm hasta algunos centímetros) y detritívoras en los sedimentos del fondo. Aproximadamente un 70% de las especies de sanguijuelas viven en agua dulce y las demás son marinas o terrestres (Sket & Trontelj 2008); son ectoparásitas o depredadoras de otros animales.

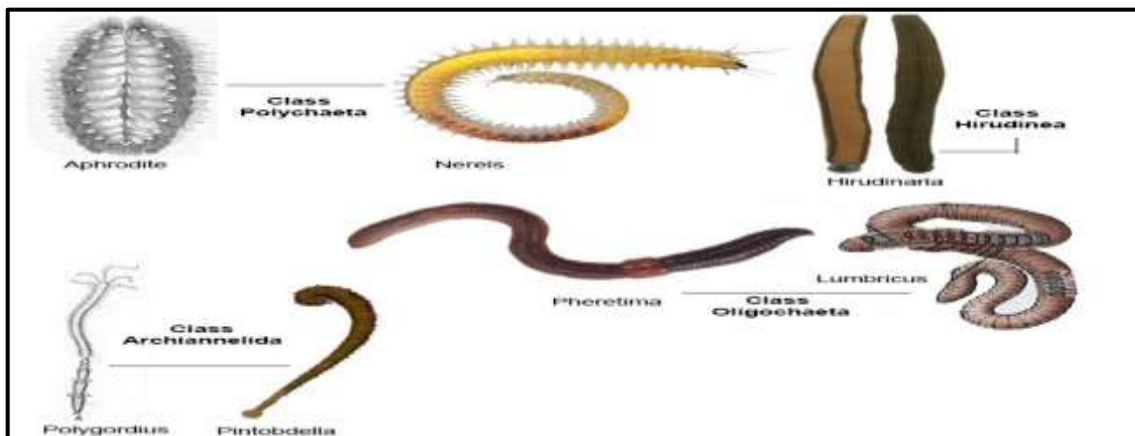


Figura 10. Individuos del filo Annelida.

(Fuente: [www.kullabscom](http://www.kullabscom) 2017).

## 6. CONCLUSIONES

Se logró evidenciar como el muestreo efectuado en las microcuencas que se ubican en el cantón de Mora en la provincia de San José (Río Picagres y Río Jaris) presentan la mayor cantidad de familias e individuos de macroinvertebrados acuáticos, por lo que resultan las menos contaminadas, no sin antes evidenciar que sus rangos no son los óptimos pues presentan aguas de color verde y amarilla respectivamente según en BMW-CR, en ambos sitios se produce la recreación masiva de pobladores que visitan estas áreas lo fines de semana y días feriados, con el fin de disfrutar tiempo libre con sus familias y apaciguar el calor en las aguas que según las personas son completamente limpias.

En lo que respecta las microcuencas que se ubican en los cantones de Alajuela y Póas en la provincia de Alajuela, los resultados son muy alarmantes, pues los colores que se presentaron fueron el rojo y el naranja con aguas de muy mala calidad y esto se presenta en áreas que son sumamente pobladas donde suponemos que el manejo de agroquímicos, residuos sólidos y vertidos líquidos están afectando ampliamente las comunidades de macroinvertebrados que se desarrollan en estos ambientes.

Se evidenció que la época de recolección de macroinvertebrados acuáticos influye mucho con respecto a la época en la cual se realice dicho muestreo pues durante la época seca (febrero y abril) la recolección fue más biodiversa con un 70% de los individuos recolectados y la época lluviosa correspondiente a los meses de setiembre y noviembre mantuvo un invierno muy marcado que propicio periodos de temporales e inclusive la presencia de un Huracan el cual afecto el territorio nacional, se evidencio mucho arrastre de sedimento y residuos sólidos en las 10 estaciones de muestreo, esto influyo mucho en la recolección de los macroinvertebrados.

El 27 de febrero del 2016 se desarrolló la capacitación teórica la cual conto con 17 alumnos de primer ingreso de la Carrera de Gestión Integral del Recurso Hídrico además de 5 miembros del Corredor Biológico Garcimuñoz, se utilizaron como insumos para las prácticas de identificación, parte de las muestras de macroinvertebrados colectadas en los Ríos Jaris y Picagres, es importante el seguimiento y actualización de conocimientos que se le de a este grupo de personas capacitadas los cuales pueden aplicar la metodología a futuro y comparar sus resultados así como aportar acciones para mejorar la calidad y cantidad del recurso hídrico presente en el Corredor Biológico Garcimuñoz.

Se resalta la importancia del agua dulce como fuente de agua potable, para riego, energía hidroeléctrica, agroindustria, recreación y otras, no requiere discusión, pero hay que destacar la importancia de los macroinvertebrados en los diferentes procesos biogeoquímicos que mantiene la

cantidad y calidad de estas aguas. Por lo tanto, la conservación de estos ecosistemas es para nuestro propio bienestar, motivo por el cual destaco los resultados de esta investigación los cuales ayudaran a propiciar acciones que mejoren la calidad y variedad de los organismos que estarán viviendo en estos ecosistemas dulceacuícolas presentes en el Corredor Biológico Garcimuñoz.

Con el fin de facilitar futuros monitoreos, se logró georeferenciar y mapear, los 10 sitios de muestreo de macroinvertebrados acuáticos, esta información servirá para ubicar con precisión y eficiencia a los futuros profesionales que colaboren en el seguimiento de esta investigación.

Un reto que se debe de asumir a corto plazo por parte del autor, la Universidad Técnica Nacional y el Consejo Local del Corredor Biológico Garcimuñoz, será el difundir y exponer los resultados tanto con los pobladores de las comunidades vecinas, Gobierno local y los actores involucrados con el fin de gestionar estrategias ó planes de acciones que promuevan la mejora del las cuencas monitoreadas así como incorporar monitoreos periódicos que sirvan para cuantificar el estado poblacional de los macroinvertebrados que determinan la calidad del agua.

## **7. RECOMENDACIONES**

Se debe de incorporar el apoyo de otras carreras de la Universidad Técnica Nacional, para que asuman de manera integral estudios ó acciones que propicien la mejora continua de la calidad del recurso hídrico en el Corredor Biológico Garcimuñoz.

Incorporar a las futuras investigaciones estudios químicos, orgánicos y biológicos más detallados que aporten mayor información para que pueda ser comparada con los parámetros y lineamientos que ya están definidos en el Reglamento Número 33903 MINAE-S La Gaceta 178 y que clasifican detalladamente la calidad del recurso hídrico que se esta muestreando.

Los análisis químicos realizados en las 10 estaciones de muestreo aportan información muy importante con parámetros que influyen en la toma de desiciones a corto y mediano plazo, pero se deberán de incorporar pruebas más amplias que aporten mayor información ya que recordemos que con este estudio se aportará línea base para organizaciones no gubernamentales, gobiernos locales e instituciones públicas puedan direccionar estarategias o planes que propicien la mejora continua de las cuencas monitoreadas.

Se debe de incorporar en los planes reguladores municipales, los estudios que detallen la situación actual de las cuencas y microcuencas ubicadas en el Corredor Biológico Garcimuñoz, con el fin de que se incluya información importante para la toma de desiciones y la restructuración de

actividades que puedan estar afectando la calidad del recurso hídrico de los cantones de Mora, Alajuela y Póas.

Se debe de promover el estudio integral de las cuencas y microcuencas del Corredor Biológico Garcimuñoz, con el fin de aprovechar la información de línea base que se esta generando así como propiciar el fortalecimiento de fuentes de información que promuevan el financiamiento y la ejecución de proyectos que fomenten la conservación del recurso hídrico.

Se debe de diseñar una estrategia ó plan de acción que promueva el fortalecimiento del Corredor Biológico Garcimuñoz, en el cual contenga acciones directas en el campo de la extensión y educación ambiental, investigación, reforestación, manejo de residuos sólidos, manejo de cuencas hidrográficas y que integre las Organizaciones comunales, Gobiernos locales e instituciones públicas y privadas trabajando por un objetivo en común.

## 7. ANEXOS.

### Puntajes para las familias identificadas en Costa Rica

PUNTUACIÓN	ORDEN	FAMILIAS
9	Odonata Ephemeroptera Diptera Plecoptera Trichoptera	Polythoridae Blephariceridae; Athericidae Heptageniidae Perlidae Lepidostomatidae; Odontoceridae; Hydrobiosidae; Ecnomidae
8	Ephemeroptera Odonata Trichoptera Blattodea	Leptophlebiidae Cordulegastridae; Corduliidae; Aeshnidae; Perilestidae Limnephilidae; Calamoceratidae; Leptoceridae; Glossosomatidae Blaberidae
7	Coleoptera Odonata Trichoptera Crustacea	Ptilodactylidae; Psephenidae; Lutrochidae Gomphidae; Lestidae; Megapodagrionidae; Protoneuridae; Platystictidae Philopotamidae Talitridae; Gammaridae
6	Odonata Molusco Trichoptera Ephemeroptera	Libellulidae Corydalidae Hydroptilidae; Polycentropodidae; Xiphocentronidae Euthyplociidae; Isonychidae
5	Lepidoptera Trichoptera Coleoptera Ephemeroptera Crustacea Tricladida	Pyralidae Hydropsychidae; Helicopsychidae Dryopidae; Hydraenidae; Elmidae; Limnichidae Leptohiphidae; Oligoneuriidae; Polymitarcyidae; Baetidae Crustacea Turbellaria
4	Coleoptera  Diptera  Hemiptera Odonata Ephemeroptera Hydracarina	Chrysomelidae; Curculionidae; Haliplidae; Lampyridae; Staphylinidae; Dytiscidae; Gyrinidae; Scirtidae; Noteridae Dixidae; Simulidae; Tipulidae; Dolichopodidae; Empididae; Muscidae; Sciomyzidae; Ceratopogonidae; Stratiomyidae; Tabanidae; Belostomatidae; Corixidae; Naucoridae; Pleidae; Nepidae; Notonectidae; Calopterygidae; Coenagrionidae, Caenidae Hydracarina
3	Coleoptera Diptera Molusco Annelida Crustacea	Hydrophilidae Psychodidae Valvatidae; Hydrobiidae; Lymnaeidae; Physidae; Planorbidae; Bithyniidae; Bythinellidae; Sphaeridae Hirudinea: Glossiphonidae; Hirudidae; Erpobdellidae Asellidae
2	Diptera	Chironomidae; Culicidae; Ephydriidae
1	Diptera Annelida	Syrphidae Oligochatea (todas las clases)

El **BMWP-CR** (*Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica por Astorga, Martínez, Springer y Flowers*) es un índice que se calcula sumando las puntuaciones asignadas a los distintos taxones encontrados en las muestras de macro invertebrados y que se citan en el listado del Cuadro anterior.

#### Anexo 4. Decreto Ejecutivo 33903.

**Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales**

**Datos generales:**

**Ente emisor:** Poder Ejecutivo

**Fecha de vigencia desde:** 17/09/2007

**Versión de la norma:** 1 de 1 del 09/03/2007

**Datos de la Publicación:**

**Nº Gaceta:** 178 **del:** 17/09/2007

**No. 33903-MINAE-S.**

**EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA  
EL MINISTRO DE AMBIENTE Y ENERGÍA  
Y LA MINISTRA DE SALUD**

De conformidad con los artículos 50 y 140 incisos 3 y 18 de la Constitución Política; 64 y 65 de la Ley Orgánica del Ambiente No. 7554 del 4 de octubre de 1995; 49 de la Ley de Biodiversidad No. 7788 de 30 de abril de 1998; 2 de la Ley General de Salud No. 5395 del 30 de octubre de 1973, 17 de la Ley de Aguas No. 276 de 27 de agosto de 1942 y 27 inciso 1 de la Ley General de Administración Pública No. 6227 de 02 de mayo de 1978.

**CONSIDERANDO**

1. Que la protección del recurso hídrico incide positivamente en la salud humana y los ecosistemas, lo cual es un elemento sustancial para alcanzar el desarrollo sostenible del país.
2. Que la calidad de algunos cuerpos de agua superficial del país han sufrido un deterioro progresivo, poniendo en riesgo a las especies originarias de los ecosistemas acuáticos continentales.
3. Que dado el grado de contaminación citado en el considerando anterior, se hace imposible, en muchos casos, el uso de esta agua para diferentes fines como lo son el consumo domiciliar, industrial, el riego, la pesca y la recreación.
4. Que la calidad de algunos tramos de ríos de Costa Rica puede perjudicar la salud pública de las poblaciones adyacentes.

5. Que muchas de las especies originarias de los ecosistemas acuáticos continentales del país están en alto riesgo por la calidad del ambiente acuático.
6. Que es necesario definir un control para la contaminación de los cuerpos de agua basado en una clasificación del agua, fundamentada en la prioridad de su uso.
7. Que los organismos del bentos son uno de los grupos de vida acuática más representativos de las aguas tropicales, fáciles de muestrear y de identificar.
8. Que es imperativo recuperar y conservar la integridad física, química y biológica de los cuerpos de agua superficiales de Costa Rica, con el fin de que estas aguas puedan ser utilizadas para diferentes fines sociales, económicos y ambientales que contribuyan al desarrollo del país, asegurando una mejor calidad de vida para todos sus ciudadanos.
9. Que es urgente desarrollar estrategias, con el fin de alcanzar la recuperación y conservación de los cuerpos de agua en función de los diferentes usos definidos en el presente Reglamento y según la clasificación dada a las cuencas respectivas por el organismo encargado.
10. Que resulta imperativo lograr una mejoría significativa en la calidad del agua que se desemboca en la zona costera.

**POR TANTO,**

**DECRETAN**

**El siguiente:**

# “REGLAMENTO PARA LA EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DE CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES”

## CAPITULO I ASPECTOS GENERALES

### **Artículo 1.- OBJETIVOS.**

El presente Decreto tiene como objetivo fundamental reglamentar los criterios y metodología que serán utilizados para la evaluación de la calidad de los cuerpos de agua superficiales y que ésta permita su clasificación para los diferentes usos que pueda darse a este bien.

### **Artículo 2.- ÁMBITO DE APLICACIÓN**

La metodología y criterios de evaluación y clasificación contemplados en este reglamento, se aplicará a todos los cuerpos de agua superficiales del país.

**Artículo 3.- DEFINICIONES.** Se establecen las siguientes definiciones para la mejor interpretación del presente Reglamento:

- a) **ANÁLISIS BIOLÓGICO:** Se refiere a los resultados del análisis microbiológico y de organismos bentónicos.
- b) **BENTOS:** Flora o fauna que vive en el fondo de cualquier ecosistema acuático de agua dulce, salobre o salado. Puede arrastrarse, socavar o mantenerse atado sobre cualquier sustrato.
- c) **CAUDAL ECOLÓGICO:** Caudal de mantenimiento, es el caudal que hay que dejar en un río aguas abajo de cada aprovechamiento de regulación o derivación (modificación del régimen natural) para que se mantenga un nivel admisible de desarrollo de la vida acuática.
- d) **COLIFORME FECAL:** Bacilo gramnegativo no esporulado, que puede desarrollarse en presencia de sales biliares u otros agentes tensoactivos con propiedades similares de inhibición de crecimiento; no tienen citocromo oxidasa y fermentan la lactosa con producción de ácido, gas y aldehído a temperaturas de 44 o 44,5 °C, en un período de 24 a 48 horas. También se les designa como Coliformes Termo-resistentes o Termotolerantes.
- e) **CUERPO DE AGUA SUPERFICIAL:** Es todo aquel manantial, río, quebrada, arroyo permanente o no, lago, laguna, embalse natural o artificial, turbera o, pantano de agua dulce.

- f) **DBO<sub>5</sub>**: Demanda Bioquímica de Oxígeno, es una medida aproximada de la cantidad de materia orgánica bioquímicamente degradable presente en una muestra de agua, se define por la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos aeróbicos presentes en la muestra para oxidar la materia orgánica a una forma inorgánica estable. Debe ser medido a los cinco días y a 20 grados centígrados.
- g) **DQO**: Demanda Química de Oxígeno, es una medida equivalente al oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica, en una muestra de agua que es susceptible a oxidación por un oxidante químico fuerte como el dicromato (en medio ácido y en presencia de una fuente de calor).
- h) **ENTE COMPETENTE**: Ministerio de Ambiente y Energía. (MINAE)
- i) **HABITAT**: Es el espacio físico o lugar de condiciones muy propias. Es el lugar donde vive o el lugar donde se buscaría un organismo.
- j) **MACROINVERTEBRADO BENTÓNICO**: Organismo acuático perteneciente al grupo de los invertebrados que vive adherido al sustrato y con un tamaño tal que puede ser observado sin necesidad de equipo óptico de aumento.

## **CLASIFICACIÓN Y MONITOREO DE LOS CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES.**

**Artículo 4.- PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS PARA LA CLASIFICACIÓN INICIAL O RECLASIFICACIÓN.** Se establecen como parámetros físicos-químicos de análisis requeridos para la clasificación inicial o reclasificación de un cuerpo de agua, el porcentaje de saturación de Oxígeno, la Demanda Bioquímica de Oxígeno y el Nitrógeno Amoniacal, parámetros contemplados en el Índice Holandés de Valoración de la Calidad para los cuerpos de agua superficiales.

## **Artículo 5.- PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS COMPLEMENTARIOS**

Además de los parámetros mencionados en el artículo anterior, se establecen como parámetros físicos, químicos y biológicos de análisis complementario, junto con sus valores, los referidos en el Cuadro 1. Estos parámetros se deberán analizar en aquellos casos en que el Ministerio de Ambiente y Energía o el Ministerio de Salud, lo consideren necesario en resguardo del medio ambiente y/o la salud humana.

**Cuadro 1. Parámetros complementarios para la determinación de la calidad de las aguas de cuerpos superficiales para las clases establecidas en el presente Reglamento.**

<b>Parámetros Complementarios (Unidades)</b>	<b>Clase 1</b>	<b>Clase 2</b>	<b>Clase 3</b>	<b>Clase 4</b>	<b>Clase 5</b>
Turbiedad (UNT)	<25	25 a <100	100 a 300	(1)	(1)
Temperatura (°C)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Potencial de hidrógeno (pH)	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5	6,0 a 9,0	5,5 a 9,5	5,5 a 9,5
Nitratos, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg N /L )	<5	5 a <10	10 a <15	15 a <20	>20
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	<20	20 a <25	25 a <50	50 a <100	100 a 300
Cloruros (como Cl) (mg/L)	<100	100 a 200	NA	NA	NA
Fluoruros (como F) (mg/L)	<1,0	1 a 1,5	NA	NA	NA
Color (Pt-Co)	2,5 a 10	10 a 100	(1)	(1)	(1)
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	<10	10 a 25	25 a 100	100 a 300	>300

<b>Parámetros Complementarios (Unidades)</b>	<b>Clase 1</b>	<b>Clase 2</b>	<b>Clase 3</b>	<b>Clase 4</b>	<b>Clase 5</b>
Sólidos Disueltos (mg/L)	<250	250 a <500	500 a 1000	>1 000	> 1 000
Grasas y Aceites (mg/L)	ND	ND	ND	ND	15 a 25
Sustancias activas al azul de metileno (mg/L)	ND	ND	ND a 1	1 a 2	2 a 5
Arsénico (mg/L)	< 0,01	< 0,01	0,01 a 0,05	> 0.05	>0,05
Boro (mg/L)	0,1	0,2	0,5	1	1
Cadmio (mg/L)	<0,005	0,005	0,01	0,02	0,02
Cianuro (mg CN <sup>-</sup> /L)	<0,1	0,1 a <0,2	0,2	>0,2	>0,2
Cobre (mg/L)	<0,5	0,5 a <1	1,0 a 1,5	1,5 a 2,0	2,0 a 2,5
Cromo Total (mg/L)	<0,05	0,05	0,20	0,50	>0,5
Magnesio mg MgCO <sub>3</sub> / L	<30	30 a 50	> 50	> 50	> 50
Mercurio (mg/L)	<0,001	0,001	0,002	0,004	0,005
Níquel (mg/L)	<0,05	0,05	0,1	0,2	0,3
Plomo (mg/L)	<0,03	0,03 a <0,05	0,05 a <0,10	0,10 a <0,20	0,20
Selenio (mg/L)	<0,005	0,005 a <0,010	0,010 a <0,020	0,020 a <0,050	0,050
Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) <sup>-2</sup> (mg/L)	<150	150 a 250	>250	>250	>250
<b>Parámetros orgánicos</b>					
Sumatoria de los Compuestos Organoclorados (mg/L)	ND	ND	ND	0,01	0,01
Sumatoria de los Compuestos Organofosforados (mg/L)	ND	ND	ND	0,01	0,01
<b>Biológicos</b>					
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	< 20	20 a 1000	1000 a 2000	2000 a 5000	>5000

ND: No detectable por el método utilizado.

NA: No aplicable

(1) Natural o que no afecte el uso indicado

**Artículo 6.- CLASIFICACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA CALIDAD DEL AGUA.** Para la clasificación de la calidad de los cuerpos de agua en una de las cinco categorías definidas en el presente Reglamento se utilizará el Índice Holandés de Valoración de la Calidad del Agua para Cuerpos Receptores. Los niveles Calidad serán determinados según la metodología presentada en el Apéndice I.

### **CAPITULO III CRITERIOS PARA LA DEFINICIÓN DE LOS USOS DE LOS CUERPOS DE AGUA SUPERFICIAL.**

**Artículo 7.- DE LOS USOS**

De acuerdo a la clasificación de la calidad de los cuerpos de agua superficial, se establecen cinco categorías de usos del agua:

**Cuadro 2. Clasificación de los Cuerpos de Agua según el uso potencial, y tratamiento que requiera.**

<b>Usos</b>	<b>Clase 1</b>	<b>Clase 2</b>	<b>Clase 3</b>	<b>Clase 4</b>	<b>Clase 5</b>
Abastecimiento de agua para uso y consumo humano	Con tratamiento simple con desinfección	Con tratamiento convencional	Con tratamiento avanzado	No utilizable	No utilizable
Abastecimiento de agua para actividades industriales destinadas a la producción de algunos alimentos de consumo humano	Sin tratamiento previo o con tratamiento simple de desinfección	Con tratamiento convencional	Con tratamiento avanzado	No utilizable	No utilizable
Abastecimiento de agua para abrevadero y actividades pecuarias.	Sin limitaciones	Sin limitaciones	Sin limitaciones	Con limitaciones	No utilizable
Actividades recreativas de contacto primario.	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Acuicultura.	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Fuente para la Conservación del equilibrio natural de las comunidades acuáticas.	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable

Usos	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Fuente para la protección de las comunidades acuáticas.	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Generación hidroeléctrica.	Utilizable	Utilizable	Utilizable	Utilizable con limitaciones	Utilizable con limitaciones
Navegación.	No utilizable	No utilizable	Utilizable	utilizable	Utilizable
Riego de especies arbóreas, cereales y plantas forrajeras.	Utilizable	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable
Riego de plantas sin limitación, irrigación de hortalizas que se consumen crudas o de frutas que son ingeridas sin eliminación de la cáscara.	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable

Pese a las limitaciones que puedan surgir: se deberá tomar en cuenta el análisis de los parámetros complementarios para su definición.

#### **Artículo 8.- DE OTROS USOS**

Para cualquier otro uso no especificado en el cuadro anterior o en casos particulares que sean debidamente justificados por el interesado, el Ministerio de Ambiente y Energía podrá definir los usos apropiados a una calidad específica, en tanto se haga la consulta al Comité Técnico de Revisión que se crea en el artículo 21 de este Reglamento, quien emitirá su recomendación al respecto.

#### **Artículo 9.- MODIFICACIÓN EN LA ASIGNACIÓN**

Cuando la protección de la Salud Pública y del Medio Ambiente así lo requiera, y con la debida justificación técnica, el Ministerio del Ambiente y Energía podrá modificar la asignación de uso de un cuerpo de agua de una calidad determinada.

## **CAPÍTULO IV DE LA METODOLOGÍA PARA TOMA DE MUESTRAS DE AGUA**

### **Artículo 10.- MÉTODOS ANALÍTICOS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS**

Para los efectos de este Reglamento, los métodos de referencia para la toma de muestras y para los análisis de aguas superficiales serán los contenidos en la última edición de los “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, según decreto No. 25018-MEIC, publicado en el Diario Oficial La Gaceta No. 59 del 25 de marzo de 1996.

## **CAPÍTULO V DEL MONITOREO BIOLÓGICO**

### **Artículo 11.- CLASIFICACIÓN BIOLÓGICA DE LA CALIDAD DE LOS CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES**

El presente Reglamento establece como organismos indicadores de la calidad del agua a los grupos representantes de los macro invertebrados bentónicos.

### **Artículo 12. – DEL RESPONSABLE DEL MUESTREO Y DEL ANÁLISIS**

El responsable de la toma y el análisis de la muestra de organismos bentónicos deberá ser un profesional en Biología incorporado al Colegio de Biólogos.

### **Artículo 13. – METODOLOGÍA DE MUESTREO**

El presente Reglamento define tres metodologías de muestreo en función de las características físicas de los cuerpos de agua, y una metodología alternativa en caso de duda de los resultados obtenidos, habiendo aplicado las metodologías “a” y “b”. Las metodologías son:

- a. Ríos y quebradas con profundidades iguales o menores a 1 metro, y ancho igual o menor a 15 metros.
  - i. Técnica: Red de mano con malla de 500  $\mu$ m. y apertura de 20 a 25 cm.
  - ii. Zona de muestreo: Diferentes micro-hábitats dentro del río.
  - iii. Mecanismo de muestreo: muestra compuesta de tres sub-muestras con red de mano, cada una recolectada en un tiempo de 5 minutos. El muestreo se realiza con el desplazamiento por los micro-hábitats identificados en el

- sitio, removiendo el fondo del río y colectando el material removido en la proceder a una división aleatoria de la muestra, en la cual cada submuestra será representativa de la muestra total.
- iv. Preservación de la muestra: con etanol de 96°; preservación de los organismos: en etanol de 70°.
- b. Ríos y quebradas con profundidades mayores a 1 metro, y ancho mayor a 15 metros.
- i. Técnica: Red de mano con malla de 500 µm. y apertura de 20 a 25 cm.
  - ii. Zona de muestreo: Orillas hasta 1 metro de profundidad, ubicando diferentes micro-hábitats dentro del río, removiendo el fondo del río y colectando el material removido en la red.
  - iii. Mecanismo de muestreo: Muestra compuesta de tres sub-muestras con red de mano, cada una recolectada en un tiempo de 5 minutos. El muestreo se realiza con el desplazamiento por los micro-hábitats identificados en el sitio, removiendo el fondo del río y colectando el material removido en la red. En caso de que el volumen de la muestra resulte inmanejable, se podrá proceder a una división aleatoria de la muestra, en la cual cada submuestra será representativa de la muestra total.
  - iv. Preservación de la muestra: Utilización de etanol de 96°; preservación de los organismos: en etanol de 70°.
- c. Ríos y quebradas de difícil acceso o donde no se pueda utilizar Red de Mano
- i. Técnica: Sustrato artificial consistente en adoquines dentro de mallas de plástico, según el protocolo de muestreo del Apéndice II.
  - ii. Número de sustratos por punto de muestreo: 4.
  - iii. Distancia entre sustratos: 10 metros.
  - iv. Zona de muestreo: Diferentes micro-hábitats dentro del río.
  - v. Tiempo de exposición: Mínimo 30 días entre la colocación y la recolección.
  - vi. Mecanismo de muestreo: Recolección de los sustratos artificiales, limpieza y concentración del material (ver protocolo de muestreo).
  - vii. Preservación de la muestra: Utilización de etanol de 96°; preservación de los organismos: en etanol de 70°.

En caso de duda de los resultados del muestreo realizado con las metodologías “a” y con pinzas, por un tiempo de 120 minutos. Se hace una colecta de todo tipo de

“b”, se deberá recurrir al método de la colecta directa, basado en el muestreo manual

con pinzas, por un tiempo de 120 minutos. Se hace una colecta de todo tipo de

sustratos encontrados en los diferentes micro-hábitats, tales como piedras, hojarasca, madera. Con los sustratos de gran tamaño, se podrán recolectar los organismos directamente haciendo uso de las pinzas y con los sustratos pequeños (piedras pequeñas, hojas por ejemplo), se colocarán dentro de una bandeja blanca, de fondo plano que contiene agua a un nivel que apenas cubra la superficie del fondo. Los organismos en la bandeja con agua, empezarán a moverse, lo que facilita su observación y recolección. Todos los organismos recolectados se colocan en un vial con alcohol de 70°, debidamente rotulado.

#### **Artículo 14. – DEL ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS BENTÓNICAS**

Para el análisis de las muestras de organismos macro invertebrados bentónicos se deberá seguir la metodología establecida en la última edición de los “Rapid Assesment Biological Protocols” de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos de América.

#### **Artículo 15. – DE LA IDENTIFICACIÓN DE LOS ORGANISMOS BENTÓNICOS**

Todos los organismos bentónicos recolectados deberán ser identificados hasta el máximo nivel taxonómico posible. El mínimo nivel que se aceptará es el de familia, con excepción del Filo Annelida.

#### **Artículo 16. - PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS BENTÓNICOS**

Los resultados del análisis de las muestras de organismos bentónicos deberán ser presentados en forma cuantitativa y cualitativa, detallando:

- a. Lista taxonómica de los organismos encontrados
- b. Número total de organismos – Abundancia
- c. Número total de taxa – Riqueza biológica
- d. Valor de Índice Biológico: BMWP-CR (“Biological Monitoring Working Party” modificado para Costa Rica), calculado con base en la Metodología descrita en el Apéndice III.

#### **Artículo 17. – DE LA COLECCIÓN DE LAS MUESTRAS BIOLÓGICAS**

Todas las muestras biológicas recolectadas en los monitoreos deberán ser entregadas al Museo de Zoología de la Escuela de Biología de la Universidad de Costa Rica o al Museo Nacional.

## **CAPÍTULO VI DE LOS RESULTADOS**

### **Artículo 18. – ACERCA DEL CONTENIDO DE LOS REPORTES DE CALIDAD**

Los reportes de calidad de aguas superficiales deberán contener la información solicitada en el protocolo de campo del Apéndice IV y los resultados de los Índices Físico-Químico y Biológico.

### **Artículo 19. – DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA**

La calidad físico-química y biológica de un cuerpo de agua superficial se establecerá haciendo uso del Índice de Clasificación Holandés de Valoración y el Índice Biológico (BMWP-CR).

### **Artículo 20.- COMPATIBILIDAD EN LOS RESULTADOS DE LOS ÍNDICES**

En aquellos casos en que el valor del Índice de Clasificación Holandés y el valor del Índice Biológico presenten una diferencia de más de una clase entre ellos, el muestreo se deberá repetir por una vez, en un período no mayor a 30 días naturales. En caso de que se mantenga la diferencia de clases se clasifica en la de menor calidad.

## **CAPÍTULO VII DE LAS COMPETENCIAS**

### **Artículo 21.- Comité Técnico de Revisión**

Créase el Comité Técnico de Revisión del Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de los Cuerpos de Agua Superficiales, el cual estará integrado por un máximo de dos representantes, titular y suplente, y de orientación técnica afín al contenido del presente Reglamento, cada uno de ellos proveniente de las siguientes instituciones:

- a. Ministerio de Ambiente y Energía
- b. Ministerio de Salud
- c. Ministerio de Agricultura y Ganadería
- d. Representación de los Gobiernos Locales a través del IFAM
- e. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
- f. Otros Entes administradores de Alcantarillado Sanitario (EAAS)

- g. Instituto Costarricense de Electricidad
- h. Consejo Nacional de Rectores
- i. Colegio de Químicos de Costa Rica
- j. Colegio de Microbiólogos y Químicos Clínicos de Costa Rica
- k. Colegio de Biólogos de Costa Rica
- l. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos
- m. Unión Costarricense de Cámaras y Asociaciones de la Empresa Privada.
- n. Cámara de Agricultura y Agroindustria
- o. Organizaciones no Gubernamentales

### **Artículo 22.- Funciones Comité Técnico de Revisión**

Serán funciones del Comité Técnico de Revisión:

- a) Asesorar a las entidades competentes en todo lo relativo a la aplicación de este Reglamento.
- b) Revisar y proponer modificaciones al presente Reglamento.
- c) Deliberar, proponer y justificar técnicamente la incorporación de parámetros adicionales al Índice Físico-Químico de Clasificación para los Cuerpos de Agua Superficiales.

La organización interna de este comité se regirá según lo contemplado en los artículos 49 y siguientes de la Ley General de la Administración Pública.

### **Artículo 23: Ente competente**

El Ministerio de Ambiente y Energía en coordinación con el Ministerio de Salud, será el responsable de:

- a) Aplicar el presente Reglamento
- b) Mantener a disposición de cualquier interesado las actualizaciones de los métodos, parámetros e índices incluidos en el presente Reglamento.
- c) Disponer y resolver sobre el dominio, aprovechamiento, utilización, gobierno o vigilancia de las aguas de dominio público.
- d) Coordinar y buscar financiamiento para la realización de los análisis científicos que sean necesarios para lograr la clasificación y re-clasificación programadas.
- e) Realizar las acciones necesarias para que la evaluación y clasificación de los cuerpos de agua sea informado y difundido a todas las instancias responsables de toma de decisiones, relacionadas con el recurso hídrico.
- f) Convocar y coordinar al Comité Técnico de Revisión del Presente Reglamento con una periodicidad no mayor de tres años.

## **CAPÍTULO VIII: DISPOSICIONES FINALES**

### **Artículo 24.-Vigencia.**

Rige a partir de su publicación.

### **TRANSITORIO ÚNICO**

Dentro del plazo de un año a partir de la publicación del presente Reglamento, el Comité Técnico Revisor deberá considerar otros parámetros adicionales para incorporar al Índice Físico-Químico de Clasificación para los Cuerpos de Agua Superficiales en el que considere los parámetros más representativos del cuadro 1, con el fin de lograr un Índice que permita evaluaciones con resultados más realistas sobre la calidad hídrica del recurso.

## **APÉNDICE I**

### **METODOLOGÍA DEL SISTEMA HOLANDÉS DE VALORACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA**

El Sistema Holandés de Clasificación para la Calidad del Agua permite trasladar información de concentraciones de las variables de mayor importancia en la valoración de la contaminación orgánica en una corriente de agua, como es la Demanda Bioquímica de Oxígeno, el Nitrógeno Amoniacal y el Oxígeno disuelto convertido en Porcentaje de saturación de Oxígeno por medio del Oxígeno Real *In Situ* y el valor teórico dado por la temperatura y la presión atmosférica en el sitio de estudio, a un código de colores asignado a cada clase.

Este modelo de clasificación desde el punto de vista espacial, permitirá situar a un tramo particular del río, en una clasificación específica y temporalmente dependiente, ya que la clasificación obtenida en época lluviosa no se corresponderá con la observada durante el estiaje. El organismo competente a su vez deberá definir la época en la cual tendrán que realizarse las clasificaciones, así como garantizar la permanencia en el cauce de un caudal ecológico.

Para clasificar un agua superficial se requiere sumar los puntos correspondientes en cada uno de los ámbitos respectivos, de cada una de las variables de acuerdo al siguiente cuadro.

**Cuadro 3. Cuadro de asignación de puntajes según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físico-Química del Agua para cuerpos receptores.**

<b>PUNTOS</b>	<b>PSO (%)</b>	<b>DBO (mg/L)</b>	<b>N-NH<sup>4+</sup> (mg/L)*</b>
<b>1</b>	91 - 100	<= 3	< 0.50
<b>2</b>	71 - 90 111 - 120	3.1 – 6.0	0.50 – 1.0
<b>3</b>	51 - 70 121 - 130	6.1 – 9.0	1.1 – 2.0
<b>4</b>	31 - 50	9.1 – 15	2.1 – 5.0
<b>5</b>	<= 30 y > 130	> 15	> 5.0

**\* Nitrógeno amoniacal**

**PSO:** Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto, O.D. Se obtiene de la relación entre el O.D. real obtenido en el sitio de medición y el O.D. teórico correspondiente a la condición de agua limpia a la presión atmosférica y la temperatura en el mismo sitio de medición.

**DBO<sub>5</sub>:** Demanda Bioquímica de Oxígeno, obtenida en condiciones estándar de 20°C e incubación durante 5 días.

La suma obtenida de puntos se traslada seguidamente a un código de colores con el cual queda clasificada la calidad del agua del cuerpo receptor de acuerdo al grado de contaminación propio según el siguiente cuadro.

Finalmente para cada clase desde la 1 a la 5 y su asignación correspondiente de color queda definida desde el estado de calidad no contaminada hasta aquel totalmente contaminado.

#### Cuadro 4.

**Cuadro de asignación de clases de calidad del agua según el Sistema Holandés de codificación por colores, basado en valores de PSO, DBO y nitrógeno amoniacal.**

<b>Clase</b>	<b>Sumatoria de puntos</b>	<b>Código de Color</b>	<b>Interpretación de Calidad</b>
1	3	Azul	Sin contaminacion
2	4 - 6	Verde	Contaminacion incipiente
3	7 - 9	Amarillo	Contaminacion moderada
4	10 - 12	Anaranjado	Contaminacion severa
5	13 - 15	Rojo	Contaminacion muy severa

## APÉNDICE II

### METODOLOGÍA DE LOS SUSTRATOS ARTIFICIALES

#### 1. Colocación y Tiempo de Exposición

- a) En cada estación de muestreo se coloca un juego de sustratos artificiales consistente en cuatro adoquines, cada uno dentro de una malla de plástico suave; las medidas de los adoquines son 0,1 m de alto, 0,2 m de largo y 0,08 m de ancho lo que representa un área total de 0,088 m<sup>2</sup>/adoquín.
- b) Los sustratos artificiales se ubicaran en el lecho del canal o quebrada, atados unos a otros por medio de una cuerda no degradable y con una distancia mínima de 10 m uno del otro.
- c) Este juego de sustratos permanece dentro del agua por un período de un mes antes de su recuperación.

#### 2. Colecta

- a) Se recupera el conjunto malla-adoquín del agua de forma rápida y segura, depositándolo inmediatamente en un contenedor plástico.
- b) Se extrae el adoquín de la malla plástica y se limpia suavemente con un cepillo o brocha de cerdas suaves.

- c) Se limpia la malla agitándola vigorosa pero cuidadosamente en el agua contenida en el contenedor, hasta que todos los organismos que se encontraban adheridos a la superficie se depositen en el contenedor.
- d) Posterior al lavado del sustrato, cada una de las muestras resultantes se hace pasar por un filtro de malla de 250  $\mu\text{m}$ , dentro del cual se lava para eliminar todo el material particulado fino.
- e) El material retenido en la malla luego del lavado se trasvasa a un recipiente plástico de 500 ml y se preserva con etanol al 96% (puro).

### APÉNDICE III

#### ÍNDICE BMWP-CR

El **BMWP-CR** (*Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica por Astorga, Martínez, Springer y Flowers*) es un índice que se calcula sumando las puntuaciones asignadas a los distintos taxones encontrados en las muestras de macro invertebrados y que se citan en el listado del Cuadro 5. La puntuación se asigna en función del grado de sensibilidad a la contaminación.

**Cuadro 5. Puntajes para las familias identificadas en Costa Rica.**

9	O Polythoridae D Blephariceridae; Athericidae E Heptageniidae P Perlidae T Lepidostomatidae; Odontoceridae; Hydrobiosidae; Ecnomidae
8	E Leptophlebiidae O Cordulegastridae; Corduliidae; Aeshnidae; Perilestidae T Limnephilidae; Calamoceratidae; Leptoceridae; B Glossosomatidae Blaberidae
7	C Ptilodactylidae; Psephenidae; Lutrochidae O Gomphidae; Lestidae; Megapodagrionidae; Protoneuridae; T Platystictidae Cr Philopotamidae Talitridae; Gammaridae
6	O Libellulidae M Corydalidae T Hydroptilidae; Polycentropodidae; Xiphocentronidae E Euthyplociidae; Isonychidae

5	L Pyralidae T Hydropsychidae; Helicopsychidae C Dryopidae; Hydraenidae; Elmidae; Limnichidae E Leptohyphidae; Oligoneuriidae; Polymitarciidae; Baetidae Cr Crustacea Tr Turbellaria
4	C Chrysomelidae; Curculionidae; Haliplidae; Lampyridae; Staphylinidae; D Dytiscidae; Gyrinidae; Scirtidae; Noteridae Dixidae; Simuliidae; Tipulidae; Dolichopodidae; Empididae; H Muscidae; O Sciomyzidae; Ceratopogonidae; Stratiomyidae; Tabanidae E Belostomatidae; Corixidae; Naucoridae; Pleidae; Nepidae; Hi Notonectidae Calopterygidae; Coenagrionidae Caenidae Hidracarina
3	C Hydrophilidae D Psychodidae M Valvatidae; Hydrobiidae; Lymnaeidae; Physidae; o Planorbidae; Bithyniidae; Bythinellidae; Sphaeriidae A Hirudinea: Glossiphonidae; Hirudidae; Erpobdellidae Cr Asellidae
2	D Chironomidae; Culicidae; Ephydriidae
1	D Syrphidae A Oligochatea (todas las clases)

Nota: 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: Molusco.

La clasificación de las aguas según este índice adquiere valores comprendidos entre 0 y un máximo indeterminado que, en la práctica no suele superar 200.

En función de este puntaje se establecen 6 niveles de Calidad para el Agua (los dos primeros pertenecen al grupo de aguas no contaminadas).

**Cuadro 6. Clasificación de la Calidad del Agua en Función del Puntaje Total Obtenido**

<b>NIVEL DE CALIDAD</b>	<b>BMW P'</b>	<b>Color Representativo</b>
Aguas de calidad excelente.	>120	Azul
Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible.	101-120	Azul
Aguas de calidad regular, eutrófia, contaminación moderada.	61-100	Verde
Aguas de calidad mala, contaminadas.	36-60	Amarillo
Aguas de calidad mala, muy contaminadas.	16-35	Naranja
Aguas de calidad muy mala extremadamente contaminadas.	<15	Rojo

#### **APÉNDICE IV**

#### **PROTOCOLO DE CAMPO DEL MUESTREO**

- 1. Localización:**
- 2. Municipalidad:**
- 3. Nombre del cuerpo de agua:**
- 4. Sitio de muestreo:**
- 5. Hoja Cartográfica:**
- 6. Función (uso) del curso de agua/sitio de muestreo:**
- 7. Responsable del muestreo:**
- 8. Fecha:**
- 9. Hora:**

## 10. Tipología del curso de agua

- A. Tipo: curso inicial-medio-bajo-desembocadura.
- B. Río/quebrada (tierra baja, montaña), canal, estanques, laguna, lago, otros\_\_\_\_\_.
- C. Ancho: \_\_\_\_\_m. Profundidad: \_\_\_\_\_m. Pendiente: \_\_\_\_\_-\_\_\_\_\_.
- D. Velocidad del agua: rápido, moderado, lento, estancado (\_\_\_\_\_m/s).
- E. Nivel de agua en función de: marea, precipitación, estación de bombeo, inundación\_\_\_\_\_.
- F. Estructura del banco: natural, pedregoso, gavión, crecimiento a través de piedras, concreto\_\_\_\_\_.
- G. Tipo de sustrato: concreto (\_\_\_%), piedras-arena gruesa (\_\_\_%), arena (\_\_\_%), arcillo-lodoso (\_\_\_%), limoso (\_\_\_%).
- H. Condición del sustrato: limpio, cubierto con material orgánico, precipitación de lodo o sedimento.
- I. Presencia de materia orgánica: Si\_\_\_\_\_ No\_\_\_\_\_.
  - a) Descripción del tipo de materia orgánica: Paquetes de hojarasca, particulado fino.
- J. Trabajos de ingeniería: canalizado, regulado, extracción de material\_\_\_\_\_.

## Vegetación

- K. Expuesta: abierta, semi-abierta, cubierta (\_\_\_\_\_ % de superficie iluminada).
- L. Vegetación acuática:\_\_\_\_\_.
- M. Vegetación en el banco:\_\_\_\_\_.

## 11. Ambiente en los alrededores: agrícola, industrial, residencial, otros.

## Estado de la contaminación.

A. Caracterización visual: ninguna, mediana, moderada, contaminada, muy contaminada.

B. Presencia de: desechos orgánicos, espumas, aceites, organismos muertos, desechos sólidos.

C. Fuentes de contaminación: doméstica, industrial, agrícola, otras.

D. Presencia de peces: \_\_\_\_\_.

E. Observación personal: \_\_\_\_\_.

F. Referencia: \_\_\_\_\_.

G. Color \_\_\_\_\_ del \_\_\_\_\_ agua: \_\_\_\_\_  
Olor: \_\_\_\_\_.

H. Transparencia: clara, turbia, muy turbia, no trasparente \_\_\_\_\_

## 12. Muestreo.

A. *Técnica de muestreo*: I. Red de mano:

II. Sustrato Artificial:

III. Draga:

B. *Condiciones ambientales:*

I. Antes del muestreo: \_\_\_\_\_.

II. Durante el muestreo: \_\_\_\_\_.

C. *Otros comentarios:* \_\_\_\_\_.

13. **Figura del sitio de muestreo:** (Hacer el croquis del sitio de muestreo)

Dado en la Presidencia de la República, a los nueve días del mes de marzo del dos mil siete.

Oscar Arias Sánchez

Roberto Dobles Mora  
Ministro del Ambiente y Energía

María Luisa Ávila Agüero  
Ministra de Salud

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Alonso A. 2006. Valoración del efecto de la degradación ambiental sobre los macroinvertebrados bentónicos en la cabecera del río Henares. Departamento de Ecología. Universidad de Alcalá, 28871. Alcalá de Henares. Madrid. España.

Carrera, R. C. Fierro, P. K. (2001). *Manual de monitoreo los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Editorial EcoCiencia. Quito. Ecuador.

Chaves, R. 2007. Efectos de las represas hidroeléctricas sobre las comunidades de macroinvertebrados. Tesis de MSc en Biología. Universidad de Costa Rica. San Pedro. Costa Rica.

Diario oficial de Costa Rica 2007 La Gaceta electrónica N° 178. Decreto N° 33903-MINAE-S septiembre del 2007. Imprenta nacional. La Uruca. San José. Costa Rica.

Darrigran, G. A Vilches. T. Legarralde y C. Damborenea. 2007 Guía técnica para el estudio de macroinvertebrados. Métodos de colecta y técnicas de fijación, serie técnica N° 10. ProBiota, FCN, UNLP La Plata. Buenos Aires. Argentina.

Domínguez E. & H. Fernández. 2009. Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos. Sistemática y Biología. Fundación Miguel Lillo. Tucumán. Argentina.

Guevara, M. M. Herrera. 2006. Evaluación de macroinvertebrados bentónicos (insectos acuáticos) en el río Toro, Río Cuarto, Alajuela. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.

HANSON, Paul; SPRINGER, Monika and RAMIREZ, Alonso. Capítulo 1: Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Rev. biol. trop* [online]. 2010, vol.58, suppl.4, pp. 3-37. ISSN 0034-7744.

Merritt, R.W. K.W. Cummins & M.B. Berg. 2008. An introduction to the aquatic insects of North America. Kendall/Hunt. Dubuque. Iowa. USA.

Roldán, G. 1996. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Impreades Presencia S. A. Bogotá. Colombia.

Roldán-Pérez, G. 1988. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia, FEN, Medellín, Colombia.

SANCHEZ O. 2004. Distribución espacial y temporal de los dípteros acuáticos (INSECTA: DIPTERA) en la cuenca del río Coello. Ibagué. Trabajo de grado (Biólogo). Universidad del Tolima. Facultad de Ciencias Básicas. Programa de Biología. Bogota. Colombia.

Springer, M. 2006. Clave taxonómica para las larvas de las familias del orden Trichoptera (Insecta) de Costa Rica. Revista Biología Tropical. Universidad de Costa Rica. San José. Costa Rica.

Vásquez, D. R.W. Flowers & M. Springer. 2009. Life history of five small minnow mayflies (Ephemeroptera: Baetidae) in a small tropical stream on the Caribbean slope of Costa Rica. Universidad de Costa Rica. San José. Costa Rica.

Wallace, J.B. & J.R. Webster. 1996. The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. Annu. Rev. USA.



