



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 2017

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
3. Marco Teórico	7
3.1. El Corredor Biológico Garcimuñoz	
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
Resultados	49
6. Conclusiones	
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 5 muestreos (macroinvertebrados acuáticos y análisis químico) realizados en las cuencas hidrográficas que se ubican en el CBGM, entre ellas río Picagres, río Jarís en el Cantón de Mora provincia de San José y el río Tambor, el río Ciruelas y la Quebrada el Tigre ubicados en la Provincia de Alajuela, se determinó que 4 de las 5 cuencas monitoreadas se encuentran clasificadas en los colores amarillo y naranja los cuales clasifican las aguas como aguas de calidad mala, contaminadas y aguas de calidad mala, muy contaminadas, solamente el río Picagres se clasifica con el color verde (aguas de calidad regular, contaminación moderada) pero con parámetros muy cercanos al color amarillo, dicha información se respalda con los estudios químicos del agua realizadas a cada área monitoreada así como la colección de macroinvertebrados encontrados en los monitoreos biológicos, entre las especies encontradas se encuentran con mucha frecuencia la Colydaridae, Baetidae, Hydrobiidae, Hydraeridae y Naucoridae, las cuales presentan según la metodología BMWP-CR, valores de 4 y 5 puntos que arrojan clasificaciones de aguas contaminadas a muy contaminadas.

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, 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 además de continuar con investigaciones que refuercen los conocimiento aportados con el fin de mejorar a corto plazo las condiciones del recurso hídrico presente en estas cuencas y microcuencas monitoreadas.

2. INTRODUCCIÓN

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 físicoquímicas 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 dificultadas 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 las Cuencas 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 Biomonitorio 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 de este grupo se encuentra el velar por el uso adecuado del recurso hídrico presente en esta región.

3. MARCO TEÓRICO

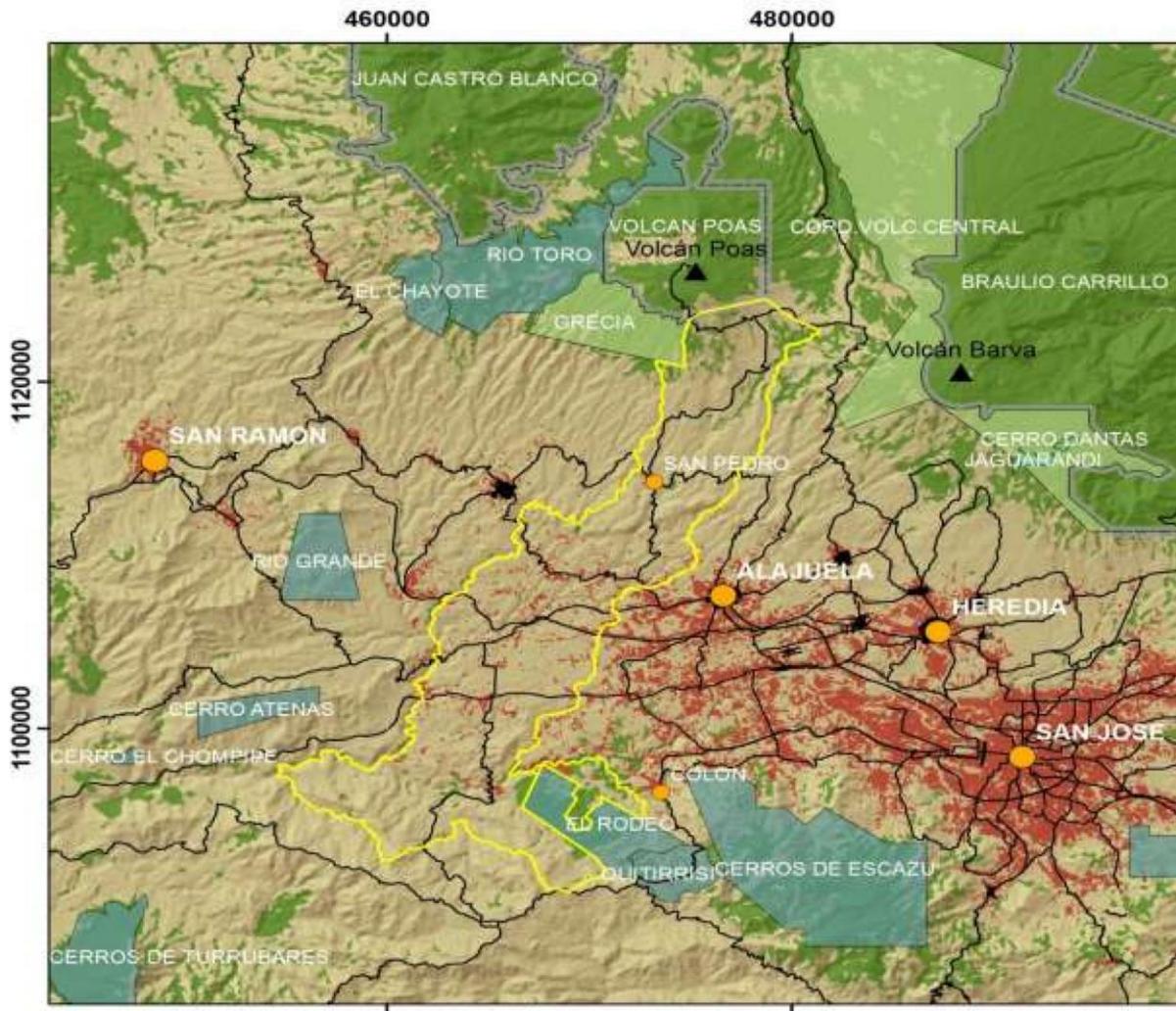
3.1 El Corredor Biológico Garcimuñoz

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 rio 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).

Ubicacion del Corredor Biológico Garcimuñoz

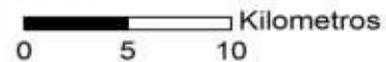


Leyenda

- C.B. Garcimuñoz
- Carreteras principales

Areas Protegidas

- Parque Nacional
- Reserva Forestal
- Refugio Vida Silvestre
- Zona Protectora
- Area urbana 2008
- Bosque



Elaborado por: Achim Haeger
 SFS - CEDS
 Datos:
 NASA
 ITCR 2008
 Bing Maps 2012
 CEDS 2012
 Proyeccion CRTM 05



3.2 Generalidades de los macroinvertebrados

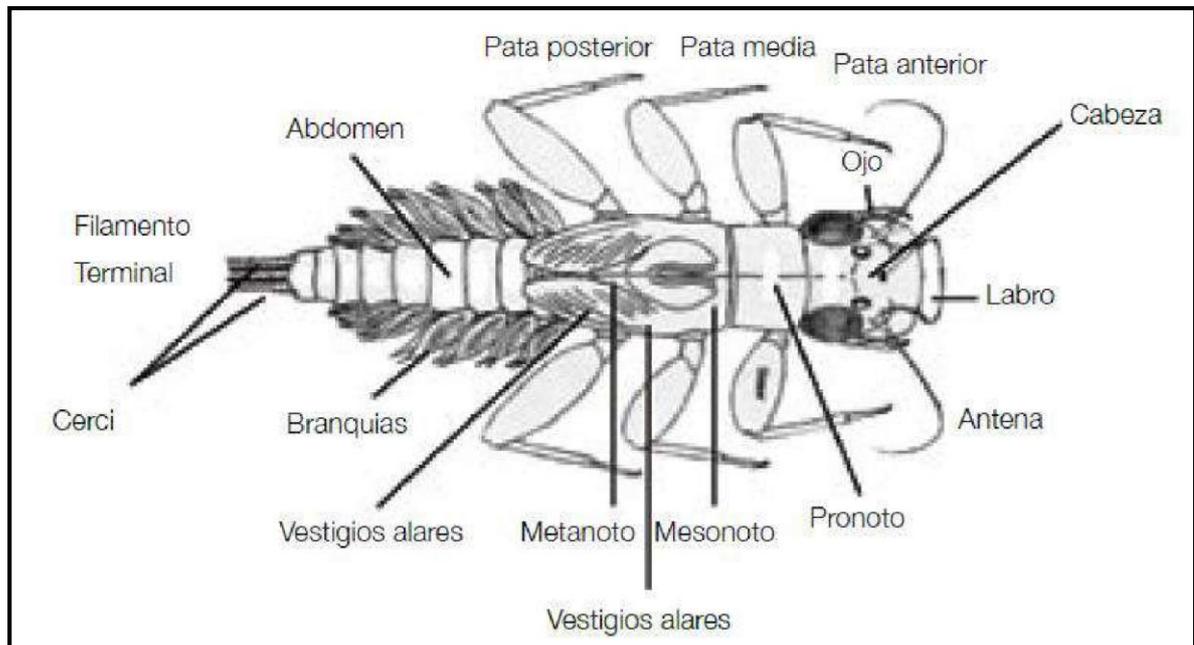
Son aquellos macroorganismos que según su habitad y presencia son utilizados como bioindicadores de la calidad del agua, son larvas de insectos que se pueden ver a simple vista, se llaman macro porque son grandes (miden entre 2 milímetros y 30 centímetros), invertebrados porque no tienen huesos, y acuáticos porque viven en los lugares con agua dulce: esteros, ríos, lagos y lagunas. Estos animales proporcionan 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.

Por ejemplo, las moscas de piedra sólo viven en agua muy limpia y desaparecen cuando el agua está contaminada. No sucede así con algunas larvas o gusanos de otras moscas que resisten la contaminación y abundan en agua sucia. Estos insectos, al crecer, se transforman en moscas que provocan enfermedades como la malaria, el paludismo o el mal de chagas. Los macroinvertebrados incluyen larvas de insectos como mosquitos, mulas del diablo, libélulas o helicópteros, chinches, perros de agua o moscas de aliso. Inician su vida en el agua y luego se convierten en insectos de vida terrestre. Además de los insectos, otros macroinvertebrados son: caracoles, conchas, cangrejos azules, camarones de río, planarias, lombrices de agua, ácaros de agua y sanguijuelas o chupa-sangres. (Carrera Reyes & Fierro Peralbo, 2001).

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).

Algunos tienen muchas patas, por ejemplo, los camarones tienen 10, los ácaros 8 y las mulas del diablo. Otros no tienen patas, como las larvas de mosca. Casi todos los macroinvertebrados tienen colores parecidos al sitio donde viven. Por ejemplo, las conchas tienen colores oscuros, como el lodo que las rodea; las moscas de piedra son café amarillento, como las piedras cercanas. (Carrera Reyes & Fierro Peralbo, 2001).

Figura 1. Partes de un macroinvertebrado en estado larval.



Fuente: Herrera, M. 2005.

3.2.1. Hábitat de los macroinvertebrados

En términos muy generales se distinguen entre las aguas con corriente (ambientes **lóticos**) versus las aguas sin corriente (ambientes **lénticos**). La primera categoría incluye ríos y quebradas mientras que la segunda incluye lagos, lagunas, pantanos y el agua que se acumula en varios tipos de recipientes, desde una bromelia hasta una lata vacía. Se debe notar que puede haber sitios sin corrientes (pozas) en los ríos y por otro lado un lago puede tener olas generadas por el viento. También se distingue entre cuerpos de agua **oligotróficos**, con pocos nutrientes y baja productividad primaria, versus **eutróficos**, con muchos nutrientes y una alta productividad primaria (mucho crecimiento de algas) que a menudo genera niveles bajos de oxígeno durante la noche. Los organismos que viven en aguas con corriente se llaman **reofílicos**, En cuanto a estos ambientes podemos distinguir entre ríos y quebradas **permanentes**, versus **intermitentes** que se secan parcial- o completamente durante una parte del año. Dentro de un río existen **zonas erosionales** donde la corriente se lleva las partículas y **zonas deposicionales** donde la corriente deposita las partículas. Debajo y a los lados del fondo, en la **zona hiporreica**, las aguas del río se pueden mezclar con las subterráneas en los

espacios intersticiales. A veces hay sitios donde el agua fluye en una lámina delgada sobre rocas empinadas, denominada la **zona madícola o higropétrica**. Donde hay cascadas o cataratas hay una **zona de salpicadura** en las rocas expuestas que se mantiene permanentemente mojada, con una comunidad de organismos especialmente adaptados a este tipo de hábitat. En términos generales, los ambientes lóticos, especialmente los ríos de aguas limpias y bien oxigenadas, son los ecosistemas de agua dulce que albergan la mayor diversidad de macroinvertebrados. Los ambientes lénticos poseen en general menos diversidad de microhábitats que los ambientes lóticos. La orilla de una laguna, la **zona litoral**, tiene aguas someras con plantas creciendo en el fondo y a menudo ésta es la única zona que existe en un pantano. Por lo general, la zona litoral contiene el mayor número de especies de macroinvertebrados en los ambientes lénticos. En el área de aguas abiertas podemos distinguir entre las aguas superficiales, donde penetran la luz (**zona limnética**), versus aguas profundas, donde no penetra la luz (**zona profunda**) (Greeney 2001). Un ambiente dulceacuícola especialmente común en los bosques tropicales es el de las aguas contenidas en plantas terrestres (**fitotelmata**). Este ambiente incluye los huecos de árboles, las axilas de hojas como por ejemplo en las plantas de la familia de las bromelias, las brácteas florales (p. ej. *Heliconias*), los frutos caídos y otras partes vegetales caídas en el suelo. La diversidad en ambientes de fitotelmata es alta y las comunidades son complejas (Kitching 2000); se han registrado al menos 70 familias de insectos repartidas en 11 órdenes, la mayoría en Diptera, Coleoptera y Odonata (Greeney 2001); además de anélidos y crustáceos. Sin embargo, estos registros incluyen no solamente insectos acuáticos, sino también semi-acuáticos y a veces terrestres. Algunos insectos acuáticos son restringidos a fitotelmata, como por ejemplo la familia Pseudostigmatidae (Odonata). Las aguas subterráneas (acuíferos y cavernas) contienen más volumen de agua dulce que cualquier otro cuerpo de agua, con la excepción de glaciares. Existen varios organismos llamados **stigobiontes** que están restringidos a este ambiente, por ejemplo ciertas especies de anélidos, nematodos, ácaros, anfípodos, copépodos y otros micro-crustáceos (Gibert & Culver 2009). A nivel local puede haber relativamente pocas especies en estos ambientes pero a nivel regional existe una alta diversidad debido a la fragmentación de los hábitats y la limitada dispersión entre ellos (o sea, un alto nivel de endemismo). Donde las aguas subterráneas emergen en la superficie de la tierra se forman manantiales, los cuales representan un ambiente más para los macroinvertebrados. Por ejemplo, en Costa Rica, un estudio realizado por Goldschmidt (2004) ha revelado que un alto porcentaje de las especies de ácaros dulceacuícolas están restringidas a estos ambientes en particular.

Finalmente, las aguas subterráneas asociadas con actividad geotermal crean manantiales de agua caliente que albergan invertebrados muy particulares. Al parecer, ningún insecto puede

vivir en temperaturas mayores de 50°C y muy pocos aguantan temperaturas mayores de 40°C. En diferentes partes del mundo se han encontrado en aguas termales ciertas especies de Odonata (Coenagrionidae), Hemiptera, Coleoptera (Dytiscidae e Hydrophilidae) y Diptera (Chironomidae, Stratiomyidae y Ephydriidae) (Pritchard 1991), sin embargo, la información sobre estos ambientes en áreas neotropicales es sumamente limitada.

3.2.2. Biología de los macroinvertebrados dulceacuícolas

Los grupos de macroinvertebrados que habitan en agua dulce muestran una gran variedad de adaptaciones, incluyendo importantes diferencias en sus ciclos de vida. Algunos grupos pasan todo, o casi todo, su ciclo de vida en el agua. Ejemplos incluyen chinches (Hemiptera), la mayoría de los escarabajos (Coleoptera; aunque la pupa es generalmente terrestre), crustáceos, moluscos, sanguijuelas y planarias. Por otro lado, los órdenes de insectos Ephemeroptera, Odonata, Plecoptera, Megaloptera, Trichoptera, Lepidoptera y Diptera tienen adultos terrestres. En muy pocos grupos, como Dryopidae (Coleoptera) y Nematomorpha, solo los adultos son acuáticos. El tiempo de desarrollo es altamente variable, dependiendo de la especie y de factores ambientales, como la temperatura del agua y la disponibilidad de alimento, y puede variar desde pocas semanas hasta varios años. En los ambientes

tropicales, los ciclos de vida son por lo general “multivoltinos”, lo que quiere decir que se dan varias generaciones al año, las cuales se traslapan (Vásquez *et al.* 2009). Aquí usualmente no hay una estacionalidad muy marcada en la emergencia de los adultos, como se da en zonas templadas, donde prevalecen los ciclos “univoltinos” o “semivoltinos”, con una o dos generaciones al año. A pesar de ello, existen ejemplos de poblaciones de insectos acuáticos en Costa Rica con ciclos de vida semivoltinos, como *Euthyplocia hecuba* (Ephemeroptera) (Sweeney *et al.* 1995) y univoltinos, como *Cora marina* (Odonata) (Pritchard 1996). Finalmente, algunos grupos realizan migraciones a lo largo de los ríos, e incluso entre los ambientes de agua dulce y de mar. Por ejemplo, algunas especies de crustáceos decápodos necesitan del ambiente marino para el desarrollo del estadio larval y migran nuevamente hacia los ríos como juveniles. Como se mencionó anteriormente, cada capítulo contiene detalles de la biología de los diferentes grupos de macroinvertebrados.

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.

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.

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.

3.2.3. 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. Algunas familias de chinches (p. ej. Gerridae, veliidae) son patinadores en la superficie del agua y otros artrópodos también viven en la superficie, pero se mueven brincando (Collembola) o caminando (Hemiptera-Hydrometridae) y algunas arañas. Aunque son semiacuáticos, estos artrópodos muestran adaptaciones para moverse en la superficie del agua (Bush & Hu 2006), por lo que a menudo se incluyen en los estudios

acuáticos. Los adultos de los coleópteros Gyrinidae viven principalmente en la superficie pero también son capaces de bucear y nadar. Se denomina **hiponeuston** a los que viven justo debajo la superficie, por ejemplo las larvas de zancudos (Culicidae), que permanecen muy cerca de la superficie debido a su modo de respiración, como clasificación de estos individuos se detallan los siguientes:

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.

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.

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 Hydrachnidae, que tienen pelos natatorios en las patas.

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.

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.

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**.

Figura 2. Adaptaciones la vida acuática de los invertebrados.



Figs. 5-10: Adaptaciones a la vida acuática. 5. Larvas rojas de Chironomidae (Diptera), con hemoglobina como pigmento respiratorio. 6. Adulto de Hydrophilidae (Coleoptera) con burbuja de aire ventral. 7, 8. Larvas de Scirtidae (Coleoptera), cargando burbuja de aire y renovando la burbuja en la superficie. 9. Larva de Culicidae (Diptera), con sifón respiratorio al final de su abdomen. 10. Larva de Psephenidae (Coleoptera), con cuerpo aplanado (forma de ventosa) para vivir en la corriente. (Fotos: 5, 7, 8: D. Vásquez; 6: W. Sondermann; 9, 10: K. Nishida).

Fuente: D Vásquez, W. Sonderman y K. Nishida 2014.

3.2.4. Alimentación de los macroinvertebrados

El alimento de los animales de agua dulce se puede originar dentro del ecosistema acuático (autóctono) o venir del terrestre (alóctono). Los herbívoros y carnívoros se alimentan de organismos vivos, mientras que los detritívoros se alimentan de materia orgánica en descomposición (detritus). Dentro de cada una de estas categorías se puede distinguir varios grupos funcionales, basados en su comportamiento alimenticio. Es importante anotar que el comportamiento alimenticio puede cambiar a través del ciclo de vida del animal y que algunos animales ingieren diversos tipos de alimento (son omnívoros).

Los **herbívoros** se alimentan de plantas vasculares acuáticas o de algas filamentosas. Generalmente toman pedazos grandes (>1mm) de tejido vegetal y son llamados **fragmentadores (desmenuzadores)**. Pueden alimentarse externamente o internamente como minadores de tallos u hojas (algunos Chironomidae), o pueden alimentarse de raíces enterradas en los sedimentos (Coleoptera: Curculionidae). Hay muy pocos herbívoros que no son fragmentadores: una especie de Chironomidae que induce agallas en Podostemaceae y algunos homópteros (Hemiptera) semiacuáticos que succionan savia. Otros herbívoros se alimentan de algas microscópicas, son menos especializados y por lo general seleccionan su alimento con base a su tamaño y disponibilidad. Algunos son **filtradores** de partículas en suspensión, que son recolectadas a través de cepillos bucales o redes de seda. Otros son **raspadores** que se alimentan de algas (perifiton) y microbios adheridos a las rocas u otros sustratos; ejemplos incluyen: Heptageniidae (Ephemeroptera), Glossosomatidae y caracoles.

Los **carnívoros** se alimentan de otros animales e incluyen tres categorías: los depredadores, los parasitoides y los parásitos. Entre los macroinvertebrados carnívoros más comunes de agua dulce están los **depredadores**. La mayoría mastican la presa pero algunos le inyectan enzimas y succionan su contenido (chinchas; larvas de los coleópteros Gyrinidae y Dytiscidae; ninfas y adultos de ácaros). A menudo los depredadores poseen adaptaciones morfológicas para capturar la presa, por ejemplo las patas raptorales en chinchas y el labio extensible en Odonata. Algunos filtradores son depredadores cuando se alimentan de animales planctónicos (zooplancton).

Los **parasitoides** son organismos que viven en una asociación íntima con un hospedero y a diferencia de un parásito, siempre lo matan. En contraste con un depredador, la larva de un parasitoide consume un solo individuo. Comparado con los ecosistemas terrestres, este grupo es muy escaso en los ecosistemas acuáticos. Incluye algunas pocas especies de avispidas

(Hymenoptera) que entran al agua para poner su huevo en un insecto acuático o en sus huevos, donde se alimenta y se desarrolla su larva. Este grupo también incluye las larvas de algunos Sciomyzidae (Diptera) que son parasitoides de caracoles.

Igual que el grupo anterior, los **parásitos** son organismos que viven en una asociación íntima con un hospedero, pero generalmente no lo matan (a veces pueden matarlo si la población de parásitos es muy alta). Ejemplos incluyen Sisyridae (Neuroptera) que son parásitos de esponjas (Porifera), Branchiura y algunos Copepoda (Crustacea) en peces, Bopyridae (Isopoda) en las branquias de camarones, las larvas de ácaros en los adultos de insectos acuáticos y las larvas de algunas almejas (unionida) en branquias de peces.

Los **detritívoros** se alimentan de detritus (materia orgánica muerta) e incluyen los siguientes grupos funcionales.

Los **fragmentadores** (desmenuzadores) se alimentan de pedazos (>1mm) de hojas en descomposición o fragmentos de madera, una dieta que incluye muchos microorganismos (bacterias y hongos), lo cual aumenta el valor nutricional de las hojas, ellos convierten estos fragmentos en partículas más finas de materia orgánica.

Los **filtradores** incluyen los animales que utilizan estructuras especializadas del cuerpo (cepillos bucales como en Simuliidae, patas con brochas de setas en algunas Ephemeroptera y Trichoptera, branquias ciliadas en almejas, etc.) o redes de seda (algunos Trichoptera y Chironomidae) que funcionan como filtros para remover partículas finas (<1mm) del agua. Ellos comúnmente aprovechan sitios de corriente fuerte que llevan una mayor cantidad de alimento. Muchos filtradores son más bien omnívoros porque se alimentan tanto de materia viva (fitoplancton y zooplancton) como de materia muerta.

Los **recogedores (recolectores)** son animales que recogen partículas finas (<1mm) depositadas en el agua.

3.2.5. Respiración de los macroinvertebrados

Los ambientes acuáticos tienen menos oxígeno que los ambientes terrestres y la difusión de oxígeno por el agua es mucho más lenta que en el aire. La cantidad de oxígeno disuelto en el agua disminuye conforme aumenta la temperatura y disminuye la corriente. En agua fría pueden haber 15 ppm (partes por millón) de oxígeno mientras que en el aire es 200 000 ppm. Por ello,

los macroinvertebrados tienen una diversidad de adaptaciones para obtener oxígeno del agua en los ambientes acuáticos.

En los insectos el sistema respiratorio consiste en una serie de aberturas (espiráculos) en el cuerpo, donde el aire entra directamente en un sistema de tubos (traqueolos) que se ramifican por todo el cuerpo. Muchos ácaros también tienen un sistema traqueal, pero este evolucionó de forma independiente al sistema de los insectos. En los insectos los espiráculos pueden estar abiertos para utilizar aire (directamente o indirectamente) o bien pueden estar cerrados y efectuar el intercambio de gases por la cutícula. Entre los que tienen los espiráculos abiertos, podemos clasificar cuatro grupos según su estrategia para obtener oxígeno: los que utilizan aire atmosférico, los que utilizan tanto el aire como el oxígeno disuelto en el agua y dos grupos que utilizan solamente el oxígeno disuelto en el agua, en el primer grupo, el insecto mantiene contacto con la superficie del agua o se pone en contacto periódicamente, para obtener oxígeno directamente de la atmósfera. Esto ocurre por ejemplo en las larvas y pupas de zancudos (*Culicidae*) y varias otras moscas, y en las larvas y adultos de algunos escarabajos (*Dytiscidae* e *Hydrophilidae*).

En el segundo grupo, el insecto lleva un suministro de aire en su cuerpo cuando está sumergido. Este aire no es simplemente un tanque de oxígeno, sino también una branquia física que permite la difusión de oxígeno desde el agua hacia el aire atrapado en el cuerpo. Sin embargo, esta carga de aire eventualmente desaparece y el insecto tiene que regresar a la superficie para renovar su suministro. Varios chinches y adultos de escarabajos muestran este tipo de respiración. El tiempo que pueden mantenerse sumergidos depende de la cantidad de oxígeno en el agua y disminuye conforme aumenta el tamaño del insecto. Cuando aumenta la temperatura no solamente disminuye la cantidad de oxígeno en el agua, sino también aumenta el metabolismo del insecto y por lo tanto su demanda de oxígeno. Bajo estas condiciones los insectos pequeños tienen una ventaja, el tercer grupo consiste de insectos que llevan una película permanente de aire (un **plastrón**) encima de su cuerpo. Esta película de aire se forma gracias a pelos cortos que repelen el agua. Esta película de aire sirve como una branquia física que extrae oxígeno del agua. En contraste con el grupo anterior, el aire no desaparece con el paso de tiempo y por lo tanto estos insectos pueden quedarse sumergidos indefinidamente si el agua contiene bastante oxígeno (y si el insecto no tiene una demanda alta de oxígeno). Este grupo incluye los chinches del género *Cryphocricos* (*Naucoridae*) y los adultos de *Dryopidae* y *Elmidae* (*Coleoptera*). El cuarto grupo tiene extensiones de cutícula alrededor de los espiráculos (**branquias espiraculares**) y el aire atrapado sirve como una branquia física al igual que en el grupo anterior. Estas estructuras también sirven para la respiración en el ambiente terrestre y

por lo tanto los insectos con branquias espiraculares (p. ej. pupas de Simuliidae) pueden vivir en quebradas donde el nivel del agua fluctúa.

Muchos otros invertebrados dulceacuícolas utilizan la respiración cutánea y branqueal, pero en vez de traqueolos tienen vasos sanguíneos que llevan el oxígeno a los tejidos. Los caracoles pulmonados han perdido las branquias y en su lugar la cavidad del manto se ha convertido en un pulmón, una adaptación para la respiración terrestre. Los Lymnaeidae y Physidae dependen en gran parte del aire que consiguen en la superficie del agua, y generalmente no pueden vivir a mucha profundidad. Sin embargo, los Planorbidae han evolucionado una branquia secundaria y además tienen hemoglobina, y por lo tanto pueden vivir en aguas con poco oxígeno. Al parecer, los caracoles pulmonados están mejor adaptados al agua con poco oxígeno (p. ej. en charcos o aguas muy contaminadas) que otros caracoles de agua dulce, generalmente restringidos a las quebradas (McMahon 1983).

3.2.6. Osmoregulación de los macroinvertebrados

La osmoregulación consiste en el mantenimiento de concentraciones específicas de sales o iones dentro del cuerpo de los macroinvertebrados de agua dulce pues viven en un medio hipotónico, o sea, el agua tiende a entrar a su cuerpo porque las concentraciones de sales son mayores en su cuerpo que en el medio. Una manera de reducir la entrada de agua es poseer un tegumento impermeable: cutícula con cera en insectos o cutícula con carbonato de calcio en crustáceos. Sin embargo, la respiración cutánea y la respiración branqueal (branquias traqueales en el caso de insectos) requieren de superficies permeables y por las que entra un exceso de agua al cuerpo. Los animales dulceacuícolas eliminan este exceso de agua por medio de una orina muy diluida. Por ejemplo, en el caso de numerosos insectos la orina se forma en los túbulos de Malpighi (que conectan con el intestino) y muchos de los solutos esenciales son reabsorbidos en el recto, antes de salir del cuerpo. En los crustáceos decápodos estos procesos ocurren en un par de glándulas ubicadas en la base del segundo par de antenas (estas glándulas son más grandes en los decápodos dulceacuícolas que en los marinos).

A pesar de la recuperación de solutos (sales o iones), el animal siempre pierde una fracción en la orina y a través de la superficie branqueal. Los solutos son reemplazados por la acción de células especializadas para la absorción de sales. Por ejemplo, Ephemeroptera y Plecoptera tienen células de cloruro en las branquias y el abdomen, mientras que estas células se encuentran en varias partes del cuerpo de chinches. Otros insectos tienen epitelio de cloruro

localizado en el abdomen (Trichoptera) o dentro de la cámara rectal (Odonata: ambos subórdenes). Muchos Trichoptera y Diptera tienen extensiones (papilas), generalmente en la parte posterior del cuerpo (papilas anales, las cuales no deben confundirse con branquias. Las larvas de Dytiscidae (Coleoptera) absorben iones en su intestino, y por lo tanto tienen que tomar agua y excretar mucha orina diluida. Los decápodos reemplazan las sales por absorción a través de las branquias (Bradley 2009).

El problema osmótico es más extremo en las almejas debido a la amplia superficie permeable que poseen en sus branquias y manto. En parte, ellas resuelven este problema por tener la sangre más diluida (con menos concentración de solutos) que cualquier otro animal. Además, las almejas producen una gran cantidad de orina diluida y absorben sales a través de las branquias, se debe notar que los problemas de osmoregulación que enfrentan los animales de agua dulce son opuestos a los enfrentados por los animales marinos. Los últimos requieren diferentes tipos de adaptaciones y por esta razón los animales dulceacuícolas usualmente no pueden tolerar un aumento en la salinidad del agua (Bradley 2009).

3.3. Importancia de los macroinvertebrados

Los macroinvertebrados dulceacuícolas juegan papeles importantes dentro de básicamente todos los procesos ecológicos de los sistemas acuáticos. Energéticamente, las cadenas alimentarias acuáticas se basan en material **autóctono** producido por las algas o bien material **alóctono** que entra al sistema acuático desde afuera. Los macroinvertebrados son un enlace importante para poder mover esta energía a diversos niveles tróficos de las cadenas alimentarias acuáticas. Los macroinvertebrados controlan la productividad primaria de los ecosistemas acuáticos. Ellos consumen gran cantidad de algas y otros microorganismos asociados con el perifiton en ríos o bien con el plancton en lagos. Muchas veces, este consumo aumenta la productividad primaria, ya que se elimina tejido poco productivo y se mineralizan los nutrientes (Wallace & Webster 1996, Allan & Castillo 2007).

En sistemas basados en material alóctono como la hojarasca, los macroinvertebrados fragmentadores son vitales para mover esta energía a otros niveles tróficos. Los fragmentadores utilizan partículas de gran tamaño, como las hojas de árboles que caen al río y las degradan, en el proceso, generan fragmentos pequeños de materia orgánica que son accesibles a otros organismos, como los recolectores y filtradores. Al mismo tiempo, los macroinvertebrados filtradores, como las larvas de Simuliidae (los mismos que son tan fastidiosos como adultos),

remueven partículas finas (seston) del agua y las convierten en partículas fecales más densas que se hunden y proveen alimento para otros invertebrados acuáticos. Estos procesos garantizan que los nutrientes presentes en las partículas no sean exportados del ecosistema y llevados por la corriente al mar (Malmqvist *et al.* 2004, Wotton & Malmqvist. 2001). La deriva, o movimiento río abajo de los macroinvertebrados bénticos en la columna de agua, es un proceso sumamente común e importante en los ecosistemas lóticos (Waters 1972).

Se ha encontrado que los macroinvertebrados entran en deriva por razones de comportamiento (para escapar de depredadores), dispersión (buscar nuevos sitios de alimentación) o como resultado de disturbios (crecidas del río o cambio de la calidad del agua). La cantidad de organismos en deriva puede ser alta y en sitios donde abundan los peces depredadores presentan una periodicidad fuertemente nocturna (Ramírez & Pringle 2001). Aparentemente, los insectos acuáticos compensan este movimiento con uno predominantemente opuesto, río arriba, en el estadio adulto (Hershey *et al.* 1993). Además, algunos estudios indican que las larvas también caminan río arriba y compensan la deriva (Humphries & Ruxton 2002).

La deriva y el vuelo de los insectos adultos son importantes mecanismos en la recuperación o recolonización de los ecosistemas de ríos luego de disturbios naturales y antropogénicos.

Muchos macroinvertebrados dulceacuícolas sirven como alimento para los animales terrestres, como arañas, aves y murciélagos. Por ejemplo, la correa (*Aramus guarauna*) y el elanio caracolero (*Rostrhamus sociabilis*) dependen de ciertas especies de caracoles (Ampullariidae) en pantanos (Guevara, M. M. Herrera. 2006). El mirlo acuático (*Cinclus mexicanus*) se alimenta casi exclusivamente de insectos acuáticos (Harvey & Marti 1993). En algunos sitios los adultos terrestres de los insectos acuáticos representan una proporción significativa de la biomasa de artrópodos de la zona ribereña. Estos insectos son componentes importantes en la dieta de aves y murciélagos e incluso pueden afectar su distribución (Jackson & Resh 1989, Iwata *et al.* 2003). Asimismo, una diversidad de artrópodos terrestres depredan los adultos de insectos acuáticos cuando salen del agua y de hecho pueden tener un efecto apreciable en las poblaciones de los mismos

(Paetzold & Tockner 2005).

3.4. 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.

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.

Varios cangrejos de la familia Pseudothelphusidae 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

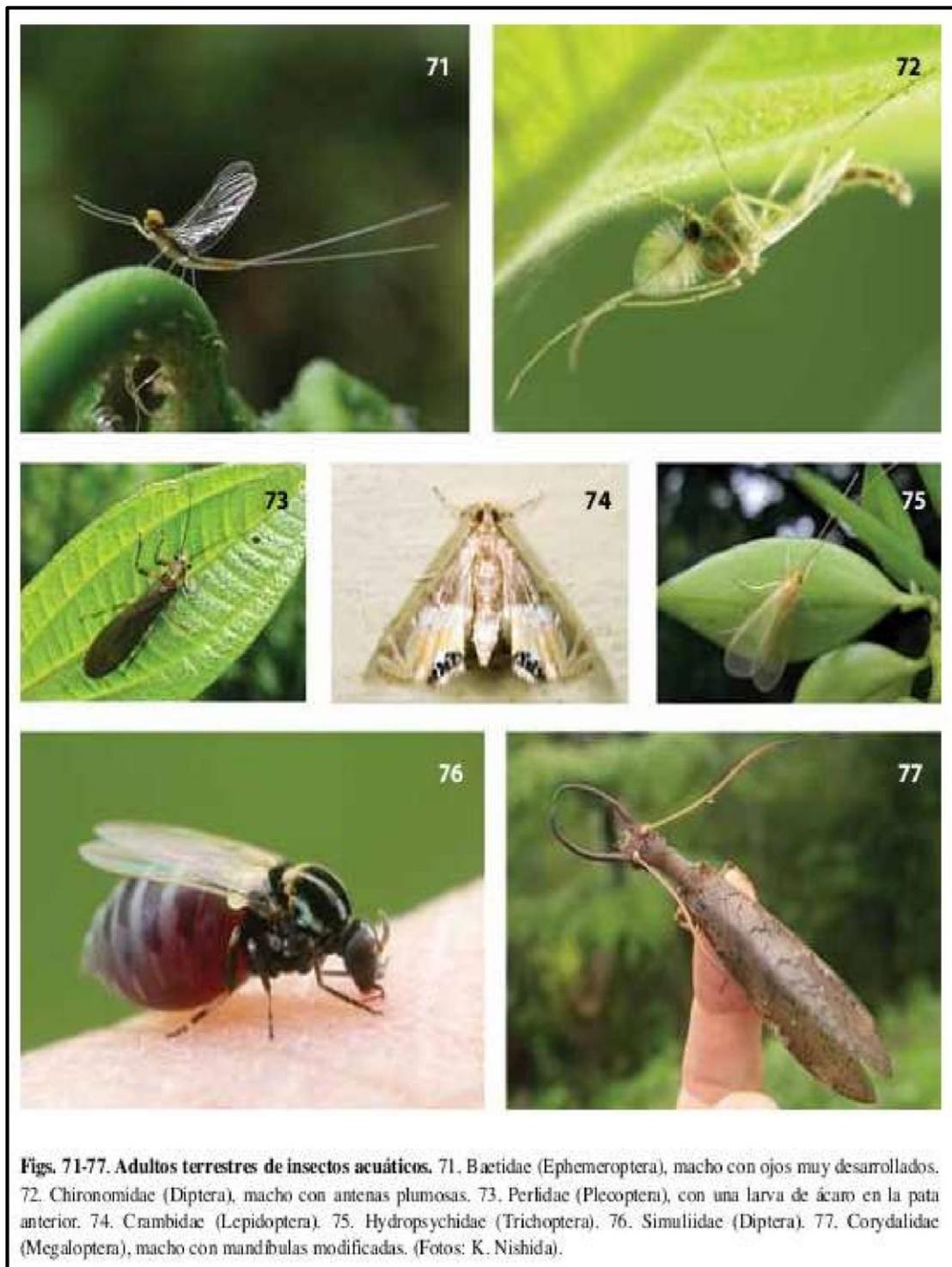
acuáticos, los adultos tienen setas natatorias en las tibias medias (aunque no son buenos nadadores) y se alimentan principalmente de las hojas flotando en la superficie del agua. Las larvas se alimentan de las raíces y tienen espiráculos adaptados para acceder el oxígeno dentro las raíces sumergidas.

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.

Figura 3. Adultos terrestres de macroinvertebrados acuáticos.



(Fuente: Fotografías K. Nishida 2014).

3.5. Descripción general de los órdenes de macroinvertebrados comunes de las cuencas del Corredor Biológico Garcimuñoz

A continuación presentamos una lista taxonómica con los principales grupos de macroinvertebrados que incluyen especies de agua dulce. La lista no incluye algunos grupos (Tardigrada, Gastrotricha, Rotifera), que por su tamaño microscópico o hábitat no aparecen habitualmente en los muestreos que se hacen en el campo:

3.5.1 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. Las larvas (caddisfly larvae) viven en el fondo o laderas de los ríos y asociadas a macrófitas semisumergidas, adheridos a vegetación flotante o enraizada, enterrados en el fondo, sobre rocas y troncos sumergidos, algunos nadan libremente dentro del agua o sobre su superficie (McCafferty 1981, Roldán 1992, 1996; Alba-Tercedor 1996). 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. Dentro de los tricópteros, se distinguen cinco grupos, diferenciados principalmente por el comportamiento de las larvas. Un aspecto puntual de su comportamiento es el que determina esta separación en grandes grupos de especies distintas. Las larvas de varias especies construyen unas corazas o cajas en las que viven durante dicha etapa. Esta caja puede ser fabricada con diferentes características, y son éstas las que diferencian los cinco grupos. Algunas de ellas construyen un refugio entre las piedras, protegido con una malla, como las de las arañas, estas se denominan net-spinning caddis. Otro grupo construye unas caparazones en forma de domo o caparazón de tortuga y se les conoce como saddlecase caddis o tortoise-case makers. Otro grupo que incluye especies de muy pequeño tamaño construye un refugio muy simple al final de su etapa de larva, y se les denomina purse-case caddis o purse-case makers. Un grupo muy variado denominado tubecase caddis, construyen refugios tubulares portátiles de distintas formas y materiales. El quinto grupo, agrupa a las especies que no construyen ningún tipo de coraza o caja, por lo que en inglés se les denomina free-living caddis, indicando que su vida transcurre en un estado libre

de coraza (Roldán 1992, 1996). Los tricópteros son insectos holometábolos (pasan por una metamorfosis completa, identificándose claramente su etapa de huevo, la de larva, seguida por la pupa y finalmente el adulto), cuyas larvas viven en todo tipo de hábitat (lóticos y lénticos), pero en los lóticos fríos es donde parece presentarse la mayor diversidad. La mayoría de los tricópteros requieren de uno a dos años para su desarrollo, a través de los cuales pasan por cinco a siete estadios. Es en la etapa de larva en la que pasan la mayoría de su ciclo de vida, que en total dura aproximadamente un año, periodo que contrasta con las escasas semanas en que se encuentran especímenes como pupa o adulto. Es por esta razón que es relevante identificar las características anatómicas y de comportamiento de estas larvas. La etapa pupal dura de dos a tres semanas, al cabo de las cuales emerge el adulto. Los adultos son muy activos en las primeras horas de la noche. Las hembras depositan los huevos en el agua y los encierran por lo regular en una masa gelatinosa. Sus casas o refugios de formas variadas, son a menudo propios de cada especie. Los refugios fijos al sustrato les sirven por lo regular de protección y captura de alimento. Las casas portables les sirven de protección y de movimiento en busca de oxígeno y alimento. 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 son acuáticas, se parecen a orugas de mariposa, unas pocas especies son terrestres o marinas, algunas de ellas salen en ocasiones del agua o empupan fuera de ella, transcurriendo en este estado la mayor parte del ciclo de vida. Se caracterizan por la presencia de placas esclerotizadas en la parte dorsal de los segmentos torácicos, por lo menos en el pronoto; el meso y metanoto presentan un grado variado de esclerotización, desde totalmente membranoso hasta completamente esclerotizado. La cabeza, tórax y patas torácicas están bien desarrolladas. El abdomen (que puede o no tener branquias filamentosas ventrales y/o laterales) es blando y posee nueve segmentos; el último de estos tiene un par de propatas terminadas en uña, que a veces presenta ganchos accesorios; la cabeza presenta partes (piezas) bucales masticadoras y tiene antenas pequeñas o reducidas (Muñoz-Quesada, 2000). La cabeza comprende el área parietal, genal, frontoclipeal, gular y el labro. Frecuentemente son visibles externamente los puntos de inserción de los músculos (marcas musculares) y las líneas de ruptura de la cutícula larval (líneas ecdisiales). Los ojos están formados por ocelos en número reducido. Las antenas son muy cortas, en la mayoría no se la diferencia de los pelos. Las piezas bucales incluyen las mandíbulas siempre bien desarrolladas y esclerotizadas, las maxilas con

todas sus piezas reconocibles, y el labio con submentón y mentón reconocibles, palpo labial uni o biarticulado, a veces ausente. El tórax con pronoto "siempre" esclerotizado, consta de una placa subdividida por la línea ecdisial medio-dorsal. El trocánter puede estar diferenciado, fusionado o no a la pleura. Los tres pares de patas pueden ser iguales o diferentes entre sí. Las patas anteriores son siempre algo más cortas que las siguientes. El trocánter usualmente está dividido en dos partes, a veces también el fémur de las patas medias y posteriores. Algunas especies tienen pelos natatorios en las patas posteriores, éstas son llevadas fuera del capullo y permiten la natación de la larva. 74 El abdomen puede tener aspecto de "hinchado" por las fuertes constricciones intersegmentales. En algunas larvas el primer segmento abdominal puede tener tres tubérculos: uno medio-dorsal y un par lateral. Los siguientes pueden tener una hilera lateral de finos pelos. El último segmento lleva un par de pseudopatas anales que están formadas por tres partes, la parte basal alargada, la distal y la uña; las pseudopatas pueden ser de dos tipos básicos: alargadas y terminales, o cortas y laterales; las del primer tipo son utilizadas por la larva para desplazarse, mientras que las del segundo tipo sólo son útiles para engancharse del capullo, en este caso los segmentos basales de la pseudopata se han fusionado formando un falso décimo segmento (Angrisano, 1998). Muchas larvas construyen vainas o estuches portátiles de una gran variedad de formas y materiales, cementados unos con otros por medio de seda secretada del labio (a través de un orificio apical o hilandera, que suele estar rodeado de papilas filamentosas). Otras construyen refugios estacionarios de los cuales hilan una red de seda para filtrar detritus del agua o capturar presas. Algunas no construyen ni estuches ni refugios y se dice que son de "vida libre". Las larvas empupan dentro del refugio o estuche y las de vida libre construyen una cubierta pupal especial. Se alimentan de algas asociadas con las hojas en descomposición, raspan diatomeas de las piedras sumergidas o depredan invertebrados pequeños. Unas pocas se alimentan de hojas verdes (Angrisano, 1998). Las larvas son vitalmente importantes en las redes alimentarias, pero se conoce muy poco acerca de la ecología, comportamiento o historia natural de los tricópteros en el neotrópico. Las larvas son de eruciformes a campodeiformes, sin espiráculos y con branquias de diversos tipos, más o menos dispuestas en penachos. Numerosos detalles de la estructura de la larva como la presencia de sedas en los lados del cuerpo, que hacen circular el agua, sólo se entienden por la regular construcción de estuches, que son muy característicos del grupo, aunque hay especies, probablemente las más primitivas, que no los construyen, y la actividad constructora es posiblemente polifilética. La larva atraviesa por 6-7 estadios y da una pupa móvil y con los miembros enfundados, que queda libre dentro de la casita larval, o bien sujeta a un capullo tenue que retiene partículas y que corta con sus mandíbulas para salir activamente (Sandoval, 2005). Los Trichoptera junto con los Lepidoptera constituyen el Superorden

Amphiesmenoptera y se dividen en tres subórdenes: Annulipalpia, Integripalpia y Spicipalpia (Angrisano, 1998). - Suborden Annulipalpia. 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).

3.5.2. Orden Díptera

Es uno de los órdenes de holometábolos 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). Los Simúlidos en su fase larval habitan ambientes acuáticos continentales, constituyendo un importante eslabón en las cadenas tróficas de los biotopos lóticos de agua. Generalmente habitan sitios con flujos de agua continuo y rápido; se ubican cerca de la superficie donde existe mayor concentración de oxígeno disuelto (Coscaron, 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). Las larvas acuáticas pueden utilizar el aire atmosférico, el aerénquima de las plantas o el oxígeno disuelto del agua pues están dotadas de ciertas estructuras adaptativas para obtener el aire de la superficie del agua o bien a partir de lagunas internas de los tejidos de angiospermas acuáticos (Lopretto y Tell, 1995). El proceso de la regulación osmótica en este orden se da a través de 77 tejidos denominados epitelio de cloruro, situados cerca de la apertura anal. En los culícidos y en los simúlidos se presentan en el extremo posterior del cuerpo unas prolongaciones llamadas papilas, las cuales aumentan y disminuyen de tamaño con la disminución y aumento de sales de agua (Roldan, 1992). Las larvas respiran a través del tegumento, sobre toda la superficie del cuerpo (respiración cutánea), o por medio de unos cuernos o branquias respiratorias que

funcionan como reguladores iónicos situados en el segmento 11 en la región anal o rectal (Angrisano, 1995). Algunas larvas de quironómidos presentan un tipo de hemoglobina que funciona eficientemente en ambientes con bajas concentraciones de oxígeno (Roldan, 1999). Las larvas acuáticas pueden utilizar el aire atmosférico, el aerénquima de las plantas o el oxígeno disuelto del agua pues están dotadas de ciertas estructuras adaptativas para obtener el aire de la superficie del agua o bien a partir de lagunas internas de los tejidos de angiospermas acuáticos. (Angrisano, 1995). Algunos dípteros pueden encontrarse en una gran variedad de hábitats acuáticos, muchos se mantienen en contacto por largos periodos de tiempo en la interfase agua —aire a través de tubos o sifones respiratorios (Culex, Aedes) o como los sirfidos (Eristalis) (Roldan, 1999).

Figura 5. Individuos del orden Díptera



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

3.5.3. Orden Ephemeroptera: Alas efímeras.

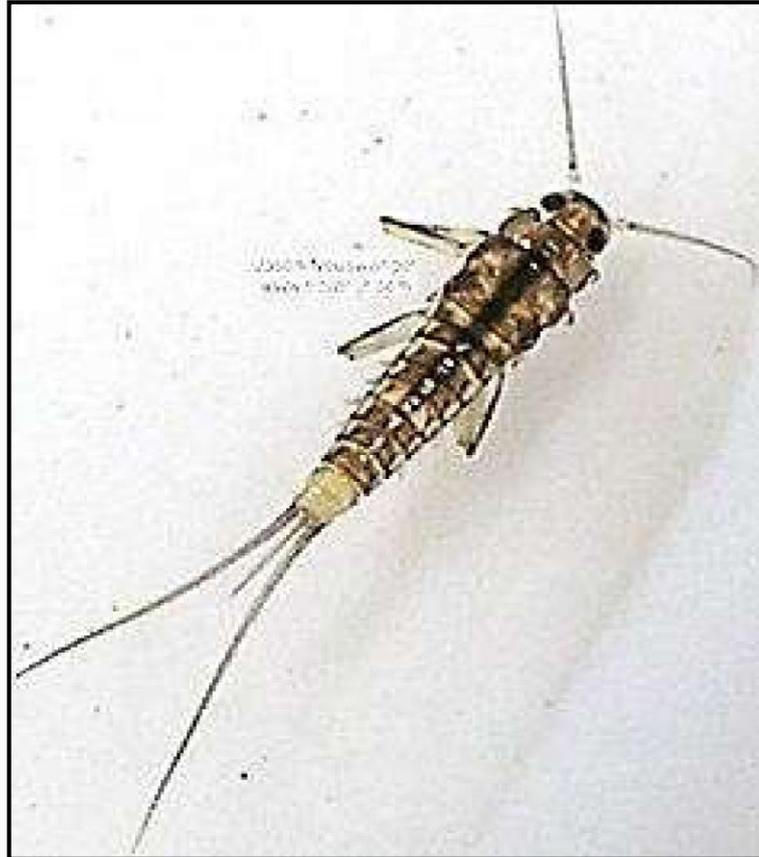
Este nombre hace referencia a la corta vida de los adultos de estos individuos cuyo único fin es la reproducción de acuerdo a Domínguez et al. (2001) los Efemerópteros como consumidores primarios, son un componente importante de la fauna bentónica, tanto en número de individuos como en biomasa. Procesan una cantidad importante de materia orgánica, ya sea triturando las partículas grandes, o filtrando las pequeñas. Por otro lado, por medio de los adultos, en algunos casos devuelven una cantidad importante de energía al ambiente terrestre. Muchos predadores

terrestres (aves, murciélagos, insectos, etc.) consumen una gran cantidad de adultos durante los periodos de emergencia, vuelo nupcial y ovoposición. Debido a su abundancia y ubicuidad, así como a la tolerancia diferencial de las diferentes especies a distintos grados de contaminación o impacto ambiental, han sido utilizados desde hace ya algún tiempo como indicadores biológicos de calidad de aguas. Biogeografía. Según Zúñiga y Rojas (1995) a pesar de ser cosmopolitas, estos organismos están ausentes en Nueva Zelanda y algunas pequeñas islas y su mayor riqueza se encuentra en el neotrópico. La biogeografía de Ephemeroptera de América del Sur se comprende poco, principalmente por falta de conocimiento de su taxonomía y su distribución. Sin embargo se cree que el grupo se deriva al menos de tres grupos faunísticos: de la fauna de los andes del Sur, de Sur América y en menor proporción de Norte América, la cual se dispersó a través de América Central. Las relaciones entre la fauna tropical de Sur América y África también se entienden muy poco. 78 Biología y Ecología. Zúñiga y Rojas (1995) señalan que los

Efemerópteros son conocidos en países de habla inglesa como "moscas de Mayo", y son insectos cosmopolitas que se caracterizan por su existencia corta como adultos. 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. El subimago podría ser como el análogo del estado pupal de los insectos holometábolos, completándose durante este estadio la elongación de los filamentos caudales y las alas de los 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. La mayoría de ellas viven en el bentos de las corrientes, debajo de las piedras, troncos, hojas y sustratos similares, solo algunas pocas especies viven enterradas en fondos lodosos y arenosos y otros pocos grupos se hallan asociados con la vegetación acuática enraizada (Zúñiga y Rojas, 1995). Por lo regular, las ninfas de los Efemerópteros viven en aguas limpias y bien oxigenadas y su distribución se extiende desde el nivel del mar hasta los 2500 ó 3000 metros de altura. Su máxima diversidad la alcanzan entre los 1000 y 2000 m de altura. Obviamente los anteriores son datos aproximados, dado que aún falta mucho por estudiar en este campo (Roldán, 1985). 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). Algunas ninfas viven generalmente adheridas a rocas en ríos con corriente rápida y aguas bien oxigenadas, y no son buenas nadadoras; otras tienen el cuerpo hidrodinámico y son buenas nadadoras, ayudándose con sus movimientos de las branquias y cercos abdominales, como los Baetidae, y otras viven en túneles en forma de U en el fondo de algunos lagos o ríos de poca corriente o minando en tejidos de vegetales sumergidos como algunos Polymitarcyidae. En general estas ninfas habitan aguas no poluidas y bien oxigenadas (Domínguez et al., 1992). La cabeza es prognata o hipognata. En algunas familias el dimorfismo sexual de los ojos está también presente en la ninfa, especialmente a medida que se acercan a la madurez. La separación entre los ojos y ocelos, así como la longitud de las antenas pueden tener valor para la determinación pero en general los caracteres más importantes se encuentran, en el aparato bucal que, a diferencia de los adultos, en este 7º estadio es funcional. El tórax presenta 3 segmentos bien identificables, cada uno con un par de patas. Las pterotecas están presentes en meso y metatórax, las primeras mucho más desarrolladas y cubriendo a las segundas, las que pueden inclusive faltar. Las patas son más cortas y fuertes que en el adulto y muestran distintas modificaciones según el modo de vida pueden encontrarse branquias cerca de la base de las patas. Los tergos del abdomen pueden presentar tubérculos o espinas y los ángulos a veces expandidos en proyecciones posterolaterales. Las branquias, de ubicación y forma variables, a veces están formadas por 2 láminas que pueden ser semejantes o diferentes. Los filamentos caudales son más robustos que en los adultos y a menudo con setas. Es muy difícil determinar el número de mudas que sufre una ninfa desde el momento de emerger del huevo hasta su transformación en subimago, dado que es variable aun dentro de la misma especie y a que no hay caracteres que permitan diferenciar las sucesivas mudas. Se han descrito diferentes ciclos de vida, pudiendo presentar: a) un ciclo anual, b) varios ciclos anuales, o c) un ciclo bi o trianual. En el primer caso se pueden dar las siguientes variaciones: la población 1) pasa el invierno como ninfa; 2) pasa el invierno como huevo; 3) la mayor parte de la población pasa el invierno como huevo y una pequeña parte como ninfa; En el segundo caso las posibilidades son las siguientes: 1) dos generaciones durante el verano pasando el invierno como huevo; 2) una generación pasa el invierno como ninfa y otra se desarrolla en el verano, 3) dos o más generaciones en verano y una en invierno, 4) varias generaciones no estacionales, que generalmente se presentan en áreas tropicales y subtropicales. En el tercer caso, oscilan entre una generación cada dos o tres años, variando a veces entre éstos según las condiciones (Domínguez et al. (1992).

Figura 5. Individuos del orden Ephemeroptera



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

3.5.4- Orden Coleóptera

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. En las zonas lóxicas los sustratos más representativos son troncos y hojas en descomposición, grava, piedras, arenas y la vegetación sumergente y emergente. Las zonas más abundantes en estos organismos son las aguas someras en donde la velocidad de la corriente no es fuerte, aguas limpias, con concentraciones de oxígeno alta y temperaturas medias (Domínguez E. & H. Fernández. 2009). La mayoría de las familias de los coleópteros acuáticos son cosmopolitas. Algunos se encuentran tanto en zonas templadas como en el trópico. Sin embargo, algunas familias y especies son propias de las zonas templadas, mientras que otros géneros y especies se encuentran principalmente en regiones tropicales como por ejemplo, los géneros de la familia Noteridae (Roldán, 1996).

Figura 5. Individuos del orden Coleóptera



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

3.5.5. Orden Odonata

Son insectos hemimetábolos, cuyo periodo larval es acuático, empleando desde dos meses hasta tres años en su desarrollo hasta adultos, de acuerdo con el tipo de especie y el clima. Son insectos predadores de tamaño mediano a grande, con metamorfosis gradual. Adultos esbeltos o de cuerpo robusto, con dos pares de alas reticuladas casi similares; patas bien desarrolladas; antenas en forma de pelo, aparato bucal mandibulado, del tipo masticador; ojos grandes, abdomen sin largas "colas". 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 hembras de muchas especies se zambullen en el agua y esta desprende los huevos situados en el extremo del abdomen. Otras se arrastran bajo el agua para depositar los huevos. Las ninfas de las especies más pequeñas alcanzan la madurez en un año. En el caso de las especies mayores, el desarrollo puede llevar de dos a cuatro años. La hibernación transcurre en estado ninfa. Cuando ha completado su desarrollo, la ninfa se arrastra fuera del agua y se adhiere a alguna rama, tallo u otro objeto para realizar la última muda. Los adultos recién emergidos se endurecen y colorean con relativa lentitud, muchos de ellos requieren de uno a dos días para completar este proceso (Ross, 1981). Las ninfas son carnívoras. Se alimentan de larvas de otros insectos, pequeños crustáceos, renacuajos y hasta pequeños peces. Poseen un labio protractil con ganchos en su extremo, el cual impulsan hacia delante para capturar a sus presas. Se camuflan adaptando su color al del ambiente donde se encuentran. Siempre están al acecho, aunque también las hay cazadoras activas, las cuales, por sus constantes desplazamientos, están más expuestas a ser comidas. Los adultos son también carnívoros (Del Cet 1999). Cerca de las 26 familias existentes, siete no se han reportado para el Neotrópico y cuatro son exclusivamente neotropicales (Pseudostigmatidae, Polythoridae, Perilestidae y Heliocharitidae). Los libelúlidos de más amplia dispersión son: *Dythemis*, *Erythemis*, *Erythrodiplax*, *Miathyria*, *Micrathyria*, *Orthemis* y *Perithemis*. *Pantala flavescens* se considera la especie de más amplia dispersión a nivel mundial (Roldán, 1988).

Figura 5. Individuos del orden Odonata



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

3.5.6. Orden Plecoptera

Este pequeño orden de insectos acuáticos, de los cuales se han descrito en el mundo alrededor de 2000 especies, está considerado dentro de los grupos más primitivos de aspecto ortopteroide. Se distribuye en todos los continentes excepto la antártida, y desde el nivel del mar hasta 5600m en el Himalaya (Theischinger, 1991). 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). Dependiendo de las especies, los adultos pueden ser diurnos, crepusculares o nocturnos, algunos frecuentan estructuras elevadas y vegetación y muchos permanecen en la tierra o en las piedras cerca del agua. (Fernández y Domínguez, 2001). - Distribución Geográfica. Los plecópteros son prácticamente cosmopolitas. En el trópico norte la familia predominante es la Perlidae.

Figura 8. Individuos del orden Plecoptera.



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

3.5.7. Orden Hemiptera

El orden Hemiptera a nivel mundial, está compuesto por cerca de 50.000 especies, de las cuales sólo 3800 pertenecen al Suborden Heteroptera (Merritt and Cummins, 1996), que son principalmente formas dulceacuícolas, aunque unas pocas viven en océanos y otras pueden sobrevivir en aguas salobres (Roldan 1982). Los del grupo Heteroptera están asociados a ecosistemas acuáticos, comúnmente se conocen como "chinches de agua" se encuentran entre los insectos poco estudiados del neotrópico, debido a que se considera no representan un

peligro o utilidad práctica inmediata. Sin embargo además de que algunas especies pueden servir como indicadores de calidad de agua y otras son utilizadas en la alimentación de humanos, juegan un papel importante en las cadenas tróficas acuáticas ya que pueden servir como alimento de algunos organismos o como depredadores de las poblaciones de otros invertebrados (González 2002), llenando así etapas intermedias en las cadenas alimenticias de sus respectivas comunidades (Bentink et al. 1956). Ocupan un hábitat muy específico dentro de la película superficial del agua y a la vez muy diverso, debido a que se les encuentra en aguas abiertas, de flujo lento, así como en ambientes acuáticos lóticos y lénticos, o aún en aguas torrentosas, algunas especies resisten ambientes algo hostiles tales como: las temperaturas de las aguas termales. Ciertas familias de Hemípteros que habitan el néuston viven en aguas con tensión superficial no rebajada, que pueden ser calificadas como limpias; estos grupos podrían ser usados como indicadores de calidad del agua, ya que las sustancias tensoactivas como los detergentes y el petróleo rompen la tensión superficial del agua. (Aristizabal 2002). 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). En algunos casos se presenta un comportamiento fotofóbico y las especies pueden tener preferencias por un hábitat con mucha sombra, en pequeños cursos con mucha cobertura vegetal en las orillas, como es el caso de las especies más pequeñas, o bien pueden tener costumbres nocturnas (Aristizabal 2002). (Margalef 1980 citado por Aristizabal 2002) anota que el cuerpo de estos organismos suele tener mecanismos físicos como pelos hidrófobos que deprimen la película de agua superficial, formando un ángulo característico que es función a la naturaleza del revestimiento del animal y de la tensión superficial. Atacan larvas de culex y ortópteros, algunos se alimentan de pequeños vertebrados muertos y aun pueden atacar a peces vivos, estos organismos se alimentan extrayendo fluidos corporales principalmente de insectos y otros invertebrados que caen al agua (Aristizabal 2002). - Formas inmaduras. Las ninfas acuáticas y semiacuáticas del orden Heteroptera tienen un tarsosegmento, esta característica es usada en la separación de adultos especialmente en los ápteros del infraorden Gerromorfa quienes siempre presentan dos segmentos en el tarso. Las ninfas del suborden Heteroptera se parecen a los adultos, difieren en las proporciones de las partes del cuerpo y en que las alas en las ninfas están en vía de desarrollo y se presentan como unas almohadillas mientras que en adultos están completamente desarrolladas hasta su última instancia (Merritt y Cummins 1984). 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. Dos familias semiacuáticas (Ochteridae, Gelastocoridae quienes habitan los márgenes de .aguas frescas tienen antenas cortas que están en su total o en su mayor parte escondidas (Merritt y Cummins 1984). El aparato bucal está conformado por un rostro o pico más o menos largo, que aloja dos pares de largos y delgadísimos estiletes, que pueden protruirse por un mecanismo exclusivo, hasta alcanzar los tejidos de plantas y/o animales de los que se alimentan. Sólo en la familia Corixidae tanto el rostro como los estiletes son muy cortos, aunque conformados por el mismo patrón (Lopretto & Tell 1985). Tórax: El tórax que es tres veces segmentados lleva patas y las alas unidos por fusiones o suturas externas, los segmentos son difíciles de identificar excepto en las formas aladas. El abdomen usualmente lleva una o varias glándulas excretoras y algunas veces canales laterales de excreción. Las patas presentan llamativas adaptaciones para los ambientes acuáticos, los segmentos de las patas tiene diferentes longitudes y cada pata consta de una coxa articulada con el cuerpo, seguida por un trocánter que une la coxa y el fémur. El fémur y la tibia son generalmente los segmentos más largos de la pata, el tarso tiene una, dos o tres articulaciones, y el tarso distal lleva una uña (Merritt y Cummins 1984). Las alas anteriores son hemiélitros más o menos típicos con la porción basal esclerotizada 84 y la distal membranosa; en algunos sin embargo estas alas son de textura uniformemente membranosas (e.j en algunos Gerridae), o están totalmente esclerotizadas (e.j en Pleidae), pero en este último caso con estructura de hemiélitros. Las alas posteriores, si están desarrolladas, son siempre membranosas y delicadas (Lopretto y Tell 1985). El polimorfismo alar es frecuente, existiendo, a veces en una misma especie, ejemplares alados (generalmente capaces de volar) y ejemplares ápteros con diferencias externas que pueden llegar a ser tan marcadas que dificulta la identificación (Lopretto y Tell 1985). Los hemípteros viven en remansos de ríos y quebradas; pocos resisten las corrientes rápidas. Son frecuentes también en lagos, ciénagas y pantanos. Algunas especies resisten cierto grado de salinidad y las temperaturas de las aguas termales, en algunos casos se presenta un comportamiento fotofóbico y algunos pueden tener preferencias por un hábitat con mucha sombra, en pequeños cursos con mucha cobertura vegetal en las orillas, como es el caso de las especies más pequeñas, o bien pueden tener costumbres nocturnas (Aristizabal 2002). Son depredadores de insectos terrestres, las especies más grandes pueden alimentarse de peces pequeños y crustáceos (Roldan 1988), también consumen larvas de Culex y Ortópteros y algunos se alimentan de pequeños vertebrados muertos, estos organismos se alimentan

extrayendo fluidos corporales principalmente de insectos y otros invertebrados que caen al agua (Aristizabal 2002). Las hembras encastran los huevos en tejido vegetales o los pegan con una secreción sobre sustratos firmes (En las Belostomatinae sobre el dorso de los machos respectivos). El desarrollo es paurometabolo, con esbozos alares de desarrollo progresivo; hay cinco estadios larvales, distinguibles entre si cuando tienen pterotecas, pero en ápteros suele no ser posible; algunas poblaciones árticas de Veliidae tienen cuatro. (Bachman 1981). La respiración no es exclusivamente acuática, por lo tanto disponen de variadas adaptaciones para tomar el oxígeno del aire, como tubos anales, canales abdominales y reservorios dorsales donde están localizados los espiráculos, entre otros (Roldán 1988). El cuerpo de estos organismos suele tener mecanismos físicos como pelos hidrófobos que deprimen la película de agua superficial, formando un ángulo característico que es función a la naturaleza del revestimiento del animal y de la tensión superficial (Margalef 1980 citado por Aristizabal 2002). Estas comunidades presentan un alto uso potencial como bioindicadores de la calidad del agua al menos en algunos de sus grupos (Polhemus 1996) reporta que los Corixidae son buenos indicadores de calidad de agua en ambientes lénticos. El autor considera que las familias de hemípteros de la retícula 85 superficial pueden ser utilizados como bioindicadores de calidad de agua, especialmente en lo referente al contenido de grasas y aceites los cuales realizan una ocupación física del hábitat del néuston y de sustancias tensoactivas, como detergentes, jabones y dispersantes de petróleo y en general las genéricamente conocidas como sustancias activas del azul de metileno, las cuales rompen la tensión superficial del agua, haciendo imposible el sostén físico de estos organismos. (Aristizabal 2002). Los hemípteros son cosmopolitas, conociéndose cerca de 3.000 especies alrededor del mundo; de éstas, cerca de 700 se han reportado en el trópico americano (Roldán, 1988).

Figura 8. Individuos del orden Hemíptera.



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

3.5.9. Orden Neuróptera

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. En zonas templadas su desarrollo completo toma hasta dos o tres años, pero en el trópico aún no se conoce nada al respecto (Roldán, 1988). Viven en aguas corriente limpias, debajo de piedras, troncos y vegetación sumergida; son grandes depredadores. En general, se pueden considerar indicadores de aguas oligotróficas o levemente mesotróficas (Roldán, 1988). Los Neurópteros están ampliamente distribuidos en toda América, pero los reportes son aún tan escasos, que no se puede decir con certeza cuál es su real distribución (Roldán, 1988).

Figura 8. Individuos del orden Neuróptero.



(Fuente: Propia).

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 μm . 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 cinco cuencas y micro cuencas ubicadas en el Corredor Biológico Garcimuñoz, a saber: río Picagres, río Jarís en el Cantón de Mora provincia de San José y el río Tambor, el río Ciruelas y la Quebrada el Tigre ubicados en la Provincia de Alajuela, el período de estudio fue de enero a noviembre 2016, 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 réplica 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

UBICACIÓN	PUNTO GPS NORTE	PUNTO GPS ESTE	ALTURA M.S.N.M
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

Fuente: Propia (2016)

4.1. Muestreo de insectos acuáticos:

En cada sitio de muestreo se seleccionarán cuatro micro ambientes: acumulaciones de hojas, fondo rocoso, fondo arenoso y lodoso. Durante treinta minutos, dos personas removerán 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 152mm de profundidad y malla de 800 x 900mm nylon multifilamento (tiempo total de esfuerzo 10min). El material colectado será separado en bandejas de color claro para distinguir los organismos capturados. Todos los individuos serán preservados en envases plásticos con alcohol etílico al 70% para su posterior traslado e identificación en el laboratorio.

El reconocimiento taxonómico se efectuará con las 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 preservarán frascos individuales con alcohol etílico al 70% y se registrará 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 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.

Figura 9. Clasificación según cantidad de familias de macroinvertebrados

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-S, La Gaceta No. 178)

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

4.2. Análisis

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 m² con un ojo de malla de 500 μ 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 con 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 m²). El muestreo se considera suficiente cuando comienzan a aparecer de manera repetitiva los mismos organismos sobre los sustratos.

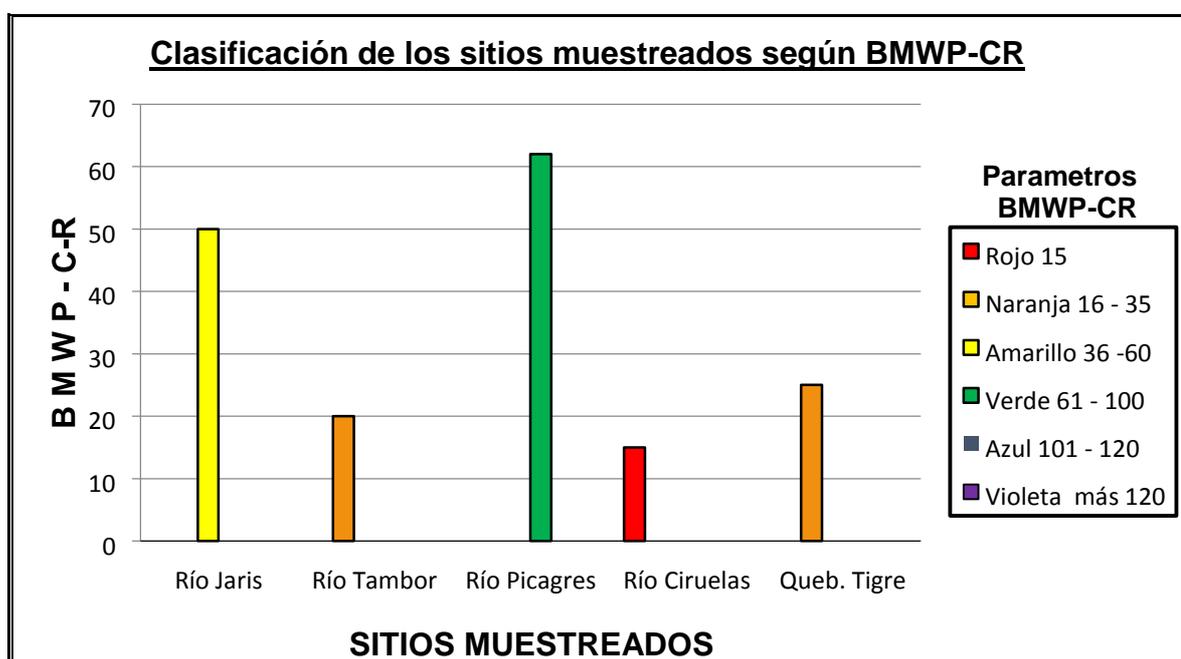
4.3.3. Red Surber.

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 μ m. El marco que se coloca sobre el fondo de la corriente mide por lo regular de 9 m² (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 m² 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

Como se puede observar en el gráfico 1 y la tabla 4, los sitios donde se muestrearon macroinvertebrados acuáticos, presentan variedad de resultados que van desde el color rojo con aguas de calidad muy mala, y que se ubican en el río Ciruelas, dos de las cuencas con clasificación anaranjada (aguas de calidad mala) como lo son las cuencas del río Tambor y la Quebrada Tigre respectivamente, la cuenca del río Jaris con el color amarillo (aguas de calidad mala) y en verde la cuenca del río Picagres (aguas de calidad regular) esta clasificación se establece según lo determina el Reglamento Número 33903 MINAE-S La Gaceta 178.

Gráfico 1. Clasificación general de los sitios muestreados en el CBGM.



Fuente: Propia, 2016.

Durante el muestreo se efectuaron 2 colectas una en la época seca (febrero y abril) y otra en época lluviosa correspondiente a los meses de setiembre y noviembre, (Tabla 3) se colectaron un total de 112 organismos pertenecientes a los órdenes Plecoptera, Megaloptera, Oligochatea, Crustacea, Odonata, Coleoptera, Hemiptera, Ephemeroptera, Megaloptera y Diptera. La familia más abundante dentro de estos órdenes fue Baetidae (Ephemeroptera) (14%), seguida por la Diptera (Hypobocera) (10%); mientras que los órdenes Plecoptera y Megaloptera solo se lograron ubicar en el muestreo realizado al río Picagres ubicado en el cantón de Mora en San José.

Evidenciando la Tabla 2, 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 5 muestreos se clasifican como 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.

Tabla 2. Resumen general de los resultados obtenidos en los análisis químicos realizados en los muestreos de las cuencas del Corredor Biológico Garcimuñoz (2016).

PARAMETROS	Río Picagres	Río Jaris	Río Tambor	Río Ciruelas	Q. Tigre
Potencial de Hidrogeno (pH)	8,23	8,11	7,6	7,57	7,82
Temperatura	21.8	21.9	22.8	22.4	18.2
Turbides	1,87 NTU	0,87 NTU	0,37 NTU	1,1 NTU	0,41 NTU
Color	<3 CU	<3 CU	<3 CU	<10 CU	<3 CU
Olor	Inoloro	Inoloro	Inoloro	Inoloro	Inoloro
Sabor	Insipido	Insipido	Insipido	Insipido	Insipido
Conductividad Electrica	211 mS-cm	242 mScm	109 mS-cm	218 mS-cm	159 mS-cm
Cloro Residual Libre	<0,5 mg/L	<0,05 mg/L	<0,05 mg/L	<0,05 mg/L	<0,05 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
Coliformes fecales	810 NMP/100mL	100 NMP/100mL	48 NMP/100mL	120 NMP/100mL	64 NMP/100mL
Escherichia Coli	< 1 NMP/100mL	< 1 NMP/100mL	< 1 NMP/100mL	< 1 NMP/100mL	< 1 NMP/100mL

Fuente: Propia, 2016

Tabla 3. Distribución y abundancia relativa de los ordenen de macroinvertebrados ubicados en los muestreos de las cuencas del Corredor Biológico Garcimuñoz (2016).

Sitio de muestreo	Annelida	Crustacea	Coleoptera	Diptera	Ephemeroptera	Hemiptera	Molusco	Megaloptera	Odonata	Plecoptera	TOTAL	% A.R
Río Picagres		3		3	16	5	1	5	6	4	43	38,3
Río Jaris		4	5	8	6	7	2		4		36	32,1
Río Tambor	2	2		4	2	3	2				15	13,3
Río Ciruelas	5			1		2					8	7,3
Queb. Tigre	2			4	1	2	1				10	9
TOTAL	9	9	5	20	25	19	6	5	10	4	112	
% A.R	8	8	4,5	17,9	22,3	17,1	5,1	4,5	9	3,6		

Fuente: Autor (2016).

Tabla 4. Clasificación BMWP-CR, de los sitios muestreados, según orden y familias de macroinvertebrados ubicados en las cuencas del Corredor Biológico Garcimuñoz (2016).

Sitio de muestreo	Annelida	Crustacea	Coleoptera	Diptera	Ephemeroptera	Hemiptera	Molusco	Megaloptera	Odonata	Plecoptera	TOTAL BMWP- CR
Río Picagres		Hipoloboceae 5		Psychodidae 3	Leptophlebiidae 8 Baetidae 5 Euthyplocidae 6	Naucoridae 4	Hydrobiidae 3	Colrydalidae 6	Polytholidae 9 Anisoptera 6	Perlidae 9	64
Río Jaris		Hipoloboceae 5	Scirtidae 4 Psephenidae 7	Psychodidae 3	Leptophlebiidae 8	Naucoridae 4	Hydrobiidae 3		Libellulidae 6 Polytholidae 9		49
Río Tambor	Hyrudinea 3	Hipoloboceae 5		Psychodidae 3	Baetidae 5	Naucoridae 4	Hydrobiidae 3				23
Río Ciruelas	Hyrudinea 3			Psychodidae 3		Naucoridae 4					10
Queb. Tigre	Hyrudinea 3			Psychodidae 3	Baetidae 5	Naucoridae 4	Hydrobiidae 3				18

Fuente: Autor (2016).

6. CONCLUSIONES

Se logró verificar como el muestreo efectuado en las cuencas y 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 sus visitantes son completamente limpias.

En lo que respecta a las cuencas 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 comprobó 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 presentó más biodiversidad, con un 70% de los individuos recolectados y la época lluviosa (setiembre y noviembre), con un invierno muy marcado que propició periodos de temporales e inclusive la presencia de un Huracán, el cual, afectó el territorio nacional, se evidenció mucho arrastre de sedimento y residuos sólidos en las 5 estaciones de muestreo, esto influyó mucho en la recolección de los macroinvertebrados.

El 27 de febrero del 2016 se desarrolló la capacitación teórica, la cual contó 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 da 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 georreferenciar y mapear, los 5 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 difundir y exponer los resultados tanto a las comunidades locales, Gobierno local y a los actores involucrados, con el fin de gestionar estrategias o planes de acciones que promuevan el mejoramiento de las cuencas monitoreadas; así como incorporar monitoreos periódicos que sirvan para cuantificar el estado poblacional de los macroinvertebrados, que determinan la calidad del agua, cabe destacar que se cuenta con la información base y que para finales del 2017 se podrá acceder a información base para otras 5 cuencas que forman parte del Corredor Biológico Garcimuñoz.

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 está muestreando.

Los análisis químicos realizados en las 5 estaciones de muestreo aportan información muy importante con parámetros que influyen en la toma de decisiones a corto y mediano plazo, pero se deberán de incorporar pruebas más amplias que aporten mayor información, ya que, con este estudio

se aportará línea base para organizaciones no gubernamentales, gobiernos locales e instituciones públicas, con el propósito de direccionar estrategias 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 incluir información importante para la toma de decisiones y la restructuración de actividades que puedan estar afectando la calidad del recurso hídrico de los cantones de Mora, Alajuela y Póas.

Se propone incentivar 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.

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.

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 2007La 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.

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 Antioquía. Impreades Presencia S. A. Bogotá. Colombia.

Roldán-Pérez, G. 1988. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquía, 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.

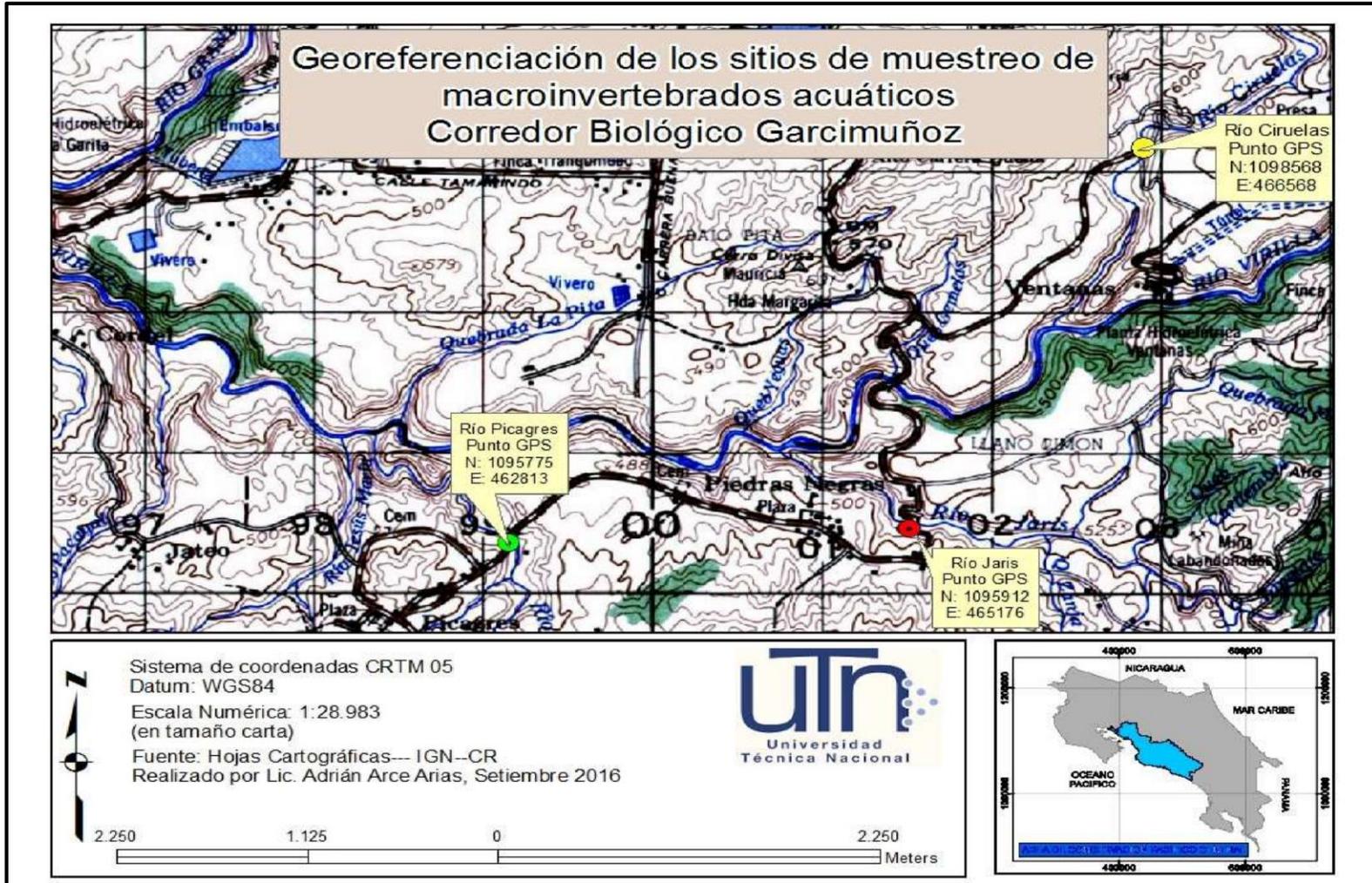
Vásquez, D. R.W. Flowers & M. Springer. 2009. Life history of five small minnow mayflies (Ephemeroptera: Baetidae) in a small tropical stream on the Caribbean slope of Costa Rica.

Universidad de Costa Rica. San José. Costa Rica.

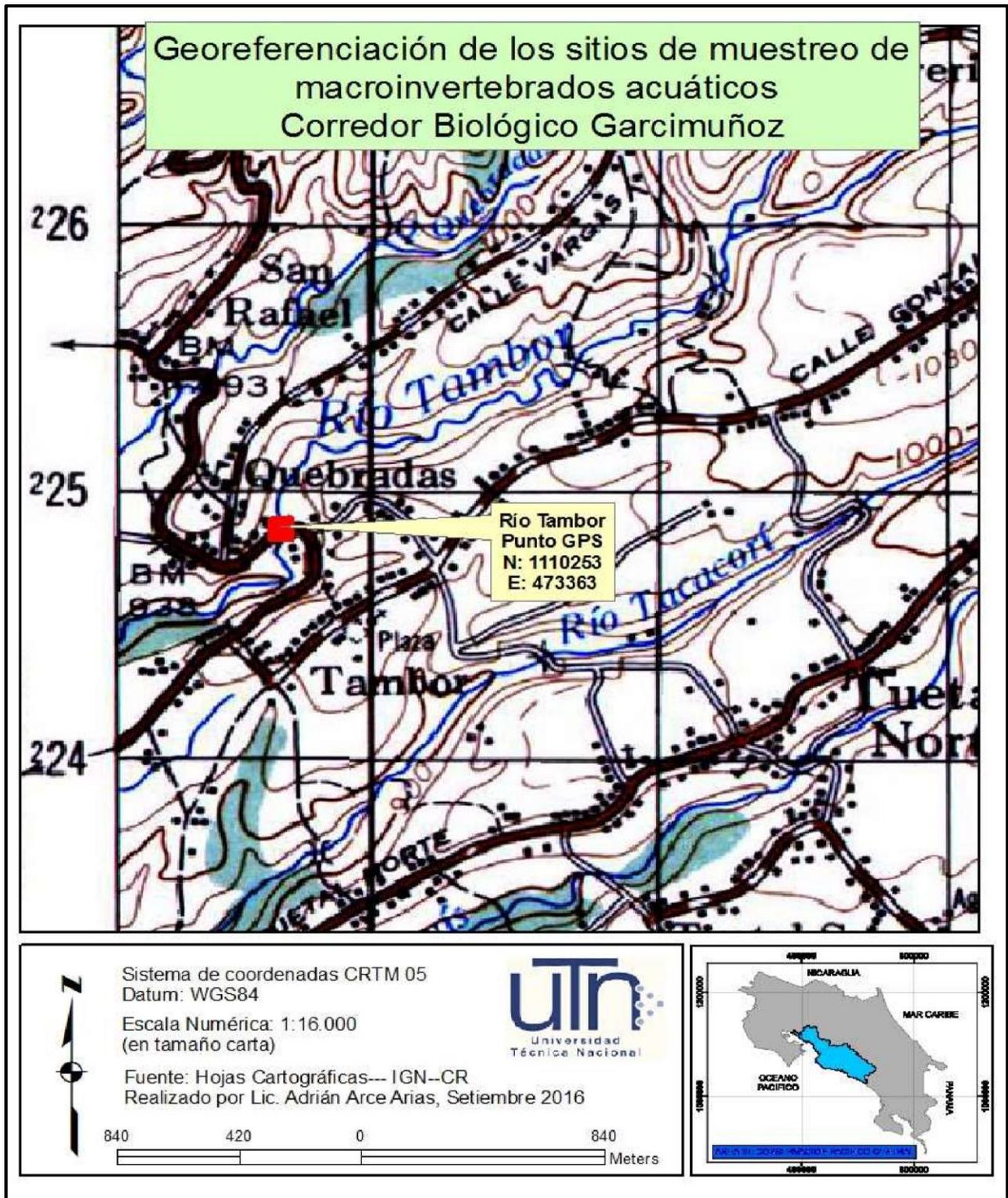
Wallace, J.B. & J.R. Webster. 1996. The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. Annu. Rev. USA.

10. ANEXOS.

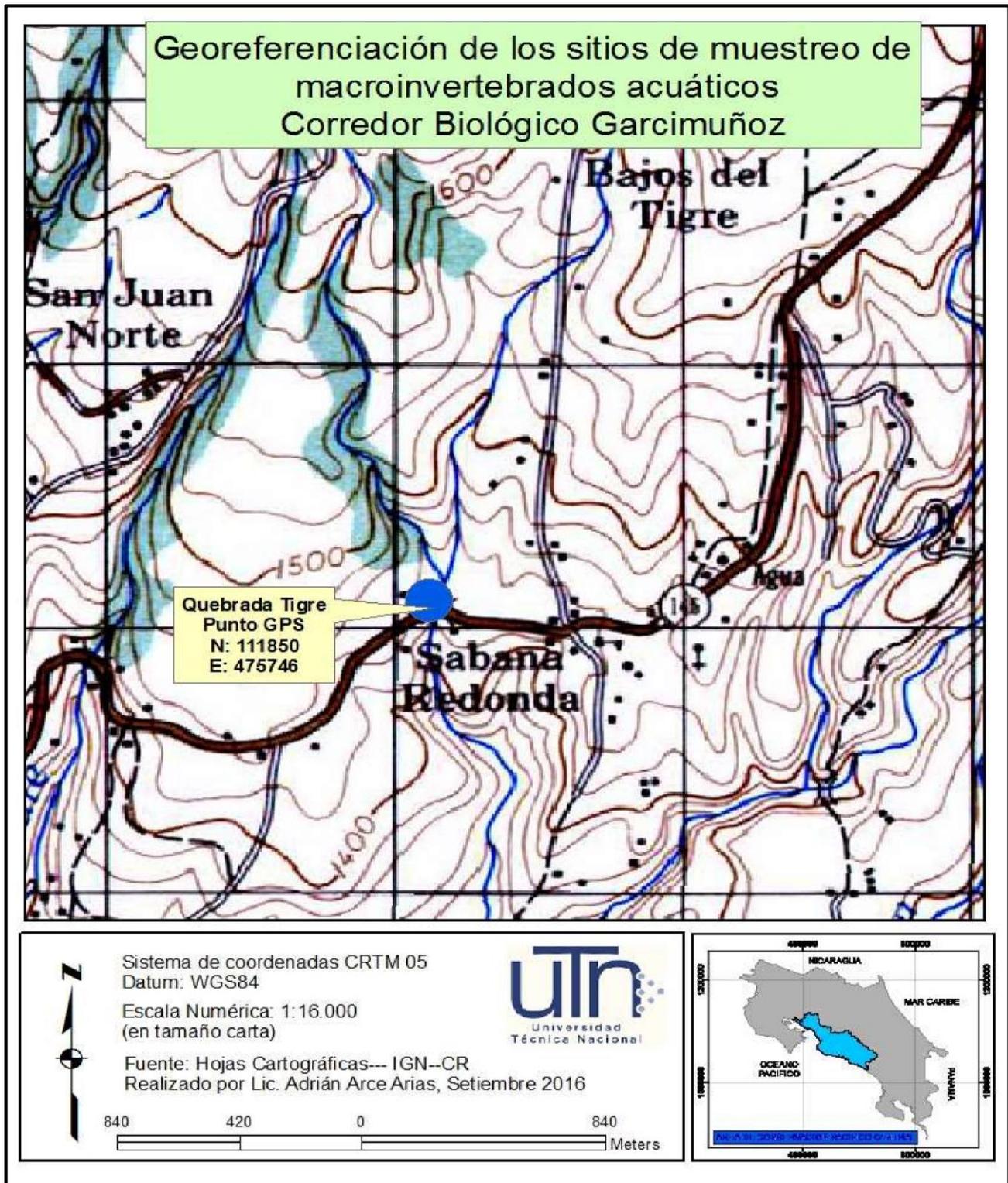
Anexo 1. Mapay georreferenciación de los sitios de muestreo del Corredor Biológico Garcimuñoz.



Anexo 2. Mapa y georreferenciación de los sitios de muestreo del Corredor Biológico Garcimuñoz.



Anexo 3. Mapa y georreferenciación de los sitios de muestreo del Corredor Biológico Garcimuñoz.



RESULTADO DE ANÁLISIS # 390,340



---RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO---



FECHA: 09 DE NOVIEMBRE DE 2016

SOLICITANTE: UTN SEDE CENTRAL

ATENCIÓN: Sr. ADRIAN ARCE

REFERENCIA: MUESTRA DE AGUA TOMADA DEL RÍO JARIS, DEBAJO DEL PUENTE EN LA MARGEN IZQUIERDA, RECOLECTADA POR PERSONAL DEL LABORATORIO LAMBDA EL DÍA 07 DE NOVIEMBRE DE 2016, EN ALAJUELA.

NIVEL N1	Programa de Control Básico – Según Artículo 8, inciso b), del Decreto Ejecutivo 38924-S Reglamento para la Calidad del Agua Potable
----------	--

ANÁLISIS:	RESULTADO PROMEDIO	Valor Alerta (VA)	Valor Máximo Admisible (VMA)
PH ⁽¹⁾	8,11	6,0	8,0
TEMPERATURA*	21,9 °C		
TURBIDEZ*	0,87 NTU	1 NTU	5 NTU
COLOR APARENTE*	<3 CU	<5 CU	15 CU
OLOR**	INOLORO	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
SABOR**	INSÍPIDO	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA*	242 µS/cm	400 µS/cm	---
CLORO RESIDUAL LIBRE ⁽²⁾	< 0,05 mg/L	0,3 mg/L	0,6 mg/L ⁽³⁾
CLORO RESIDUAL COMBINADO*	0,22 mg/L	1,0 mg/L	1,8 mg/L

OBSERVACIONES:

- ** ENSAYO NO ACREDITADO
- * ENSAYO ACREDITADO
- VER ALCANCE DE ACREDITACIÓN DEL LABORATORIO LAMBDA EN LA DIRECCION ELECTRONICA: www.cca.or.cr
- PROCEDIMIENTOS ÚNICAMENTE DE REFERENCIA: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER 22nd 2012
- ⁽¹⁾ SE ESTABLECEN RANGOS PERMISIBLES Y NO VA (Valor Alerta), NI VMA (Valor Máximo Admisible), SEGÚN REGLAMENTO PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE N° 38924-S
- ⁽²⁾ SE PERMITIRÁ VALOR MÁXIMO DE CLORO RESIDUAL LIBRE DE 0,8 mg/L EN NO MÁS DEL 20% DE LAS MUESTRAS MEDIDAS, SEGÚN REGLAMENTO PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE N° 38924-S
- ⁽³⁾ EN SITUACIONES DE EMERGENCIA CALIFICADA COMO TAL POR EL MINISTERIO DE SALUD SE PERMITIRÁ UNA CONCENTRACIÓN DE CLORO RESIDUAL LIBRE DE 0,8 mg/L EN LOS PUNTOS DE MUESTREO MEDIDOS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN SEGÚN REGLAMENTO PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE N° 38924-S
- DIGITADO POR: ags
- MUESTRA CODIGO LAMBDA: 8677-002



RESULTADO DE ANÁLISIS # 390,341



—RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO—

FECHA: 09 DE NOVIEMBRE DE 2016

SOLICITANTE: UTN SEDE CENTRAL

ATENCIÓN: Sr. ADRIAN ARCE



REFERENCIA: MUESTRA DE AGUA TOMADA DEL RÍO CIRUELAS, DEBAJO DEL PUENTE EN LA MARGEN DERECHA, RECOLECTADA POR PERSONAL DEL LABORATORIO LAMBDA EL DÍA 07 DE NOVIEMBRE DE 2016, EN ALAJUELA.

NIVEL NI	Programa de Control Básico – Según Artículo 8, inciso b), del Decreto Ejecutivo 38924-S Reglamento para la Calidad del Agua Potable
----------	--

ANÁLISIS:	RESULTADO PROMEDIO	Valor Alerta (VA)	Valor Máximo Admisible (VMA)
PH ⁽⁶⁾	7,57	6,0	8,0
TEMPERATURA*	22,4 °C		
TURBIDEZ*	1,1 NTU	1 NTU	5 NTU
COLOR APARENTE*	10,00 CU	<5 CU	15 CU
OLOR**	INOLORO	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
SABOR**	INSIPIDO	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA*	218 µS/cm	400 µS/cm	---
CLORO RESIDUAL LIBRE ⁽⁶⁾	< 0,05 mg/L	0,3 mg/L	0,6 mg/L ⁽⁶⁾⁽⁷⁾
CLORO RESIDUAL COMBINADO*	0,28 mg/L	1,0 mg/L	1,8 mg/L

OBSERVACIONES:

- ** ENSAYO NO ACREDITADO
- * ENSAYO ACREDITADO
- VER ALCANCE DE ACREDITACIÓN DEL LABORATORIO LAMBDA EN LA DIRECCION ELECTRONICA: www.ccr.cr
- PROCEDIMIENTOS ÚNICAMENTE DE REFERENCIA: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER 22nd 2012
- ⁽⁶⁾ SE ESTABLECEN RANGOS PERMISIBLES Y NO VA (Valor Alerta), NI VMA (Valor Máximo Admisible), SEGÚN REGLAMENTO PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE N° 38924-S
- ⁽⁷⁾ SE PERMITIRÁ VALOR MÁXIMO DE CLORO RESIDUAL LIBRE DE 0,8 mg/L EN NO MÁS DEL 20% DE LAS MUESTRAS MEDIDAS, SEGÚN REGLAMENTO PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE N° 38924-S
- ⁽⁸⁾ EN SITUACIONES DE EMERGENCIA CALIFICADA COMO TAL POR EL MINISTERIO DE SALUD SE PERMITIRÁ UNA CONCENTRACIÓN DE CLORO RESIDUAL LIBRE DE 0,8 mg/L EN LOS PUNTOS DE MUESTREO MEDIDOS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN SEGÚN REGLAMENTO PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE N° 38924-S
- DIGITADO POR: ags
- MUESTRA CODIGO LAMBDA: 8677-003



RAFAEL CAMÓN PÉREZ

RESULTADO DE ANALISIS # 390,412

---RESULTADO DE ANALISIS MICROBIOLÓGICO---



FECHA: 9 DE NOVIEMBRE DE 2016

SOLICITANTE: UTN SEDE CENTRAL

ATENCIÓN: Sr. ADRIAN ARCE

REFERENCIA: MUESTRAS DE AGUA POTABLE, RECOLECTADAS POR PERSONAL DEL LABORATORIO LAMBDA EL DÍA 7 DE NOVIEMBRE DE 2016 EN ALAJUELA.

MUESTRA	COLIFORMES	ESCHERICHIA
	FECALIS*	COLI*
	(N.M.P/ 100 mL)	(N.M.P/ 100 mL)
TOMADO DEL RIO PICAGRES DEBAJO DEL PUENTE MARGEN DERECHA.....	8,1 x 10 ²	< 1
TOMADO DEL RIO JARIS DEBAJO DEL PUENTE MARGEN IZQUIERDA.....	1,0 x 10 ²	< 1
TOMADO DEL RIO CIRUELAS DEBAJO DEL PUENTE MARGEN DERECHA.....	1,2 x 10 ²	< 1
TOMADO DEL RIO TIGRE DEBAJO DEL PUENTE MARGEN IZQUIERDA.....	6,4 x 10 ¹	< 1
TOMADO DEL RIO TAMBOR DEBAJO DEL PUENTE.....	4,8 x 10 ¹	< 1

- **** ENSAYO NO ACREDITADO**
- *** ENSAYO ACREDITADO**
- N.M.P/ 100 mL: NUMERO MAS PROBABLE POR CIENTO MILILITROS.
- VER ALCANCE DE ACREDITACIÓN DEL LABORATORIO QUÍMICO LAMBDA EN LA DIRECCION ELECTRONICA www.eci.or.cr
- PROCEDIMIENTO ÚNICAMENTE DE REFERENCIA: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 22ST EDITION, 2012; 9020B(3), 9020B(8), 9020B(9), 9223A, 9223B.
- METODOS UTILIZADOS: LAMBDA PT-14 Determinación de coliformes totales, termotolerantes y *E. coli* en aguas potables, residuales, recreacionales y piscinas, METODO VALIDADO EN EL LABORATORIO LAMBDA.
- LA MUESTRA SE CATALOGA COMO CLASE 2, SEGUN DECRETO EJECUTIVO 33903-MINAE-S (COLIFORMES FECALIS 20 - 1000 NMP/ 100 mL).
- DIGITADO POR: car.
- CODIGO LAMBDA: 8677-Q01 A 05.

Dr. CARLOS RAMIREZ
M.Q.C. CODIGO 934

NOTA: Refiérase al código Lambda de esta muestra para cualquier consulta.

Anexo 5. Decreto Ejecutivo 33903.

Decreto Ejecutivo: 33903 del 09/03/2007	
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 domiciliario, 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) **DBO₅**: 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.

Parámetros Complementarios (Unidades)	Parámetros					
	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	
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 ₃ ⁻ (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

Parámetros Complementarios (Unidades)	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Sólidos Disueltos (mg/L)		<250	>1 000	> 1 000	<500
Grasas y Aceites (mg/L)	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	> 0,05	>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 ⁻ /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 ₃ / 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

	0,03 a	0,05 a	0,10 a			
Plomo (mg/L)	<0,03	0,20		<0,05	<0,10	<0,20
	0,005 a	0,010 a	0,020 a			
Selenio (mg/L)	<0,005	0,050		<0,010	<0,020	<0,050
Sulfatos (SO ₄) ⁻² (mg/L)	<150	150 a 250	>250	>250	>250	>250
Parámetros orgánicos						
Sumatoria de los Compuestos				ND	ND	ND 0,01 0,01
Organoclorados (mg/L)						
Sumatoria de los Compuestos				ND	ND	ND 0,01 0,01
Organofosforados (mg/L)						
Biológicos						
Coliformes	Fecales	1000 a	2000 a			
(NMP/100 ml)	2000 5000			< 20	20 a 1000	>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.

Usos	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
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 μm . 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 Assessment 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 HOLANDES 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.

PUNTOS	PSO (%)	DBO (mg/L)	N-NH₄ (mg/L)*
1	91 - 100	< = 3	< 0.50
2	71 - 90 111 - 120	3.1 – 6.0	0.50 – 1.0
3	51 - 70 121 - 130	6.1 – 9.0	1.1 – 2.0
4	31 - 50	9.1 – 15	2.1 – 5.0
5	< = 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.

DBO₅: 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.

Clase	Sumatoria de puntos	Código de Color	Interpretación de Calidad
1	3	Azul	Sin contaminación
2	4 - 6	Verde	Contaminación incipiente
3	7 - 9	Amarillo	Contaminación moderada
4	10 - 12	Anaranjado	Contaminación severa
5	13 - 15	Rojo	Contaminación 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 m²/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 μm , 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 Leptohiphidae; Oligoneuriidae; Polymitarciidae; Baetidae Cr Crustacea Tr Turbellaria
4	C Chrysomelidae; Curculionidae; Haliplidae; Lampyridae; Staphylinidae; D Dytiscidae; Gyrinidae; Scirtidae; Noteridae Dixidae; Simulidae; 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 M Psychodidae o Valvatidae; Hydrobiidae; Lymnaeidae; Physidae; Planorbidae; Bithyniidae; Bythinellidae; Sphaeridae 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

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

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

