

Costa Rica

**Monika Springer¹, Silvia Echeverría-Sáenz² y
Pablo E. Gutiérrez-Fonseca³**

¹Escuela de Biología y CIMAR, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. monika.springer@ucr.ac.cr. ²Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas, IRET, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. silvia.echeverria.saenz@una.cr. ³Departamento de Biología, Universidad de Puerto Rico-Río Piedras. San Juan, Puerto Rico, gutifp@gmail.com.



3.1. Resumen

Costa Rica es un país con abundantes y diversos ecosistemas dulceacuícolas, influenciados y caracterizados por diferentes regímenes de precipitación orográfica. Esta variedad de hábitats alberga una gran diversidad biológica, entre cuyos representantes destacan, por su gran abundancia y cantidad de especies, los macroinvertebrados dulceacuícolas. El interés por este grupo ha venido aumentando en las últimas dos décadas, por lo que se cuenta con una considerable cantidad de publicaciones científicas sobre su taxonomía, biología y ecología, tanto a nivel de especies como a nivel de sus ensamblajes. Sin embargo, es notable que los grupos de macroinvertebrados no insectos, con excepción de los decápodos, sean los que tengan la menor cantidad de trabajos publicados, mientras que se puede acceder a una gran cantidad de información taxonómica acerca de los insectos acuáticos, en especial de los órdenes Odonata, Trichoptera y Ephemeroptera. Los estudios ecológicos y de historia natural aún pertenecen a un área del conocimiento muy poco explorada. Asimismo, la mayoría de las investigaciones se han enfocado en los ambientes lóticos, poniéndose de manifiesto que hay limitantes en el conocimiento sobre los hábitat lénticos. El estado de conservación de los macroinvertebrados en Costa Rica es difícil de dictaminar, debido a la falta de información respecto a la distribución geográfica y aspectos ecológicos de los organismos. Sin embargo, podría considerarse que su protección y conservación será adecuada siempre que las medidas de protección de los ecosistemas de las aguas continentales procuren el mantenimiento de la integridad



ecológica, la viabilidad de las poblaciones, la conectividad y la representatividad de las especies y los sistemas ecológicos. En cuanto a su uso como bioindicadores de calidad de las aguas, en Costa Rica se ha venido utilizando a los macroinvertebrados en proyectos de monitoreo y en diferentes actividades académicas como cursos, tesis de grado y posgrado y proyectos de investigación. También ha habido un creciente interés en este tipo de estudios por parte de instituciones gubernamentales y las ONG. Esta conciencia sobre la utilidad de los ensamblajes de macroinvertebrados como indicadoras de la calidad del agua, junto con la preocupación del alto grado de contaminación que tienen muchos ríos en el país, dio como resultado su incorporación dentro de un decreto ejecutivo (33903-MINAE-S 2007). Éste reglamenta la evaluación y clasificación de la calidad de los cuerpos de agua superficiales del país y establece el índice BMWP-CR (“Biological Monitoring Working Party”, adaptado para Costa Rica) para el monitoreo biológico. Aunque existe una considerable cantidad de publicaciones, aún falta profundizar los conocimientos sobre taxonomía, ecología y distribución geográfica de la mayoría de los organismos dulceacuícolas. Asimismo, es necesario fomentar la interrelación entre investigadores nacionales e internacionales para evitar la duplicación de esfuerzos y mejorar las líneas de trabajo, afinar los índices utilizados para el biomonitoreo de la calidad del agua y aumentar la disponibilidad de la información generada. Finalmente, se espera que las investigaciones actuales y futuras coadyuven en la generación de directrices y estrategias apropiadas para cumplir con los objetivos de la conservación de los ecosistemas de agua dulce, reducir las presiones de origen antropogénico y preservar la biodiversidad.

3.1. Abstract

Costa Rica is a country with abundant and diverse freshwater ecosystems, which are influenced and characterized by different orographic precipitation regimes. This variety of habitats harbors great biological diversity, particularly freshwater macroinvertebrates which are abundant and represent a large number of species. Due to increasing interest in this group over the past two decades, a considerable number of scientific publications exists about



their taxonomy, biology and ecology at both the species and assemblage levels. Nevertheless, it is notable that non-insect macroinvertebrate groups, with the exception of Decapods, represent the least amount of published works, while a large amount of taxonomic information is available for aquatic insects, especially Odonata, Trichoptera and Ephemeroptera. Studies of their ecology and natural history continue to represent a little-explored area, and most of the investigations have focused on lotic environments, demonstrating limited knowledge about lentic habitats. The state of conservation of macroinvertebrates in Costa Rica is difficult to determine because of the lack of information about the geographic distribution and ecological aspects of the organisms. Nevertheless, their protection and conservation could be considered to be adequate as long as ecosystem protection measures in continental waters maintain ecological integrity, population viability, connectivity and representativeness of the species and the ecological systems. In terms of their serving as bioindicators of water quality, macroinvertebrates have been used in Costa Rica for monitoring projects and for different academic activities, such as courses, graduate and postgraduate theses and research projects. Interest on the part of government agencies and non-governmental organizations in this type of study has also been growing. This awareness about the usefulness of macroinvertebrate assemblages as indicators of water quality, along with concern about the high degree of contamination in many rivers in the country, has led to their being included in an executive decree (33903-MINAE-S 2007). This regulation governs the evaluation and classification of the quality of surface water bodies in the country and establishes the BMWP-CR index (Biological Monitoring Working Party, adapted for Costa Rica) for biological monitoring. Although a considerable number of publications exists, more in-depth knowledge is still lacking about the taxonomy, ecology and geographic distribution of most freshwater organisms. In addition, the relationship between national and international investigations needs to be explored in order to avoid duplicating efforts and to improve lines of work, as well as to refine the indices used for the biomonitoring of water quality and increase the availability of the information generated. Lastly, current and future investigations are expected to support the creation of guidelines and appropriate strategies to meet the objectives for freshwater ecosystem conservation, as well as to reduce anthropogenic pressures and preserve biodiversity.

3.2. Introducción

Costa Rica cuenta con un importante componente hidrológico, el cual está integrado por 34 cuencas hidrográficas (SINAC 2007; figura 1) y 320 sitios de humedales, de los cuales 12 se han designado como sitios de importancia internacional y se encuentran dentro de la lista de la convención Ramsar (figura 2). El país está dividido en dos vertientes bien definidas por una cadena montañosa que atraviesa el territorio nacional de noroeste a sureste. Esta está compuesta por cinco cordilleras montañosas: Guanacaste, Tilarán, Volcánica Central, Costeña y Talamanca, con una altura máxima en ésta última de 3,820 msnm. La vertiente Pacífica cubre 53% del territorio y contiene 16 cuencas. Por otro lado, la vertiente Caribe cubre 47% del territorio y está dividida en 18 cuencas (figura 1). Debido a las características orográficas, generalmente los ríos de la vertiente Pacífica son más cortos y torrentosos que los del Caribe y si bien son caudalosos, no son navegables con algunas pocas excepciones. Por el contrario, los ríos de la vertiente Caribe y principalmente los de la subvertiente norte, que drenan al Río San Juan, son más largos y se caracterizan por formar zonas de meandros en su paso por las áreas de llanuras aluviales (figura 1); la mayoría son navegables y son la única vía de acceso a algunos poblados.

En la parte central y pacífica del país se da una estación seca bien definida que va de diciembre a abril y una estación lluviosa desde mayo hasta noviembre. Esta disminución de las precipitaciones está bien marcada en la zona del Pacífico norte, donde se encuentra la mayo-

ría de los ríos intermitentes del país, los cuales se secan o disminuyen notablemente su caudal en la época seca, restableciéndose en la época lluviosa. En esta zona del país la precipitación promedio anual es de alrededor de 2,300 mm. Por otro lado, los ríos del Pacífico central y sur por lo general son de tipo permanente, ya que la estacionalidad está menos marcada y las precipitaciones rondan los 5,000 mm anuales. Lo mismo ocurre en la vertiente Caribe y la subvertiente norte, donde la estación seca es básicamente inexistente, aunque se presentan menos lluvias en febrero y octubre. Por estas características, en las zonas Caribe y norte, además de tener gran cantidad de ríos y arroyos, se concentra el mayor número de ecosistemas lénticos (figura 2).

Los ambientes lénticos en Costa Rica se ubican desde el nivel del mar muy cerca de las costas, hasta más de 3,500 msnm en la zona de páramo (Umaña *et al.* 1999). En estudios recientes se contabilizaron 510 sistemas lacustres que incluyen tanto los naturales (*e.g.* lagunas costeras, lagos y lagunas), como los sistemas de origen antropogénico (reservorios o embalses para generación hidroeléctrica) (PREPAC 2005).

Esta gran variedad de ecosistemas de aguas continentales alberga una alta diversidad de fauna y flora, aunque la información respecto al número de especies conocidas en muchos grupos es aún escasa. Con un promedio de 4-5% de la biodiversidad mundial, Costa Rica es considerada como uno de los países de mayor diversidad de especies por área en América Latina (Obando-Acuña 2002) y también es uno de los países mejor estudiados en la región mesoamericana (incluida su fauna acuática).



3.3. Estado del conocimiento sobre macroinvertebrados dulceacuícolas en Costa Rica

En Costa Rica, el estudio de los macroinvertebrados acuáticos ha venido en aumento en las últimas dos décadas, no sólo en aspectos taxonómicos, sino también ha habido un creciente interés en temas de biología y ecología de los ensamblajes de macroinvertebrados dulceacuícolas. Una muestra del gran avance que se ha tenido en el tema, es la publicación de una

● Figura 1. Ambientes lóticos y cuencas hidrográficas de Costa Rica.

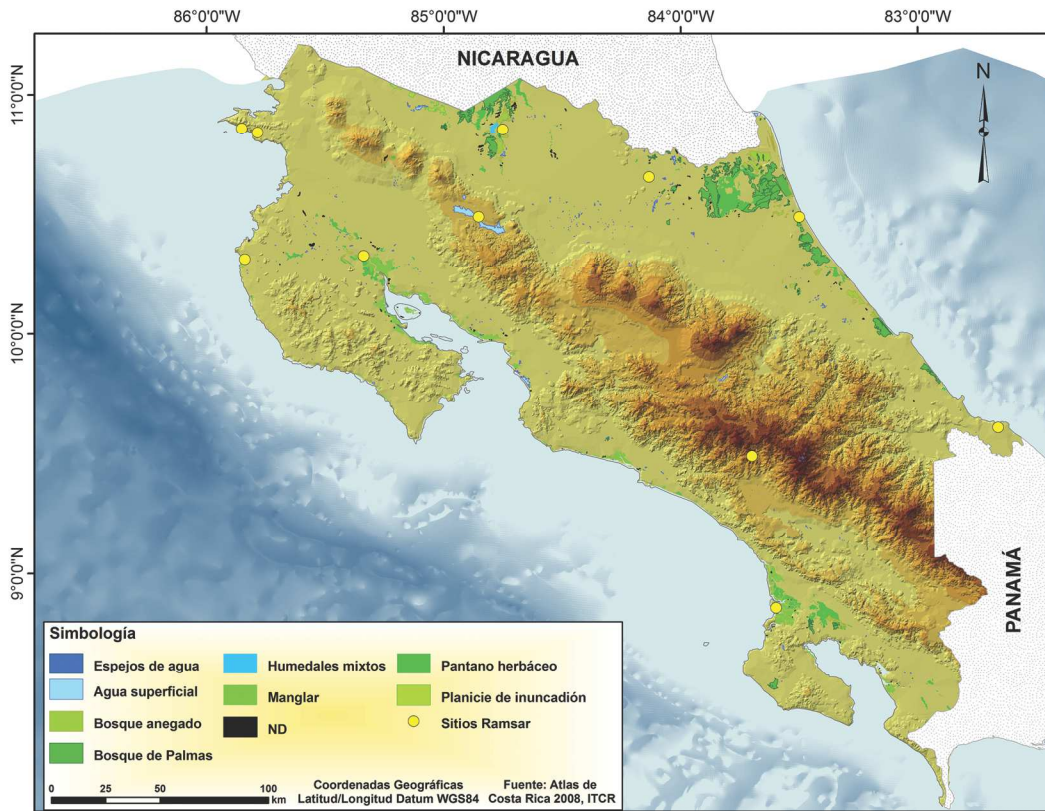


Figura 2. Ubicación de los diferentes ambientes lénticos y sitios Ramsar de Costa Rica, con excepción de la Isla del Coco.

guía para la identificación de los macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica, la cual consiste en tres volúmenes. El primer volumen (Springer *et al.* 2010) incluye una introducción a los diferentes grupos de macroinvertebrados, una presentación de los métodos de recolecta, una introducción al biomonitoreo, así como claves de identificación (a nivel de género) e información general sobre los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera, Odonata y Trichoptera. Los otros dos volúmenes, que se encuentran en preparación, incluirán todos los demás órdenes de insectos con representantes acuáticos (Collembola, Hemiptera, Blattodea, Coleoptera, Megaloptera, Neuroptera, Lepidoptera, Hymenoptera y Diptera) y finalmente todos los grupos no-insectos con representantes dulcea-



cuícolas (los filos Nematoda, Platyhelminthes, Annelida y Mollusca, subfilos Crustacea e Hydrachnidia). Para la elaboración de estas guías se cuenta con la colaboración de más de 50 expertos taxónomos nacionales e internacionales y las mismas constituyen una herramienta muy útil e importante para el estudio de la fauna acuática, no solo en Costa Rica, sino en toda la región mesoamericana.

En el país existen diversas instituciones (universidades, organizaciones no gubernamentales, instituciones del Estado) que realizan periódicamente muestreos de macroinvertebrados como parte de proyectos de investigación o monitoreo biológico. Sin embargo, hay una gran cantidad de estudios que se quedan en literatura “gris”, por ejemplo aquellos elaborados a través de consultorías como parte de las evaluaciones de impacto ambiental o los muestreos realizados por centros educativos con fines de docencia. Estos últimos no serán considerados dentro de este apartado debido a la dificultad de obtenerlos y a que la información no ha sido revisada por un comité editorial científico. Una recopilación de las publicaciones relacionadas con los diferentes órdenes de insectos acuáticos se encuentra en Springer (2008), con un total de 340 citas bibliográficas. Por lo tanto, a continuación se enfatiza en los trabajos más recientes, además de aquellos que corresponden a los diferentes grupos no incluidos en dicho trabajo.

3.3.1. Estudios taxonómicos

Costa Rica es sin duda el país de la región Mesoamericana donde existe la mayor cantidad de publicaciones de carácter taxonómico sobre los diferentes grupos de macroinvertebrados.

Sin embargo, para algunos grupos no se encontró información sobre las especies dulceacuícolas de Costa Rica, a pesar de que se encuentran con cierta frecuencia en las muestras de diversos ambientes acuáticos en el país y que estos grupos han sido trabajados por expertos en especies terrestres y marinos (e.g. Platyhelminthes, Isopoda y Collembola). Estos grupos se están trabajando en la actualidad con taxónomos internacionales quienes están elaborando claves taxonómicas a nivel de género, con el fin de facilitar la identificación y así generar más información sobre estos grupos poco conocidos en la región.

A nivel mesoamericano existen algunas recopilaciones del conocimiento taxonómico para diversos grupos y un primer resumen comprensivo de la fauna acuática de esta región fue publicado por Hurlbert y Villalobos-Figueroa (1982). Para algunos órdenes, en especial de insectos, existen páginas de internet de las cuales se puede extraer información sobre las especies registradas por país, así como bibliografía (e.g. “Mayfly Central” y “Ephemeroptera Galactica” para Ephemeroptera).

Filo Platyhelminthes - De nuestro conocimiento, las planarias de agua dulce no han sido estudiadas en Costa Rica, a pesar de su amplia distribución. Tampoco existe un listado de las especies que pueden estar presentes en el país, ni claves taxonómicas para su identificación.

Filo Nematoda - Entre 1998 y 2002 se llevó a cabo el inventario de los nematodos en áreas protegidas de Costa Rica por el Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio) en estrecha colaboración con el laboratorio de Nematología de la Escuela de Ciencias Agrarias de la



Universidad Nacional (UNA). Se analizaron 88 muestras procedentes de ambientes con la colaboración de expertos internacionales. Los nematodos se extrajeron de sedimentos de ríos, riachuelos, lagunas y cuerpos de agua efímeros. Se identificaron más de 49 familias, 65 géneros y 45 especies en el periodo de estudio, de las cuales nueve especies eran nuevas para la ciencia; además de una gran cantidad de especies sin identificar. Los resultados de esta investigación pueden encontrarse en Bongers *et al.* (2003), Esquivel (2000, 2003), Loof y Zullini (2000a,b) y Zullini *et al.* (2002a,b). El laboratorio de nematología de la Escuela de Ciencias Agrarias, tiene una colección de referencia con más de 22,000 nematodos preservados y montados en láminas permanentes. La información sobre la colección está disponible en la base de datos del INBio (<http://atta.inbio.ac.cr>). Sin embargo, aún queda mucho trabajo taxonómico pendiente, dado que solo el 8% de esta colección está identificado a nivel de especie.

Filo Nematomorpha – Los gusanos nematomorfos de agua dulce o gordiáceos (Clase Gordioidea) se encuentran en los ambientes acuáticos únicamente en su fase adulta, mientras que sus larvas parasitan insectos terrestres, en especial de los órdenes Orthoptera y Blattodea. Schmidt-Rhaesa y Menzel (2005) presentaron una lista de las especies de Mesoamérica y el Caribe y reportaron los géneros *Chordodes*, *Neochordodes* y *Paragordius* con cuatro especies para el país, dos de los cuales fueron descritos por estos autores como especies nuevas para la ciencia. Es muy probable que se encuentren aún más especies de este filo para Costa Rica en futuros estudios.

Filo Annelida - Muy poco se conoce sobre los anélidos de agua dulce en Costa Rica, aunque recientemente se han realizado esfuerzos para algunos grupos, por ejemplo para la subclase Hirudinea (sanguijuelas). Para éstas, Ocegüera-Figueroa y Pacheco-Chaves (2012) presentaron la primera lista con 12 especies y claves de identificación. De la clase Polychaeta se han recolectado varios especímenes en diferentes ríos y lagunas de agua dulce del país; sin embargo, apenas se está iniciando el estudio taxonómico de los mismos. Para este grupo, Glasby y Timm (2008) indicaron que se han identificado 168 especies de 70 géneros y 24 familias a nivel mundial, de los cuales 53 especies de 20 géneros corresponden a la región neotropical. Para la clase Oligochaeta existe una guía para Sur- y Centroamérica publicada por Brinkhurst y Marchese (1989); sin embargo, este grupo en Costa Rica ha sido muy poco estudiado.

Filo Arthropoda

Subfilo Chelicerata

Clase Arachnida

Orden Trombidiformes – (Hydrachnidia) – La fauna de ácaros acuáticos en Costa Rica fue investigada principalmente por Cook (1980) y Goldschmidt (2001, 2004a-d, 2006, 2007, 2009a), quien realizó un inventario de 450 cuerpos de agua, lo que incluía más de 60 manantiales (nacientes) en donde recolectó 21 familias y 79 géneros. El 80% de los taxa que encontró eran nuevos para la ciencia o bien representaron nuevos registros, incluso seis familias y 40 géneros que fueron reportados por primera vez para el país. Hasta la fecha hay 172 especies de ácaros acuáticos descritos



para Costa Rica; sin embargo, con los hallazgos nuevos, las estimaciones de la fauna oscilan entre las 600 y 800 especies. Otras publicaciones sobre los ácaros acuáticos incluyen la de Springer y Gerecke (1992), con el primer registro de *Neotorrenticola plumipes* (Limnesiidae) y la descripción del macho de esta especie, además de notas sobre algunos aspectos de su biología. Una clave para la identificación de las familias y los géneros de ácaros acuáticos de Costa Rica está en preparación por Goldschmidt.

Subfilo Crustacea

Clase Ostracoda – No se encontró información publicada sobre los ostrácodos de agua dulce de Costa Rica, aunque sí se les ha observado en diversos ambientes acuáticos, especialmente en algunos lagos y humedales, como el de Palo Verde (Trama *et al.* 2009) y en campos de arroz inundado (Rizo-Patrón *et al.* 2013).

Clase Malacostraca

Orden Amphipoda - Los anfípodos dulceacuícolas son poco diversos y tienen una distribución restringida en Costa Rica, aunque pueden ser localmente muy abundantes. Aún se conoce poco sobre las especies presentes en el país, uno de los pocos trabajos publicados es la redescritión de la especie *Hyaella faxoni* (anteriormente identificada como *Hyaella azteca*; González y Watling 2002).

Orden Isopoda - De este grupo se recolectan a menudo especímenes en los diversos ambientes de agua dulce del país. Sin embargo, no existe un estudio taxonómico de las espe-

cies semiacuáticas o acuáticas y se desconoce su biología.

Orden Decapoda - Del grupo de los decápodos de agua dulce existen tres familias en Costa Rica: 18 especies de la familia Palaemonidae (camarones y langostinos), todos del género *Macrobrachium*; ocho especies de la familia Atyidae (burras o maruchas), con cuatro géneros; y al menos 17 especies de la familia Pseudohelphusidae (cangrejos de agua dulce), con seis géneros (Lara 2009, Magalhães *et al.* 2010). Una especie de camarón de río endémica de la Isla del Coco fue descrita por Abele y Kim (1984). Una guía ilustrada de las especies de los camarones dulceacuícolas de la cuenca del río Grande de Térraba fue publicada por Lara (2009) y la misma puede ser utilizada para la identificación de las especies presentes en toda la vertiente Pacífica de Costa Rica. En cuanto a los cangrejos dulceacuícolas, Rodríguez y Magalhães (2003) publicaron una revisión para Centroamérica e indicaron la presencia de 13 géneros y 43 especies para esta región. Para Costa Rica se han descrito varias especies, donde destacan los trabajos de Villalobos (1973), Hobbs (1991) y Magalhães *et al.* (2010).

Subfilo Hexapoda

Clase Collembola – A pesar de es común encontrar individuos de este grupo en las muestras de diferentes ambientes de agua dulce del país, no se encontró información publicada.

Clase Insecta

Orden Ephemeroptera - Flowers y de la Rosa (2010) informaron que hay un poco más de 80 especies de 46 géneros y 10 familias de efí-

meras registradas para Costa Rica. Esta misma publicación incluye una clave taxonómica para la identificación de las ninfas de las familias y los géneros de Costa Rica y un listado de la literatura más importante. Entre las publicaciones taxonómicas sobre Ephemeroptera de Costa Rica destacan además algunas descripciones de géneros nuevos para la ciencia, tales como *Tikuna* (Savage *et al.* 2005) y *Cabecar* (Baumgardner y Ávila 2006).

Orden Odonata - Sobre este orden existe una gran cantidad de estudios taxonómicos donde se describen y registran especies de Costa Rica; la mayoría de estas publicaciones se encuentran citadas en Esquivel (2006), Springer (2008) y Ramírez (2010). Algunos trabajos recientes incluyen la descripción de estadios larvales (Ramírez *et al.* 2011, Ramírez y Gutiérrez-Fonseca 2013) y la descripción de nuevas especies (e.g. Paulson 2009). También existen algunas guías fotográficas locales para las libélulas adultas por ejemplo para el área de Golfo Dulce (Schneeweihns 2009) y para Monteverde (Haber 2011). Una clave taxonómica para la identificación de las familias y los géneros de las náyades fue publicada por Ramírez (2010), quien mencionó 271 especies de 73 géneros y 14 familias para el país. Sin embargo, estudios moleculares recientes (Dijkstra *et al.* 2013, 2014) propusieron la fusión de algunas de estas familias del suborden Zygoptera, por lo que actualmente quedan 12 familias para Costa Rica. Se considera que la fauna de odonatos de Costa Rica es la mejor conocida de Centroamérica y Ramírez *et al.* (2000) estimaron que podría haber unas 340 especies en el país.

Orden Orthoptera – No existen registros de especies acuáticas de este grupo en Costa Rica.

Orden Plecoptera - Stark (1998) registró 27 especies del género *Anacroneuria* para Costa Rica y Panamá. De las 27 especies, 18 fueron nuevas para la ciencia y 12 se distribuyen únicamente en Costa Rica. Gutiérrez-Fonseca y Springer (2011) describieron las ninfas de siete especies. Además, los autores realizaron mapas de distribución de cada una de las ninfas descritas. Estos autores también registraron por primera vez la presencia de un segundo género para Centroamérica, *Perlesta*, anteriormente conocido únicamente de Norteamérica (Gutiérrez-Fonseca y Springer 2011). Una clave para la identificación de estos dos géneros se encuentra en Gutiérrez-Fonseca (2010). Recientemente, Stark (2014) describió tres especies para Costa Rica. Adicionalmente, este autor presentó la lista actualizada de las especies de *Anacroneuria* para la región Mesoamericana, y la distribución de cada una de las especies.

Orden Blattodea – Aunque la gran mayoría de las especies de cucarachas son terrestres, existen al menos seis géneros con especies que viven asociadas a los ambientes acuáticos (Bell *et al.* 2007). En Costa Rica, las ninfas de *Epilampra* se encuentran comúnmente entre hojarasca acumulada en las zonas de corriente, en ríos y arroyos de aguas limpias y bien oxigenadas, en ambas vertientes. Bell *et al.* (2007) realizaron algunas observaciones sobre el comportamiento de *Epilampra abdomenigrum* (Blaberidae, Epilamprinae) en Costa Rica y discutieron sus posibles adaptaciones a



la vida acuática. Fisk y Schal (1981) describieron algunas especies nuevas de Epilamprinae, incluida la especie *Epilampra belli*, y mencionaron su preferencia por los lugares muy húmedos, aunque admitieron que se conoce muy poco sobre su biología. La especie centroamericana *Epilampra maya* es citada por Nickle y Sibson (1984) como asociada a ambientes acuáticos. Sin embargo, aún no se ha realizado un estudio taxonómico comprensivo de las cucarachas semiacuáticas en Costa Rica o en el resto de Centroamérica.

Orden Hemiptera - De las 15 familias acuáticas y semiacuáticas de este orden que se encuentran en la región centroamericana, únicamente existen publicaciones aisladas y puntuales con descripciones y registros de especies de Costa Rica (Springer 2008). Hasta la fecha, aún no se ha publicado un listado de los géneros y las especies de los hemípteros de Costa Rica, por lo que se desconoce el número exacto que se encuentran en el país. Sin embargo, en el Museo de Zoología de la Universidad de Costa Rica (MZUCR) se están realizando esfuerzos importantes para estudiar varias familias de chinches acuáticos y así conocer mejor su taxonomía y distribución en el país. Un estudio de la familia Gerridae fue realizada por Pacheco-Chaves (2010), quién registró 26 especies y 13 géneros para Costa Rica, de los cuales varios representan nuevos informes para el país (e.g. Padilla-Gil y Pacheco-Chaves 2012). En este trabajo también se presentó una clave taxonómica para la identificación a nivel de especie y mapas de distribución para cada una. De las otras familias de Gerromorpha: Hebridae, Hydrometridae, Mesoveliidae y Veliidae, Pa-

checo-Chaves *et al.* (2014) publicaron 13 nuevos registros para el país (de los géneros *Lipogomphus*, *Hydrometra* y *Microvelia*), además, confirmaron la presencia de otras tres especies de *Platyvelia*, presentando datos y mapas de distribución para un total de 24 especies. También de la familia Veliidae, Buzzetti y Zettel (2007) describieron una nueva especie de *Rhagovelia* para Costa Rica. Del grupo de los Nepomorpha, Herrera (2013a) estudió la diversidad y distribución de chinches de la familia Naucoridae en Costa Rica y publicó el primer registro del género *Ctenipocoris* para Centroamérica (Herrera 2013b). Además, Herrera y González (2013) describieron el macho y la hembra de *Cryphocricos latus*. Recientemente se publicó el primer registro de la familia Potamocoridae para el país (Herrera y Springer 2012), y la ampliación del ámbito de distribución para el népido *Curicita scorpio* (Herrera 2013c), así como el primer registro de *Buenoa gracilis* (Notonectidae) (Herrera 2013d). Estas publicaciones evidencian nuevamente el vacío que aún existe con respecto al conocimiento sobre la biodiversidad dulceacuícola de la región.

Orden Coleoptera - Debido a la gran diversidad de este orden y a la falta de taxónomos locales para la identificación de los miembros de las diferentes familias acuáticas, aún se desconoce la cantidad de especies que puedan existir en los distintos ambientes acuáticos del país. No obstante, existe una considerable cantidad de publicaciones (citadas en Springer 2008) con descripciones de las especies acuáticas en las 18 familias acuáticas y semiacuáticas que se encuentran en la región (Spangler 1982). La familia acuática que ha recibido más atención en el país durante los últimos años es Hydrophilidae, gra-

cias al aporte de A.E.Z. Short, quien ha descrito muchas especies nuevas y ha realizado revisiones de varios géneros a nivel neotropical (citados en Springer 2008). Algunos de sus trabajos más recientes incluyen la redescrición del género *Phaenostoma* (Gustafson y Short 2010). Para esta familia ya se han encontrado más de 100 especies de más de 30 géneros en el país (según datos sin publicar de A. Short). La familia Elmidae cuenta con registros de 20 especies de 12 géneros (Ottoboni-Segura *et al.* 2013), aunque se han recolectado especímenes de otros siete géneros adicionales, aún no reportados. Otros trabajos publicados recientemente sobre coleópteros acuáticos incluyen a Brojer y Jäch (2011) sobre la familia Hydraenidae, con la descripción de seis especies nuevas y nuevos registros de especies para el país, y Shepard y Barr (2014), con la descripción del nuevo género *Neoeubria* de Psephenidae (Subfamilia Eubriinae). Sin lugar a dudas, en este orden se seguirán encontrando muchas especies nuevas por lo que aumentará la cantidad de especies registradas para Costa Rica.

Orden Neuroptera - Los neurópteros acuáticos de la familia Sisyridae cuentan en Norte y Centroamérica con dos géneros y seis especies (Bowles 2006), de los cuales para Costa Rica únicamente ha sido reportada la especie *Sisyra apicalis*, aunque se estima que se podría encontrar más especies (Penny 2002). Debido a su estrecha relación con las esponjas de agua dulce, las larvas de esta familia son muy difíciles de recolectar. En el MZUCR se ha depositado hasta la fecha un único individuo que se encontró sobre una esponja en un arroyo en una zona arrocera en la vertiente Pacífica de Costa Rica, cercano al sitio donde fueron

recolectados los adultos de esta especie (Penny 2002). Investigadores de la Universidad de Costa Rica han recolectado esponjas dulceacuícolas en otros dos sitios del país (lagunas en altura intermedias), sin embargo, no se encontraron larvas de Sisyridae asociadas a éstas.

Orden Megaloptera - Los megalópteros de la región, incluidas las especies de Costa Rica, han sido estudiados sobre todo por Flint (1992) y Contreras-Ramos (1995, 2005) y una lista de las especies neotropicales fue publicada por Contreras-Ramos (1999). En Costa Rica se han registrado tres géneros (*Chloronia*, *Corydalis* y *Platyneuromus*) de la familia Corydalidae con once especies. Las larvas son comúnmente encontradas en los diferentes ambientes lóticos del país, pero aún falta realizar las asociaciones larvas-adultos para poder describir los estadios inmaduros de las especies.

Orden Trichoptera - La fauna de tricópteros de Costa Rica ha sido extensamente estudiada por Holzenthal y colaboradores, lo que ha dado como resultado una lista de más de 460 especies en 52 géneros de 15 familias. Los trabajos taxonómicos de este orden se encuentran citados en Springer (2008, 2010a) y una clave taxonómica para la identificación de las larvas de las familias y los géneros de Costa Rica fue desarrollada por Springer (2010a). Recientemente se empezaron estudios para asociar las larvas con sus respectivos adultos y así poder realizar las descripciones de las larvas a nivel de especie, ya que para más de 90% de las especies aún se desconocen los estadios inmaduros.

Orden Lepidoptera - Las larvas acuáticas de la familia Crambidae, en especial del género



Petrophila, se encuentran ampliamente distribuidos y son localmente muy abundantes en los ríos y arroyos de Costa Rica. Sin embargo, no se ha publicado ningún trabajo sobre los lepidópteros acuáticos en el país. La mayoría de las publicaciones se restringen a descripciones de adultos terrestres de las especies acuáticas (Springer 2008), mientras que las larvas y pupas se mantienen aún sin describir y se desconoce aún la cantidad de especies de lepidópteros acuáticos que se encuentran en Costa Rica.

Orden Diptera - En Springer (2008) se encuentran citados una gran cantidad de trabajos publicados sobre los diversos grupos de dípteros acuáticos, especialmente aquellos de importancia médica como Culicidae y Simuliidae, los cuales han recibido especial atención en el pasado en el país. Recientemente Hernández-Triana *et al.* (2010) en su trabajo sobre la diversidad de Simuliidae de Costa Rica, reportaron tres géneros y 23 especies de esta familia, de los cuales siete tienen importancia médica. Brown *et al.* (2009, 2010) editaron dos volúmenes muy detallados sobre los dípteros de Centroamérica. En el primer volumen se encuentra una clave para determinar las familias de los dípteros, en la cual se incluye a las familias con especies acuáticas. En este mismo volumen se encuentran descripciones para las larvas a nivel de género de las familias Tipulidae, Dixidae, Corethrellidae, Chaoboridae, Culicidae, Simuliidae, Chironomidae y Athericidae, todas ellas con representantes acuáticos en Costa Rica. En el segundo volumen se incluye la descripción de las familias Syrphidae, Ephydriidae y Muscidae.

Diptera es sin duda el orden menos conocido de los insectos acuáticos y las familias

con la mayor cantidad de especies según estimaciones de los taxónomos son Ceratopogonidae, Chironomidae, Psychodidae y Tipulidae, con un estimado de 1,000 especies para cada una de ellas en Costa Rica (Brown *et al.* 2009). Para Chironomidae, De la Rosa (2014) señaló que apenas se han reportado 66 especies en 35 géneros para Costa Rica, pero hay al menos 33 géneros adicionales registrados para el país, con especies aún sin describir. Esta información evidencia una vez más el gran vacío del conocimiento taxonómico que aún enfrentamos en muchos grupos de macroinvertebrados acuáticos en la región mesoamericana.

Filo Mollusca - Uno de los primeros trabajos en moluscos dulceacuícolas de Costa Rica fue el realizado por Pilsbry (1920), quien reportó ocho especies para el país (entre terrestres y dulceacuícolas), cinco de las cuales eran nuevas para la ciencia. Taylor (1993) presentó una introducción a los moluscos de agua dulce de Costa Rica, con una lista de 50 especies en 14 familias. Esta publicación incluyó además una revisión histórica de las colecciones malacológicas del país. Una revisión comprensiva de la familia Physidae publicada por Taylor (2003), incluyó varias especies de Costa Rica, además de una clave para los géneros de la familia así como un detallado análisis de la distribución de sus especies. Thompson (2008) realizó un catálogo de las especies de los moluscos terrestres y de agua dulce para Mesoamérica y estimó que se conoce menos de 35% de la malacofauna continental de la región. Barrientos (2003) indicó un 8% de endemismo para las especies de agua dulce de Costa Rica y mencionó la presencia de cuatro especies introducidas.

Colecciones taxonómicas

La mayoría de los estudios taxonómicos son posibles gracias a las colecciones taxonómicas, donde se deposita el material de los diversos estudios y monitoreos que se realizan en el país. Costa Rica posee una de las colecciones más completas de los macroinvertebrados dulceacuícolas de la región latinoamericana, ubicada en el Museo de Zoología de la Universidad de Costa Rica, el cual es uno de los dos depositarios legales del país, junto con la colección del Museo Nacional de Costa Rica (Ley de Biodiversidad No.7788 del 23 de abril de 1998). La colección de insectos acuáticos del MZUCR fue establecida en 1992 por Monika Springer e incluye más de 300 géneros de 93 familias en 11 órdenes de insectos (lista disponible en: <http://museo.biología.ucr.ac.cr/Colecciones/InsectosAcuaticos.htm>). Esta colección está dividida en dos secciones: 1) la sección taxonómica, en donde el material es organizado según los grupos taxonómicos y 2) la sección geográfica, la cual comprende el material recolectado en proyectos de investigación, tesis, estudios ambientales y monitoreos. La base de datos incluye ambas secciones y supera los 20,000 registros, aunque se estima que faltan otros 20-30,000 por digitalizar. En el MZUCR existen también colecciones de los demás grupos de macroinvertebrados dulceacuícolas, especialmente de crustáceos y moluscos, ambas colecciones únicas en el país. En la página de internet del museo (<http://museo.biología.ucr.ac.cr/>) se puede consultar información más detallada sobre el material depositado, así como la lista de las publicaciones relacionadas con las colecciones.

Aparte de la colección del MZUCR existen otras colecciones de macroinvertebrados

acuáticos más pequeñas en el país, ubicadas en diversas instituciones (e.g. la Universidad Nacional, el Instituto de Acueductos y Alcantarillados y el Museo Nacional) y estaciones biológicas (e.g. la del Stroud Water Research Center en la Estación Maritza en Guanacaste y la colección de exuvias de Chironomidae en la Estación Biológica La Selva de la Organización de Estudios Tropicales, OET). Con la información de la base de datos del MZUCR y algunas de las otras colecciones (IRET-UNA) se elaboró un mapa con los sitios de muestreo de los macroinvertebrados de agua dulce en el país (figura 3). En este mapa se puede apreciar claramente el gran esfuerzo que se ha realizado en el país por aumentar el conocimiento en este grupo, así como su aplicación como bioindicadores. Es notable la cobertura representativa de todas las diferentes ecoregiones, así como tipos de ambientes acuáticos, desde las zonas costeras hasta las montañas más altas del país.

3.3.2. Estudios ecológicos

En Costa Rica los estudios ecológicos sobre macroinvertebrados de agua dulce han sido enfocados en su mayoría a los ambientes lóticos, mientras que un menor número de trabajos se han realizado en ecosistemas lénticos. En Springer (2008) se encuentra una recopilación detallada de los trabajos realizados sobre la ecología, biología e historia natural de los insectos acuáticos y su entorno. En esta misma publicación (Springer 2008) se pueden encontrar las referencias bibliográficas de 29 estudios ecológicos en los cuales destacan las publicaciones que relacionan a los macroinvertebrados bentónicos con su medio ambiente. Con respecto a la biología e historia natural se

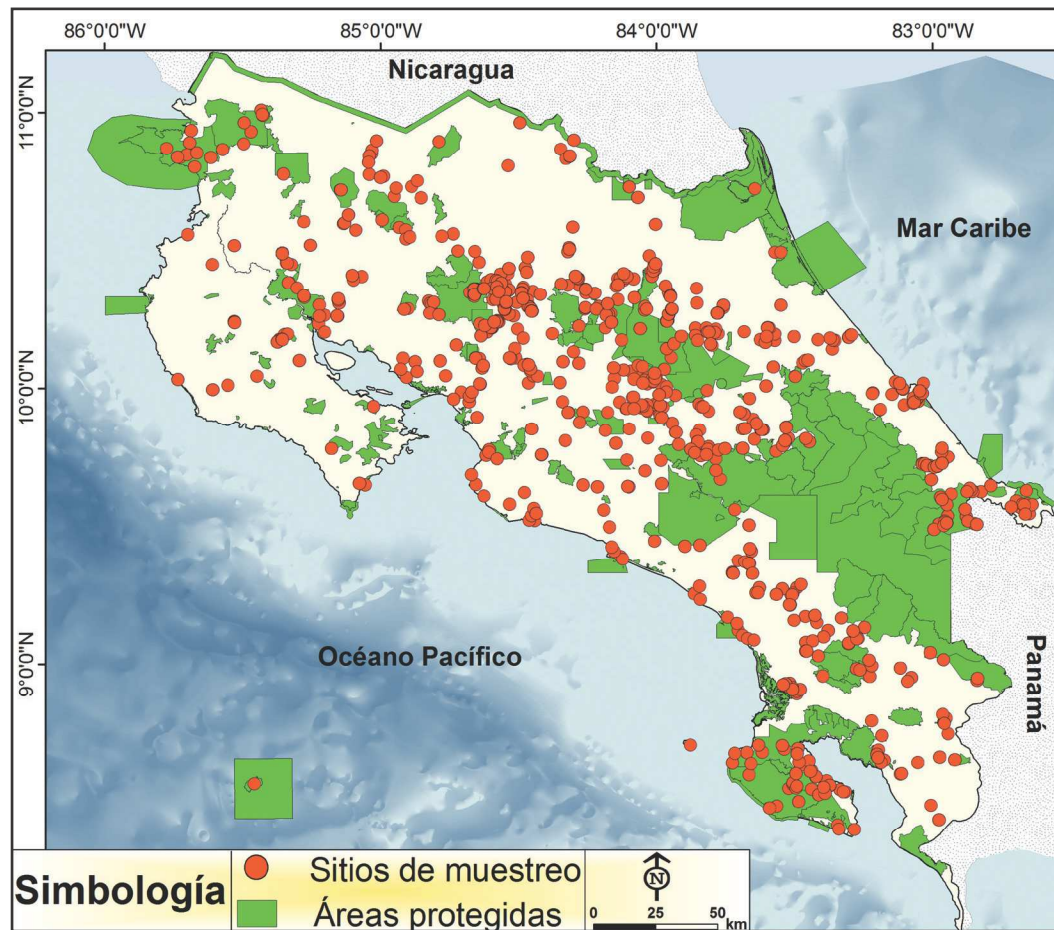


Figura 3. Sitios de recolecta de macroinvertebrados dulceacuícolas fuera y dentro de las áreas protegidas de Costa Rica, incluidas las islas del Caño y del Coco (esta última a una distancia de aprox. 550km de la costa).



encuentran citados 23 trabajos, en los cuales se puede observar que algunos grupos de insectos han recibido un mayor esfuerzo de estudio en Costa Rica, sobre todo los odonatos, efemérotos y hemípteros acuáticos. Entre estas investigaciones destaca la de Jackson y Sweeney (1995), quienes estudiaron el desarrollo larval de 35 especies de insectos acuáticos en el noroeste de Costa Rica. En este estudio pionero se encontró que el desarrollo larval fue varias veces más rápido para estas especies tropicales que para sus contrapartes en las zonas templadas. Además, los resultados indicaron que los insectos acuáticos estudiados no pasan por un periodo de diapausa. Estos hallazgos (rapidez

en el desarrollo larval y ausencia de diapausa) indicaron que todas las especies estudiadas tienen una historia de vida multivoltina (varias generaciones por año), lo cual tiene importantes implicaciones en la variabilidad temporal de la estructura y la composición de los ensamblajes de la fauna de macroinvertebrados acuáticos. Asimismo, Vásquez *et al.* (2009) estudiaron la historia de vida de cinco especies de Baetidae en el río conocido como Quebrada González, en la vertiente atlántica de Costa Rica. En este estudio los autores encontraron que el desarrollo asincrónico, el traslape múltiple de las cohortes y las grandes emergencias con reproducción que suceden todo el año, apoyan la idea del multivoltinismo en las especies tropicales. De la misma recopilación en Springer (2008), se puede indicar que se han realizado varios estudios que tratan sobre el hábitat, la estructura y distribución de los macroinvertebrados acuáticos, así como su papel en las cadenas tróficas y aspectos de la deriva.

Han sido pocos los estudios ecológicos sobre insectos acuáticos publicados en revistas científicas posterior al trabajo de recopilación realizado por Springer (2008), de los cuales únicamente dos fueron desarrollados en ecosistemas lénticos. El primero, por Sibaja-Cordero y Umaña-Villalobos (2008), describió la comunidad béntica asociada al fondo del lago Cote, el lago natural más grande del país. De acuerdo a los autores, este lago es similar a otros lagos tropicales con la dominancia de algunas especies de dípteros (Chironomidae y Chaoboridae) y la presencia de Coleoptera y Acari en la meiofauna. Los autores resaltaron la baja abundancia de quironómidos, la cual podría deberse a la poca acumulación de sedimentos en la orilla, debido a la continua mezcla

del lago. En el segundo estudio publicado para ambientes lénticos, de Trama *et al.* (2009), se presentó un inventario y una estimación de la abundancia de los macroinvertebrados bentónicos del humedal Palo Verde (Guanacaste, en el noroeste del país).

En ambientes lóticos, Herrera-Vásquez (2009) investigó la estructura de la comunidad en escala espacial (rápidos y pozas) y temporal (estación seca y lluviosa) de un río en el Pacífico Central. El autor no encontró diferencias en la riqueza taxonómica al analizar los hábitats en época seca; mientras que en la densidad sí hubo diferencias. Además, el autor encontró diferencias en la riqueza comparada entre las épocas, lo cual, según el autor, podría tener una importante relevancia para el monitoreo acuático. Sweeney *et al.* (2009) realizaron un estudio en siete sitios en ríos de la península de Osa (Pacífico Sur), durante el cual analizaron la riqueza y las abundancias relativas de efemerópteros y los compararon con un estudio realizado en Madre de Dios, Ecuador. Además, calcularon el índice EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) para los sitios con y sin influencia antropogénica. De acuerdo a este estudio, en los ríos de la península de Osa el ensamblaje fue más o menos equitativo entre Baetidae, Leptophlebiidae y Leptohyphidae, aunque esta última fue la más abundante. En el río Madre de Dios, la familia que dominó el ensamblaje fue Leptophlebiidae. Los autores determinaron que la geomorfología del río fue el mejor predictor de la composición del ensamblaje.

Los macroinvertebrados acuáticos en islas han sido relativamente poco estudiados. Gutiérrez-Fonseca *et al.* (2013) describieron por primera vez la composición de los macroinver-



tebrados acuáticos de la Isla del Coco. Estos autores reportaron 20 taxa (en su mayoría géneros) de 15 familias de macroinvertebrados. Con la intención de poner en contexto sus resultados, los autores compararon el inventario con la composición del ensamblaje en otras islas del Pacífico Tropical Oriental. Dentro de las conclusiones más importantes los autores resaltaron que la Isla del Coco es relativamente diversa comparada con las otras islas estudiadas. Asimismo, los autores concluyeron que la distancia fue la variable que mejor explicó la diversidad de familias, y que las islas de mayor área y elevación albergaban una mayor diversidad. En Springer (2008) se pueden encontrar más referencias sobre estudios realizados en otras islas de Costa Rica.

Las interacciones tróficas entre macroinvertebrados acuáticos han sido relativamente poco estudiadas en Costa Rica. A pesar de esto, dentro de las interacciones que más atención han recibido está la depredación. Gittelman (1974) estudió la depredación de dos especies de chinches (*Buenoa antigone* y *Martarega hondurensis*) de la familia Notonectidae sobre las larvas de los mosquitos (Culicidae). El autor determinó diferencias en la voracidad entre especies, con lo cual sugiere a *B. antigone* como una posible especie que se podría utilizar en un programa de control biológico. Finalmente, una observación sobre la depredación de un chinche de la familia Nepidae sobre un chinche patinador (Gerridae) fue publicado recientemente por Herrera (2013f).

Entre los macroinvertebrados no-insectos, los que han recibido más atención son los camarones y cangrejos. Rodríguez y Hedstrom (2000) estudiaron la biología de dos especies de cangrejos del Parque Nacional Barbilla con

notas sobre la evolución en la retención del espermatóforo. Una ampliación de la distribución de la especie *Potamocarcinus nicaraguensis* (Pseudothelphusidae) fue reportada por Villalobos-Solé y Burgos-Gómez (1975). Una investigación sobre la diversidad de especies y distribución de los cangrejos de agua dulce en la cuenca del Río Grande de Térraba fue publicado por Lara et al. (2013). En cuanto a los camarones de agua dulce destacan los trabajos de Lara y Wehrtmann (2011). Lara y Wehrtmann (2009) describieron la biología reproductiva del camarón de río *Macrobrachium carcinus* (Palaemonidae) y encontraron que las hembras tienen una alta fecundidad, la cual aumentó con el tamaño del cuerpo. La fecundidad de las hembras fue considerada de las más altas comparada con otras especies dentro del mismo género. Por otro lado, el tamaño de los huevos fue el más pequeño de los miembros dentro del género *Macrobrachium*. Wehrtmann et al. (2010) describieron la biología de tres especies de cangrejos de la familia Pseudothelphusidae. De dos especies, la cantidad de huevecillos fue poca pero de gran tamaño, lo cual es típico de las especies con desarrollo directo o abreviados. Además, los autores determinaron que el cuidado parental en estas especies promueve el éxito del paso de huevo a individuos juveniles. Martínez-Sandoval (1982) describió la relación simbiótica que tienen algunos insectos acuáticos, los cuales depositan sus huevos en las branquias del camarón *M. rosenbergii* (Palaemonidae), donde aprovecha la protección y la aireación que reciben de este camarón.

Por otro lado, los estudios ecológicos sobre los moluscos dulceacuícolas son escasos. Schneider y Lyons (1993) describieron la dinámica de la migración de dos especies de mo-

luscos en río Claro, península de Osa. Ellos encontraron que las migraciones dependían del tamaño y de la edad de los individuos, es decir únicamente los individuos juveniles y adultos pequeños migraron, mientras que los individuos adultos de mayor tamaño no formaron parte de estas migraciones. La distancia máxima de migración fue de alrededor de 5 km en ambas especies. Lobo-Vargas (1986) investigó algunos aspectos de la biología del molusco *Pomacea flagellata* (Ampullariidae) en Cañas, Guanacaste. El autor no encontró un dimorfismo sexual con respecto al tamaño de los organismos. Además, encontró que los organismos de <30mm de longitud y diámetro son activos sexualmente y que la masa de huevos varió entre 43 y 194 huevos. El análisis bioquímico indicó que la carne tiene un alto valor calórico, lo cual sugiere un organismo ideal para la acuicultura.

Son pocos los estudios del efecto que tienen las arañas sobre los ecosistemas acuáticos. Van Berkum (1982) analizó el impacto que tiene la araña acuática *Trechalea magnifica* (Pisauridae) sobre la población de camarones en un arroyo en Costa Rica. En el estudio se determinó que estas arañas pueden capturar una biomasa de camarones de hasta 119mm³ en el día y 29mm³ en la noche. Finalmente, con respecto a estudios sobre los aspectos de la ecología y biología de los ácaros acuáticos, Goldschmidt (2001, 2004e, 2009a,b) realizó algunos investigaciones importantes.

Dos estudios acerca de procesos ecológicos fueron publicados recientemente sobre ríos ubicados en el Caribe de Costa Rica. Small *et al.* (2012) estudiaron los eventos episódicos de acidificación con datos de 13 estaciones de muestreo a lo largo de 14 años. De acuerdo con los autores, el dióxido de carbono proveniente

del suelo está relacionado con los eventos de acidificación. La magnitud de la acidificación, la cual generalmente ocurre en la estación lluviosa, estuvo relacionada negativamente a la cantidad de precipitación que cae en la estación seca. Ardon *et al.* (2013) investigaron el posible efecto de estos eventos de acidificación sobre la deriva de macroinvertebrados en seis ríos, los cuales fueron acidificados experimentalmente. Los autores encontraron un aumento en la deriva debido principalmente a Ephemeroptera y Chironomidae, lo que según presentan los autores, expone la vulnerabilidad de estos ambientes ante eventos episódicos de acidificación que podrían intensificarse en su magnitud y frecuencia debido al cambio climático.

En términos generales se puede observar que existe una considerable cantidad de publicaciones sobre la ecología, biología e historia natural de los diversos grupos de macroinvertebrados dulceacuícolas de Costa Rica. Sin embargo, debido a la gran diversidad de estos grupos que existe en el país, la gran mayoría de las especies aún no han sido estudiadas en estos aspectos.

3.3.3. Estado de conservación

En primera instancia, debe entenderse que la conservación de los macroinvertebrados acuáticos está directamente relacionada con la protección de los ecosistemas de agua dulce. De acuerdo con la Secretaría de la Convención en Diversidad Biológica (2010), los ecosistemas de aguas continentales han sufrido cambios más drásticos que cualquier otro tipo de ecosistema en el mundo y posiblemente son los sistemas que se encuentran más vulnerables



ante las presiones producidas por el desarrollo de las actividades antropogénicas. Por esta razón requieren especial atención e intervención inmediata.

En Costa Rica, una de las fuentes de contaminación puntual más importantes es la descarga directa de las aguas residuales de tipo industrial y doméstico sin tratamiento hacia los ríos, sobre todo en las cuencas densamente pobladas (Fernández y Springer 2008, Herrera 2011). La Contraloría General de la República (2013) estimó que únicamente 5% de las aguas residuales ordinarias que se vierten en los cuerpos receptores del país, recibe algún tipo de tratamiento previo, lo que conlleva el depósito de una enorme carga de contaminantes en los ríos y arroyos de Costa Rica.

Otra de las presiones más fuertes sobre los ecosistemas de aguas continentales es la deforestación y los cambios del uso de la tierra, ya que provocan una disminución de la cantidad de agua en los ríos, aumentos en la erosión de las laderas e incrementos en la carga de sólidos suspendidos (Bertie 2000, Bruijnzeel 2004, Echeverría-Sáenz 2009). Estos impactos tienden a ser aún mayores cuando las actividades productivas se extienden hasta la ribera de los cauces, con lo cual irrespetan la franja de vegetación ribereña ya que esta juega un papel muy importante como amortiguador y filtro de los sedimentos y contaminantes (Diamond *et al.* 2002). Jones *et al.* (2001) determinaron que el 47% de la variabilidad en la carga de sólidos suspendidos se explicaba por el porcentaje de cobertura de los bosques ribereños en el área de estudio. Asimismo, en Costa Rica, Lorion y Kennedy (2009a,b) encontraron que la presencia de una barrera de vegetación reduce significativamente los efectos de la deforestación

sobre la diversidad y estructura de los ensamblajes bentónicos y de la fauna de peces.

Una adecuada cobertura de vegetación ribereña podría también disminuir las fuentes de contaminación no puntual o difusa como la agricultura, la cual aporta exceso de nutrientes y contaminantes químicos como plaguicidas y fertilizantes, con serias repercusiones sobre la vida acuática, desde mortandades de organismos hasta efectos bioquímicos, fisiológicos o de reproducción y comportamiento (Rizo-Patrón 2003, De la Cruz *et al.* 2004, Castillo *et al.* 2006, Fournier *et al.* 2010, Echeverría-Sáenz *et al.* 2012). Aunado a esto, recientemente se han realizado en Costa Rica estudios que demuestran también la presencia de antibióticos y otros compuestos como productos de cuidado personal (PCPs) u otros de uso veterinario y agropecuario en las aguas superficiales del país (Arias-Andrés 2011, Spongberg *et al.* 2011). Aunque se tiene menos conocimiento sobre los efectos que estas sustancias pueden provocar sobre las comunidades acuáticas, su presencia en las aguas superficiales supone un problema que debe ser abordado. Una síntesis del efecto del cambio del uso de suelo y el deterioro de la calidad del agua sobre los recursos acuáticos y la sostenibilidad del ecosistema en la zona baja del Caribe de Costa Rica fue presentada por Pringle y Scatena (1999). En este trabajo se describe cómo el incremento en la población humana y el uso de la tierra pone en riesgo el recurso acuático y los organismos que en él habitan. Una situación similar había sido planteada por Castillo *et al.* (1994) al describir el impacto del uso de los plaguicidas en el cultivo de bananos (*Musa sp.*) sobre los macroinvertebrados bentónicos en ríos que desembocan en los canales de Tortuguero (vertiente Caribe).

Otra problemática para la conservación de los ambientes lóticos en Costa Rica es el incremento en la construcción de represas, principalmente para su uso en la producción de energía hidroeléctrica. Según Anderson *et al.* (2006) más de 30 represas fueron construidas en la década de 1990 y muchas más han sido planteadas para los años venideros. Se tiene conocimiento de que estas represas generan impactos en los ensamblajes de macroinvertebrados y otras comunidades bióticas acuáticas (Anderson-Olivas *et al.* 2006, Guevara-Mora 2011, Chaves-Ulloa *et al.* 2014). A esto se suma gran cantidad de proyectos de extracción de material pedregoso en ríos (denominados “cauce de dominio público”), los cuales podrían generar fuertes impactos cuando se realizan de forma inadecuada o cuando operan varias concesiones en un mismo río (UICN 2009). Sin embargo, aún no se han publicado estudios científicos en el país que pongan en evidencia los impactos de esta actividad sobre la fauna acuática.

La introducción de especies acuáticas exóticas (relacionada sobre todo con la liberación de peces de acuarios y con la acuicultura de especies comerciales) representa una seria amenaza para los ecosistemas de agua dulce del país y por ende para los ensamblajes de los macroinvertebrados. Algunas de las especies de peces que se han introducido al medio natural y se encuentran en los ríos de Costa Rica son la tilapia (*Tilapia* sp. y *Oreochromis* sp., Cichlidae), las truchas (*Oncorhynchus mykiss* = *Salmo gairdneri*, Salmonidae) y el pez diablo o pleco (*Hypostomus plecostomus*, Loricariidae) (Bussing 2002). También se introdujeron especies de decápodos como el langostino *Macrobrachium rosenbergii* (Palaemonidae), la langosta australiana *Cherax quadricarinatus* (Parastaci-

dae) y el cangrejo rojo americano *Procambarus clarkii* (Cambariidae) éste último introducido en los años 60 (Huner 1977). De las especies de moluscos dulceacuícolas introducidas, Barrientos (2008) mencionó a *Lymnaea columella*, *Planorbella duryi* y *Thiara tuberculata* (Thiaridae), ésta última sumamente abundante en diversos ambientes lénticos y lóticos del país. Hasta la fecha existen muy pocos estudios en el país sobre el efecto de éstas y otras especies introducidas sobre la fauna nativa (Marengo Cortés 2010) y ninguno ha sido publicado con relación a los efectos sobre los macroinvertebrados. Sin embargo, sí existe información publicada sobre la agresividad y el peligro que han representado estas especies en otros países. La rápida reproducción y la alta competitividad del pez diablo, el cangrejo rojo americano y la langosta australiana han sido responsables de los desplazamientos de especies y de la pérdida de la biodiversidad de anfibios, peces y macroinvertebrados en otras regiones del mundo, tales como Europa, Asia, África y América (Global Invasive Species Database 2014).

Finalmente, a todas las amenazas mencionadas anteriormente, se suman los efectos del cambio climático, los cuales pueden ser drásticos en los ecosistemas de aguas continentales (Retana 2012). Se predice que el cambio climático generará en Costa Rica condiciones climáticas extremas de sequía o lluvias, dependiendo de la zona y un cambio en el régimen de lluvias. Como consecuencia de estos cambios, muchos cuerpos de agua podrían secarse por completo o al contrario, sufrir inundaciones y crecidas inusuales. Como consecuencia, podrían verse afectados los ciclos reproductivos de algunos organismos, así como la sobrevivencia y la distribución de muchas especies.



En Costa Rica, todos los sistemas ecológicos de aguas continentales se encuentran protegidos por ley ya que se incluyen bajo la categoría de humedales, definido en este caso como “todo aquel espacio que se encuentra anegado por agua dulce o salobre” (Ley Orgánica del Ambiente, Art. 40). Existen 12 sitios Ramsar de Conservación, tanto de agua dulce como de ambientes costeros, especialmente ecosistemas estuarinos (Cuadro 1). De la superficie terrestre del país aproximadamente 25% se encuentra bajo alguna categoría de protección (e.g. parque nacional, reserva biológica, reservas forestales, refugios de vida silvestre; figura 3. Sin embargo, en la práctica ésta protección legal no ha sido capaz de garantizar la adecuada conservación de los ecosistemas acuáticos. En el 2007 se publicó una evaluación del estado de conservación de los ecosistemas de agua dulce y su biodiversidad en Costa Rica (SINAC 2007). Para esta evaluación se contrapuso la ubicación espacial de los

elementos de la biodiversidad (comunidades o paisajes) con los esfuerzos del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAC), de forma que se analizó si estos esfuerzos eran suficientes para conservar los ecosistemas acuáticos clave del país. En teoría, aquellos ecosistemas clave que se encontraban dentro de las áreas protegidas estarían debidamente resguardados, mientras que se consideraron “vacíos de conservación”, los que estaban fuera de los límites de las áreas protegidas. Se encontró que tres de los 26 tipos de sistemas ecológicos lénticos, así como 17 de los 64 tipos de sistemas ecológicos lóticos no se encontraban dentro de las áreas protegidas. Asimismo, algunos de los sistemas que estaban protegidos tampoco cumplían con las metas establecidas de conservación, por lo que se consideraron vacíos de conservación.

Debe tomarse en consideración que las áreas protegidas tienen límites terrestres que no siempre pueden proveer protección a los ecosistemas acuáticos que se encuentran den-

Cuadro 1. Ubicación, área y fecha de designación de los sitios Ramsar en Costa Rica.

N° Ramsar	Nombre del sitio	Fecha designación	Área (ha)	Latitud	Longitud
540	Palo Verde	27/12/1991	24,519	10°20"N	085°20"W
541	Caño Negro	27/12/1991	9,969	10°52"N	084°45"W
610	Tamarindo	09/06/1993	500	10°19"N	085°50"W
782	Térraba-Sierpe	11/12/1995	30,654	08°52"N	083°36"W
783	Gandoca-Manzanillo	11/12/1995	9,445	09°37"N	082°40"W
811	Humedal Caribe Noreste	20/03/1996	75,310	10°30"N	083°30"W
940	Isla el Coco	21/04/1998	99,623	5°32"N	086°59"W
981	Manglar de Potrero Grande	06/05/1999	139	10°50"N	086°46"W
982	Laguna Respingue	06/05/1999	75	10°52"N	085°51"W
1022	Cuenca Embalse Arenal	07/03/2000	67,296	10°30"N	084°51"W
1286	Turberas de Talamanca	02/02/2003	192,520	09°30"N	083°42"W
1918	Humedal Maquenque	22/05/2010	59,692	10°40"N	084°08"W



tro de su territorio (e.g. aquellas áreas que se encuentran aguas abajo de actividades productivas potencialmente impactantes). Por lo cual se deben generar estrategias de protección conceptualmente diferentes, donde se incorpore la cuenca hidrográfica como inicio para un esquema de conservación. En SINAC (2007) se planteó que, puesto a que no es posible proteger todas las tierras de las cuencas que contienen los elementos de conservación, se promueve la implementación de los principios del Manejo Integrado de los Recursos Acuáticos, cuyo objetivo es procurar el mantenimiento de la integridad ecológica, la viabilidad de las poblaciones, la conectividad y la representatividad de las especies y los sistemas ecológicos.

3.4. Empleo de los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en Costa Rica

En Costa Rica se han venido utilizando los macroinvertebrados como indicadores de la calidad de las aguas desde hace más de 20 años. Sin embargo, son pocas las iniciativas de monitoreo que cuentan con información de largo plazo. Un ejemplo de ello es el proyecto STREAMS, que ha estudiado los arroyos (quebradas) de la Estación Biológica La Selva (de la Organización de Estudios Tropicales) desde 1988. En éste proyecto se analiza la interacción de las aguas superficiales y subterráneas (ricas en solutos), sobre la dinámica de los eco-

sistemas de ríos de bajura en un periodo prolongado de tiempo. Dentro del marco de este proyecto se han realizado gran variedad de estudios sobre macroinvertebrados y, aunque en algunos casos la información generada se relaciona con el grado de alteración del cuerpo de agua (Pringle y Ramírez 1998, Snyder *et al.* 2013), la mayoría de los trabajos son meramente ecológicos (e.g. estructura de los ensamblajes, función ecosistémica, deriva).

En la vertiente Caribe, la organización no gubernamental Asociación Anai, está ejecutando un programa de biomonitoreo de los cuerpos de agua superficiales en la región de Talamanca, que comprende el sitio de patrimonio mundial y reserva de la biosfera La Amistad. Este programa se realiza anualmente durante la época seca, desde el año 2000 y toma en cuenta tanto peces como macroinvertebrados. En sus orígenes este programa tuvo como énfasis la recolección de información científica de línea base en ríos y arroyos de la región del Caribe sur del país, sin embargo, en los años siguientes se involucró a las comunidades a través de programas de voluntariado, dándoles además oportunidades de educación y capacitación. Al año 2013, este monitoreo contabilizó 310 eventos de muestreo en 148 sitios y representa una de las pocas iniciativas de monitoreo acuático continuo en el neotrópico. Por otro lado, en la provincia de Guanacaste, Rizo-Patrón *et al.* (2013) evaluaron los ensamblajes de macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua en campos de arroz. En el pacífico sur del país, Wright (2010) evaluó la calidad del agua mediante el índice BMWP-CR como un proyecto para la implementación con organizaciones comunales de esa región del país.



Otros monitoreos periódicos se realizan en varios proyectos hidroeléctricos desde hace más de 10 años, por parte de instituciones del Estado como la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) o el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), así como algunas cooperativas de la Zona Norte del país (e.g. Coopelesca y Coneléctricas). Asimismo, el Laboratorio Nacional de Aguas del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) está realizando monitoreos periódicos en cuencas de su interés.

Otros esfuerzos se han ejecutado a través de proyectos de investigación o tesis de estudiantes de universidades públicas (Universidad de Costa Rica, Universidad Nacional, Universidad Estatal a Distancia, Instituto Tecnológico de Costa Rica) y privadas (e.g. Universidad EARTH, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE), además de algunas ONG con proyectos de conservación en diferentes partes del país. Sin embargo, aunque estos trabajos relacionan los macroinvertebrados con la calidad del agua, en general no obedecen específicamente a objetivos de monitoreo por lo que tienden a poseer información de los sitios de muestreo solo de duración de los proyectos (por lo general 1-3 años). Recientemente se capacitó al personal de algunas instituciones del Estado, para ejecutar este tipo de monitoreo y se ha publicado material didáctico que puede utilizarse como herramienta para fines ilustrativos y de docencia o para trabajar con comunidades (Mafla 2005, Springer *et al.* 2007, Vázquez *et al.* 2010, Guevara y Madrigal 2011). Este material se ha generado para cuencas hidrográficas de ambas vertientes del país.

Por último, existe una gran cantidad de muestreos puntuales y dispersos de macroin-

vertebrados que se han ejecutado por empresas consultoras privadas para utilizarse en estudios de impacto ambiental (EslA). Esta información se encuentra en informes técnicos en la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA). A nivel judicial, también se está utilizando a los macroinvertebrados en casos de atención de denuncias de contaminación de cuerpos de agua superficiales. El Organismo de Investigación Judicial (OIJ) tiene personal capacitado para realizar los muestreos y presentar las pruebas pertinentes en los juzgados.

Desafortunadamente la información concerniente al uso de los macroinvertebrados como bioindicadores o su uso en el monitoreo en Costa Rica ha sido poco publicada en revistas científicas. La mayor parte de la información generada permanece en gran medida dentro de informes técnicos u otros tipos de literatura gris. Aún hacen falta más estudios en este ámbito, en especial sobre la metodología más adecuada (e.g. Gutiérrez-Fonseca y Lorion 2014) y la validación del índice BMWP-CR (Springer 2010b).

3.5. Bases normativas legales para el uso de los macroinvertebrados en los estudios de evaluación ambiental

Costa Rica cuenta desde el 2007 con un instrumento legal para reglamentar el uso de los macroinvertebrados como herramienta del monitoreo biológico de la calidad de las aguas superficiales. Este documento (Reglamento

para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales) es un Decreto del Poder Ejecutivo (N° 33903-MINAE-S) firmado por el Presidente de la República, el Ministro de Ambiente y Energía y la Ministra de Salud (Administración 2006-2010). Este Decreto plantea las herramientas para ejecutar la clasificación de la calidad de los cuerpos de agua superficial del país, basado en parámetros físico-químicos y el análisis de macroinvertebrados bentónicos, mediante el índice BMWP-CR (anexo 1). La Dirección de Aguas del Ministerio de Ambiente y Energía es la responsable de aplicar dicho reglamento y realizar la clasificación de todas las cuencas del país, la cual iniciará en el 2015 a través del “Plan Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos de Agua Superficiales de Costa Rica”. Este Plan ha sido elaborado por la Dirección de Aguas en conjunto con profesionales y académicos relacionados con los temas del recurso hídrico en las universidades e instituciones estatales. Se espera que su implementación genere la información de línea base para realizar la clasificación de la calidad del agua en todas las cuencas del país y reglamentar así el uso adecuado del recurso hídrico.

La evaluación biológica de las aguas mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos es solicitada por la SETENA como parte de los requerimientos para los estudios de impacto ambiental en diversos proyectos, especialmente en la construcción de represas hidroeléctricas, minería metálica, extracción de material pedregoso de los cauces de ríos y en proyectos de agricultura (como plantaciones de piña). Sin embargo, no existe un protocolo establecido para este tipo de estudios y el control de calidad de los mismos aún es muy deficiente.

Finalmente, dentro del marco legal del país existe también el “Proyecto de Ley del Recurso Hídrico”, que vendría a sustituir la Ley de Aguas de 1942, vigente hasta la fecha. Esta nueva ley pretende ser un marco de aplicación actual para garantizar la gestión integral del recurso hídrico en el país.

3.6. Perspectivas futuras

Profundizar los conocimientos sobre la taxonomía de los organismos. Se ha estado solventando poco a poco mediante la atracción de estudiantes nacionales y extranjeros hacia diferentes grupos, como lo son Ramírez (1992) con Odonata, Gutiérrez-Fonseca (2009) con Plecoptera, Pacheco-Chaves (2010) con Gerridae, Herrera (2013) con Naucoridae, Kranzfelder (2012) con Chironomidae. También ha mejorado la identificación correcta de los organismos a través de las nuevas claves taxonómicas (Springer *et al.* 2010 y otras en preparación), ya que los investigadores y estudiantes tienen acceso a claves generadas por expertos y que son específicas para el área. Estas claves seguirán desarrollándose en el futuro cercano hasta completar los grupos más representativos de la fauna dulceacuícola de los macroinvertebrados de Centroamérica y lograr una mayor resolución taxonómica. Asimismo es importante realizar las asociaciones de los estadios inmaduros con los adultos para poder contar con las descripciones de las ninfas o larvas y pupas a nivel de especie. Una nueva herramienta, el “código de barra” (uso de ADN para la asociación e identificación de especies), promete ser de gran ayuda en este campo en el futuro. En



el 2013 se realizó en Costa Rica un primer taller internacional sobre este tema y su aplicación en los insectos acuáticos. Se espera que esta primera experiencia sea el inicio de una importante colaboración entre varios investigadores de Mesoamérica y facilite una serie de estudios en esta área.

Aumentar los conocimientos sobre la ecología y distribución geográfica de los organismos. Al igual que con los estudios taxonómicos, parte importante de la generación de nuevo conocimiento en estos ámbitos es la atracción del interés de los estudiantes y los expertos nacionales y extranjeros que continúen trabajando sobre las bases ya generadas. Sería muy importante estudiar aspectos ecológicos relacionados con la conservación de los ecosistemas y obtener datos de historia de vida, requerimientos ecológicos y caracteres biológicos, que permitan también medir el riesgo latente de la desaparición de algunas especies o grupos. La información obtenida de organismos y ecosistemas en países templados, no necesariamente puede ser utilizada de forma directa en el trópico.

Mejorar la interrelación entre los investigadores para evitar la duplicación de los esfuerzos y mejorar las líneas de trabajo. Muchos de los trabajos recientes de investigación se han presentado a través de dos simposios sobre macroinvertebrados y limnología, los cuales se desarrollaron en el país en 2007 y 2009, con la intención de seguirse ejecutando cada dos o tres años. El objetivo es que exista un espacio de discusión y actualización de los conocimientos entre los estudiantes, los profesionales y las instituciones involucradas con el estudio de los macroin-

vertebrados de agua dulce en el país. A su vez, más seminarios y cursos deben ofrecerse para difundir conceptos, ideas y metodologías para el adecuado biomonitoreo de las aguas, especialmente para técnicos del gobierno y otros profesionales (e.g. consultores).

Afinar los índices utilizados para el biomonitoreo de la calidad de las aguas. Aunque actualmente en Costa Rica se cuenta con un índice de clasificación de cuerpos de agua superficiales basado en macroinvertebrados (BMWP-CR), éste debe siempre estar sujeto a revisión y modificación. Los nuevos conocimientos, tanto taxonómicos como ecológicos y de tolerancia a la contaminación, deben reflejarse en modificaciones pertinentes que ayuden a afinar los resultados obtenidos a través del monitoreo de macroinvertebrados. Los investigadores juegan un papel de suma importancia en este aspecto, pues serán los que recomienden los cambios de relevancia para este decreto o sugieran nuevos métodos biológicos para evaluar la creciente alteración ambiental que afecta a los cuerpos de agua. Será de vital importancia que se diseñen métodos e índices apropiados para los distintos cuerpos de agua y las diferentes ecorregiones del país.

Aumentar la disponibilidad de la información generada. La información producida por los programas de monitoreo y de investigación debe estar disponible para servir como una línea base tanto para los estudios futuros como para el planeamiento de estrategias de conservación más efectivas. La colección de Entomología Acuática del MZUCR es la más completa del país y su base de datos digital se encuentra disponible; también se espera que pronto pue-



dan existir o desarrollarse otras colecciones donde pueda almacenarse el material con el mismo compromiso y seriedad, de forma que se disminuya la práctica de tener “colecciones privadas” en las instituciones donde se realizan los estudios y las cuales son de difícil acceso para futuras investigaciones.

3.7. Conclusiones

Costa Rica es un país con una extraordinaria diversidad biológica y se considera que es uno de los mejor estudiados de la región. Entre los estudios conocidos sobre macroinvertebrados acuáticos se incluyen trabajos taxonómicos, biológicos, ecológicos y de historia natural. Sin embargo, el conocimiento existente aún es insuficiente para poder establecer mecanismos de protección y conservación de las especies, así como evitar su desaparición en relación con la pérdida de su hábitat.

Se refuerza entonces la necesidad de tener herramientas que permitan la correcta identificación de los organismos (como las claves taxonómicas actualizadas y específicas para el área). Además, se presenta la necesidad de sacar a la luz muchos estudios, sobre todo ecológicos, que nunca son publicados y se quedan en literatura gris.

Es clave indicar que la adecuada preservación de los organismos acuáticos en colecciones de museos con datos accesibles permite realizar estudios a través de líneas espacio-temporales. Esto es de suma importancia para el establecimiento de mapas de distribución de los insectos acuáticos y como base para futuros estudios.

Se considera un buen logro que el país ya tenga establecido un índice biológico basado en macroinvertebrados (BMWP-CR) en un reglamento con carácter legal. También es importante que para algunos tipos de estudios de impacto ambiental se requiera de investigaciones de la fauna de macroinvertebrados.

Todo esto es un indicativo del creciente interés por parte de muchos sectores, tanto gubernamentales como académicos, en cuanto a la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad dulceacuícola. Se espera que las investigaciones que actualmente se encuentran en ejecución, así como los proyectos que se planteen a futuro coadyuven en la generación de directrices y estrategias apropiadas para cumplir con los objetivos de conservación de los ecosistemas de agua dulce, reducir las presiones de origen antropogénico y preservar la biodiversidad.

3.8. Agradecimientos

Agradecemos a todas las personas que aportaron con su conocimiento a la recopilación de información para el presente capítulo, en especial a Alejandro Esquivel (Nematoda), Rolier Lara, Ingo Wehrtmann (Decapoda) y Tom Goldschmidt (Hydrachnidia); además a Raquel Romero por la elaboración de los mapas. Al SINAC (MINAE) por facilitar los respectivos permisos de recolecta a los diversos investigadores para sus investigaciones, las cuales son el insumo indispensable para nuestro conocimiento sobre la fauna de macroinvertebrados y por ende de los ecosistemas acuáticos del país. Finalmente, agradecemos a los editores del libro en especial a Perla Alonso, por la difícil tarea de sacar adelante este proyecto, y a Raúl Pineda por impulsar la Red MADMESO.



3.9. Literatura citada

- Abele, L.G y Kim, W. 1984. Notes on the fresh water shrimps of Isla Del Coco with the description of *Macrobrachium cocoense*, new species. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 97: 951-960.
- Anderson, E.P., Pringle, C.M. y Rojas, M. 2006. Transforming tropical rivers: an environmental perspective on hydropower development in Costa Rica. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 16: 679-693.
- Anderson-Olivas, E.P., Freeman, M.C. y Pringle, C.M. 2006. Ecological consequences of hydropower development in Central America: impacts of small dams and water diversion on neotropical stream fish assemblages. *River Research and Applications* 22: 397-411.
- Ardón, M., Duff, J.H., Ramírez, A., Small, G.E., Jackman, A.P., Triska, F.J. y Pringle, C.M. 2013. Experimental acidification of two biogeochemically-distinct neotropical streams: buffering mechanisms and macroinvertebrate drift. *Science of the Total Environment* 443: 267-277.
- Arias-Andrés, M. 2011. Tolerancia a oxitetraciclina de comunidades bacterianas aerobias de sedimentos tropicales con diferentes grados de exposición a antibióticos. Tesis de Maestría. Posgrado en Microbiología, Universidad de Costa Rica.
- Barrientos, Z. 2003. Estado actual del conocimiento y la conservación de los moluscos continentales de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 51(3): 285-292.
- Baumgardner, D.E. y Ávila, S.A. 2006. *Cabecar serratus*, a new genus and species of leptohyphid mayfly from Central America, and description of the imaginal stages of *Tricorythodes sordidus* Allen (Ephemeroptera: Leptohyphidae). *Zootaxa* 1187: 47-59.
- Bell, J.W., Roth, L.M. y Nalepa, C.A. 2007. Cockroaches. Ecology, behavior and natural history. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, USA.
- Bertie, S. 2000. Effects of logging roads on erosion in a wet tropical forest in the Río Riyito watershed, Península de Osa, Costa Rica. Master's Thesis, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA.
- Bongers, T., Esquivel, A. y Arias, H. 2003. Preliminary results of the Costa Rican nematode inventory. *Journal of Nematode Morphology and Systematics* 6: 91-94.
- Bowles, D.E. 2006. Spongillaflies (Neuroptera: Sisyridae) of North America with a key to the larvae and adults. *Zootaxa* 1357: 1-19.
- Brinkhurst, R.O. y Marchese, M.R. 1989. Guide to the freshwater aquatic Oligochaeta of South America and Central America. Asociación Ciencias Naturales del Litoral, Col. Climax 6, Santo Tomé, Argentina.
- Brojer, M. y Jäch, M.A. 2011. Update on the hydraenid fauna of Costa Rica, with descriptions of six new species (Coleoptera: Hydraenidae). *Koleopterologische Rundschau* 81: 69-92.
- Brown, B.V., Borkent, A., Cumming, J.M., Wood, D.M., Woodley, N.E. y Zumbado, M.Z. 2009. Manual of Central American Diptera. Volume 1. NRC Research Press, Ottawa, Canadá.



- Brown, B.V., Borkent, A., Cumming, J.M., Wood, D.M., Woodley, N.E. y Zumbado, M.Z. 2010. Manual of Central American Diptera. Volume 2. NRC Research Press, Ottawa, Canadá.
- Bruijnzeel, L.A. 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104: 185-228.
- Bussing, W.A. 2002. Peces de las aguas continentales de Costa Rica. 2 ed. Editorial Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Buzzetti, F.M. y Zettel, H. 2007. *Rhagovelia sehnali* sp.n. (Insecta: Heteroptera: Veliidae) from Costa Rica. *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien* 108: 77-82.
- Castillo, L.E., Ruepert, C., Solis, E. y Martínez, E. 1994. Environmental impact of pesticide use in a tropical aquatic ecosystem. Case study in a banana plantation in Costa Rica. En: 8th UIPAC International Congress of Pesticide Chemistry, Washington DC, USA.
- Castillo, L.E., Martínez, E., Ruepert, C., Savage, C., Gilek, M., Pinnock, M. y Solís, E. 2006. Water quality and macroinvertebrate community response following pesticide applications in a banana plantation, Limón, Costa Rica. *Science of the Total Environment* 367: 418-432.
- Chaves-Ulloa, R., G. Umaña y Springer, M. 2014. Downstream effects of hydropower production on aquatic invertebrate communities in two rivers in Costa Rica. *Revista Biología Tropical* 62 (Suppl.2): 177-199.
- Contraloría General de la República. 2013. Informe No. DFOE-AE-IF-01-2013, Informe acerca de la eficacia del Estado para garantizar la calidad del agua en sus diferentes usos. División de fiscalización operativa y evaluativa, Área de servicios ambientales y de energía.
- Contreras-Ramos, A. 1995. New species of *Chloronia* from Ecuador and Guatemala, with a key to the species in the genus (Megaloptera: Corydalidae). *Journal of the North American Benthological Society* 14:108-114.
- Contreras-Ramos, A. 1999. List of species of neotropical Megaloptera (Neuropterida). *Proceedings of the Entomological Society of Washington* 101: 272-284.
- Contreras-Ramos, A. 2005. Recent accounts on the systematics and biogeography of neotropical Megaloptera (Corydalidae, Sialidae). *Annali del Museo Civico di Storia Naturale di Ferrara* 8: 67-72.
- Cook, D.R. 1980. Studies on Neotropical water mites. *Memoirs of the American Entomological Institute* 31: 1-645.
- De la Cruz, E., Ruepert, C., Wesseling, C., Monge, P., Chaverri, F., Castillo, L. y Bravo, V. 2004. Los plaguicidas de uso agropecuario en Costa Rica: Impacto en la salud y el ambiente. Informe de consultoría para Área de Servicio Agropecuario y Medio Ambiente de la Contraloría General de la República. Heredia, Costa Rica.
- De la Rosa, C.L. 2014. ¿Cuántas especies hay todavía por descubrir? *Bioma* 15: 19-27.
- Diamond, J.M., Bressler, D.W. y Serveis, V.B. 2002. Assessing relationships between human land uses and the decline of native mussels, fish and macroinvertebrates in the Clinch and Powell river watershed, USA. *Environmental Toxicology and Chemistry* 21(6): 1147-1155.
- Dijkstra, K.D.B., Bechly, G., Bybee, S.M., Dow, R.A., Dumont, H.J., Fleck, G., Garrison, R.W., Hämäläinen, R., Kalkman, V.J., Karube, H., May, M.L., Orr, A.G., Paulson, D.R., Rehn, A.C., Theischinger, G., Trueman, J.W.H., Van Tol, J., Von Ellenrieder, N. y Ware, J. 2013. The classification and diversity of dragonflies and damselflies (Odonata). *Zootaxa* 3703(1): 036-045.



- Dijkstra, K.D.B., Kalkman, V. J., Dow, R. A., Stokvis, F. R. & Van Tol, J. 2014. Redefining the damselfly families: a comprehensive molecular phylogeny of Zygoptera (Odonata). *Systematic Entomology* 39: 68–96
- Echeverría-Sáenz, S. 2009. Uso de la tierra y transporte de sólidos en suspensión en la cuenca del Río Rincón, Península de Osa, Puntarenas, Costa Rica. Tesis de Maestría, Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica.
- Echeverría-Sáenz, S., Mena, F., Pinnock, M., Ruepert, C., Solano, K., De la Cruz, E., Campos, B., Sánchez-Ávila, J., Lacorte, S. y Barata, C. 2012. Environmental hazards of pesticides from pineapple crop production in the Río Jiménez watershed (Caribbean Coast, Costa Rica). *Science of the Total Environment* 440: 106–114.
- Esquivel, A. 2000. First finding of male *Aphanolaimus coomansi* (Tsalolichin, 1988) in tropical areas. *Nematropica* 30(2): 161-166.
- Esquivel, A. 2003. Nematode fauna of Costa Rican protected areas. *Nematropica* 33: 131–145.
- Esquivel Herrera, C. 2006. Libélulas de Mesoamérica y el Caribe. Editorial InBio, Santo Domingo de Heredia, Costa Rica.
- Fernández, L. y Springer, M. 2008. El efecto del beneficiado del café sobre los insectos acuáticos en tres ríos del Valle Central (Alajuela) de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 56(Suppl. 4): 237-256.
- Fisk, F.W. y Schal, C. 1981. Notes on new species of Epilamprinae cockroaches from Costa Rica and Panama (Blattaria: Blaberidae). *Proceedings of the Entomological Society of Washington* 83(4): 694-706.
- Flint, O.S., Jr. 1992. A review of the genus *Chloronia* in Costa Rica, with the description of two new species (Neuropterida: Megaloptera: Corydalidae). *Proceedings of the Biological Society of Washington* 90: 375-387.
- Flowers, R.W. y de la Rosa, C. 2010. Ephemeroptera. Macroinvertebrados de agua dulce en Costa Rica I. *Revista de Biología Tropical* 58(Suppl.4): 63-93.
- Fournier, M.L., Ramírez, F. Ruepert, C. Vargas, S. y Echeverría-Sáenz, S. 2010. Diagnóstico sobre contaminación de aguas, suelos y productos hortícolas por el uso de agroquímicos en la microcuenca de las quebradas Plantón y Pacayas en Cartago, Costa Rica. Informe Final: Bajo contrato de Prestación de Servicios entre el Instituto Nacional e Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Universidad Nacional.
- Gittelman, S.H. 1974. *Martarega hondurensis* and *Buena antigone* as predators of mosquito larvae in Costa Rica (Hemiptera: Notonectidae). *Pan-Pacific Entomologist* 50: 84–85.
- Glasby, C.J. y Timm, T. 2008. Global diversity of Polychaetes (Polychaeta; Annelida) in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 107-115.
- Global Invasive Species Database. 2014. Disponible en: <http://www.issg.org/database/welcome/> (obtenido el 28 de octubre de 2014).
- Goldschmidt, T. 2001. Die Wassermilbenfauna Costa Ricas (Hydrachnidia, Acari) – Systematik, Ökologie, Diversität und Zoogeographie. Dissertation (tesis de doctorado), Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Alemania.

- Goldschmidt, T. 2004a. Studies on Neotropical Limnesiidae Thor, 1900. Part I: Neomamersinae Lundblad, 1953 (Acari, Actinedida, Hydrachnidia). *Archiv für Hydrobiologie*, Suppl., Monographische Studien 151(1-2): 1-24.
- Goldschmidt, T. 2004b. Studies on Neotropical Limnesiidae Thor, 1900. Part II: Tyrrelliinae Koenike, 1910 (Acari, Actinedida, Hydrachnidia). *Archiv für Hydrobiologie*, Supplement, Monographische Studien 151(1-2): 25-68.
- Goldschmidt, T. 2004c. Studies on Neotropical Limnesiidae Thor, 1900. Part III: Protolimnesiinae Viets, 1940 (Acari, Actinedida, Hydrachnidia). *Archiv für Hydrobiologie*, Supplement, Monographische Studien 151(1-2): 69-123.
- Goldschmidt, T. 2004d. Untersuchungen über Wassermilben der Familie Anisitsiellidae Koenike, 1910 aus der Neotropis (Acari, Actinedida, Hydrachnidia). *Senckenbergiana Biologica* 83(2): 113-150.
- Goldschmidt, T. 2004e. Environmental parameters determining the water mite communities in Costa Rican freshwater habitats. *Experimental and Applied Acarology* 34(1-2):171-197.
- Goldschmidt, T. 2006. Diversity of Costa Rican freshwater mites (Arachnida: Acari: Hydrachnidia). *Species Diversity* 11: 157-175.
- Goldschmidt, T. 2007. Studies on Latin American water mites of the genus *Torrenticola* Piersig, 1896 (Torrenticolidae, Hydrachnidia, Acari). *Zoological Journal of the Linnean Society* 150: 443-678.
- Goldschmidt, T. 2009a. The water mite genus *Torrenticola* (Hydrachnidia: Torrenticolidae) in Costa Rica – ecology, diversity, and bioindicator potential. Pp. 185-191. En: Sabelis, M.W. y Bruin, J. (Eds.). Proceedings of the XII International Congress of Acarology, – Trends in Acarology. 21-26 August 2006, Amsterdam, The Netherlands.
- Goldschmidt, T. 2009b. Water mites (Acari, Hydrachnidia) in tropical springs – diversity, specificity, monitoring possibilities. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie* 30(5): 669-672.
- González, E.R. y Watling, L. 2002. Redescription of the freshwater amphipod *Hyaella faxoni* from Costa Rica (Crustacea: Amphipoda: Hyaellidae). *Revista de Biología Tropical* 50(2): 659-667.
- Guevara-Mora, M. 2011. Insectos acuáticos y calidad del agua en la cuenca y embalse del río Peñas Blancas, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 59(2): 635-654.
- Guevara, M. y Madrigal, A. 2011. Manual de campo insectos acuáticos de la cuenca del Río Peñas Blancas: Aspectos ecológicos y aplicación en la determinación de la calidad del agua. Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), San José, Costa Rica.
- Gustafson, G.T. y Short, A.E.Z. 2010. Redescription of the Neotropical water scavenger beetle genus *Phaenostoma* (Coleoptera: Hydrophilidae) with description of two new species. *Acta Entomologica Musei Nationalis Pragae* 50(2): 459-469.
- Gutiérrez-Fonseca, P.E. 2009. Ecología, reproducción, taxonomía y distribución de *Anacroneuria* spp. Klapálek 1909 (Insecta: Plecoptera: Perlidae) en Costa Rica. Tesis de Licenciatura, Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica.
- Gutiérrez-Fonseca, P.E. 2010. Plecoptera. Macroinvertebrados de agua dulce en Costa Rica I. *Revista de Biología Tropical* 58(Suppl.4): 139-148.



- Gutiérrez-Fonseca, P.E. y Lorion, C.M. 2014. Application of the BMWP-Costa Rica biotic index in aquatic biomonitoring: sensitivity to collection method and sampling intensity. *Revista de Biología Tropical* 62(Suppl.2): 275-289.
- Gutiérrez-Fonseca, P.E. y Springer, M. 2011. Description of the final instar nymphs of seven species from *Anacroneuria* Klapalék (Plecoptera: Perlidae) in Costa Rica, and first record for an additional genus in Central America. *Zootaxa* 2965: 16-38.
- Gutiérrez-Fonseca, P.E., Ramírez, A., Umaña, G., y Springer, M. 2013. Macroinvertebrados dulceacuícolas de la Isla del Coco, Costa Rica: especies y comparación con otras islas del Pacífico Tropical Oriental. *Revista Biología Tropical* 61(2): 657-668.
- Haber, B. 2011. Dragonflies and Damselflies: Odonata of Monteverde, Costa Rica. Electronic Field Guild Project, University of Massachusetts, Boston. Disponible en: <http://efg.cs.umb.edu/monteverde/Ode/OdeMonteverde.html>. (Obtenido el 23 de noviembre de 2011).
- Hernández-Triana, L.M., Chaverri, L.G. y Penn, M. 2010. Biodiversity of Costa Rican black flies (Diptera, Simuliidae). 7th International Congress of Dipterology. San José, Costa Rica. 8-13.
- Herrera, J. 2011. Tendencias de la contaminación del aire y agua superficial del Gran Área Metropolitana de Costa Rica: 2006-2010. Informe Final. Ponencia preparada para el Decimoséptimo Informe Estado de la Nación. San José, Programa Estado de la Nación. 19 p.
- Herrera, F. 2013a. Diversidad y distribución de los chinches naucóridos (Hemiptera: Naucoridae) en Costa Rica. Tesis de Maestría en Biología, Universidad de Costa Rica.
- Herrera, F. 2013b. Estado del conocimiento y catálogo de la familia Naucoridae (Insecta: Heteroptera) en Centroamérica. *Dugesiana* 20(2): 221 – 232.
- Herrera, F. 2013c. First record of the genus *Ctenipocoris* (Heteroptera: Naucoridae) in Central America, with a preliminary key to the American species and description of a new species. *Zootaxa* 3731(3): 338-344.
- Herrera, F. 2013d. Ampliación del rango geográfico del Escorpión de Agua *Curicta scorpio* Stål, (Hemiptera: Nepidae) y primer registro para Costa Rica. *Revista Peruana de Biología* 20(2): 197-198.
- Herrera, F. 2013e. Primer registro del chinche acuático *Buenoa gracilis* Truxal (Heteroptera: Notonectidae) para Costa Rica. *Brenesia* 80: 97 – 98.
- Herrera, F. 2013f. First Report of the Predation by *Ranatra* (Heteroptera: Nepidae) on a Member of the Infraorder Gerromorpha for the Neotropics. *Cuadernos de Investigación* 5(1): 55 – 56.
- Herrera, F. y González, M. 2013. First description of macropterous male and female of *Cryphocricos latus* (Heteroptera: Naucoridae) Usinger. *Journal of Natural History* 48(1-2): 51-55.
- Herrera, F. y Springer, M. 2012. First record of the family Potamocoridae (Hemiptera: Heteroptera) in Costa Rica and of *Coleopterocoris* Hungerford, 1942 in Central America. *Zootaxa* 3333: 66-68.
- Herrera-Vásquez, J. 2009. Community structure of aquatic insects in the Esparza river, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 57(1-2): 133-139.
- Hobbs, H.H., III. 1991. A new pseudothelphusid crab from a cave in southern Costa Rica. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 104: 295–298.
- Huner, J.V. 1977. Introductions of the Louisiana red swamp crayfish, *Procambarus clarkii* (Girard); an update. *Freshwater Crayfish* 3: 193–202.

- Jackson, J.K. y Sweeney, B.W. 1995. Egg and larval development times for 35 species of tropical stream insects from Costa Rica. *Journal of the North American Benthological Society* 14: 115-130.
- Jones, K.B., Neale, A.C., Nash, M.S., Van Remortel, R.D., Wickham, J.D., Riitters, K.H. y O'Neill, R.V. 2001. Predicting nutrient and sediment loadings to streams from landscape metrics: A multiple watershed study from the United States Mid-Atlantic Region. *Landscape Ecology* 16: 301-312.
- Kranzfelder, P. 2012. Comparison of emergence and taxonomic composition of Chironomidae (Insecta: Diptera) in Tortuguero National Park, Costa Rica. Tesis de Maestría, Universidad de Minnesota, USA.
- Lara, R.L. 2009. Camarones dulceacuícolas (Decapoda; Palaemonidae) de la cuenca del Río Grande de Térraba, Costa Rica. Proyecto Hidroeléctrico El Diquís, Instituto Costarricense de Electricidad, ICE, Unidad de Gestión Ambiental – Área Biótica.
- Lara, L.R. y Wehrtmann, I.S. 2009. Reproductive biology of the freshwater shrimp *Macrobrachium carcinus* (L.) (Decapoda: Palaemonidae) from Costa Rica, Central America. *Journal of Crustacean Biology* 29(3): 343-349.
- Lara, L.R. y Wehrtmann, I.S. 2011. Diversity, abundance and distribution of river shrimps (Decapoda, Caridea) in the largest river basin of Costa Rica, Central America. pp. 197-211, En: Asakura, A. (ed.), *New Frontiers in Crustacean Biology*. Koninklijke Brill NV, Leiden, The Netherlands.
- Lara, L.R., Wehrtmann, I.S., Magalhaes, C. y Mantelatto, F.L. 2013. Species diversity and distribution of freshwater crabs (Decapoda: Pseudothelphusidae) inhabiting the basin of the Río Grande de Térraba, Pacific slope of Costa Rica. *Latin American Journal of Aquatic Research* 41(4): 685-695.
- Lobo-Vargas, X.M. 1986. Estudio de algunos aspectos de la biología del molusco *Pomacea flagellata* (Say) (Prosobranchia: Ampullariidae). Tesis de Licenciatura, Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica.
- Loof, P.A.A. y Zullini, A. 2000a. A new species of the genus *Thalassogenus* Andrassy, 1973 and the systematic position of the genus (Nematoda: Oncholaimina). *Annales Zoologici* 50: 263-266.
- Loof, P.A.A. y Zullini, A. 2000b. Free living nematodes in nature reserves of Costa Rica. 1. Dorylaimina. *Nematology* 4: 605-633.
- Lorion, C.M. y Kennedy, B.P. 2009a. Relationships between deforestation, riparian forest buffers and benthic macroinvertebrates in neotropical headwater streams. *Freshwater Biology* 54: 165-180.
- Lorion, C.M. y Kennedy, B.P. 2009b. Riparian forest buffers mitigate the effects of deforestation on fish assemblages in tropical headwater streams. *Ecological Applications* 19(2): 468-479.
- Mafla, M. 2005. Guía para evaluaciones ecológicas rápidas con indicadores biológicos en ríos de tamaño mediano, Talamanca - Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.
- Magalhães, C., Lara, L.R. y Wehrtmann, I.S. 2010. A new species of freshwater crab of the genus *Allacantus* Smalley, 1964, (Crustacea, Decapoda, Pseudothelphusidae) from southern Costa Rica, Central America. *Zootaxa* 2604: 52-60.
- Marengo Cortés, Y. 2010. El pez diablo: una especie exótica invasora. *Biocenosis* 23(2): 16-19.



- Martínez-Sandoval, G.A. 1982. Nota sobre una relación simbiótica entre insectos acuáticos y el camarón de agua dulce *Macrobrachium rosenbergii* (Crustacea) en Guanacaste, Costa Rica. *Boletín Informativo (UNA)* 6: 31-32.
- MINAE-S (Ministerio del Ambiente y Energía - Ministerio de Salud). 2007. Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales. Decreto Ejecutivo 33903, Diario Oficial La Gaceta 178. San José, Costa Rica.
- Nickle, D.A. y Sibson, B.W. 1984. *Epilampra maya* Rehn, a Central American Cockroach newly established in the United States (Blattodea; Blaberidae; Epilamprinae). *The Florida Entomologist* 67(3): 487-489.
- Obando-Acuña, V. 2002. Biodiversidad en Costa Rica: Estado del conocimiento y gestión. Instituto Nacional de Biodiversidad, INBio, Santo Domingo de Heredia, Costa Rica.
- Oceguera-Figueroa, A. y Pacheco-Chaves, B. 2012. Registros de sanguijuelas de Costa Rica y clave para la identificación de las especies con redescrición de *Cylicobdella costaricae*. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83(4): 946-957.
- Ottoboni-Segura, M., Da Silva-Dos Passos, M.I., Fonseca-Gessner, A.A. y Froehlich, C.G. 2013. Elmidae Curtis, 1830 (Coleoptera, Polyphaga, Byrrhoidea) of the Neotropical región. *Zootaxa* 3731: 1-57.
- Pacheco-Chaves, B. 2010. Diversidad taxonómica y distribución de los chinches patinadores (Hemiptera: Gerridae) en Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica.
- Pacheco-Chaves, B., Moreira, F.F.F. y Springer, M. 2014. New records of Gerromorpha (Insecta: Hemiptera: Heteroptera) from Costa Rica. *Checklist* 10(1): 180-186.
- Padilla-Gil, D.N. y Pacheco-Chaves, B. 2012. New records of *Rheumatobates* Bergroth (Hemiptera: Heteroptera: Gerridae) from the Pacific coast of Colombia and Costa Rica, with a key to males of *Rheumatobates* in the Eastern Tropical Pacific. *Zootaxa* 3427: 33-46.
- Paulson, D.R. 2009. A new species of *Leptobasis* from Costa Rica (Odonata: Coenagrionidae). *Zootaxa* 2239: 62-68.
- Penny, N.D. (Ed.). 2002. A guide to the lacewings of Costa Rica. *Proceedings of the California Academy of Sciences* 53(12): 161-457.
- Pilsbry, H.A. 1920. Costa Rican land and freshwater mollusks. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 72: 2-10.
- PREPAC. 2005. Inventario nacional de cuerpos de aguas continentales de Costa Rica. Plan Regional de Pesca y Acuicultura Continental, OSPESCA/Taiwán/OIRSA, INCOPECA, San José, Costa Rica.
- Pringle, C.M. y Ramírez, A. 1998. Use of both benthic and drift sampling techniques to assess tropical stream invertebrate communities along an altitudinal gradient, Costa Rica. *Freshwater Biology* 39: 359-373.
- Pringle, C.M. y Scatena, F.N. 1999. Freshwater resource development. Case studies from Puerto Rico and Costa Rica. Pp. 114-121. En: Hatch, L.U. y M.E. Swisher (Eds.), *Managed Ecosystems: The Mesoamerican Experience*. Oxford University Press, New York, USA.
- Ramírez, A. 1992. Description and natural history of Costa Rican dragonfly larvae. I: *Heteragrion erythrogastrum* Selys, 1886 (Zygoptera: Megapodagrionidae). *Odonatologica* 21: 361-365.

- Ramírez, A. 2010. Odonata. Macroinvertebrados de agua dulce en Costa Rica I. *Revista Biología Tropical* 58(Suppl.4): 97-136.
- Ramírez, A., Paulson, D.R. y Esquivel, C. 2000. Odonata of Costa Rica: diversity and checklist of species. *Revista de Biología Tropical* 48: 247-254.
- Ramírez, A., Altamiranda-Saavedra, M., Gutiérrez-Fonseca, P.E. y Springer, M. 2011. The neotropical damselfly genus *Cora*: new larval descriptions and a comparative analysis of larvae of known species (Odonata: Polythoridae). *International Journal of Odonatology* 14(3): 249-256.
- Ramírez, A. y Gutiérrez-Fonseca, P.E. 2013. The larvae of *Heteragrion majus* Selys and *H. atrolineatum* Donnelly, with a key to known species from Costa Rica (Odonata: Megapodagrionidae). *Zootaxa* 3609(1): 96-100.
- Retana, J. 2012. Riesgo futuro del recurso hídrico de Costa Rica ante el cambio climático. Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones, Instituto Meteorológico Nacional.
- Rizo-Patrón, F. 2003. Estudio de los arrozales del proyecto Tamarindo: agroquímicos y macroinvertebrados bentónicos en relación al Parque Nacional Palo Verde, Guanacaste, Costa Rica. Tesis de Maestría. ICOMVIS; Universidad Nacional, Costa Rica.
- Rizo-Patrón V, F., Kumar, A., McCoy Colton, M. B., Springer, M., y Trama, F.A. 2013. Macroinvertebrate communities as bioindicators of water quality in conventional and organic irrigated rice fields in Guanacaste, Costa Rica. *Ecological Indicators* 29: 68-78.
- Rodríguez, G. y Hedstrom, I. 2000. The freshwater crabs of the Barbilla National Park, Costa Rica (Crustacea: Brachyura: Pseudothelphusidae), with notes on the evolution of structures for spermatophore retention. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 113(2): 420-425.
- Rodríguez, G. y Magalhães, C. 2003. Recent advances in the biology of the neotropical freshwater crab family Pseudothelphusidae (Crustacea: Decapoda: Brachyura). *Revista Brasileira de Zoologia* 22(2): 354-365.
- Savage, H.M., Flowers, R.W. y Porras, W. 2005. Rediscovery of *Choroerpes atramentum* in Costa Rica, transferred to a new genus (Ephemeroptera: Leptophlebiidae), and its role in the "Great American Interchange". *Zootaxa* 932: 1-14.
- Schmidt-Rhaesa, A. y Menzel, L. 2005. Central American and Caribbean species of horsehair worms (Nematomorpha), with the description of three new species. *Journal of Natural History* 39(7): 515-529.
- Schneeweih, S. 2009. Dragonflies of the Golfo Dulce Region, Costa Rica: Piedras Blancas National Park "Regenwald der Österreicher". Remaprint, Vienna, Austria.
- Schneider, D.W y Lyons, J. 1993. Dynamics of upstream migration in two species of tropical freshwater snails. *Journal of the North American Benthological Society* 12: 3-16.
- Secretaría de la Convención de la Diversidad Biológica. 2010. Global Biodiversity Outlook 3. Montréal.
- Shepard, W. y Barr, C. 2014. *Neoeubria inbionis* Shepard & Barr, a new genus and new species of Neotropical water penny beetle (Coleoptera: Psephenidae: Eubriinae), with a key to the adult Eubriinae of the Neotropic Zone. *Zootaxa* 3811(4): 553-568.
- Sibaja Cordero, J.A. y Umaña-Villalobos, G. 2008. Invertebrados bentónicos del Lago Cote, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 56(Suppl.4): 205-213.



- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación). 2007. Grúas II. Análisis de vacíos de conservación en Costa Rica: Vol II. Análisis de vacíos en la representatividad e integridad de la biodiversidad de los sistemas de aguas continentales / SINAC-MINAE. San José, C.R. Asociación Conservación de la Naturaleza.
- Small, G.E., Ardón, M., Jackman, A.P., Duff, J.H., Triska, F.J., Ramirez, A., Snyder, M. y Pringle, C.M. 2012. Rainfall-driven amplification of seasonal acidification in poorly buffered tropical streams. *Ecosystems* 15: 974-985.
- Snyder, M.N., Pringle, C.M., y Tiffer-Sotomayor, R. 2013. Landscape-scale disturbance and protected areas: long-term dynamics of populations of the shrimp, *Macrobrachium olfersi* in lowland Neotropical streams, Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology* 29(01): 81-85.
- Spangler, P.J. 1982. *Coleoptera*. Pp. 328-397. En: Hurlbert, S.H. y A. Villalobos-Figueroa (eds.), *Aquatic Biota of Mexico, Central America and the West Indies*. San Diego State University, San Diego, California, USA.
- Spongberg, A.L., Witter, J.D., Acuña, J., Vargas, J., Murillo, M., Umaña, G., Gómez, E. y Pérez, G. 2011. Reconnaissance of selected PPCP compounds in Costa Rican surface waters. *Water Research* 45: 6709-6717.
- Springer, M. 2008. Aquatic insect diversity in Costa Rica: state of knowledge. *Revista de Biología Tropical* 56(Suppl.4): 273-295.
- Springer, M. 2010a. Trichoptera. Macroinvertebrados de agua dulce en Costa Rica I. *Revista de Biología Tropical* 58(Suppl.4): 151-198.
- Springer, M. 2010b. Biomonitorio. Macroinvertebrados de Agua Dulce en Costa Rica I. *Revista de Biología Tropical* 58(Suppl.4): 53-59.
- Springer, M. y Gerecke, R. 1992. The male of *Neotorrenticola plumipes* Lundblad, 1953 (Acari, Actinedida, Limnesiidae) from Costa Rica. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 27(4): 243-252.
- Springer, M., Ramírez, A. y Hanson, P. (Eds.). 2010. Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I: Introducción a los grupos de Macroinvertebrados, Métodos, Biomonitorio, Ephemeroptera, Odonata, Plecoptera, Trichoptera. *Revista de Biología Tropical* 58(Suppl. 4). 1-200.
- Springer, M., Vásquez, D., Castro, A. y Kohlmann, B. 2007. Bioindicadores de la calidad del agua. Guía Ilustrativa de campo. EARTH, UCR., Costa Rica.
- Stark, B.P. 1998. The *Anacroneuria* of Costa Rica and Panama (Insecta: Plecoptera: Perlidae). *Proceedings of the Biological Society of Washington* 111: 551-603.
- Stark, B.P. 2014. Records of Mesoamerican *Anacroneuria* (Plecoptera: Perlidae), with descriptions of four new species. *Illiesia* 10(2): 6-16.
- Sweeney, B.W., Flowers, R.W., Funk, D.H., Ávila, S.A. y Jackson, J.K. 2009. Mayfly communities in two neotropical lowland forests. *Aquatic Insects* 31(1): 311-318.
- Taylor, D. 1993. Freshwater molluscs of Costa Rica: introduction and checklist. *Revista de Biología Tropical* 41: 653-655.
- Taylor, D. 2003. Introducción a Physidae (Gastropoda: Hygrophila): biogeografía, clasificación, morfología. *Revista de Biología Tropical* 51: 1-287.



- Thompson, F.G. 2008. An annotated checklist and bibliography of the land and freshwater snails of Mexico and Central America. Florida Museum of Natural History, University of Florida. 903 p.
- Trama, F.A., Rizo Patrón, F.L. y Springer, M. 2009. Macroinvertebrados bentónicos del humedal Palo Verde, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 57(Suppl. 1): 275-284.
- Umaña, G., Haberyan, K.A. y Horn, S.P. 1999. Limnology in Costa Rica. Pp. 33-62. En: Wetzel, R.G. y Gopal, B. (Eds.). *Limnology in developing countries*. International Association for Theoretical and Applied Limnology (SIL). International Scientific Publications, New Dehli, India.
- UICN. 2009. Guía de gestión ambiental para la minería no metálica. Oficina Regional para Mesoamérica y la Iniciativa Caribe. San José, Costa Rica.
- Van Berkum, F.H. 1982. Natural history of a tropical, shrimp-eating spider (Pisauridae). *Journal of Arachnology* 10: 117-121.
- Vásquez, D., Flowers, R.W. y Springer, M. 2009. Life history of five small minnow mayflies (Ephemeroptera: Baetidae) in a small tropical stream on the Caribbean slope of Costa Rica. *Aquatic Insects* 32(Suppl.1): 319-332.
- Vásquez, D., Springer, M., Castro, A. y Kohlmann, B. 2010. Bioindicadores de la calidad del agua, Cuenca del Río Tempisque. Guía Ilustrativa de campo. EARTH, UCR. 8 p.
- Villalobos, C.R. 1973. *Ptychophallus costaricensis*, a new freshwater crab from Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 21: 197-203.
- Villalobos-Solé, C.R. y Burgos-Gómez, E. 1975. *Potamocarcinus* (*Potamocarcinus*) *nicaraguensis* (Pseudothelphusidae: Crustacea) in Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 22: 223-237.
- Wehrtmann, I.S., Magalhães, C., Hernáez, P. y Mantelatto, F.L. 2010. Offspring production in three freshwater crab species (Brachyura: Pseudothelphusidae) from the Amazon region and Central America. *Zoología* 27(6): 965-972.
- Wright, J. 2010. Biomonitoring with aquatic benthic macroinvertebrates in southern Costa Rica in support of community based watershed monitoring. Master Thesis, York University, Canada.
- Zullini, A., Loof, P.A.A. y Bongers, T. 2002a. Free-living nematodes from nature reserves in Costa Rica. 2. Mononchina. *Nematology* 4: 1-23.
- Zullini, A., Loof, P.A.A. y Bongers, T. 2002b. Freelifing nematodes from nature reserves in Costa Rica. 3. Araeolaimida. *Nematology* 4: 709-724.

3.10. Anexos

Anexo 1: Índice BMWP-CR según el “Reglamento para la clasificación y la evaluación de la calidad de cuerpos de agua superficiales” (Decreto No. 33903 MINAE-S).

El **BMWP-CR** (Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica) es un

índice que se calcula sumando las puntuaciones asignadas a los distintos taxones encontrados en las muestras de macroinvertebrados bentónicos y que se citan en el listado a continuación. La puntuación se asigna en función del grado de sensibilidad a la contaminación y se da solamente una vez, independientemente de la cantidad de individuos y géneros en-



contrados en cada una de las familias; o sea se toma en cuenta solamente la presencia de cada familia.

La clasificación de las aguas según este índice adquiere valores comprendidos entre cero

y un máximo indeterminado que, en la práctica, no suele superar 200. Se establecen seis clases de calidad para el agua (las dos primeras clases pertenecen al grupo de aguas no contaminadas):

Puntajes asignados a cada una de las familias de organismos bentónicos: <i>(D: Diptera; E: Ephemeroptera; P: Plecoptera; T: Trichoptera; O: Odonata; C: Coleoptera; M: Megaloptera; H: Hemiptera; L: Lepidoptera; B: Blattodea)</i>
Puntaje 9: O Polythoridae D Blephariceridae; Athericidae E Heptageniidae P Perlidae T Lepidostomatidae; Odontoceridae; Hydrobiosidae; Ecnomidae
Puntaje 8: E Leptophlebiidae O Cordulegastridae; Corduliidae; Aeshnidae; Perilestidae T Limnephilidae; Calamoceratidae; Leptoceridae; Glossosomatidae B Blaberidae
Puntaje 7: C Ptilodactylidae; Psephenidae; Lutrochidae O Gomphidae; Lestidae; Megapodagrionidae; Protoneuridae; Platystictidae T Philopotamidae
Puntaje 6: O Libellulidae M Corydalidae T Hydroptilidae; Polycentropodidae; Xiphocentronidae E Euthyplociidae; Isonychidae
Puntaje 5: L Pyralidae T Hydropsychidae; Helicopsychidae C Dryopidae; Hydraenidae; Elmidae; Limnichidae E Leptohiphidae; Oligoneuriidae; Polymitarciidae; Baetidae