Diversidad, conservación y uso de los macroinvertebrados dulceacuícolas de México, Centroamérica, Colombia, Cuba y Puerto Rico

Divulgación

Perla Alonso-EguíaLis, José Manuel Mora, Bruce Campbell y Monika Springer
Editores

Red de Macroinvertebrados Dulceacuícolas de Mesoamérica

Perla Alonso-EguíaLis, José Manuel Mora,
Bruce Campbell y Monika Springer

Editores

Diversidad, conservación y uso de los macroinvertebrados dulceacuícolas de México, Centroamérica, Colombia, Cuba y Puerto Rico

IMTA
México, 2014

577.63 Alonso-EguíaLis *et al.* (Eds.).
A67 Diversidad, conservación y uso de los macroinvertebrados dulceacuícolas de México, Centroamérica, Colombia, Cuba y Puerto Rico / Perla Alonso-EguíaLis *et al.* -- México : Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Universidad Autónoma de Querétaro ; San José, Costa Rica : Universidad de Costa Rica, ©2014.
444 p.
ISBN: 978-607-9368-21-0

1. Bioindicadores 2. Biodiversidad 3. Macroinvertebrados 4.Agua dulce I. Alonso-EguíaLis, P. II. Mora, J.M. III. Campbell, B. IV. Springer, M.

Coordinación editorial
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Coordinación de Comunicación, Participación e Información
Subcoordinación de Vinculación, Comercialización y Servicios Editoriales

Diseño de portada
Oscar Alonso Barrón

Maquetación original
Gema Alín Martínez Ocampo

Diseño y formación
Luis Enrique Nájera Zamora

Portada
Tomado de feow.org. Fotos de Monika Springer y Kenji Nishida

Primera edición 2014
CP-1116.2
D.R. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Paseo Cuauhnáhuac 8532,
Progreso, Jiutepec, Morelos
C.P. 62550
MÉXICO

ISBN: 978-607-9368-21-0

La forma sugerida para citar el libro se indica a continuación:

Alonso-EguíaLis, P., Mora, J.M., Campbell, B. y M. Springer (editores) 2014. *Diversidad, conservación y uso de los macroinvertebrados dulceacuícolas de México, Centroamérica, Colombia, Cuba y Puerto Rico*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, México. 444 p.

Impreso en México – *Printed in Mexico*

Contenido

Prólogo 10

Agradecimientos 15

Introducción
Los ecosistemas dulceacuícolas tropicales y subtropicales de la región central de América: importancia y retos para la conservación de su biodiversidad
Perla Alonso-EguíaLis, Monika Springer, José Manuel Mora y Raúl Pineda López 17

1. Importancia y fragilidad de los ecosistemas dulceacuícolas neotropicales 18
2. Las amenazas de los ecosistemas acuáticos tropicales 20
3. Fundamentos para la conservación: una visión regional 22
4. Estado del conocimiento y retos en la taxonomía de los macroinvertebrados dulceacuícolas neotropicales 23
5. La red temática sobre Macroinvertebrados Dulcecuícolas Mesoamericanos (Red MADMESO) 24
6. Consideraciones finales 25
7. Literatura citada 26

1. Belize
Rachael Carrie· & Elma Kay 33

1.1. Abstract 33
1.2. Introduction 35
1.3. State of knowledge about the freshwater macroinvertebrates of Belize 38
1.3.1. Taxonomic studies 39
1.3.2. Ecological studies 44
1.3.3. State of conservation 47
1.4. The use of macroinvertebrates as bioindicators of water quality in Belize 50
1.5. Legal and regulatory framework for the development and use of macroinvertebrates in environmental assessment 51
1.6. Future Perspectives 52
1.7. Conclusion 55
1.8. Acknowledgements 55
1.9. References 55

2. Colombia
Gabriel Roldán, María del Carmen Zúñiga,Hilldier Zamora, Luisa Fernanda Álvarez
Gladys Reinoso y Magnolia Longo 63
2.1. Resumen 63
2.1. Abstract 64
2.2. Introducción 65
2.3. Estado del conocimiento sobre los macroinvertebrados acuáticos 69
2.3.1 Estudios taxonómicos 69
2.3.2 Estudios ecológicos 79
2.3.3 Estado de conservación 82
2.4. Empleo de los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua 86
2.5. Bases normativas legales para el uso de los macroinvertebrados en los estudios de evaluación ambiental 89
2.6. Perspectivas futuras 90
2.7. Conclusiones 92
2.8. Agradecimientos 92
2.9. Literatura citada 93

3. Costa Rica
Monika Springer, Silvia Echeverría-Sáenz y Pablo E. Gutiérrez-Fonseca 119
3.1. Resumen 119
3.1. Abstract 120
3.2. Introducción 122
3.3. Estado del conocimiento sobre macroinvertebrados dulceacuícolas en Costa Rica 123
3.3.1 Estudios taxonómicos 125
3.3.2 Estudios ecológicos 132
3.3.3 Estado de conservación 136
3.4. Empleo de los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en Costa Rica 140
3.5. Bases normativas legales para el uso de los macroinvertebrados en los estudios de evaluación ambiental. 141
3.6. Perspectivas futuras 142
3.7. Conclusiones 144
3.8. Agradecimientos 144

3.9. Literatura citada 145
3.10. Anexos 154

4. Cuba
Carlos Naranjo López, Pedro López Del Castillo, Orestes C. Bello González y Senén Muñoz Riviaux 159
4.1. Resumen 159
4.1. Abstract 160
4.2. Introducción 161
4.3. Estado del conocimiento sobre macroinvertebrados dulceacuícolas en Cuba 162
4.3.1 Estudios taxonómicos 163
4.3.2 Estudios ecológicos 169
4.3.3 Estado de conservación 170
4.4. Empleo de los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua 171
4.5. Bases normativas legales para el uso de los macroinvertebrados en los estudios de evaluación ambiental 173
4.6. Perspectivas futuras 173
4.7. Conclusiones 174
4.8. Agradecimientos 175
4.9. Literatura citada 175
4.10. Anexos 183

5. El Salvador
José Miguel Sermeño Chicas, Leopoldo Serrano Cervantes, Dagoberto Pérez, Rubén Ernesto López Sorto, Altagracia de Jesús Zepeda Aguilar y Ana Karla Castillo Ayala 187
5.1. Resumen 187
5.1. Abstract 188
5.2. Introducción 189
5.3. Estado del conocimiento sobre los macroinvertebrados dulceacuícolas en El Salvador 191
5.3.1 Estudios taxonómicos 192
5.3.2 Estudios ecológicos 197
5.3.3 Estado de conservación 199

5.4. Empleo de los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en El Salvador 201
5.5. Bases normativas legales para el uso de los macroinvertebrados en los estudios de evaluación ambiental 205
5.6. Perspectivas futuras 206
5.7. Conclusiones 207
5.8. Agradecimientos 208
5.9. Literatura citada 209

6. Guatemala
Fátima Reyes-Morales, Oscar Sacahuí-Reyes, Norma Gil, y Anna Cristina Bailey 219
6.1. Resumen 219
6.1. Abstract 220
6.2. Introducción 221
6.3. Estado del conocimiento sobre macroinvertebrados dulceacuícolas en Guatemala 223
6.3.1 Estudios taxonómicos 223
6.3.2 Estudios ecológicos 230
6.3.3 Estado de conservación 231
6.4. Empleo de los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en Guatemala 232
6.5. Bases normativas legales para el uso de los macroinvertebrados en los estudios de evaluación ambiental 234
6.6. Perspectivas futuras 235
6.7. Conclusiones 236
6.8. Agradecimientos 236
6.9. Literatura citada 236

7. Honduras
Lucía Isabel López y José Manuel Mora 245
7.1. Resumen 245
7.1. Abstract 246
7.2. Introducción 247
7.3. Estado del conocimiento sobre macroinvertebrados dulceacuícolas en Honduras 250
7.3.1 Estudios taxonómicos 250
7.3.2 Estudios ecológicos 259
7.3.3 Estado de conservación 262

7.4. Empleo de los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en Honduras 269
7.5. Bases normativas legales para el uso de los macroinvertebrados en los estudios de evaluación ambiental 270
7.6. Perspectivas futuras 271
7.7. Conclusiones 272
7.8. Agradecimientos 273
7.9. Literatura citada 273

8. México
Perla Alonso-EguíaLis, Raúl Pineda-López y Ricardo Pérez-Munguía 293
8.1. Resumen 293
8.1. Abstract 294
8.2. Introducción 295
8.3. Estado del conocimiento sobre macroinvertebrados dulceacuícolas en México 297
8.3.1 Estudios taxonómicos 298
8.3.2 Estudios ecológicos 310
8.3.3 Estado de conservación 312
8.4. Empleo de los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en México 314
8.5. Bases normativas legales para el uso de los macroinvertebrados en los estudios de evaluación ambiental 317
8.6. Perspectivas futuras 318
8.7. Conclusiones 319
8.8. Agradecimientos 320
8.9. Literatura Citada 321

9. Nicaragua
Jean-Michel Maes y Thelma Salvatierra-Suarez 347
9.1. Resumen 347
9.1. Abstract 348
9.2. Introducción 349
9.3. Estado del conocimiento sobre macroinvertebrados dulceacuícolas en Nicaragua 351
9.3.1 Estudios taxonómicos 351
9.3.2 Estudios ecológicos 357
9.3.3 Estado de conservación 358

9.4. Empleo de los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en Nicaragua 366
9.5. Bases normativas legales para el uso de los macroinvertebrados en los estudios de evaluación ambiental 366
9.6. Perspectivas futuras 367
9.7. Conclusiones 368
9.8. Agradecimientos 369
9.9. Literatura citada 369

10. Panamá
Aydeé Cornejo y Juan Bernal 377
10.1. Resumen 377
10.1. Abstract 378
10.2. Introducción 379
10.3. Estado del conocimiento sobre macroinvertebrados dulceacuícolas en Panamá 382
10.3.1 Estudios taxonómicos 384
10.3.2 Estudios ecológicos 392
10.3.3 Estado de conservación 393
10.4. Empleo de los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en Panamá 395
10.5. Bases normativas legales para el uso de los macroinvertebrados en los estudios de evaluación ambiental 396
10.6. Perspectivas futuras 398
10.7. Conclusiones 400
10.8. Agradecimientos 401
10.9. Literatura citada 402

11. Puerto Rico
Alonso Ramírez y Pablo E. Gutiérrez-Fonseca 419
11.1. Resumen 419
11.1. Abstract 420
11.2. Introducción 421
11.3. Estado del conocimiento sobre macroinvertebrados dulceacuícolas en Puerto Rico 424
11.3.1 Estudios taxonómicos 424
11.3.2 Estudios ecológicos 427
11.3.3 Estado de conservación 432

11.4. Empleo de los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en Puerto Rico 434
11.5. Bases normativas legales para el uso de los macroinvertebrados en los estudios de evaluación ambiental 435
11.6. Perspectivas futuras 435
11.7. Conclusiones 436
11.8. Agradecimientos 437
11.9. Literatura citada 437

Prólogo

Los editores de este libro me han honrado pidiéndome que les escriba un prólogo. Lo primero que debo hacer es felicitarles por llevar a buen término una iniciativa que demasiadas veces no prospera: publicar un libro con 36 autores y 12 capítulos y además que cada capítulo tenga el mismo guión. Que los editores hayan conseguido que el libro se publique y que no se noten demasiado las diferencias de conocimiento y experiencia que hay entre países ya es un logro. Seguro que los editores han sufrido mucho para llegar a este final y por ello deben sentirse recompensados. Ellos y algunos de los autores de algunos capítulos llevan muchos años batallando para que el conocimiento de los macroinvertebrados acuáticos, su uso como bioindicadores y como elementos de conservación de los ecosistemas donde se encuentran, sea reconocido. En la edición del libro seguro que han encontrado muchos problemas, frustraciones, promesas incumplidas y han perdido muchas horas de sueño. El resultado ha valido la pena.

El libro será sin duda un referente para el futuro. Sólo con el conjunto de referencias de cada capítulo el libro (junto a la revisión del tema de Springer 2008) debe servir para que, futuros investigadores de la biodiversidad de los países considerados, se ahorren una búsqueda penosa de bibliografía cuando comiencen sus trabajos. Un aspecto que se cita muchas veces en este libro es la existencia de una gran cantidad de literatura "gris", especialmente la relacionada con estudios de impacto ambiental, que queda depositada en alguna estantería de algún ministerio. Hasta 10 veces se repite esta advertencia en los diferentes capítulos. Esto es algo que ya nos encontramos en nuestra revisión de los estudios de biomonitoreo de Latinoamérica (Prat *et al* 2009). El hecho diferencial respecto a otros lugares del mundo, es que muchos de estos trabajos están realizados en zonas donde nunca antes se habían muestreado los

macroinvertebrados y por tanto se deja de conocer una información muy valiosa. Un complemento del libro en forma de lista de estos trabajos, disponible vía un sitio de internet, hubiera sido deseable, aunque entiendo la dificultad de una labor como esta.

El seguir un mismo guión con ocho puntos iguales en todos los capítulos es una buena manera de conocer las diferencias que hay entre países y saber también cuáles son los temas que quedan pendientes de investigar. Demasiadas veces los investigadores, por la falta de libros como este, vuelven a inventar "la sopa de ajo". Se nota también que los editores y autores han trabajado utilizando los invertebrados como bioindicadores ya que se dedica un apartado de cada trabajo a este tema. Sin duda los estudios de biomonitoreo han sido una pieza clave en el incremento de trabajos sobre macroinvertebrados en Mesoamérica. Aparte de la publicación de muchas listas de organismos, se ha aprovechado en multitud de ocasiones (aunque mucho menos que las deseables) el material recolectado para estudios taxonómicos. Por otra parte, la realización de estos estudios ha permitido mantener un conjunto notable de investigadores trabajando sobre el tema, muchos de ellos conectados con centros de investigación o universidades que han permitido la realización de tesis de grado, de master o doctorales sobre el tema. Otra vez tenemos que lamentar que muchos de estos trabajos tampoco han sido publicados. De todas formas, dado el número relativamente pequeño de investigadores que se dedican a los macroinvertebrados en esta amplia zona, el resultado es notable.

La investigación en el estudio de los macroinvertebrados, avanza, como en muchos otros estudios, de forma irregular, con épocas en que se publica poco y otras en que por alguna razón hay algún incremento apreciable. Una de las razones que ayuda a incrementar los estudios, es la publicación de algunas monografías que sirven para simplificar el trabajo de los investigadores. Sin duda un pionero en este aspecto ha sido el profesor Gabriel Roldán, su guía de 1996 es uno de los trabajos más citados en el libro, junto a sus trabajos sobre bioindicación. Otro hito importante fue la publicación del libro editado por Eduardo Domínguez y Hugo Fernández en 2009 con claves para la mayoría de los grupos de macroinvertebrados, o los muchos trabajos de Domínguez

sobre efemeróptero, además de otros muchos autores en otros grupos taxonómicos que han sido pioneros y han animado a varios investigadores a interesarse por los macroinvertebrados. Una culminación de los trabajos anteriores fue la organización del primer congreso latinoamericano sobre Macroinvertebrados, celebrado en Costa Rica hace sólo 3 años, resultando ser un gran éxito (ya se ha celebrado el segundo en México y pronto se celebrará el tercero en Colombia). De este movimiento ha surgido la red "Macrolatinos" cuya página web, además de noticias, ofrece la posibilidad de contacto a todos los miembros de esta red y sirve de núcleo impulsor del avance en el conocimiento de los macroinvertebrados latinoamericanos. Espero que este libro sea también una pieza importante para que los investigadores de Mesoamérica realicen otro salto cualitativo en el conocimiento de los macroinvertebrados de esta zona.

Finalmente no quiero dejar de mencionar la preocupación de todos los investigadores por la conservación de la biodiversidad de macroinvertebrados. Las múltiples agresiones que sufren los ríos en Latinoamérica, como el canal que se proyecta realizar en Nicaragua entre los dos océanos, preocupan a los autores de los diferentes capítulos y además me consta que muchos de ellos "sufren" al ver como los embalses destruyen lugares únicos, como la contaminación no es atajada convenientemente y se degradan miles de kilómetros de río cada año....y no voy a seguir porque probablemente nos deprimiríamos demasiado. Esperemos que el libro despierte algunas conciencias y que ayude a obtener alguna victoria para los que intentan conservar los ríos en Mesoamérica. Ante la gran diferencia que hay entre los que queremos conservar los ríos frente a los que los quieren utilizar como "vehículo para el desarrollo" (excusa oficial para realizar muchas obras innecesarias), destrozándolos; lo único que se puede hacer es producir instrumentos para que, aquellos que quieran luchar por sus ríos tenga un arma para poderlo hacer. Aunque en muchos casos es la lucha de David contra Goliat, ya se sabe que a veces es David quien gana. Agarrémonos a esta posibilidad y celebremos los pocos triunfos que normalmente obtenemos como una manera de rearmarnos para futuras luchas. Sin duda este libro será un instrumento para estos objetivos.

Espero que los lectores usen de forma activa este libro tanto para mejorar su suficiencia taxonómica como para localizar aquellas publicaciones necesarias para sus trabajos o, si lo necesitan, establecer un buen sistema de biomonitoreo adaptado a la realidad del río en el que trabajan (y no copien simplemente los que se proponen en ese libro). También que el libro les sirva de estímulo para empezar o seguir la lucha para conservar el pequeño (o gran) río en las orillas del cual nacieron y que quieren conservar (o recuperar) para que lo disfruten sus hijos y nietos.

NARCIS PRAT
Grupo de Investigación F.E.M. (Freshwater Ecology and Management).
Departamento de Ecología de la Universidad de Barcelona, Diagonal, 643
08960 Barcelona (España)

Barcelona, diciembre 2014.

Literatura citada

Domínguez, E. y Fernández, H.R. (Eds.). 2009. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina.

Prat, N., Ríos, B., Acosta, R. y Rieradevall, M. 2009. Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. Pp. 631-654. En: Domínguez, E. y Fernández, H.R. (Eds.). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina.

Springer, M. 2008. Aquatic Insect Diversity of Costa Rica: State of knowledge. *Revista Biología Tropical*. 56, (Suppl.4): 273-295.

Arroyo de Cañón de Santa Elena - México

Autor de fotografía: Perla Alonso E.

Agradecimientos

Los editores de este libro agradecemos a todos y cada uno de los autores, por sus importantes aportes y el gran esfuerzo realizado para la conclusión de este trabajo. Le damos las gracias a Tom Goldschmidt por su desinteresado apoyo en la revisión del grupo de los ácaros acuáticos. A la Secretaría de Relaciones Exteriores del gobierno de México, por el apoyo económico brindado para llevar a cabo las reuniones internacionales de trabajo. A Paul Hanson por las correcciones a las traducciones al idioma inglés, a Nebaí Flores Alonso por su paciente apoyo en la revisión final de este trabajo. A la Universidad Autónoma de Querétaro y a la Universidad de Costa Rica, por haber sido amables anfitriones en dos de las reuniones de trabajo. Finalmente, queremos agradecer a Topiltzin Contreras MacBeath y Raúl Pineda López, quienes impulsaron el establecimiento de la Red MADMESO al conseguir el financiamiento, lo cual dio origen a la publicación del presente libro.

Río Cárstico

Autor de fotografía: Perla Alonso E.

Los ecosistemas dulceacuícolas tropicales y subtropicales de la región central de América: importancia y retos para la conservación de su biodiversidad

Perla Alonso-EguíaLis[1], Monika Springer[2], José Manuel Mora[3] y Raúl Pineda López[4]

[1]Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Subcoordinación de Hidrobiología y Evaluación ambiental, Morelos, México, pteroestigma@gmail.com. [2]Escuela de Biología y CIMAR, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. monika.springer@ucr.ac.cr. [3]Instituto Internacional en Manejo y Conservación de Vida Silvestre, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. josemora07@gmail.com. [4]Universidad Autónoma de Querétaro, México. rufuspinedal@gmail.com.

La franja tropical contiene a la mayor biodiversidad del planeta. No obstante, el conocimiento de la composición de los ensamblajes y del número de especies es muy pobre para la mayoría de los grupos de organismos tropicales. Consecuentemente, se desconoce su estado de conservación, lo que limita las posibilidades de un uso sustentable de la biodiversidad.

En este libro se hace una revisión de la diversidad conocida de una serie de grupos taxonómicos de macroinvertebrados dulceacuícolas de 11 países de la región Neotropical. A la vez, los autores analizan el estado de conservación del hábitat de estos organismos y del uso práctico que tienen como bioindicadores de la calidad del agua de los sistemas lóticos y lénticos en cada uno de los países. El estado del conocimiento de estos tres aspectos es muy variable según las condiciones particulares de cada país incluido en el presente libro.

Importancia y fragilidad de los ecosistemas dulceacuícolas neotropicales

Los sistemas acuáticos son la principal fuente de vida para gran parte de la biodiversidad del planeta, incluido el ser humano. El 6% de la diversidad de especies biológicas hasta ahora conocida (alrededor de 100,000 especies) se encuentra en los ecosistemas de agua dulce (Dudgeon *et al.* 2006) y este número sigue en aumento ya que diariamente se descubren nuevas especies. Tan solo en Sudamérica, en menos de cinco años, se descubrieron 465 nuevas especies de peces de agua dulce (Eschmeyer y Fricke 2010). Por otra parte, los ecosistemas de agua dulce tienen condiciones de diversidad muy particulares, ya que la relación que guarda el área con respecto a la riqueza de especies, es mayor que en cualquier otro ecosistema, fenómeno denominado por Martens (2010) como "paradoja de la biodiversidad del agua dulce". Además, la tasa de endemismo en los sistemas dulceacuícolas es muy alta, principalmente en los lagos (Groombridge y Jenkins 2002).

Este libro contiene capítulos de 11 países de una región de alta relevancia para la conservación de la biodiversidad mundial. Estos países son los siete de Centroamérica más México al norte y Colombia al sur, Cuba y Puerto Rico en el Caribe, que ocupan una posición geográfica privilegiada en la franja tropical del Neotrópico y tienen relación con al menos un océano, lo que les confiere condiciones climáticas ideales para el desarrollo de la biodiversidad. Además, parte de México está en la bioregión Neártica, cuyo límite sur llega al istmo de Tehuantepec, aunque una gran porción de las regiones costeras de este país están dentro del Neotrópico.

De acuerdo a Toledo *et al.* (2001) la región Mesoamericana, es un área cultural (no biológica) comprendida entre la cuenca Pánuco-Lerma, en el centro de México, Guatemala, Belice, El Salvador y el occidente de Honduras, hasta el límite formado por el río Múa y el lago Nojoa en Nicaragua, y cuyos límites están basados en el cultivo de maíz y tipos de cerámica. No obstante, dado que la región comparte el mismo tipo de recursos naturales, es denominada como una gran región biocultural. Para fines de manejo y conservación, Mesoamérica se considera como una franja continua que abarca los estados sureños de México (Campeche, Chiapas, Quintana Roo, Yucatán y Tabasco) y los siete países centroamericanos (Guatemala, Belice, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Panamá) y se extiende por lo tanto, del Istmo de Tehuantepec al Darién panameño (Pandero-Moya *et al.* 2002). A su vez, el bosque tropical lluvioso del Darién es una masa continua con el Chocó colombiano, lo que tiene importantes implicaciones biogeográficas. La Región Fitogeográfica Caribea va de Yucatán a Panamá, costas de Colombia y Guyana, Antillas Menores y Antillas Mayores (incluidas Cuba y Puerto Rico). Esta región tiene un alto grado de endemismo pero a la vez tiene un considerable número de especies compartidas (Gómez 1986).

La región mesoamericana es privilegiada por sus abundantes recursos hídricos. Aquí los promedios máximos de precipitación van de 3,000 mm/año en la selva de Chiapas, México, a 5,720 mm/año en ciertas regiones de Costa Rica y Panamá (Tabora *et al.* 2011, Banco Mun-

dial 2014b). Esta abundancia de lluvia palidece ante los más de 12,000 mm anuales que llueve en el Chocó colombiano. En Cuba, en contraste, se reciben 1,335 mm de precipitación al año, mientras que en Puerto Rico solamente 854 mm (Banco Mundial 2014c). En los mismos países también existen fuertes variaciones regionales. En la Guajira de Colombia llueve solamente 500 mm al año. De igual manera el norte de México se caracteriza por un clima muy árido donde incluso existen ecosistemas desérticos.

La clasificación por ecorregiones de agua dulce de Abell *et al.* (2008), basada principalmente en información relativa a la distribución de la ictiofauna, ha sido de gran importancia para unificar y maximizar los esfuerzos de manejo y conservación. De acuerdo a esta clasificación, la región de Mesoamérica, las Antillas Mayores y el norte de Colombia comparten dos tipos de hábitats de agua dulce que son: "Ríos Tropicales y Subtropicales de cuencas altas" y "Humedales y Ríos Tropicales y Subtropicales de áreas de inundación de cuenca baja" (figura 1) .

La historia geológica de la región y la variada topografía de estos países han propiciado una alta variedad de ecosistemas (Gentry 1982, Mittermeier *et al.* 2004). Estos son el sustrato base de una altísima variedad vegetal y de vertebrados (Myers *et al.* 2000). Aunque en gran parte aún desconocida, sin duda la diversidad de macroinvertebrados dulceacuícolas, también es muy alta ya que generalmente donde un grupo es muy diversificado, también lo son otros grupos (Primack 2014). Una alta cantidad de macrohábitats diferentes por tipo de sistema ecológico es un indicador importante sobre la capacidad del sistema para mantener una alta biodiversidad acuática (TNC 2009).

La altísima biodiversidad de todos los países en cuestión, ha sido afectada por diversos factores, particularmente el deterioro y la destrucción de los hábitats naturales. Es por ello que estos países forman parte de cuatro de los 25 "hot spots" o ecosistemas críticos (EC) que existen en el mundo (Mittermeier *et al*. 2004). Los EC son regiones con una excepcional concentración de endemismos, pero también con una excepcional pérdida de hábitat (Myers *et al*. 2000).

El EC "Mesoamérica" incluye a prácticamente toda la porción neotropical de México y casi toda Centroamérica (desde Guatemala hasta una parte de Panamá). Este EC es el segundo más diversificado del mundo y alberga más de 17,000 especies de plantas con unas 3,000 especies endémicas (Mittermeier *et al*. 2004). Cuba y Puerto Rico están dentro del EC "Islas del Caribe" que tiene 13,000 especies de plantas de las que aproximadamente la mitad son endémicas. Cuba podría ser un "hot spot" por sí mismo pues cuenta con unas 6,505 especies de plantas, de las cuales 3,224 son endémicas (Mittermeier *et al*. 2004). Parte de Colombia y parte de Panamá están dentro del EC "Tumbes-Chocó-Magdalena", 11,000 especies de plantas, 2,750 endémicas. Colombia, forma parte del EC "Andes Tropicales" que es el mas diversificado del planeta, con 35,000 especies de plantas y 15,000 de ellas endémicas (Mittermeier *et al*. 2004).

Los ecosistemas dulceacuícolas neotropicales, se pueden considerar en sí mismos "hot spots" de la biodiversidad, debido a que enfrentan amenazas extraordinarias. Basado en estos aspectos se deben incrementar los esfuerzos y establecer prioridades para su conservación tal y como se plantearon los objetivos del recono-

Figura 1. Principales ecorregiones acuáticas de México. Centroamérica, Norte de Colombia y Antillas Mayores. (Tomado y modificado desde TNC/WWF 2013, feow.org).

cimiento y clasificación de los EC (Myers 1988, Myers *et al*. 2000).

Las amenazas de los ecosistemas acuáticos tropicales

Los factores y amenazas que enfrentan los ecosistemas acuáticos tropicales los han colocado como los de mayor degradación y riesgo en el mundo, con una pérdida de hasta el 70% de su biodiversidad en los últimos 30 años (MEA 2005, Dudgeon *et al.* 2006, Vaughn 2010, WWF 2012). Alteraciones como la construcción de represas, el entubamientos de ríos y manantiales, las derivaciones, extracción de material pétreo, el reencauzamiento y rectificación de cauces, la introducción de especies exóticas, las

descargas industriales y domésticas (aguas grises y negras) a los ríos, el ingreso constante de fertilizantes, agroquímicos y otras sustancias a partir de la contaminación difusa, así como el arrastre de gran cantidad de sedimentos producto de la deforestación y el cambio de uso de suelo, han puesto bajo seria amenaza a estos complejos ecosistemas (Ehrlich 1988, Primack 2014). Una amenaza se ha sumado a esta lista en las últimas décadas, el cambio climático global (IPCC 2002).

Mesoamérica está particularmente expuesta a una creciente vulnerabilidad de los eventos extremos debidos al cambio climático global (CCG), lo cual significa que la biodiversidad, ya severamente amenazada, será aún más vulnerable (Magrin *et al.* 2007). Centroamérica es la zona del mundo más vulnerable al impacto del CCG (CEPAL *et al.* 2012). En general, se proyectan cambios significativos en la temperatura promedio y los patrones de precipitación en toda la región. Esto podría aumentar la sensibilidad regional a los desastres naturales así como afectar directamente a los procesos y ciclos biogeoquímicos, la biodiversidad y el manejo del agua. Entre otros aspectos, el calentamiento global esta asociado a aumentos o reducciones de la precipitación en diversas zonas o períodos del año, lo que repercutirá en problemas para la gestión de los recursos hídricos (CEPAL *et al.* 2012). Consecuentemente, las comunidades de macroinvertebrados se verán afectados en sus patrones de distribución, ciclos de vida y supervivencia.

En México se predicen incrementos en la temperatura de hasta 4 °C en 100 años. Este incremento alterará los regímenes de lluvias, con una disminución en el norte del país, sequías más recurrentes e intensas y disminución de hasta un 20% en el escurrimiento. Se prevé una mayor frecuencia de sequías más intensas en las regiones áridas que son las dominantes en el norte (Martínez-Austria 2007). En Colombia los escenarios climáticos predicen aumentos de la temperatura media entre 2 y 4 °C para el 2070 y una disminución de las condiciones hidrológicas con reducción de las precipitaciones de hasta 30% en algunas regiones (PNUD Colombia y AECID 2010). Se proyectan aumentos en la escorrentía en las regiones costeras, los llanos orientales y algunos departamentos ya de por sí vulnerables. Al contrario, la escorrentía disminuirá en la región andina y el norte del país lo que causaría problemas en la provisión de agua y causará déficit en los embalses, lo que afectaría la generación de energía hidroeléctrica. El área de nevados y páramos disminuirá así como sus servicios ecosistémicos (PNUD Colombia y AECID 2010). En Cuba se estima que el aumento de la temperatura sería tan notable que aún en los casos donde se proyectan incrementos de las precipitaciones, podría ocurrir una intensificación y expansión de los procesos de aridez y sequía (Paz-Castro s.f.). Estos a su vez producirían una notable disminución de los recursos hídricos potenciales. A la vez, para estos últimos, la intrusión marina en el agua subterránea sería uno de los impactos más graves, debido a que la mayoría de los acuíferos en Cuba son abiertos al mar (Paz-Castro s.f.). En las islas del Caribe en general la temperatura ha aumentado 0.6 °C y seguirá en aumento con variaciones a nivel local (CCCPR 2013). Estos diferentes patrones pueden repetirse en los demás países de la región y se podrán agravar con un aumento en las densidades poblacionales de cada uno de ellos.

El incremento de la población humana es otra de las amenzas. La tasa de crecimiento

poblacional humano de los países de Centroamérica va del 1.3 % al 2.5 % anual, mientras que en Colombia y México es del 1.3 y 1.2 % respectivamente. Caso contrario son Cuba y Puerto Rico en donde se han alcanzado tasas de 0 y -1% respectivamente (Banco Mundial 2014a). Se predice que para el año 2050, México tendrá 144 millones de habitantes, Guatemala 27, Honduras 13 y Colombia 53, mientras que Cuba se mantendrá con alrededor de los 11 millones de habitantes (Portafolio.co 2014). Como resultado, la presión que se ejercerá sobre los recursos hídricos y especialmente sobre las cuencas compartidas será considerablemente mayor.

Fundamentos para la conservación: una visión regional

En Centroamérica existen 23 cuencas y 18 acuíferos compartidos (Granados *et al.* 2000, Tabora *et al*. 2011), lo cual justifica y precisa la necesidad de trabajar de manera unificada en estudios integrales dirigidos a la conservación de los recursos hídricos y sus componentes en la región. Vale recordar que desde 1992 se cuenta con el "Convenio Sobre la Diversidad Biológica" (CBD), firmado por 168 países (incluidos los considerados en este libro), en la Cumbre de la Tierra celebrada en Río de Janeiro y que entró en vigor el 29 de diciembre de 1993. Este convenio se fundamenta en los siguientes objetivos: 1) la conservación de la diversidad biológica, 2) la utilización sostenible de sus componentes, 3) la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos, 4) el acceso a los recursos genéticos, 5) la transferencia de tecnologías pertinentes y 6) el financiamiento.

Todos los países firmantes del CBD tienen el compromiso de conocer y conservar la biodiversidad. Este compromiso es particularmente cierto para nuestros 11 países por ser miembros de los cuatro "hot spots" antes identificados. Es una obligación conocer, conservar y usar la biodiversidad dulceacuícola, sobre todo si consideramos que para proponer la aplicación de una gestión adecuada del recurso hídrico es necesario tener conocimiento de su condición actual, no solo como cantidad de agua disponible, sino como fuente de biodiversidad y recursos renovables. Por lo tanto, es una prioridad lograr que los usuarios del recurso y los tomadores de decisiones de esta gran región de ecosistemas críticos reconozcan que la riqueza biológica que en ellos habita, es fundamental para nuestra existencia. Todos debemos reconocer que los integrantes de esta riqueza biológica juegan un papel primordial en los ecosistemas, son autorreguladores de procesos ecológicos y representan recursos naturales que brindan alimento, salud, recursos genéticos, medicinales, esparcimiento y otro sin número de servicios ecosistémicos.

Las catástrofes naturales, particularmente los terremotos y los huracanes con sus consecuentes inundaciones, deslaves y deslizamientos, los conflictos políticos y las guerras han castigado a esta región del mundo por siglos. La vulnerabilidad ambiental natural ha sido incrementada por estos factores y por el uso inadecuado e irracional de los recursos naturales. No obstante, los retos futuros demandan acciones inmediatas de manejo para la conservación, incluido el uso sustentable de los recursos dulceacuícolas.

Estado del conocimiento y retos en la taxonomía de los macroinvertebrados dulceacuícolas neotropicales

Un conocimiento taxonómico adecuado es la base de cualquier estudio ecológico, genético, biogeográfico y de historia natural, entre muchos otros. De igual manera es de suma importancia en trabajos sobre bioindicación y en la elaboración de estrategias de conservación. En el caso de los macroinvertebrados dulceacuícolas existe un excelente conocimiento taxonómico en las zonas templadas, con claves de identificación a nivel de familia, género, e incluso especies, para la mayoría de los grupos. Para América del Norte, hay varias obras importantes, tales como las de Merritt *et al.* (1996) y Thorp y Covich (2010), las cuales son fundamentales en los estudios de insectos acuáticos y macroinvertebrados dulceacuícolas.

Sin embargo, para los países neotropicales, el desarrollo de claves taxonómicas para los distintos grupos aún se encuentra en sus inicios, aunque recientemente se han realizado esfuerzos importantes para diferentes grupos (*e.g.* Manzo 2005, Domínguez *et al.* 2006, Borkent y Spinelli 2007, Stark *et al.* 2009) y países o regiones (*e.g.* Roldán-Pérez 1996, Fernández y Domínguez 2001, Springer et *al.* 2010). Esta escasez de literatura taxonómica en nuestra región se debe por un lado a la falta de taxónomos locales, y por otro, a la enorme diversidad de especies, con un alto porcentaje de especies nuevas para la ciencia, así como especies endémicas. Por lo tanto, muchos investigadores y consultores que llevan a cabo proyectos con macroinvertebrados acuáticos, han recurrido a la literatura disponible en otros países, especialmente la publicada en Norteamérica. Esto conlleva el riesgo de incurrir en identificaciones equivocadas, cuando no se usan con el debido cuidado y conocimiento de la fauna local. Un análisis de esta problemática fue publicado recientemente por Sondermann (2013) para la familia Elmidae (Coleoptera), quien evidenció una identificación errónea en un 42% de los géneros reportados para un total de 30 trabajos analizados.

Las consecuencias de las malas identificaciones taxonómicas son múltiples y han sido señaladas por diversos autores, entre ellos Bortolus (2008), quien analizó el efecto cascada que puede causar este tipo de problemas, los cuales muchas veces están subestimados. Para subsanar algunos de estos problemas, el autor hace un llamado urgente a favor de un mayor apoyo institucional y financiero dirigido hacia el fortalecimiento de colecciones científicas que integren la taxonomía y la ecología.

El establecimiento y mantenimiento de colecciones taxonómicas en instituciones públicas es otro de los retos que enfrentamos en nuestra región. En países con una biodiversidad tan alta, este tipo de colecciones cobran especial importancia ya que sirven como material de referencia y constituyen las bases para futuros trabajos taxonómicos, incluyendo la elaboración de claves de identificación. Existen múltiples ejemplos de publicaciones sobre macroinvertebrados dulceacuícolas que fueron posibles gracias a este tipo de colecciones, como es el caso de la colección de Entomología Acuática del Museo de Zoología de la Universidad de Costa Rica (*e.g.*

Gutiérrez-Fonseca y Springer 2011, Herrera y Springer 2012, Pacheco *et al.* 2014). Por lo tanto, es de suma importancia que los investigadores y consultores que desarrollan proyectos ecológicos y de biomonitoreo, consideren el depósito del material recolectado en colecciones que garanticen su adecuado mantenimiento a largo plazo y el libre acceso a investigadores nacionales e internacionales.

Junto con el establecimiento de colecciones científicas, es indispensable entrenar a taxónomos locales en los distintos grupos taxonómicos con el fin de enfrentar los retos antes mencionados. Así mismo se deberá aumentar la oferta regional de talleres y cursos especializados, impartidos por los respectivos especialistas para lograr una mejor capacitación a aquellas personas que realizan estudios con macroinvertebrados dulceacuícolas. Esto es especialmente importante para los profesionales que llevan a cabo trabajos de biomonitoreo y estudios ambientales, ya que en estos casos es fundamental que un sólido conocimiento taxonómico avale estos análisis que forman parte esencial del manejo sostenible e integral de nuestros recursos hídricos.

El presente libro permite evidenciar las diferencias existentes entre los países, así como entre los diferentes grupos taxonómicos con respecto a su estado de conocimiento. Sin duda, los grupos macroinvertebrados no-insectos son los que han recibido menos atención en el pasado por lo que aún existen grandes vacíos de conocimiento para muchos de ellos. Por otro lado, es notable la gran diferencia que existe entre los distintos países de la región, siendo Costa Rica posiblemente el país con el mayor conocimiento de su fauna acuática, seguido por Colombia, México y Panamá. Entre los países con menos información publicada sobre los macroinvertebrados dulceacuícola se encuentran El Salvador, Nicaragua y Belice.

Este tipo de análisis es fundamental para lograr una visión más integral a nivel regional y así poder impulsar estrategias que permitan cruzar las fronteras políticas con el fin de unificar criterios de trabajo y análisis así como lograr procesos de manejo y conservación de una manera más eficiente y acertada. Una de las estrategias para lograr esto, es la formación de redes temáticas a nivel regional, como la que impulsó la publicación de este libro.

La red temática sobre Macroinvertebrados Dulcecuícolas Mesoamericanos (Red MADMESO)

La Red MADMESO tuvo su primera sesión en el 2010 en la ciudad de Tabasco, México. Los objetivos principales fueron reunir por primera vez a investigadores taxónomos y ecólogos con experiencia en el estudio de macroinvertebrados de agua dulce en la región mesoamericana, para discutir y analizar el estado de conocimiento y la importancia de este grupo, en el contexto de manejo y conservación actual y futura. Para este fin se convocó a expertos de México, Guatemala, Belice, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica, Panamá y Colombia. Durante tres años consecutivos se llevaron a cabo reuniones anuales con el fin de establecer estrategias de trabajo conjunto para mejorar la información y el conocimiento de este grupo

de organismos, así como su uso como bioindicadores. En el 2011, la reunión tuvo lugar en San José, Costa Rica y en el 2012 en Querétaro, México. Todas las reuniones se hicieron con el auspicio de la Secretaría de Relaciones Exteriores de México, bajo el programa de La Comisión para la Cooperación con Centroamérica en el marco del Proyecto "Red Mesoamericana de Recursos Bióticos". Éste forma parte del Corredor Biológico Mesoamericano, iniciativa creada por los países centroamericanos para facilitar la integración subregional basada en la singular importancia ecológica de esta región de América.

El presente libro es uno de los compromisos establecidos en la Red MADMESO. Es el resultado del esfuerzo de muchas personas que colaboraron en la búsqueda de información, desde la formalmente publicada, hasta la literatura gris. El objetivo fue plasmar el análisis integral de las condiciones actuales de los sistemas dulceacuícolas y así contar con un diagnóstico de cada país participante. Este diagnóstico puede dirigir los esfuerzos por entender, manejar y conservar estos importantes recursos naturales. Cada capítulo aborda los temas sobre las condiciones del recurso hídrico de cada país, la información y el estado de conocimiento de su fauna de macroinvertebrados de agua dulce, desde la visión taxonómica, ecológica y su uso como bioindicadores. De la misma manera se analizan las condiciones de conservación de los ríos y lagos y se consideran las áreas naturales protegidas y los sitios Ramsar y finalmente, los requerimientos desde el punto de vista legal para que en cada uno de estos países pueda implementar el uso de los macroinvertebrados como indicadores de las condiciones de salud e integridad de las aguas superficiales.

Los resultados de este trabajo brindan la oportunidad de hacer manifiesto los grandes retos que como gremio se tiene por delante, ya que si bien hay países que cuentan con un acervo importante de información en relación a su fauna de macroinvertebrados acuáticos (o al menos de ciertos grupos, como los insectos y crustáceos) como es el caso de Costa Rica, Colombia y México; también hay países que tienen un desconocimiento casi total de esta fauna o bien cuentan con mínima información. Este es el caso de Belice, Nicaragua y El Salvador, ya que fuera de algunos grupos como Odonata, la información es escasa y dispersa, tal y como también lo hacen notar Ramírez y Gutiérrez (2014) en su análisis del estado de conocimiento para América Latina en general.

Es importante capitalizar las necesidades de creación de nuevas líneas de trabajo, que vayan de la mano con la conservación y el manejo de la fauna dulceacuícola como son: especies introducidas de macroinvertebrados y su efecto en la región cubierta en este libro, la ecohidrología y los macroinvertebrados como modelo de respuesta. Además, los efectos toxicológicos sobre las comunidades y la continuación del uso de los macroinvertebrados como indicadores del estado de salud de los ecosistemas acuáticos, en donde hay una gran labor aún por desarrollar e información por compartir.

Consideraciones finales

Es imperativo la recuperación y conservación del agua en términos de cantidad y calidad. Hay que trabajar en el bienestar de los cuerpos de agua superficiales de la región para que sigan cumpliendo sus funciones a cabalidad y así con-

tribuyan al desarrollo sostenible. De esta manera se podrá asegurar una mejor calidad de vida para la gran cantidad de habitantes de todos estos países. El agua, que va desde los nacientes hasta su desembocadura, debe conservar su calidad en sus dimensiones física, química y biológica para que pueda cumplir las funciones económicas y ambientales deseadas. Para ello se requieren estrategias adecuadas y factibles, sustentadas por información científica adecuada y acorde a la situación real de cada país. Además, la variable que dictamina en mucho los procesos de evolución de los ecosistemas acuáticos son los patrones hidrológicos y no los ecosistemas en sí.

El objetivo V del Plan Estratégico 2011 - 2020 del Convenio sobre la Diversidad Biológica demanda "Mejorar la aplicación a través de la planificación participativa, la gestión de los conocimientos y la creación de capacidad". El monitoreo de la calidad del agua, particularmente el biomonitoreo puede ser una herramienta de participación y ciencia ciudadana de gran impacto en nuestros países. Esto contribuiría, además, como estrategia ideal para cumplir con el objetivo mencionado (Mora 2014).

También son prioritarias las acciones administrativas de divulgación y visibilidad que se le debe dar al trabajo y a los resultados de la investigación y el conocimiento de los macroinvertebrados dulceacuícolas. Se deben divulgar y hacer visibles las acciones y actividades que se realizan en pos del mantenimiento y la conservación de la calidad del agua en general para lograr un apoyo mayor a los planes y estrategias de conservación. Esa divulgación contribuirá sin duda al cumplimiento de la Meta de Aichi 1 del Plan Estratégico 2011 - 2020 del Convenio sobre la Diversidad Biológica: Las personas tendrán conciencia del valor de la diversidad biológica y de los pasos que pueden seguir para su conservación y utilización sostenible (Mora 2014).

Se hace necesaria la implementación de los principios del manejo integrado de los recursos acuáticos para procurar el mantenimiento de la integridad ecológica, la viabilidad de las poblaciones, la conectividad y la representatividad de las especies y los sistemas ecológicos. Este libro pretende aportar información que contribuya a la línea base necesaria para este manejo y, por lo tanto, para la conservación de nuestros ecosistemas dulceacuícolas, sus atributos ecológicos y su biodiversidad en general.

Literatura citada:

Abell, R., Thieme, M.L., Revenga, C., Bryer, M., Kottelat, M., Bogutskaya, N. y Petry, P. 2008. Freshwater ecoregions of the world: a new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation. *BioScience* 58(5): 403-414.

Banco Mundial 2014a. Crecimiento de la población (% anual). Disponible en: http://datos.bancomundial.org/indicador/Sp.POP.GROW. (Obtenido el 1 de noviembre de 2014).

Banco Mundial 2014b. Disponible en http://datos.bancomundial.org/pais?display=graph (Obtenido el 15 de mayo de 2014).

Banco Mundial 2014c. Promedio detallado de precipitaciones (mm anuales). Disponible en: http://datos.bancomundial.org/indicador/AG.LND.PRCP.MM/countries?display=map?cid=EXT_BoletinES_W_EXT. (Obtenido el 1 de noviembre de 2014).

Bennett, A. 2004. Enlazando el paisaje. El papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. UICN. San José, Costa Rica.

Borkant, A. y Spinelli, G.R. 2007. Neotropical Ceratopogonidae (Diptera: Insecta). ABLA Series, Vol.4. Pensoft, Moscú, Rusia.

Bortolus, A. 2008. Error Cascades in the Biological Sciences: The unwanted consequences of using bad taxonomy in Ecology. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 37(2): 114-118.

CCCPR (Consejo de Cambio Climático de Puerto Rico). 2013. Estado del Clima de Puerto Rico 2010-2013 Resumen Ejecutivo: Evaluación de vulnerabilidades socio-ecológicas en un clima cambiante, versión electrónica. Programa de Manejo de la Zona Costanera, Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, Oficina de Océanos y Recursos Costeros (NOAA-OCRM). San Juan, Puerto Rico.

CEPAL, COSEFIN, CCAD, SICA, UKAID y DANIDA (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Consejo de Ministros de Economía de Centroamérica, Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, Sistema de la Integración Centroamericana, Ministerio para el Desarrollo Internacional del Gobierno Británico, Agencia de Cooperación para el Desarrollo de Dinamarca). 2012. La economía del cambio climático en Centroamérica. Síntesis 2012. Naciones Unidas. Maule Ediciones. México.

Domínguez, E., Molineri, C., Pescador, M.L., Hubbard, M.D. y Nieto, C. 2006. Ephemeroptera of South America. ABLA Series, Vol.2. Pensoft, Moscú, Rusia.

Dudgeon, D., Arthington, A.H., Gessner, M.O., Kawabata, Z.I., Knowler, D.J., Lévêque, C., Naiman R.J., Prieur-Richard, A.H., Soto, D., Stiassny M.L.J. y Sullivan, A. 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Conservation Biology* 81: 163–182.

Ehrlich, P.R. 1988. The loss of diversity. Pp 21-22. En. Wilson E.O. (Ed.). Biodiversity. National Academy of Sciences, National Academies Press, Washington, D.C.

El País. 2014. ¿Cuáles son los efectos del cambio climático en Colombia? Disponible en http://www.elpais.com.co/elpais/cali/noticias/cuales-son-efectos-cambio-climatico-colombia. (Obtenido el 28 de octubre de 2014).

Eschmeyer,W.N. y Fricke, R. (eds). 2010. Catalog of fishes. Disponible en http://reserach.calacademy.org/ichtiology/catalog/fishcatmailn.asp. (Obtenido el 04 de junio del 2014).

Fernández, H.R. y Domínguez, E. 2001. Guía para la deerminación de los artrópodos bentónicos sudmericanos. *Entomotropica* 16(3): 1-219.

Gentry, A.H. 1982. Neotropical floristic diversity: Phytogeographical connections between Central and South America, Pleistocene climatic fluctuations or an accident of Andean orogeny? *Annals of the Missouri Botanical Garden* 69: 557–593.

Gómez, L.D. 1986. Vegetación de Costa Rica, apuntes para una biogeografía costarricense. EUNED. San José, Costa Rica.

Granados, C., Delgado, H., Hernández, A., y Herrera, E.R. 2000. Cuencas internacionales: conflictos y cooperación en Centroamérica. Funpadem, Proyecto Cooperación Transfronteriza en Centroamérica. San José, Costa Rica.

Groombridge, B. y Jenkins, M.B. 2002. World Atlas of Biodiversity. Earth´s living resources in the 21st Century. Berkeley, California. University of California Press.

Gurrutxaga, M. y Lozano, P. 2007. Criterios para contemplar la conectividad del paisaje en la planificación territorial y sectorial. *Investigaciones Geográficas* 44 (1): 75-88.

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.

Hannah, L., Midgley, G., Andelman, S., Araújo, M., Hughes, G., Martinez-Meyer, E., Pearson, R. y Williams, P. 2007. Protected area needs in a changing climate. *Frontiers in Ecology and Environment* 5(3): 131-138.

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.

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2002. Cambio climático y biodiversidad. Documento técnico V del IPCC. OMM, WMO, PNUMA y UNEP. Ginebra, Suiza.

Magrin, G., Gay García, C., Cruz Choque, D., Giménez, J.C., Moreno, A.R., Nagy, G.J., Nobre, C. y Villamizar, A. 2007. Latin America. Climate Change 2007: Impacts,Adaptation and Vulnerability. Pp 581-615. En: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden P.J. y Hanson, C.E. (eds.). Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, Inglaterra.

Manzo, V. 2005. Key to the South American genera of Elmidae (Insecta: Coleoptera) with distributional data. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 40(3): 201-208.

Martens, K. 2010. The international year of biodiversity. *Hidrobiología* 637: 1-2.

Martínez-Austria, P.F. 2007. *Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México*. SEMARNAT/Subsecretaría de Planificación, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México.

MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press. Washington (DC), USA.

Merritt, R.W., Cummins, K.W. y Berg, M.B. 1996. An introduction to the aquatic insects of North America. 4th ed. Kendall/Hunt: Iowa, EEUU.

Mittermeier, R.A., Robles Gil, P., Hoffman M., Pilgrim, J., Brokks, T., Mittermeier, C.G. Lamoreux, J. y da Fonseca, G.A.B. 2004. Hot spots revisted, Earth´s biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions. CEMEX S.A de C.V. México.

Mora, J.M. 2014. Asesoramiento para la estructuración de la SERNA en materia de biodiversidad: Documento con la propuesta del Plan de Monitoreo Biológico. *MiAmbiente*/PNUD (Secretaría de Recursos Naturales, Ambiente y Minas/Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo) Honduras. Tegucigalpa, Honduras.

Myers, N. 1988. Threatened Biotas "Hot Spots" in tropical forest. *The Environmentalist* 8(3): 187-208.

Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B. y Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403(6772): 853-858.

Pacheco, B., F.F. Figueiredo Moreira y Springer, M. 2014. New records of Gerromorpha (Insecta: Hemiptera: Heteroptera) from Costa Rica. *Check List* 10(1): 180-186.

Pandero-Moya, M., Navarrete-López, G. y Jover-Martí, F.J., 2002. Turismo en espacios naturales: oportunidades en el corredor biológico mesoamericano. *Cuadernos de Turismo* 10: 69-83

Paz-Castro, C.L.R. s.f. El cambio climático y sus consecuencias para Cuba. Disponible en: http://www.bimestrecubana.cult.cu/ojs/index.php/revistabimestre/article/download/58/39. (Obtenido el 28 de octubre de 2014).

PNUD Colombia y AECID (Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo, Colombia y Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo). 2010. El cambio climático en Colombia. Disponible en http://www.pnud.org.co/img_upload/6162646162643434353537373735353 5/Brochure%20resumen%20Proyecto.pdf. (Obtenido el 28 de octubre de 2014).

Portafolio.co. 2014. Población de Colombia ascenderá a 53 millones de personas. Disponible en: http://www.portafolio.co/portafolio-plus/poblacion-colombia-ascendera-53-millones-personas. (Obtenido el 1 de noviembre de 2014).

Primack, R. 2014. Essentials of conservation biology. Sexta edición. Sinauer Associates, Boston, EEUU.

Ramírez, A. y Gutiérrez, P. 2014. Estudios sobre macroinvertebrados acuáticos en América Latina: avances recientes. *Revista de Biología Tropical* 62(2): 9-20.

Roldán Pérez, G. 1996. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Fondo FEN, Antioquia, Colombia.

Sondermann, W. 2013. Is the elmid fauna of Colombia strongly marked by Nearctic elements? A remote analysis of genus names provided in 30 recently published benthic macroinvertebrate assessments (Coleoptera: Byrrhoidea: Elmidae). *Dugesiana* 20(2): 251-260.

Springer, M., A. Ramírez y Hanson, P. (eds.). 2010. Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I: Introducción a los grupos de Macroinvertebrados, Métodos, Biomonitoreo, Ephemeroptera, Odonata, Plecoptera, Trichoptera. *Revista de Biología Tropical* 58 (Suppl. 4): 1- 200.

Stark, B., Froehlich, C. y Zuñiga, M.d.C. 2009. South American Stoneflies (Plecoptera). ABLA Series, Vol.5. Pensoft, Moscú, Rusia.

Tabora, F., Basterrechea, M., Candanedo, H., Wallace, M., Kawas, N., Artiga, R., Frutos, R., Solís, M., Sánchez, J.C., Rodríguez, T., Zelaya, L., Paquet, G. y Ramírez, P. 2011. Situación de los recursos hídricos en Centroamérica: hacia una gestión integrada. Tegucigalpa (HN), Asociación Mundial para el Agua, capítulo Centroamérica (GWP Centroamérica), con el apoyo del Programa de Desarrollo de Zonas Fronterizas en América Central (ZONAF), de la Unión Europea (UE) y el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE).

The Nature Conservancy and the World Wildlife Fund. 2013. Freshwater Ecoregions of the World. Disponible en http://www.feow.org/. (Obtenido el 21 de julio del 2014).

Thorp, J.H. y Covich, A.P. 2010. Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates. 3rd ed. Elsevier, Londrés, Reino Unido.

Toledo, V. M., Alarcón-Chaires, P., Moguel, P., Olivo, M., Cabrera, A., Leyequien, E., y Rodríguez-Aldabe, A. (2001). El atlas etnoecológico de México y Centroamérica: fundamentos, métodos y resultados. *Etnoecológica* 6(8): 7-41.

TNC. 2009. Evaluación de ecorregiones de agua dulce en Mesoamérica, sitios prioritarios para la conservación en las ecorregiones de Chiapas a Darién. Programa de Ciencias Regional, Región de Mesoamérica y El Caribe. The Nature Conservancy, San José, Costa Rica.

Vaughn C.C. 2010. Biodiversity losses and ecosystem function in freshwaters: Emerging conclusions and research direction. *Bioscience* 60: 25–35.

WWF (World Wildlife Fund). 2012. Planeta Vivo. Informe 2012, biodiversidad, biocapacidad y propuestas de futuro. Disponible en http://awsassets.panda.org/downloads/informe_planeta_vivo_2012_1m.pdf. (Obtenido el 14 de julio de 2014).

Manantiales de río Hondo - México

Autor de fotografía: Perla Alonso E.

Euthyplociidae, Ephemeroptera

Autor de fotografía: Aydeé Cornejo

Belize

Rachael Carrie[1] & Elma Kay[2]
[1]Institute of Science and the Environment, University of Worcester, Henwick Grove. Worcester WR2 6AJ, UK, r.carrie@worc.ac.uk. [2]University of Belize Environmental Research Institute, P.O. Box 340, Belmopan, Belize, ekay@ub.edu.bz.

1.1. Abstract

Belize is a small, highly forested Caribbean country located in Central America. It is subtropical and has numerous terrestrial ecosystems and protected areas distributed across four distinct geographical regions that include the northern lowlands, the coastal plain, the offshore cays and atolls, and the Maya Mountains. Along with their transboundary portions, the country's 16 major watersheds cover more than twice Belize's land territory; these watersheds ultimately drain into the Caribbean Sea. Knowledge about the macroinvertebrates of Belize is relatively poor with little information about most groups, although some of the important Dipteran human disease vectors are better known. A checklist that summarizes published and grey literature for many of the macroinvertebrate groups has been compiled, but an in-country centrally curated taxonomic collection remains a pressing need. Few ecological studies have focused on the composition, structure and factors controlling freshwater macroinvertebrate assemblages but the limited studies undertaken indicate lotic communities are dominated by an insect taxon comprised of a rich Ephemeropteran, Dipteran, Trichopteran and Coleopteran fauna. There is also some evidence of wet/dry seasonality in macroinvertebrate assemblages in Belize and geological influence has been identified as an important determinant of community composition in southern streams. The most important threats to freshwater systems in Belize include deforestation for agriculture, other impacts of agriculture, and climate change. Although there are no specific conservation efforts for macroinvertebrates, Belize's national protected areas system serves a major role in the conservation of freshwaters. Knowledge about the response of macroinvertebrates to environmental change associated with natural and human disturbance is very lim-

** Este capítulo está escrito en inglés por ser el idioma oficial en Belice*

ited, but recent research indicated the potential utility of family-level macroinvertebrate metrics for monitoring large-scale effects. Through enactment of the National Integrated Water Resources Act, Belize has recently consolidated legislation for the use and protection of freshwater resources and begun the process of coordinating associated regulatory processes. This legislation as well as the National Biodiversity Monitoring Program being developed as part of the implementation of the National Protected Areas System Plan provides the framework for the use of macroinvertebrates as bioindicators. Significant research and work is still needed in Belize in the areas of macroinvertebrate taxonomy, natural history, ecology and their utility for bio-assessment. However, with a now established Environmental Research Institute at the national University of Belize, improved frameworks for coordinated, collaborative research efforts and capacity building, and the continued commitment and interest of natural resources managers across Belize, there has never been a more opportune time to advance macroinvertebrate knowledge and use for the sound management of Belize's freshwater resources.

1.1. Resumen

Belice es un pequeño país caribeño, con grandes recursos forestales, ubicado en América Central. Presenta un tipo de clima subtropical, con numerosos ecosistemas terrestres y áreas protegidas, distribuidas en cuatro distintas regiones geográficas, que incluyen las tierras bajas del norte, la llanura costera, los cayos y atolones, y las Montañas Mayas. A lo largo de su territorio transfronterizo, se encuentran las 16 principales cuencas del país, de un tamaño dos veces mayor al territorio de Belice y que desembocan en el mar Caribe. El conocimiento sobre los macroinvertebrados dulceacuícolas de Belice es relativamente pobre, con poca información sobre la mayoría de los grupos, aunque se ha puesto atención a algunos de los dípteros vectores de enfermedades humanas importantes. Se cuenta con un listado que resume la literatura publicada y gris para muchos de los grupos de macroinvertebrados, pero a la fecha se carece de una colección taxonómica representativa del país lo cual sigue siendo un tema apremiante. Pocos estudios ecológicos se han centrado en la composición, estructura y factores que controlan los ensambles de macroinvertebrados de agua dulce, pero los limitados estudios realizados indican que las comunidades de ambientes lóticos están dominados por una rica fauna de Epheme-

roptera, Diptera, Trichoptera y Coleptera. También hay alguna evidencia del efecto de la estacionalidad húmedo / seco en el ensamblaje de los macroinvertebrados y la influencia geológica ha sido identificada como un factor determinante de la composición de la comunidad en los arroyos del Sur. Las amenazas más importantes para los sistemas de agua dulce en Belice incluyen la deforestación con fines de cambio de uso de suelo, impactos por la agricultura y el cambio climático. Aunque no existen esfuerzos de conservación específicos para los macroinvertebrados, el Sistema de Áreas Protegidas Nacionales de Belice juega un papel importante en la conservación de las aguas dulces. El conocimiento sobre la respuesta de los macroinvertebrados a los cambios ambientales asociados a las perturbaciones naturales y humanos es muy limitado aún, pero la investigación reciente indica la posible utilidad de las métricas de macroinvertebrados a nivel familia para el seguimiento de los efectos a gran escala. A través de la promulgación de la Ley Nacional Integrada de Recursos Hídricos, Belice ha consolidado recientemente una legislación para el uso y la protección de los recursos de agua dulce y comenzado el proceso de coordinación de los procesos regulatorios asociados. Esta legislación, así como el Programa Nacional de Monitoreo de Biodiversidad se están desarrollando como parte de la implementación del Plan de Nacional de Áreas Protegidas el cual proporciona el marco para el uso de macroinvertebrados como bioindicadores. Es un hecho que en Belice aún hace falta mucha investigación y trabajo en las áreas de la taxonomía de macroinvertebrados, historia natural, ecología y su utilidad para la bioevaluación. Sin embargo, con el establecimiento del Instituto de Investigación Ambiental de la Universidad Nacional de Belice, se cuenta con una estructura de esfuerzos coordinados de investigación en colaboración así como de desarrollo de capacidades, que permitirán mantener un compromiso e interés continuo en la conservación y manejo de los recursos naturales de Belice, y con ello la oportunidad de avanzar en el conocimiento de macroinvertebrados y su potencial uso para la gestión racional de los recursos de hídricos de Belice.

1.2. Introduction

Belize is the second smallest country in the Central American mainland and Mesoamerica, its land territory covering 22,966 km^2. It is located below the Yucatán Peninsula, shares its northern border with Mexico and its western and southern borders with Guatemala, while the Caribbean Sea sweeps its approximately 386 km of coastline along the east. Based on this latter feature as well as the cultural, political and economic history it shares with other former British colonies in the region, Belize is

also recognized as part of the Caribbean (Kay and Avella 2010). Like the rest of the region, Belize has an overall subtropical climate. The months of November to January usually represent the coolest period of the year, while May to September represent the warmest period (Wright *et al.* 1959). There is wide variation in temperatures throughout the year and by district. However, mean annual temperatures range from 21-27 °C, with the lower mean annual temperatures experienced at higher elevation areas of the Maya Mountains, and the higher mean annual temperatures experienced on the coast. Although it is generally hot throughout the year, temperatures can cool off considerably due to "northers" or "nortes", which are weather systems that only last a few days (Bridgewater 2012).

Annual precipitation also varies widely across the country, with up to a fourfold difference in rainfall from the drier north to the wetter south (Bridgewater 2012). WorldClim data for Belize that represents interpolations of observed data from 1950-2000 shows a historical mean annual rainfall of 1,750 mm and an annual precipitation range of 1,051-4,126 mm (Cherrington *et al.* 2014). The country experiences a fairly marked dry season that lasts 3-4 months, usually February to May, in the northern part of the country, but usually less in the south; the onset of the dry season varies from year to year (Wright *et al.* 1959). Weather patterns in Belize can also be strongly influenced by Atlantic tropical storms and hurricanes to which the country is subject every few years. Based on records from the National Hurricane Center of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), at least 16 hurricanes and just as many tropical storms have affected Belize since 1930. Hurricanes and storms not only influence weather patterns in Belize but are major forces influencing the structure and composition of Belize's ecosystems.

Belize has an estimated 85 terrestrial ecosystems that span several forest, savanna and swamp vegetation types and are distributed across four distinct geographical regions: the northern lowlands, the coastal plain, the offshore cays and atolls, and the Maya Mountains and their foothills. The northern lowlands are characterized by broadleaf forest over limestone and pine savanna on sandy soils; wetland swamps, and low gradient, slow flowing freshwater rivers and lagoons are also common to this region (Bridgewater 2012). The Crooked Tree Wildlife Sanctuary, one of two wetlands of international importance forms part of this geographical region. The coastal plains are formed from erosional rock deposits from the Maya Mountains and are usually covered by pine savanna; mangrove forests characterize the coastal edge of this region (Bridgewater 2012). Belize's second Ramsar site, the Sarstoon Temash National Park is located within the coastal plains. At least 15 minor watersheds drain parts of this geographical region (Boles *et al.* 2008). The offshore cays and atolls form part of Belize's Barrier Reef System, which contains the longest barrier reef in the Western Hemisphere extending for 280 km and covering an estimated area of 1,400 km^2 (McField and Bood 2007). Sandy cays and mangrove forests characterize this region. Finally, the Maya Mountains region is characterized by montane and submontane broadleaf forest over soils derived from sedimentary, igneous and metamorphic rocks. The western part of the Maya Mountains is characterized by rolling karst hills

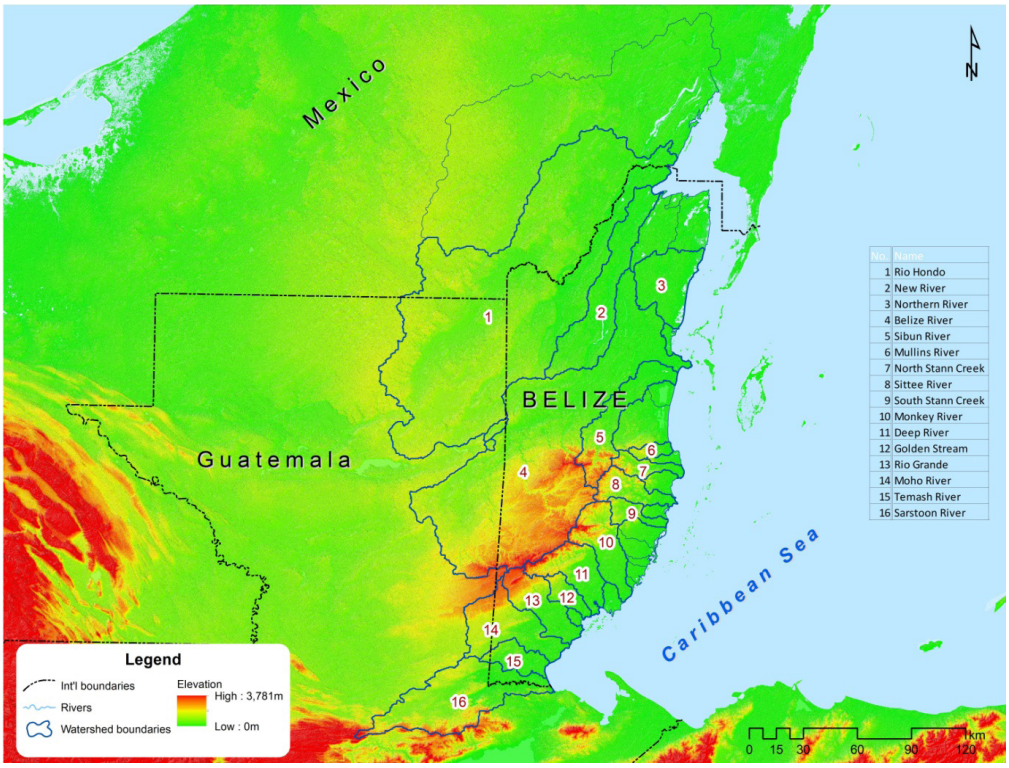


Figure 1: Major watersheds of Belize including transboundary areas (Prepared by Emil Cherrington)

and a vast network of subterranean caves. The Mountain Pine Ridge, an upland savanna is also part of this geographical region. Overall, the Maya Mountains geographical region is of primary importance to maintaining the health and integrity of Belize's freshwater resources, as this is where the headwaters for most of Belize's central and southern watersheds originate (Boles *et al*. 2008).

The central and southern watersheds comprise all but three of Belize's 16 major watersheds (Figure 1). Several of these watersheds, namely the Rio Hondo, Belize River, Moho River, Sarstoon River and Temash River watersheds, include transboundary sections in Mexico and/or Guatemala (Figure 1). In their entirety, the major watersheds of Belize cover an overall area of 47,393 km^2 or just over twice Belize's land area (Cherrington *et al.* 2014),

and are part of a regional drainage system of approximately 50 principal watersheds that discharge into lagoons connected to the Caribbean Sea (Boles *et al*. 2008). Belize is at the geographical center of a drainage basin that directly or indirectly affects the Mesoamerican Barrier Reef System (MBRS). Apart from the major watersheds, Belize also has a series of small coastal tidal creek watersheds. With the exception of one small section of land in the Maya Mountains, all of Belize's watersheds flow into the Caribbean Sea. The rivers associated with Belize's watersheds are only one part of an estimated 4,000 permanent and seasonal water bodies throughout the country that also include karstic lakes, oxbow lakes, abandoned channels, freshwater lagoons, wetlands, swamps and brackish water marshes (Boles *et al.* 2008). These water bodies have been characterized into four ecological drainage units and 46 aquatic ecosystems on the basis of variation in major abiotic conditions, such as salinity and altitude, which are considered important drivers of biological variation (Esselman *et al.* 2005). The diversity of aquatic ecosystems generally increases along a gradient from north to south reflecting the environmental heterogeneity present in the central and southern regions, particularly in geology and topography (Esselman *et al.* 2005).

While the aquatic ecosystems of Belize are numerous and diverse, and there have been some advances in freshwater research in the country since Esselman and Boles (2001) reviewed the status and future needs of limnological research in the country, many gaps still exist, particularly regarding macroinvertebrates. Research on Belize's freshwater resources remains a priority, as highlighted in the National Environmental and Natural Resources Management Research Agenda (University of Belize Environmental Research Institute 2010 and 2014).

1.3. State of knowledge about the freshwater macroinvertebrates of Belize

Knowledge about the presence and distribution of macroinvertebrates of Belize is poor relative to that held for many other countries in Central America. While collections have been made from freshwaters in Belize since at least the turn of the 20th century, few of the groups have been studied systematically: comprehensive countrywide reviews do not exist for any of the major taxonomic groups, although reviews have been completed for some individual families (see below). There is little if any published information about the Annelida, Blattodea, Collembola, Lepidoptera, Neuroptera, Nematoda, Nematomorpha, Orthoptera, Platyhelminthes or Trombidiformes (Hydrachnidia). Of the groups that have attracted research attention, the Diptera that are important vectors of human disease have been considered most thoroughly, along with the Odonata and byrrhoid Coleoptera. Important contributions to the accumulated knowledge of a variety of groups in Belize have been made as a result of the collecting campaigns undertaken at the beginning of the 20th century by J. J. White and since the 1970's by William Shepard and Vincent Resh. More recently, collections have been made by Robert Sites, Da-

vid Baumgardner, Ed Boles and Rachael Carrie, whose multi-taxon material variously awaits examination, is under examination or has been deposited in entomological collections primarily in the United States and United Kingdom.

1.3.1. Taxonomic studies

Summarized below is information available for each of the major taxonomic groups. While few comprehensive reviews of the macroinvertebrates of Belize exist, a checklist that summarizes published and grey literature for many of the groups has been compiled (Carrie 2014). Unless otherwise stated, the quantification below of known taxa within each of the major taxonomic groups reflects information contained within this checklist and it should be consulted for a full list of relevant works. It is important to note, that this checklist is an evolving resource and not an exhaustive review of the literature.

Phylum Nematoda – Knowledge about nematodes associated with freshwaters in Belize is very scarce. While this group has been encountered as prey items of fish and crocodiles during gut analysis (Stafford *et al.* 2003, Cochran 2008), and *Paratrichosoma* spp has been observed parasitizing the ventral scales of the latter (Stafford *et al.* 2003, Tellez and Paquet-Durand 2011), there have been no systematic studies of this group.

Phylum Nematomorpha – Only one nematomorph species has been reported in Belize, *Neochordodes chordodides*, from a total of 22 species known from Central America (Schmidt-Rhaesa and Menzel 2005).

Phylum Platyhelminthes – Although this group is often observed in freshwaters in Belize, published information is limited to the distributional records of Planariidae in the south of the country (Carrie *et al.* accepted).

Phylum Annelida – Information about annelids associated with freshwaters in Belize is scarce. Hirudinea belonging to the Glossiphoniidae family have been reported (Carrie *et al.* accepted), and members of Oligochaeta and Polychaeta have been observed (Boles 1998, Carrie *et al.* accepted). However, with the exception of two species (*Limnodrilus bulbphallus* and *L. profundicola*) reported by Block and Goodnight (1972) there appears to be no published information about the generic or specific identity of the annelids associated with the freshwaters of Belize.

Filo Arthropoda

Subfilo Chelicerata

Clase Arachnida

Orden Trombidiformes – (Hydrachnidia) – Water mites have been encountered in streams during surveys in southern Belize (Carrie *et al.* accepted) and have been recorded as prey items during gut analysis (Greenfield *et al.* 1983, Cochran 2008). Yet, there are no published records detailing the identity of water mites present (Goldschmidt 2007).

Subphylum Crustacea

Class Ostracoda – Ostracodes have been encountered in freshwaters in Belize (Greenfield *et al.* 1983, Carrie *et al.* accepted). While they have not been systematically studied, Perez *et al.* (2011) listed 29 species collected from freshwater and brackish habitats in and around

the Yucatán peninsula, including five freshwater sites located in northern Belize.

Class Malacostraca

Order Amphipoda – Records exist for marine members of this group. However, there are no known published freshwater records for Belize.

Order Isopoda – 'Isopoda' was noted as observed during research in the Sibun River (Boles 1998), but there are no known published freshwater records for Belize.

Order Decapoda – Records have been found in the literature for two families of shrimp in Belize: Atyidae and Palaemonidae. The latter includes the troglobitic shrimp *Macrobrachium catonium* (Hobbs and Hobbs Jr. 1995) while for the Atyidae, *Potimirim mexicana* was recorded in the 1950s (Holthuis 1954). One crab family, Pseudothelphusidae, has been reported in the literature, comprising records of two troglobitic crabs: *Potamocarcinus aspoekorum* (Hobbs 1994) and *Typhlopseudothelphusa acanthochela* (Rodriguez and Hobbs Jr. 1989). Like both shrimp families, crabs are commonly encountered during stream surveys but their identity does not appear to have been documented at a resolution finer than family-level (Boles 1998, Carrie *et al*. accepted). The invasive crayfish *Procambarus clarkii* has also been noted as present in Belize (Hernandez *et al.* 2008) and records of the native crayfish *Procambarus pilosimanus* exist for surface waters and caves (Hobbs 1994).

Subphylum Hexapoda

Class Collembola – Although this group has been encountered during research in streams (Carrie *et al.*, accepted), published details of generic and species identity appear restricted to a few non-aquatic troglobitic species (Soto-Adames and Taylor 2013).

Class Insecta

In the grey and published literature, there are records of 79 families in ten orders of insects associated completely, or partly, with freshwaters in Belize (as listed in Carrie 2014). The Odonata are probably the best documented. The most diverse orders are the Diptera, Coleoptera, Trichoptera and Odonata.

Order Ephemeroptera – Existing knowledge about the Ephemeroptera of Belize is not well-documented. McCafferty (1984) published one of the first Ephemeropteran records, but a comprehensive countrywide review has yet to be published. At present, formal records exist for eight families (Baetidae, Caenidae, Euthyplocidae, Heptageniidae, Isonychiidae, Leptophlebiidae, Leptohyphidae and Polymitarcyidae), comprising 18 genera and 23 species (McCafferty and Jacobus 2014). Of these, one is endemic: *Latineosus cayo* was first collected by David Baumgardner in the Cayo District in Central Belize (Sun and McCafferty 2008) and *Latineosus* sp. has subsequently been collected from a number of streams in the south of the country (Carrie 2014). At least two additional families (Oligoneuriidae and Siphlonuridae) and more than nine additional genera have been collected during research in Belize (Boles 1998, Carrie 2014). A comprehensive review of the Ephemeroptera is currently underway. It includes specimens taken across the country by numerous collectors since the 1970's and it will significantly increase the published number of taxa known from the country.

Order Odonata – Knowledge about the Odonata is probably the best documented of all of the freshwater insects, thanks primarily to the research of Tineke Boomsma and Sidney Dunkle who extended the work of J.J. White in the 1930's, and subsequent research undertaken during the 1980's and early 1990's (see Boomsma and Dunkle 1996 and references therein). Boomsma and Dunkle's comprehensive study (1996), listed 67 Zygopteran and 107 Anisopteran species in 63 genera. Subsequent work and revisions to nomenclature have raised the current species count to 181. These species represent 64 genera in twelve families (Aeshnidae, Gomphidae, Libellulidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Lestidae, Megapodagrionidae, Perilestidae, Platystictidae, Polythoridae, Protoneuridae and Pseudostigmatidae), of which the Libellulidae and Gomphidae are the most diverse. Two gomphid species are endemic to Belize – *Erpetogomphus leptophis* and *Epigomphus maya*. Since records of Corduliidae exist in the grey literature (Boles 1998), this family count may be increased if and when retained specimens are confirmed. It is important to note that many of the extant Odonate records for the country relate to adult forms, and in some cases the larvae have yet to be described.

Order Orthoptera – Orthoptera have been collected from marginal habitats during freshwater surveys (Boles 1998, Carrie *et al*. accepted). Yet, while numerous records exist for terrestrial members of this group, a solitary *Cornops aquaticum* collected in 1968 from the Stann Creek, appears to be the only aquatic species-level information published (Adis *et al*. 2007).

Order Plecoptera – *Anacroneuria* (Perlidae) is the sole generic member of this group present in Belize. Stark and Kondratieff (2004) listed five species records collected between 1960 and the 1990's, many by William Shepard, after whom one species - *Anacroneuria shepardi* is named. The total number of records almost certainly reflects limited sampling effort and taxonomic attention, rather than a paucity of diversity. Furthermore, as for the Odonates, knowledge of most of the species recorded as present is limited to their aerial forms, which have not been related to aquatic life-stages (Stark and Kondratieff 2004).

Order Blattodea – Individuals from this group have been encountered in forested streams in southern Belize (Carrie *et al*. accepted). However, there appears to be no published information about the identity of freshwater associated species for the country.

Order Hemiptera – Existing knowledge about the Hemiptera of Belize is not well-documented. Fragmented records (grey and published) have been found for 18 genera in 11 families (Belostomatidae, Corixidae, Gelastocoridae, Gerridae, Hydrometridae, Mesoveliidae, Naucoridae, Nepidae, Notonectidae, Potamocoridae and Veliidae). Nine species-level records have been published of which two describe Hemiptera endemic to Belize: *Rhagovelia chac*, a Veliid bug (Polhemus and Chordas 2010) and *Potamocoris isbiru* a bug in the family Potamocoridae which resulted in the synonymization of the two known genera *Potamocoris* and *Coleopterocoris* (Polhemus and Carrie 2013). The earliest collections appear to have been made at the turn of the 20th century (for Hydrometri-

dae) (Drake and Lauck 1959), and a number of genus-level observations have been made as a result of incidental collections during studies of other macroinvertebrate groups (Spangler and Santiago-Fragoso 1992). Although a comprehensive countrywide review of the aquatic Hemiptera has not been completed, a species-level review of the Naucoridae and Potamocoridae of Belize is underway, and it will include new species descriptions.

Order Coleoptera – Published records for aquatic Coleoptera in Belize are scattered, but records have been found in the grey and published literature for 14 families (Dryopidae, Dytiscidae, Elmidae, Eulichidae, Gyrinidae, Hydrophilidae, Limnichidae, Lutrochidae, Sphaeriusidae, Noteridae, Psephenidae, Ptilodactylidae, Scirtidae and Staphylinidae), 29 genera and around 34 species. Additional records include as yet undescribed species and genera. While a systematic countrywide review of the aquatic Coleoptera has not been completed, important contributions to knowledge about Elmidae have been made by Paul Spangler and colleagues (Spangler and Perkins 1989, Spangler and Santiago-Fragoso 1992), and by William Shepard whose collections between the early 1990's and the present have also resulted in a review of the Dryopidae, Lutrochidae, Psephenidae and Ptilodactylidae (Shepard 2004). Most recently, Shepard's collections have enabled the description of new Psephenid genera and several new species, including *Belicinus rhomboideus* (Arce-Perez *et al.* 2012), *Psephenops spiniparameri and Psephenops shepardi* (Arce-Perez and Novelo-Gutierrez 2013) –which occur throughout Belize.

Order Neuroptera – Published information about this group is scarce for Belize. One solitary species-level record for *Sisyra nocturna* has been found in the literature (Flint Jr and Mathis 2006).

Order Megaloptera – Corydalidae is the sole representative of this group in Belize. Published records exist for one species, *Corydalus luteus* (Contreras-Ramos 2011). While formal records have not been published for *Chloronia,* larvae from the genus have been collected during research in the south of the country (Carrie 2014).

Order Trichoptera – The Trichoptera of Belize are very poorly known. Species records are scattered and a comprehensive review of existing literature and as yet unexamined specimens is long overdue. The Hydroptilidae has received perhaps the most research attention (Kelley 1983, Bueno-Soria and Santiago-Fragoso 1997, Flint *et al.* 1999, Keth 2003) and as a result, the ten species of this family listed for Belize account for 1/3rd of all species-level Trichoptera records. Only around 30 species, in 18 genera and 11 families (Calamoceratidae, Ecnomidae, Glossosomatidae, Helicopsychidae, Hydrobiosidae, Hydropsychidae, Hydroptilidae, Leptoceridae, Odontoceridae, Philopotamidae and Polycentropodidae) have been recognized in published literature, although additional taxa are known to occur, including Xiphocentronidae and possibly Lepidostomatidae (Carrie 2014). Larval specimens collected from streams in the south of the country are currently being identified to the lowest taxonomic resolution possible.

Order Lepidoptera – There is limited accumulated knowledge about freshwater-associated Lepidoptera in Belize. No published species-level records are available for the Neotropical taxa known to have truly aquatic larvae. Observations are mentioned in the grey literature only and they are limited to the Crambidae (probably *Petrophila*) (Boles 1998, Carrie 2013).

Order Diptera – Accumulated knowledge about the water-associated Diptera is perhaps the most limited for Belize, given the vast amount of species in this group. Gaps in knowledge about taxon identity and the varying requirements of different life-stages render existing literature somewhat inaccessible. For example, Williams (1971) listed 31 species of Tabanidae known from Belize as a result of collected adult material. Yet, it is not clear if all of these species are associated with water in their larval stages. Therefore, the information presented here is almost certainly far from complete. Published and grey records exist for at least 15 families (Athericidae, Blephariceridae, Cecidomyiidae, Ceratopogonidae, Chironomidae, Culicidae, Dixidae, Dolichopodidae, Empididae, Limoniidae, Psychodidae, Simuliidae, Stratiomyidae, Tabanidae and Tipulidae), which have some association with freshwaters in Belize. Of those, the best-documented are taxa that have been the focus of research attention because they are vectors of human disease, or have been collected during research about other vectors of human disease (*e.g.* most of the Tabanidae reported by Williams in 1971). For instance, and building on the previous work of Lewis and Garnham (1960), Shelley *et al.* (2002) detailed the identity and distribution and provided a taxonomic key for 12 *Simulium* species (Simuliidae), that have become known as a result of research to establish the dispersal potential of human onchocerciasis from Guatemala to Belize. A further two species records from this family are provided by Hernández-Triana *et al.* (2012). Over 110 species of Culicidae, which are assumed to have aquatic larvae, are listed (Meerman and Clabaugh 2014). Other groups for which species-level information is available include the Ceratopogonidae (Guillermo-Ferreira and Vilela 2013) and Chironomidae (Resh 1976, Vinogradova *et al.* 2009, Pérez *et al.* 2013), although presented knowledge about the latter is sometimes regional and not necessarily reflective of species presence in Belize.

Phylum Mollusca – With few exceptions, knowledge about the freshwater mollusc fauna of Belize is particularly poor. The early work on molluscs by Morelet (1849, 1851), Crooke and Fisher (1870-1902) and Von Martens (1890-1901) probably remains the most comprehensive available for the region. Updates for Belize have been made by Paraense's collections across Central America in the 1960's and 70's, which included six species of Planorbinae snail (Paraense 2003). Annotated descriptions are provided for three – *Biomphalaria helophila*, *B. obstructa*, and *Drepanotrema lucidium* in Paraense (2003). Combined, these works detail eight Planorbinae species in three genera, all originating from ponds in the Belize District. A solitary species-level record for Ancylinae from a pond in central Belize has been found in the grey literature - *Hebetancylus excentricus* (Meerman and Clabaugh 2014). Ancylinae have also been observed with some frequency in streams

in southern Belize (Carrie *et al.* accepted), but their specific taxonomic identity, along with that of one Planorbinae specimen, has yet to be resolved. Three species of Ampullariidae are known from Belize, including *Pomacea belizensis*, which may be endemic (Thompson 2011). Pachychilidae and Thiaridae are commonly encountered in at least the south of the country (Dourson 2009, Carrie *et al.* accepted). The former probably includes at least five different species (Dourson 2009), although assigning identity to members of the Mesoamerican Pachychilidae based on shell characteristics is problematic (Gomez 2009). The Belizean Thiaridae appears to comprise two invasive species: *Melanoides tuberculata* and *Tarebia granifera* (Meerman 2010). A published account of *Mexinauta princeps* (Physidae) exists for the north of the country (Thompson 2011). Hydrobiidae also occurs: *Pyrgophorus coronatus* has been collected from the Pulltrouser Swamp in northern Belize but additional records beyond family-level are very limited and restricted to the grey literature (Meerman and Clabaugh 2014). Of the bivalves, while Sphaeriidae and Unionidae are present, recent records are presented only at the family-level (Carrie *et al.* accepted).

Taxonomic collections

There are no centrally curated collections of freshwater macroinvertebrates in Belize. Some of the material collected has been donated to relevant experts and/or deposited in entomological collections primarily in the United States and United Kingdom, including those at the Texas A & M University, the Smithsonian Institute in Washington, DC, the Essig Museum of Entomology in Berkeley, California and the Natural History Museum in London. While many collected specimens remain in Belize, they are distributed among organizations, institutions and private collectors. The development of a formal and centralized collection in which these and newly collected material can be deposited is an urgent need.

1.3.2. Ecological Studies

Very few ecological studies have focused on the composition, structure and factors controlling freshwater macroinvertebrate assemblages in Belize. A handful of doctoral studies have been conducted in the country's central and southern rivers and streams (Gonzalez 1980, Boles 1998, Buck 2012, Carrie 2013). Other doctoral and postdoctoral research has focused attention on the ecology of specific taxon groups, such as Anopheline communities particularly, although not exclusively, in wetlands in northern Belize (*e.g.* Rejmankova *et al.* 1993, Roberts *et al.* 2002, Achee 2004, Grieco *et al.* 2006), or specific communities, like the stygobiont fauna characterizing caves (Reddell and Veni 1996, Wynne and Pleytez 2005). Below is a brief summary of some of the macroinvertebrate-related knowledge that has emerged from ecological studies conducted in freshwaters in Belize.

In common with many other tropical rivers and streams (Jacobsen *et al.* 2008), the limited research undertaken indicates that lotic communities are dominated by insect taxa comprised of a rich Ephemeropteran, Dipteran, Trichopteran and Coleopteran fauna (Gonzalez 1980, Boles 1998, Carrie 2013). A descriptive longitudinal study of the Sibun River watershed in central Belize indicated highest taxa richness occurred in the upper, forested headwaters (particularly for Ephemeroptera and Trichop-

tera: Hydroptilidae), and in the mid-reach sections impacted by agriculture and gravel mining, where Ephemeropteran and Coleopteran families were numerically important (Boles 1998). Ephemeroptera and Trichoptera were also encountered in abundance in forested, agricultural and mined sections of the Swasey Branch of the Monkey River system in southern Belize, compared to numbers encountered in samples collected from neighboring streams (Carrie *et al.* accepted). While probably reflecting disturbance, elevated macroinvertebrate abundance in the Swasey Branch may also reflect the naturally phosphate-enriched waters identified by Esselman *et al*. (2006), which appear to be linked to the Santa Rosa Group geology. Anecdotal information about macroinvertebrate abundance from other rivers draining this geology gives some support for this hypothesis, and it provides an interesting line of enquiry for future trophic research.

Geological influence was identified as an important determinant of community composition in streams in the south of Belize, particularly the influence of a limestone gradient (Carrie *et al.* accepted). This study revealed non-insect macroinvertebrates, especially the Pachychild snail, to be important faunal components of stream assemblages draining calcareous geologies, and paleo-archaeological studies suggest this gastropod family has been abundant in lotic systems in Belize since at least the pre-Hispanic era (Covich 2000, Healy *et al.* 1990). Research in the 1970's suggests other Gastropoda, particularly Planorbidae, may form an important component of the non-insect taxa in central parts of the country, where they appeared to fluctuate in relative importance seasonally (Gonzalez 1980).

Long-term studies of the macroinvertebrate fauna have not been undertaken in Belize. Nonetheless, there is limited evidence of wet/dry seasonality in some assemblages. Although differences among seasons were not quantified, Gonzalez (1980) described a general decline in the abundance and family richness of all major taxonomic groups sampled from the Belize River, during the wet season relative to the dry, with the exception of Gastropoda and Oligochaeta. Concurring with this general finding, Carrie *et al.* (accepted) quantified a significant difference in the composition of the assemblages sampled in southern streams, at the beginning and end of the dry seasons. Furthermore, there was some evidence that seasonality was more pronounced in streams draining calcareous than silicate geologies, although the authors concede this may be a statistical rather than ecological effect. Differences reflected an increase in insect taxa characteristic of both erosional and depositional habitats at the end of the dry, and a decrease in the relative importance of Gomphidae and the Pachychild snail. Carrie *et al.* (accepted) speculate that habitat availability, gathering activity (by humans), and macroinvertebrate life history strategies may be possible causes. In so doing, they draw attention to the near absence of research investigating life histories, emergence activity and other aspects of macroinvertebrate phenology in Belize. An important exception is research regarding *Anopheles* (Diptera: Culicidae).

As in many other locations (*e.g.* Puerto Rico, Costa Rica), Culicidae research in Belize has been driven by epidemiological need: to develop interventions to control vectors of human disease. Subsequently, larval development times, survival rates and adult lifespan have

been documented for some species that are abundant in northern Belize (Grieco *et al.* 2003), along with life history strategies related to seasonality. For example, knowledge accumulated by various research in a range of freshwater habitats across the country, has revealed high variability in seasonal densities among Anopheline species, and geographical seasonal variation among *A. darlingi*. Seasonal variation has been related to flexibility in oviposition site selection among and within species, and links between the stability of preferred breeding habitats, rainfall and water levels (see Achee *et al.* 2006 and references therein). Such factors may help explain seasonal variance in the distributional range of *A. darlingi*, since its dispersal range from riversides appears to increase during the wet season compared to the dry (Roberts *et al.* 2002).

One aspect of Culicidae research that has received attention in Belize relates to larval habitat preference and the influence of land-use and human activities on habitat condition. Early research revealed immature *A. darlingi* to be positively associated with lotic environments and particularly with shaded riverine habitats and floating debris mats (Manguin *et al.* 1996). Other species have been linked to marshland with sparse macrophytes and cyanobacterial mats (*A. albimanus*), and marshlands densely vegetated by tall macrophyte species (*A. vestitipennis*) (Rejmánková *et al.* 2013). Building on such work, John Grieco, Kevin Pope and colleagues, related abundance of *A. vestitipennis* to phosphate application on agricultural land in close proximity to marshland, because of observed correlations between phosphate additions and increased *Typha* growth - a favored larval habitat of this species (Pope *et al.* 2005, Grieco *et al.* 2006). Similar epidemiologically-based research about Tabanidae (Williams 1971) and Simuliidae (Shelley *et al.* 2002) has generated ecological knowledge about the habitat preferences and/or country-wide distribution of adults and larvae of these two families respectively.

Anelopheline-related research has demonstrated the gains that can be made for disease control by advances in ecological knowledge. Yet, the 'dichotomy' Rejmankova *et al.* (2013) identified as existing between epidemiological and ecological research, is not often bridged. The authors urge that medical research becomes more ecologically oriented and in the same vein, ecologists should explore the opportunities and knowledge to be gained from researching other potential vector groups, such as the invasive *Melanoides* snail and the Planorbidae.

The byrrhoid Coleoptera (Dryopidae, Elmidae, Lutrochidae, Psephenidae and Ptilodactylidae) have also received ecological research attention. In a qualitative study that considered the distribution of these families throughout the country, Shepard (2004) found the highest taxon richness and the highest number of taxa per stream were present on the eastern slope of the Maya Mountains, where streams drain watersheds encompassing the full altitudinal range of the country (0 - 1,120m a.s.l.), are highly dissected and can be high gradient. Lowest numbers were found in the northern part of the country where water bodies are few, and those present are mainly swamps, stagnant or large, slow-flowing low-gradient rivers. Shelley *et al.* (2002) found similar general patterns of distribution in Simuliidae larvae, with none sampled from the northern karstic lowlands

and greatest abundances observed in the fast-flowing streams and cascades that characterize the higher regions of the Maya Mountains.

1.3.3. State of conservation

Belize's freshwater ecosystems are currently facing alteration and degradation from a number of threats. Primary amongst these are threats from anthropogenic activities such as deforestation, large-scale agriculture, mining, hydroelectricity generation, water extraction for human-use and consumption, and pollution from various point and diffuse sources (Boles *et al.* 2008). Of particular concern are the predicted impacts of climate change, especially when it is considered that they exacerbate the threats mentioned above. Underlying these threats are the demographic, social, economic and political factors that Kay and Avella (2010) discuss, with the demographic factors representing those for which more systematized data exists.

Brief consideration of the latest figures publicly available from the Statistical Institute of Belize for example, shows that Belize has a young, growing population. The total population in the 2010 census was 322,453 compared to 248,916 in 2000, representing a 30 percent increase in the country's population over a period of 10 years, or an estimated average annual growth of three percent. This population is almost evenly distributed between rural and urban communities with the rural population slightly higher and growing at approximately the same rate as the national average from 2000-2010. In terms of population structure, the 2010 census figures show that 64 percent of the country's population was below 30. Although population growth is not the only significant driver of anthropogenic impacts on Belize's freshwater resources, it is one of the most important, especially because the country's population is so young and hence, major decreases in population growth cannot be expected in the near future. Belize is a country with an economy that is heavily reliant on the use of its natural resources, and as the country's population continues to grow, pressure will increase on the resource base.

One of the country's largest natural assets is its forest; Belize is the most forested country in Mesoamerica (FAO 2010, CATHALAC 2011) with approximately 60 percent forest cover and an average annual deforestation rate of approximately 0.6 percent (Cherrington *et al.* 2010). However, despite a historically low deforestation rate, recent analysis of forest cover for the 2010-2012 period showed that the rate of deforestation is increasing at a faster rate than historically (Cherrington *et al.* 2012). Land-use change scenarios indicate that by 2050, forest cover in Belize could decline by approximately 23 percent relative to 2010 figures (Cherrington *et al.* 2014). This is not surprising given population increase, large public and external debt, and lack of, or poorly enforced environmental policies, laws and regulations. All these factors have been driving the country towards an increase in the use and liquidation of natural assets for income and foreign exchange generation, with the main driver of deforestation being an increase in agriculture, particularly at the commercial-scale (Garcia *et al.* 2011). Current deforestation hot spots include the northeastern portion of the country, Central Belize, especially within and around the Central Belize Corridor, and eastern Stann Creek (Cherrington *et al.* 2012).

Almost all deforestation in Belize has been in broadleaf forests and from 2010-2012, approximately 98 percent of deforestation occurred within 12 major and 6 minor watersheds. Deforestation in the Belize River watershed (the most populated), by far exceeded deforestation in any other in this time period, while earlier losses were most noticeable in the watersheds of the New River in the north and the Moho River in the south (Cherrington *et al.* 2010, Cherrington *et al.* 2012). Apart from deforestation, that is due largely to land clearance for agricultural purposes, freshwater systems also experience additional agricultural impacts. Some of these include pollution from runoff, altered flows due to water abstraction for irrigation, and erosion from land clearing. However, at this time there is very little quantification of the extent of these impacts on macroinvertebrates, other freshwater biodiversity, and on overall water quality. There is also little systematized and/or readily available information on the impacts of mining in rivers, although dredging and extraction of gravel occurs widely (Boles *et al.* 2008).

Of the rivers in Belize, the one that may be subject to the greatest cumulative impact is the Macal River. This river system is the only one on which large dams have been constructed: namely, the Chalillo, Mollejon and Vaca dams. Environmental compliance plans for these dams require monitoring of the river for various impacts and pollutants, including mercury. However, to our knowledge, no robust, long-term monitoring program exists in association with dam operations, or if it does any data collected are not readily available, nor regularly published. There are many other threats to Belize's freshwater systems including those from emerging industries such as the petroleum industry, non-agricultural pollution sources and localized extractive uses. Legal and illegal gold mining occurs in the rivers of the Chiquibul Forest in the Maya Mountains for example, and environmental change associated with these activities needs to be studied in detail.

Despite the paucity of research that quantifies the impacts of prevailing stressors on the country's freshwater systems, one area for which new data has been modelled, is predicted climate change impacts. Cherrington *et al.* (2014) examined more than a dozen latest-generation downscaled global climate models to indicate that rainfall patterns have the potential to fluctuate from 25 percent below the historical norm, to almost 24 percent above. When land use change scenarios that included increased deforestation were considered alongside climate change predictions it was revealed that, runoff in the Belize River watershed could potentially increase by approximately 85 percent under wetter climate conditions. However, if the rate of deforestation was reduced, increase in runoff for this same watershed could potentially be less than half that amount (37 percent). Further analysis revealed that if the climate became drier, runoff could decrease by around 12 percent under increased deforestation scenarios, or decrease by more than three times that (40 percent) if deforestation is reduced. Importantly, under all scenarios examined, erosion was predicted to increase in most of the major watersheds (Cherrington *et al.* 2014).

The urban population in Belize is heavily dependent on rivers as their primary water source and supplying this need accounts for

approximately half of all water abstraction from rivers in the country. Although many rural populations depend on rain and well water for drinking, others rely on rivers and associated waters such as in-stream springs, either directly, or after water has been pumped to homes or rudimentary water systems. Rivers are also relied upon by many rural communities for bathing, washing clothes and dishes, varied cultural and customary uses and for agricultural needs (Carrie 2013). Threats to water security from the potential impacts of climate change including drought and changes to water quality are therefore an important consideration for the entire Belizean population (Boles *et al.* 2008) and conservation efforts that promote the sustainable-use of freshwaters need to be redoubled.

There are no specific efforts for macroinvertebrate conservation in Belize and macroinvertebrates are usually conspicuous only by their absence from assessments of aquatic fauna and other macroinvertebrates, as assessments undertaken in Ramsar sites reveal (Meerman *et al.* 2003). Conservation efforts have mostly focused more generally on freshwater systems, but these are often localized and not sustained. Community riparian reforestation, river clean-ups, and outreach campaigns take place often to highlight the importance of the ecosystems, but these are not currently replicated at a national scale. Of interest however, is that across the board and as evidenced by several conservation planning efforts at the landscape level, freshwater systems have consistently been identified by stakeholders as key conservation targets (Boles *et al.* 2008). For example, the Conservation Action Plan for the Maya Mountain Marine Corridor targets freshwater systems for conservation based on several key attributes that include water quality and biological communities such as macroinvertebrate assemblages; the Maya Mountain Massif Conservation Action Plan identifies aquatic and riparian systems as a key conservation target (Boles *et al.* 2008), and more recently, in the ongoing conservation action planning process for the Central Belize Corridor, freshwater systems were also identified by stakeholders as one of the primary conservation targets (UB ERI, unpubl.). It therefore appears certain that Belizeans value healthy freshwater systems. However, the mechanisms, networks and finances to sustain freshwater conservation efforts and roll them out at a national-scale are still poor.

One mechanism that is an exception, and which remains the country's most effective and important conservation effort for freshwaters, is the National Protected Areas System (NPAS), and an associated protected areas management regime that includes their co-management by government and non-governmental partners. Belize has a total of 98 protected areas and these include two Ramsar sites, 16 archaeological sites (Wildtracks 2013). Protected areas account for over a third of Belize's land surface (Kay and Avella 2010) and feature two large forest blocks that comprise part of the Selva Maya in the north and the Maya Mountain Massif in the west and south (Wildtracks 2013). These forest blocks, as well as several individual protected areas, are critical to the protection of a large proportion of Belize's most important watersheds. The Maya Mountain Massif is particularly important because of its function protecting the headwaters of the country's central and southern watersheds. One of the strongest

pieces of evidence that attests to the effectiveness of the NPAS for maintaining freshwater resources is that from 1980-2010, approximately 85 percent of deforestation occurred outside protected areas with that figure rising to approximately 94 percent between 2010-2012 (Cherrington *et al.* 2010, 2012).

Recent work based on the use of fish species distribution models has indicated the potential for a freshwater protected areas network for Belize that includes the transboundary portions of the country's watersheds. Half of the resulting potential network is already contained within existing protected areas (Esselman and Allan 2011). But for now, expansion of Belize's NPAS to fully accommodate a freshwater protected areas network remains a research concept. Attempts to integrate such a network within the existing NPAS would surely reap benefits for freshwater ecosystems, not least because the gaps in protection that were identified have a direct relationship with activities in distant locations that have the potential to influence downstream habitats and biota (Esselman and Allan 2011). The value of acknowledging the highly connected nature of freshwater ecosystems can be emphasized by considering some of the challenges faced by the NPAS. Within the Maya Mountains for example, especially in the Chiquibul Forest, illegal incursions result in activities, like gold-panning and deforestation that put the integrity of Belize's rivers and their headwaters at risk. Belize's Ramsar sites, which together comprise approximately 18,000 ha of protected wetlands, approximately 17, 000 ha of which are in the Sarstoon Temash National Park, have suffered from infrastructural development. The Sarstoon Temash National Park is also currently under oil exploration and therefore, the impacts associated with the development of the oil industry cannot be ignored. Belize's mix of public sector-civil society management partnerships has been crucial in addressing the challenges faced in managing the NPAS by providing a voice that highlights the importance of the country's freshwater resources, and calling for tools and mechanisms with which they can be assessed and managed (Boles *et al.* 2008). Belizeans however must unite in their efforts such that the work can be localized but always with a vision and goals for freshwater conservation that are national and system-wide in scope and reach.

1.4. The use of macroinvertebrates as bioindicators of water quality in Belize

Knowledge about the response of macroinvertebrates to environmental change associated with natural and human disturbance is very limited for Belize. In fact, and although the use of macroinvertebrate assemblages as bioindicators has been considered in Belize for at least the past two decades, no research on this subject has yet been published. The earliest work to consider macroinvertebrate assemblages as bioindicators was a single watershed study in central Belize, which provided descriptive baseline information about primarily insect taxa sampled from erosional habitats (Boles 1998). The assemblage was found to include a sufficiently rich Ephemeropteran and Trichopteran fauna to support bio-assessment

work. Qualitative assessment of faunal composition indicated that ecological integrity was most altered in the mid-reaches of the Sibun River watershed, and in sections adjacent to the Hummingbird Highway.

More recently, research undertaken in streams in the south of the country attempted to quantify the response of commonly-used macroinvertebrate metrics to categories of human disturbance (Carrie 2013). However, and despite attempts to control for the potentially confounding effects of natural variation using coarse-scale categories of geology, stream size and altitude, Carrie (2013) was unable to demonstrate that tested family-level macroinvertebrate metrics could consistently discriminate change associated with anthropogenic activities. This finding was considered to reflect limitations imposed by natural patterns of disturbance, and the relatively low-level of disturbance effects: significant predictable changes in family and EPT richness, and the BMWP-CR and ASPT-CR scores were only observed where the disturbance gradient was greatest and when it was strongly collinear with the natural upstream-downstream gradient. Consistent and significant variation was not observed where disturbance was presumed to be lower and when it did not correspond closely with a natural gradient of longitudinal change, although non-significant trends, including a reduction in BMWP-CR, ASPT-CR and EPT scores, were observed at these sites. This research was conducted in well-forested watersheds with a low population density. Thus, although there was evidence of anthropogenic environmental change, influence on family-level assemblages appeared to be subtle: a similar observation was made for the fishes of the region (Esselman and Allan 2010). Importantly, the study indicated the potential utility of family-level macroinvertebrate metrics for monitoring large-scale effects in Belize, because they were responsive to coarse-scale environmental change (*i.e.* that originating from collinear natural and anthropogenic variation).

1.5. Legal and regulatory framework for the development and use of macroinvertebrates in environmental assessment

Belize has responded to fragmented legislation related to the use and protection of freshwater systems and the riparian zone, and the scattered responsibility for enforcement among government agencies that has resulted in a history of minimal regulation and non-enforcement, by gazetting in 2011 the National Integrated Water Resources Act (2010). This piece of legislation was informed by policy that explicitly addressed challenges Belize is predicted to face from climate change. The Act seeks to consolidate approaches to the controlled allocation and sustainable use and protection of water resources under the guiding principles of social equity, use efficiency, and sustainability (Global Water Partnership 2000).

Under this legislation, the National Integrated Water Resources Authority (NIWRA) has been established to coordinate and assist in regulating the water sector, which is currently governed by numerous departments and agen-

cies including Belize Water Services Ltd., Belize Electricity Ltd., the Belize National Emergency Management Organization, the Ministry of Health, Ministry of Natural Resources and Agriculture, and the Ministry of Forestry, Fisheries and Sustainable Development. It also seeks to harmonize the use of existing legislation in relation to water resources, including the Environmental Protection Act (1992 and amendments) and associated regulations which give requirements for developing Environmental Impact Assessments, for identifying waters that are ecologically or socially vulnerable to the impacts of domestic effluent and for setting effluent limits, standards and concentrations, and supporting pollution regulation and environmental monitoring.

The National Integrated Water Resources Act (2010) requires the development of a National Water Resources Management Master Plan, to outline objectives for the development, conservation and use of water resources in Belize and requires in particular the identification of Water Quality Control Areas and development of subsequent Water Quality Control Plans. Current effort is focused on groundwater resources and water allocation, but clearly this overarching legislation provides a framework of opportunity that could serve as a vehicle for the development and implementation of biomonitoring approaches. These approaches are already being advocated in the draft implementation framework of the National Biodiversity Monitoring Program (NBMP). The University of Belize Environmental Research Institute (UB ERI) is coordinating the development of the NBMP as part of the implementation of Belize's National Protected Areas System Plan and through a participatory consultation process involving government agencies and non-governmental organizations (NGO's) across the country.

1.6. Future Perspectives

More than a decade has passed since Esselman & Boles stated that "gaps in knowledge surpass strides made to document the country's water resources" (2001) to introduce their review of limnological research in Belize. In making that statement, the authors sought to instill urgency to document baseline ecological condition before changes associated with predicted population increase resulted in degradation. While this statement remains true today for the macroinvertebrate component of the freshwater fauna, despite the important advances in knowledge detailed in the preceding sections, commitment to progressing and enabling macroinvertebrate research has never been greater, at every level in Belize. For example, the UB ERI is actively supporting bioassessment-related research with international and local partners, especially local NGO's, by collaborating in an attempt to secure the resources necessary to characterize macroinvertebrate assemblages at the national-scale, so they can serve as a baseline against which future changes (anthropogenic and natural) can be assessed. Since it was established in 2010, the UB ERI has been instrumental in coordinating research and collaborative efforts for research, based on priorities outlined in a National Environmental and Natural Resources

Research Agenda, and instituting mechanisms to mentor and lead Belizeans in environmental research. Some recommendations for prioritizing macroinvertebrate-related research and advancing their use in the management of Belize's natural resources are given below.

Taxonomy and natural history - Knowledge about the taxonomy and natural history of the Annelida, Blattodea, Collembola, Lepidoptera, Neuroptera, Nematoda, Nematomorpha, Orthoptera, Platyhelminthes and Trombidiformes (Hydrachnidia) associated with freshwaters is lacking entirely. Research is required not only to understand the identity and distribution of these taxonomic groups, and to expand knowledge of all others, but also to identify the importance and conservation status of both invasive and native macroinvertebrates present in Belize. That reviews are underway to document the identity and distribution of Ephemeroptera, Naucoridae and Potamocoridae (Hemiptera) is encouraging, and this effort should serve as inspiration for the systematic country-wide review of other taxonomic groups, particularly the Trichoptera, for which very little is known. DNA sequence-based approaches (*e.g.* Hajibabaei *et al.* 2011, Sweeney *et al.* 2011) and larval rearing would enable immature and adult forms to be linked, and would add considerable value to this effort. It is urgent therefore that collected specimens awaiting examination be distributed to taxonomic experts, and equally as urgent that a centralized collection is established for the curation of specimens in Belize. Of particular need to facilitate future research and the practical use of macroinvertebrates as bio-assessment tools, are verified reference collections and taxonomic identification guides.

Macroinvertebrate ecology – This chapter clearly demonstrates that while knowledge has been generated about macroinvertebrate ecology by the above-described studies, there has been little quantitative research about the factors controlling macroinvertebrate assemblages in Belize. There has been limited research for example, dedicated to life history strategies, trophic interactions, the relevance of global ecological concepts and models, or the effects of natural disturbance including the hurricanes and wild-fires that sometimes sweep across parts of the country. Nor has much consideration been dedicated to headwater, drift, wetland, lotic, stygiobiont or phytotelmatic communities, or long-term investigations of inter- and intra-annual spatial and seasonal change.

Ranked 8th of 167 countries, Belize has been identified as one of those most vulnerable to the impacts of climate change (United Nations Environment Program 2011). Furthermore, and although the population density of Belize is one of the lowest in Central America, with an annual population growth rate typically above 2%, it is increasing faster than any other. Scenarios under climate change and increased population growth will increase pressure on freshwater-related ecosystem services. Thus, gaps in knowledge about macroinvertebrate ecology require urgent attention if a better understanding is to be gained of factors determining if and how future environmental change will impact the ecological structure and function underpinning the many freshwater-related ecosystem services upon which Belize relies.

Bio-assessment – Given the interest in developing bio-assessment capacity in Belize, future research to develop bio-assessment tools may be best conducted at the national-scale. Among other opportunities, this would enable 1) the full spectrum of natural and anthropogenic gradients to be reflected and replicated so interpretation of effect is not confounded by natural variation; 2) models to be developed that can account for continuous variation in natural environmental features and biological assemblages, against which change can be assessed; and 3) the selection of metrics responsive to existing and newly emerging stressors and their standardization for national-use through the development of locally-defined condition classification criteria (Boles 1998, Carrie 2013). Given that large parts of Belize are only moderately disturbed, bio-assessment work would benefit greatly from investigation of intra-familial and intra-generic variation in the response of macroinvertebrates to stressors, particularly in some of the Ephemeroptera (*e.g.* Leptophlebiidae, Heptageniidae) and Plecoptera (Perlidae: *Anacroneuria*). This may facilitate not only the detection of smaller-scale effects, but also enable metrics extrapolated from remote geographic regions to be fine-tuned for the general assessment of Belize's freshwaters, and allow stressor specific indicators to be identified.

Macroinvertebrates have the potential to provide an easy-to-use and cost-effective tool for freshwater management in Belize. Although further research is required to fully inform their practical use, if the potential of macroinvertebrates (and that of additional biological components such as the fishes), is to be realized, they must ultimately be formally recognized in legislative tools and by regulatory agencies as complementary to other monitoring and assessment approaches, as they are in other Mesoamerican countries (*e.g.* Costa Rica and Puerto Rico). Bio-assessment potential has been recognized by some non governmental organizations in Belize that are attempting to implement macroinvertebrate-based approaches at the local-scale. These organizations and their experiences could provide a valuable basis for the development of a network of groups collaborating towards a comprehensive approach to achieving freshwater work. Inspiration and guidance could be drawn from the Coral Reef Monitoring Network and Spawning Aggregations Group for example, that have enabled a number of advances in the management of marine resources. Macroinvertebrates can be particularly suitable for non-expert use, and work that seeks to facilitate use by non-governmental and community-based organizations and embrace their co-operation is much-needed given the responsibilities, enthusiasm and roles played by these groups in the use and management of freshwater resources

Finally, students at UB have been exposed to macroinvertebrate sampling and potential use in bio-assessment since the inception of the university in 2000; in the last six years, the use of more systematic approaches and quantitative techniques has been routinely taught to Natural Resource Management undergraduates through collaborative efforts with the Ya'axché Conservation Trust. Additional effort must be focused on mentoring graduates and enabling them to become the future of macroinvertebrate-based research and freshwater management in Belize.

1.7. Conclusion

Overall, knowledge about freshwater macroinvertebrates in Belize is relatively poor. However, more recently, through new and more coordinated approaches to research and monitoring, and the interest of protected areas managers across the country in freshwater resource management, Belize is not only starting to systematize what little knowledge exists on macroinvertebrate groups but is advocating their use for bio-assessment. Macroinvertebrates have already been included in a select list of indicators to be developed under the NBMP. However, before macroinvertebrate-based bio-assessment can be fully progressed, basic taxonomic, natural history and ecological research is needed as well as the establishment of support systems for research that include an in-country well-curated reference collection and development of taxonomic guides. Belize is small in size; therefore, in order to maximize and better leverage limited human and financial resources for macroinvertebrate work, collaborative efforts at a national scale may yield the best results. Capacity-building for this work in a new generation of Belizean biologists, natural resource managers and community groups will be key to the success of any future efforts.

1.8. Acknowledgements

We are grateful to all who have generated the knowledge that informs this chapter, to the Belize Forest and Fisheries Departments, the Institute of Archaeology and the Belize Agricultural Health Authority for granting the many permits, and to the numerous organizations, particularly the Ya'axché Conservation Trust, and individuals that have enabled Belizean macroinvertebrate research. We thank William Shepard, Robert Sites and David Baumgardner for verbal contributions to this chapter that have not been referenced in the text and Emil Cherrington for preparing the Belize watersheds map. Lastly we wish to thank Monika Springer and Perla Alonso. Without their encouragement and assistance, Belize may have been missed off the Central American macroinvertebrate map!

1.9. References

Achee, N. 2004. A study on the bionomics of *Anopheles darlingi* Root (Diptera: Culicidae) in Belize, Central America. DTIC Document.

Achee, N.L., Grieco, J.P., Rejmankova, E., Andre, R.G., Vanzie, E., Polanco, J., Briceno, I., King, R. & Roberts, D.R. 2006. Biting patterns and seasonal densities of *Anopheles* mosquitoes in the Cayo District, Belize, Central America with emphasis on *Anopheles darlingi*. *Journal of Vector Ecology* 31**:** 45-57.

Adis, J., Bustorf, E., Lhano, M.G., Amedegnato, C. & Nunes, A.L. 2007. Distribution of *Cornops* grasshoppers (Leptysminae: Acrididae: Orthoptera) in Latin America and the Caribbean Islands. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 42: 11-24.

Arce-Perez, R. & Novelo-Gutierrez, R. 2013. Two new species of *Psephenops* Grouvelle from Belize (Coleoptera: Byrrhoidea: Psephenidae), with a key to the known species from Mexico and Central America. *Zootaxa* 3670: 63-70.

Arce-Perez, R., Shepard, W.D. & Moron, M.A. 2012. *Belicinus rhomboideus*, a new genus and species of Psepheninae (Coleoptera: Byrrhoidea: Psephenidae) from Belize. *Zootaxa* 3157: 31-40.

Block, E.M. & Goodnight, C.J. 1972. A new species of Tubificid Oligochaete from Central America, *Limnodrilus bulbiphallus* n. sp. *Transactions of the American Microscopical Society*: 579-585.

Boles, E. 1998. Developing a Community-based Rapid Watershed Assessment Protocol. Focussing on the Sibun River in Belize as a Case Study. PhD Thesis, Jackson State University.

Boles, E., Buck D. & Esselman P. 2008. Synthesis of Water Resource Conservation, Management and Research Activities in the Watersheds of Belize, The Nature Conservancy, Belmopan, Belize.

Boomsma, T. & Dunkle, S.W. 1996. Odonata of Belize. *Odonatalogica* 25: 17-29.

Bridgewater, S. 2012. A Natural History of Belize: inside the Maya Forest, University of Texas Press, Austin.

Buck, D.G. 2012. Linking land use land cover change and ecosystem function in lowland tropical watersheds of Belize, Central America, Dissertation, University of Florida, U.S.A.

Bueno-Soria, J. & Santiago-Fragoso, S. 1997. Studies in Aquatic Insects XII: Descriptions of nineteen new species of the genus *Ochrotrichia* Mosely (Trichoptera: Hydroptilidae) from Mexico and Central America. *Proceedings of the Entomological Society of Washington* 99: 359-373.

Carrie, R.H. 2013. Developing Ecological and Social Approaches to Monitor the Condition of Tropical Streams, PhD Thesis, Lancaster University, U.K.

Carrie, R.H. 2014. A checklist of the freshwater macroinvertebrates of Belize [Online]. http://figshare.com/articles/A_checklist_of_the_freshwater_macroinvertebrates_of_Belize/833338. Figshare. [Accessed 06/11/2014].

Carrie, R.H., Dobson, M. & Barlow, J. accepted. Effects of geology and season on macroinvertebrates in lowland Belizean streams: implications for tropical bio-assessment. *Freshwater Sciences*.

CATHALAC. 2011. Final Report: Central American Land Cover and Land Use Map-Land Cover and Land Use Change 1980-1990-2000-2010, Regional Program for the Reduction of Vulnerability and Environmental Degradation / CATHALAC, Panama City, Panama.

Cherrington, E.A., Ek, E., Cho, P., Howell, B.F., Hernandez, B.E., Anderson, E.R., Flores, A.I., Garcia, B. C., Sempris, A. & Irwin, D.E. 2010. Forest Cover and Deforestation in Belize: 1980-2010. Panama, Panama City: Water Center for the Humid Tropics of Latin America and the Caribbean (CATHALAC).

Cherrington, E.A., Cho, P.P., Waight, I., Santos, T.Y., Escalante, A.E., Nabet, J. & Usher, L. 2012. Executive Summary: Forest Cover and Deforestation in Belize, 2010-2012, CATHALAC, Panama City, Panama.

Cherrington, E., Kay, E. & Waight-Cho, I. 2014. Modelling climate and land use change impacts on Belize's water resources in the 2050s, Technical Report, CATHALAC & University of Belize Environmental Research Institute, Belmopan, Belize.

Cochran, J.L. 2008. Diet, Habitat and Ecomorphology of Cichlids in the Upper Bladen River, Belize. MSc. Thesis, Texas A&M University, USA.

Contreras-Ramos, A. 2011. Phylogenetic review of dobsonflies of the subfamily Corydalinae and the genus *Corydalus* Latreille (Megaloptera: Corydalidae). *Zootaxa* 2862: 1-38.

Covich, A.P. 2000. Mollusca: A contrast in species diversity from aquatic and terrestrial habitats. Pp. 120-139. In: Turner, B.L. & Harrison, P.D. (eds.) 2nd Edition. Pulltrouser Swamp: Ancient Maya Habitat, Agriculture, and Settlement in Northern Belize. University of Utah Press, Salt Lake City.

Dourson, D. 2009. A Natural History of the Bladen Nature Reserve and its Gastropods, BFREE.

Drake, C.J. & Lauck, D.R. 1959. Descriptions, synonymy, and check-list of American Hydrometridae (Hemiptera: Heteroptera). *Western North American Naturalist* 19: 43-52.

Esselman, P.C. & Allan, J.D. 2010. Relative influences of catchment- and reach-scale abiotic factors on freshwater fish communities in rivers of northeastern Mesoamerica. *Ecology of Freshwater Fish* 19**:** 439-454.

Esselman, P.C. & Allan, J.D. 2011. Application of species distribution models and conservation planning software to the design of a reserve network for the riverine fishes of northeastern Mesoamerica. *Freshwater Biology* 56: 71-88.

Esselman, P.C. & Boles, E. 2001. Status and Future Needs of Limnological Research in Belize. Pp. 35-68. In: Wetzel, R.G. & Gopal, B. (eds.) Limnology in Developing Countries. International Association for Limnology.

Esselman, P.C., Freeman, M.C. & Pringle, C.M. 2006. Fish-assemblage variation between geologically defined regions and across a longitudinal gradient in the Monkey River Basin, Belize. *Journal of the North American Benthological Society* 25: 142-156.

Esselman, P. E., Meerman, J., Boles, E., Myvett, G., Higgins, J., Warner, A., Fitzhugh, T., Morgan, P. & Frutos, R. 2005. Belize Aquatic Ecosystems. 2nd Draft. [Online]. http://biological-diversity.info/aquatic-ecosystems.htm

FAO 2010. Global forest resources assessment, 2010 – Global Tables. Rome, Italy: FAO.

Flint Jr, O.S. & Mathis, W.N. 2006. New species and records of Neotropical Sisyridae with special reference to *Sisyra* (Insecta: Neuroptera). *Proceedings of the Biological Society of Washington* 119: 279-286.

Flint Jr., O.S., Holzenthal, R.W. & Harris, S.C. 1999. Catalog of the neotropical caddisflies (Insecta: Trichoptera), Ohio Biological Survey, USA.

Garcia, J., Saqui, P. & Chicas, S. 2011. Identification of Deforestation and Forest Degradation Drivers in Belize, Final Report, Program for the Reduction of Emissions from Deforestation and Forest Degradation in Central America and the Dominican Republic, GIZ and Belize Forest Department, Belmopan, Belize.

Global Water Partnership 2000. Integrated water resources management. Technical Advisory Committee Background Papers, 4.

Goldschmidt, T. 2007. Zoogeographical Relationships of Central American Water Mites. Pp. 83-95. In: Morales-Malacara, J.B., Behan-Pelletier, V., Ueckermann, E., Perez, T.M., Estrada-Venegas, E.G. & Badii, M. (eds) Acarology XI, 2007 Sociedad Latinoamericana de Acarología. Instituto de Biología and Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autonóma de México, México.

Gomez, M.I. 2009. Systematics, phylogeny and biogeography of Mesoamerican and Caribbean freshwater gastropods (Cerithioidea: Thiaridae and Pachychilidae). PhD Thesis, Humboldt-Universität zu Berlin, Germany.

Gonzalez, V.J.B. 1980. A Limnological Investigation of a Tropical Freshwater Ecosystem: The Belize River, Belize. Central America. Ph.D, Western Michigan University.

Greenfield, D.W., Greenfield, T.A. & Brinton, S. L. 1983. Spatial and trophic interactions between *Gambusia sexradiata* and *Gambusia puncticulata yucatana* (Pisces: Poeciliidae) in Belize, Central America. *Copeia* 3: 598-607.

Guillermo-Ferreira, R. & Vilela, D.S. 2013. New records of *Forcipomyia* (Pterobosca) *incubans* (Diptera: Ceratopogonidae) parasitizing wings of Odonata in Brazil. *Biota Neotropica* 13: 360-362.

Grieco, J.P., Achee, N.L., Briceno, I., King, R., Andre, R., Roberts, D. & Rejmankova, E. 2003. Comparison of life table attributes from newly established colonies of *Anopheles albimanus* and *Anopheles vestitipennis* in northern Belize. *Journal of Vector Ecology* 28: 200-207.

Grieco, J.P., Johnson, S., Achee, N.L., Masuoka, P., Pope, K., Rejmánková, E.K., Vanzie, E., Andre, R. & Roberts, D. 2006. Distribution of *Anopheles albimanus, Anopheles vestitipennis,* and *Anopheles crucians* associated with land use in Northern Belize. *Journal of Medical Entomology* 43**:** 614-622.

Hajibabaei, M., S. Shokralla, X. Zhou, G.A.C. Singer & Baird, D.J. 2011. Environmental Barcoding: A Next-Generation Sequencing Approach for Biomonitoring Applications Using River Benthos. *PloS one* 6**:**e17497.

Healy, P.H., Emery, K. & Wright, L.E. 1990. Ancient and Modern Maya Exploitation of the Jute Snail (*Pachychilus*). *Latin American Antiquity* 1: 170-183.

Hernandez-Triana, L.M., Crainey, J.L., Hall, A., Fatih, F., Mackenzie-Dodds, J., Shelley, A.J., Zhou, X., Post, R.J., Gregory, T.R. & Hebert, P.D.N. 2012. DNA barcodes reveal cryptic genetic diversity within the blackfly subgenus *Trichodagmia* Enderlein (Diptera: Simuliidae: Simulium) and related taxa in the New World. *Zootaxa* 3514: 43-69.

Hernández, L., Maeda-Martínez, A.M., Ruiz-Campos, G., Rodríguez-Almaraz, G., Alonzo-Rojo, F. & Sainz, J.C. 2008. Geographic expansion of the invasive red crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852)(Crustacea: Decapoda) in Mexico. *Biological Invasions* 10: 977-984.

Hobbs, H. 1994. Biogeography of subterranean decapods in North and Central America and the Caribbean region (Caridea, Astacidea, Brachyura). *Hydrobiologia* 287: 95-104.

Hobbs, H.H. & Hobbs Jr, H.H. 1995. *Macrobrachium catonium*, a new troglobitic shrimp from the Cayo District of Belize (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae). *Proceedings-Biological Society of Washington* 108: 50-50.

Holthuis, L.B. 1954. On a collection of decapod Crustacea from the Republic of El Salvador (Central America), EJ Brill. *Zoologische Verhandelingen* 23(1): 1-43.

Jacobsen, D., Cressa, C., Mathooko, J.M. & Dudgeon, D. 2008. Macroinvertebrates: Composition, Life Histories and Production. In: Dudgeon, D. (ed.) Tropical Stream Ecology. Elsevier Academic Press, London, U.K.

Kay, E. & Avella, E. 2010. Belize Environment Outlook: GEO Belize 2010. Land & Surveys Department, Ministry of Natural Resources and the Environment and United Nations Environment Program, Belmopan, Belize.

Kelley, R.W. 1983. New Neotropical species of *Oxyethira* (Trichoptera: Hydroptilidae). Nuevas especies neotropicales de *Oxyethira* (Trichoptera: Hydroptilidae). *Proceedings of the Entomological Society of Washington* 85: 41-54.

Keth, A.C. 2003. Five new species of *Neotrichia* (Trichoptera: Hydroptilidae: Neotrichiini) from southern Mexico and northern Belize. *Entomological News* 114: 164-178.

Lewis, D. & Garnham, P. 1960. The Simuliidae (Diptera) of British Honduras. *Bulletin of Entomological Research* 50: 703-710.

Manguin, S., Roberts, D. R., Andre, R. G., Rejmankova, E. & Hakre, S. 1996. Characterization of Anopheles darlingi (Diptera: Culicidae) larval habitats in Belize, Central America. *Journal of Medical Entomology* 33: 205-211.

Mccafferty, P. & Jacobus, L.M. 2014. Mayfly Central: Mayflies of Central America [Online]. West Lafayette, Indiana, USA Purdue University. Accessible at: http://www.entm.purdue.edu/mayfly/ [Accessed 31/10/2014].

Mccafferty, W. 1984. The relationship between North and Middle American *Stenonema* (Ephemeroptera: Heptageniidae). *Great Lakes Entomologist* 17: 125-128.

McField, M. & Bood, N. 2007. Our reef in Peril – Can we use it without abusing it? pp. 151-171 In: Balboni, B.S. & Palacio, J.O. (Eds.), Taking Stock: Belize at 25 years of Independence, Cubola Books, Benque Viejo del Carmen, Belize.

Meerman, J. C., Herrera P., Howe. A. 2003. Rapid Ecological Assessment of Sarstoon-Temash National Park, Toldeo District, Belize, Vol. I&II. Unpublished Report to the Sarstoon Temash Institute for Indigenous Management.

Meerman, J. 2010. Invasive species: snails. *MSBC News: the Belize Chapter Newsletter* 3: 4-5.

Meerman, J.C. & Clabaugh, J. 2014. Biodiversity and Environmental Resource Data System of Belize. Internet address: http://www.biodiversity.bz.

Paraense, W.L. 2003. A bird's eye survey of Central American planorbid molluscs. *Memorias Do Instituto Oswaldo Cruz* 98: 51-67.

Pérez, L., Frenzel, P., Brenner, M., Escobar, J., Hoelzmann, P., Scharf, B. & Schwalb, A. 2011. Late Quaternary (24–10 ka BP) environmental history of the Neotropical lowlands inferred from ostracodes in sediments of Lago Petén Itzá, Guatemala. *Journal of Paleolimnology* 46: 59-74.

Pérez, L., Lorenschat, J., Massaferro, J., Pailles, C., Sylvestre, F., Hollwedel, W., Brandorff, G.-O., Brenner, M., Gerald, I. & Lozano, M.D.S. 2013. Bioindicators of climate and trophic state in lowland and highland aquatic ecosystems of the Northern Neotropics. *Revista de Biología Tropical* 61: 603-644.

Polhemus, D.A. & Carrie, R.H. 2013. A new species of *Potamocoris* (Heteroptera: Potamocoridae) from Belize, and a synonym of the genus *Coleopterocoris*. *Tijdschrift voor Entomologie* 156: 141-149.

Polhemus, D.A. & Chordas, S.W. 2010. A new species of *Rhagovelia* in the armata group from Belize (Heteroptera: Veliidae). *Aquatic Insects* 32: 135-142.

Pope, K., Masuoka, P., Rejmankova, E., Grieco, J., Johnson, S. & Roberts, D. 2005. Mosquito habitats, land use, and malaria risk in Belize from satellite imagery. *Ecological Applications* 15**:** 1223-1232.

Reddell, J.R. & Veni, G. 1996. Biology of the Chiquibul cave system, Belize and Guatemala. *Journal of Cave and Karst Studies* 58: 131-138.

Resh, V. 1976. Life Cycles of Invertebrate Predators of Freshwater Sponge In: Harrison, F. (ed.) Aspects of Sponge Biology. Indiana: Muncie.

Rejmankova, E., Roberts, D., Harbach, R., Pecor, J., Peyton, E., Manguin, S., Krieg, R., Polanco, J. & Legters, L. 1993. Environmental and regional determinants of *Anopheles* (Diptera: Culicidae) larval distribution in Belize, Central America. *Environmental Entomology* 22: 978-992.

Rejmánková, E., Grieco, J., Achee, N. & Roberts, D.R. 2013. Ecology of Larval Habitats. *In:* Manguin, S. (ed.) *Anopheles mosquitoes - New insights into malaria vectors.* [Online] http://www.intechopen.com/books/anopheles-mosquitoes-new-insights-into-malaria-vectors: InTech. [Accessed 31/10/2014]

Roberts, D.R., Manguin, S., Rejmankova, E., Andre, R., Harbach, R.E., Vanzie, E., Hakre, S. & Polanco, J. 2002. Spatial distribution of adult *Anopheles darlingi* and *Anopheles albimanus* in relation to riparian habitats in Belize, Central America. *Journal of vector ecology: journal of the Society for Vector Ecology* 27: 21-30.

Rodriguez, G. & Hobbs Jr, H. 1989. Freshwater crabs associated with caves in Southern Mexico and Belize, with descriptions of three new species (Crustacea: Decapoda). *Proceedings of the Biological Society of Washington* 102: 394-400.

Schmidt-Rhaesa, A. & Menzel, L. 2005. Central American and Caribbean species of horsehair worms (Nematomorpha), with the description of three new species. *Journal of Natural History* 39: 515-529.

Shelley, A.J., Hernandez, L.M. & Penn, M. 2002. A biosystemic revision of the blackflies (Diptera: Simuliidae) of Belize, Central America. *Bulletin of the Natural History Museum: Entomology* 71**:** 135-271

Shepard, W.D. 2004. Lotic regions of Belize and their aquatic byrrhoid Coleoptera (Dryopidae, Elmidae, Lutrochidae, Psephenidae, Ptilodactylidae). *The Pan-Pacific Entomologist* 80: 53-59.

Soto-Adames, F.N. & Taylor, S.J. 2013. The dorsal chaetotaxy of *Trogolaphysa* (Collembola, Paronellidae), with descriptions of two new species from caves in Belize. *ZooKeys*: 1-35.

Spangler, P.J. & Perkins, P.D. 1989. A revision of the Neotropical aquatic beetle genus *Stenhelmoides* (Coleóptera: Elmidae). *Smithsonian Contributions to Zoology* 479: 1-63.

Spangler, P.J. & Santiago-Fragoso, S. 1992. The aquatic beetle subfamily *Larainae* (Coleoptera: Elmidae) in Mexico, Central America, and the West Indies. *Smithsonian Contributions to Zoology* 528: 74.

Stafford, P.J., Mcmurry, S.T., Rainwater, T.R., Ray, D.A., Densmore, L.D. & Barr, B. 2003. Morelet's crocodile (*Crocodylus moreletii*) in the Macal River watershed, Maya mountains, Belize. *Herpetological Bulletin*: 15-23.

Stark, B.P. & Kondratieff, B.C. 2004. *Anacroneuria* from Mexico and upper Mesoamerica (Plecoptera: Perlidae). *Monographs of the Western North American Naturalist* 2: 1-64.

Sun, L. & Mccafferty, W. 2008. Cladistics, classification and identification of the brachycercine mayflies (Insecta: Ephemeroptera: Caenidae). *Zootaxa* 1801: 1-239.

Sweeney, B.W., J.M. Battle, J.K. Jackson & Dapkey, T. 2011. Can DNA barcodes of stream macroinvertebrates improve descriptions of community structure and water quality? *Journal of the North American Benthological Society* 30: 195-216.

Tellez, M. & Paquet-Durand, I. 2011. Nematode Infection of the Ventral Scales of the American Crocodile (*Crocodylus acutus*) and Morelet's Crocodile (*Crocodylus moreletii*) in Southern Belize. *Comparative Parasitology* 78: 378-381.

Thompson, F.G. 2011. An annotated checklist and bibliography of the land and freshwater snails of Mexico and Central America, University of Florida, University of Florida.

United Nations Environment Program. 2001. National Environment Summary for Belize.

University of Belize Environmental Research Institute. 2010. National Environmental and Natural Resources Management Research Agenda, Belmopan, Belize.

University of Belize Environmental Research Institute. 2014. National Environmental and Natural Resources Management Research Agenda, 2nd Edition, Belmopan, Belize.

Vinogradova, E.M., Riss, H.W. & Spies, M. 2009. New species of *Tanytarsus* van der Wulp, 1874 (Diptera: Chironomidae) from Central America. *Aquatic Insects* 31: 11-17.

Wildtracks. 2013. Rationalization Exercise of the Belize National Protected Areas System, Ministry of Forestry, Fisheries and Sustainable Development, Belmopan, Belize.

Williams, P. 1971. Some records of Tabaniidae (Diptera) from British Honduras (Belize). *Journal of Medical Entomology* 8: 98-107.

Wright, A.C., Romney, D.H., Arbuckle, R.H. & Vial, V.E. 1959. Land in British Honduras: Report of the British Honduras Land Use Survey Team, Colonial Research Publications 24, 2 vols., London: Her Majesty's Stationery Office.

Wynne, J.J. & Pleytez, W. 2005. Sensitive ecological areas and species inventory of Actun Chapat cave, Vaca Plateau, Belize. *Journal of Cave and Karst Studies* 67: 148-157.

Chironomidae, Diptera

Autor de fotografía: Kenji Nishida

Colombia

Gabriel Roldán[1], María del Carmen Zúñiga[2], Hilldier Zamora[3], Luisa Fernanda Álvarez[4], Gladys Reinoso[5] y Magnolia Longo[6]

[1]Grupo de Limnología y Recursos Hídricos, Universidad Católica de Oriente, Rionegro, Colombia. groldan@uco.edu.co. [2]Grupo de Investigaciones Entomológicas, Universidad del Valle, Departamento de Biología. Cali, Colombia. maczuniga@gmail.com. [3]Grupo de Estudio en Recursos Hidrobiológicos Continentales, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia. hilldier@unicauca.edu.co. [4]Unidad de Gestión Ambiental, Universidad Católica de Oriente, Rionegro, Colombia. gestambiental.jefe@uco.edu.co. [5]Universidad del Tolima, Departamento de Biología, Grupo de Investigación en Zoología, Ibagué, Colombia. greinoso@ut.edu.co. [6]Grupo de Investigación en Limnología, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. mc_longo@hotmail.com

2.1. Resumen

En Colombia los trabajos pioneros sobre los macroinvertebrados acuáticos y su utilización en los estudios de la evaluación de la calidad del agua se iniciaron en la década de 1970 en el departamento de Antioquia. Con la asesoría de especialistas en los diferentes órdenes, varios estudiantes del Programa de Biología de la Universidad de Antioquia, a través de sus trabajos de grado, hicieron importantes aportes para la publicación de la "Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia", la cual fue la base para el desarrollo de la biondicación de calidad de agua en otras regiones del país y Latinoamérica. Entre los grupos que conforman la comunidad de macroinvertebrados, la entomofauna es la que más atención ha recibido, particularmente en cuanto a sus estados inmaduros. Efemerópteros, plecópteros y tricópteros son los órdenes de mayor desarrollo en cuanto al conocimiento de su taxonomía, ecología y relación con la calidad del agua. Sin embargo, el conocimiento es todavía incompleto y hay regiones carentes de información por la falta de recolectas y colecciones de referencia para adelantar estos estudios. Es prioritario profundizar en aquellos grupos con baja resolución taxonómica y falta de conocimiento autoecológico como anélidos, moluscos, ácaros y dípteros, en particular Chironomidae, uno de los taxones de mayor biomasa y distribución en

los ecosistemas acuáticos de la región. Otro aspecto que amerita atención es la asociación de las formas inmaduras con sus correspondientes adultos. El índice BMWP es muy popular en Colombia y, aunque existen algunas adaptaciones a nivel regional, para la validez de su aplicación es necesario trabajar en la tipología de los cuerpos de agua donde se aplica, ya que este índice ha sido estandarizado para la evaluación de la calidad del agua en corrientes hídricas de bajo y mediano orden, principalmente de la zona andina. Otras propuestas mediante el uso de macroinvertebrados abarcan diferentes métodos númericos, basados en la determinación de valores de tolerancia de los taxones ante gradientes ambientales, tales como el Índice de Calidad Ecológica (ICERN-MAE) y el método de Lógica Difusa Neuro-Adaptativa (LDN-A). Finalmente, este trabajo discute los avances para cada uno de los grupos de la comunidad de macroinvertebrados en términos de la resolución taxonómica, los aspectos ecológicos, utilización como bioindicadores de la calidad del agua y los problemas y perspectivas a nivel regional.

2.1. Abstract

Pioneering work in Colombia on aquatic macroinvertebrates and their use in studies to evaluate water quality in the Department of Antioquia began in the 1970s. Several students in the Biology Program at the University of Antioquia significantly contributed to the publication of the "Department of Antioquia Guide for the Study of Aquatic Macroinvertebrates," through their graduate work and in consultation with specialists in different orders. This publication served as the basis for developing bioindication of water quality in other regions of the country and Latin America. The macroinvertebrate community includes entomofauna, which is the group that has received the most attention, particularly with regard the immature stages. More is known about the taxonomy and ecology of Ephemeropteras, Plecopteras and Trichopteras and their relationship with water quality. Nevertheless, this knowledge is not yet complete and information in some regions is missing because of a lack of samples and reference collections needed for these studies. It is a priority to obtain more in-depth knowledge about groups with less taxonomic resolution, for which knowledge about their aut-ecology is lacking. These

include Annelida, Mollusca, Hydrachnidia, Diptera, and Chironomidae in particular, a taxon with the largest biomass and distribution in the aquatic ecosystems in the region. Another aspect worth addressing is the association between the immature forms and 6some adaptations exist at the regional level, in order to validate its application work needs to be done on the typology of the water bodies to which it is applied. This is because this index has been standardized for the evaluation of water quality for rivers with low and medium flow, primarily in the Andean region. Other proposals involving macroinvertebrates include different numerical methods based on the determination of values for the tolerance of taxa to environmental gradients, such as the Ecological Quality Index (ICERN-MAE, Spanish acronym) and the adaptive neuro-fuzzy logic (A-NFL) method. Lastly, this work discusses the advances for each one of the groups of macroinvertebrate communities in terms of their taxonomic resolution, ecological aspects, use as bioindicators of water quality and problems and perspectives at the regional level.

2.2. Introducción

Hasta 1990 Colombia ocupaba el cuarto lugar en el mundo después de la Unión Soviética, Canadá y Brasil con el mayor volumen de agua por unidad de superficie. El rendimiento hídrico promedio del país, según los expertos, era de 60 l/km^2, lo que era seis veces mayor que el rendimiento promedio mundial y tres veces el de Sur América. Actualmente el panorama es totalmente diferente. El volumen de agua ha disminuido y su calidad también ha hecho que la disponibilidad de agua en el país sea inferior, esto debido a la tala indiscriminada de los bosques, situación que atañe directamente a los ecosistemas acuáticos y terrestres, de los cuales depende casi en su totalidad la vida de la tierra. A pesar de ser un país privilegiado en materia de recursos hídricos, existen millones de colombianos sin acceso al agua potable y el saneamiento básico (IDEAM 2008, Campuzano *et al.* 2012).

Colombia está ubicada en la esquina noroccidental de Suramérica, entre los 12° 30' N y los 4° 13' S de la línea ecuatorial. Se extiende en un área continental de 1, 141,748 km^2 y 928,660 km^2 de plataforma continental y de mar territorial (figura 1). Posee, además, 1,600 km de costa en el mar Caribe y 1,300 km en el océano Pacífico. La población es de 44, 935,461 habitantes y está dividida político-administrativamente en 32 departamentos y 1,051 municipios (IGAG 2000). Debido a su ubicación geográfica en la zona ecuatorial y a las formas complejas del relieve, el país posee un clima diverso y un amplio mosaico de ecosistemas. Alberga el 10%

de la fauna y la flora mundial. El elemento topográfico más característico es la cordillera de los Andes, situada en la parte central y occidental del país y se extiende de norte a sur a través de casi toda su longitud (Campuzano *et al*. 2012).

Figura 1. Mapa del territorio colombiano (Fuente Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC 2002).

Los Andes están conformados por tres cadenas montañosas principales y paralelas entre sí: la cordillera Oriental, la cordillera Central y la cordillera Occidental. Sobre la costa del Caribe se encuentra una masa montañosa aislada conocida como la Sierra Nevada de Santa Marta, donde el punto más alto (el pico Simón Bolívar) alcanza 5,775 m. Dentro de la cordillera Central se encuentran los picos volcánicos de Huila (5,750 m) y Tolima (5,215 m). Cerca de 240 km al sur del mar Caribe, la cordillera Central desciende hasta zonas cenagosas y reductos de bosque húmedo tropical. Los picos de la cordillera están permanentemente cubiertos de nieve; el nivel de la vegetación en estas montañas se extiende hasta los 3,050 m de elevación. Al este de la cordillera Oriental se encuentran vastas extensiones de tierras bajas tórridas, escasamente pobladas y sólo parcialmente exploradas. La porción meridional de esta región está cubierta por selvas de vegetación espesa y es drenada por el río Caquetá y otros tributarios del río Amazonas. La parte norte de la región, que es la más grande, está formada por enormes planicies conocidas como Los Llanos Orientales y es atravesada por el río Meta y otros tributarios del río Orinoco. Entre las cordilleras hay mesetas elevadas y fértiles valles que drenan a través de los principales ríos del país (IGAG 2000, Campuzano *et al.* 2012).

Otros ríos importantes para las diversas demandas antrópicas son los ríos Magdalena y Cauca. El Magdalena corre hacia el norte, entre las cordilleras Central y Oriental. Tiene una longitud aproximada de 1,538 km y atraviesa casi todo el territorio nacional, antes de confluir en el mar Caribe. El Cauca, con una longitud de 1,350 km también corre hacia el norte, pero entre las cordilleras Occidental y Central, antes de desembocar en el río Magdalena muy cerca de la costa caribe. Al occidente, después de atravesar los Andes, el río Patía, vierte sus aguas al Pacífico.

Con base en la información anterior, en Colombia se distinguen seis regiones naturales: 1) La Andina conformada por tres cadenas montañosas y numerosos valles, es la región con el mayor desarrollo económico y donde vive la mayor parte de la población. 2) La Pacífica al occidente, posee clima cálido y húmedo y está cubierta de bosque tropical. 3) La Caribe en el norte, también de clima cálido pero seco y con un amplio sector de costa. 4) La Orinoquía en el este, con vastas sabanas y terrenos ondulados. 5) La Amazonía en el sur este del país, cubierta por grandes extensiones de selva húmeda tropical y 6) la Insular que comprende el grupo de islas marinas alejadas de las costas continentales, como son el archipiélago de San Andrés y Providencia en el océano Atlántico y las de islas Malpelo y Gorgona en el océano Pacífico (figura 2).

La ubicación geográfica, la variada topografía y el régimen climático que caracterizan el territorio colombiano, han determinado que éste posea una de las mayores ofertas hídricas del planeta. Sin embargo, esta oferta no está distribuida homogéneamente en todo el territorio y está sometida a fuertes variaciones que determinan la disponibilidad en el recurso hídrico. La riqueza hídrica del país se manifiesta en su extensa red fluvial que es tanto superficial como subterránea, así como el alto número de cuerpos de agua leníticos y a la presencia de amplias extensiones de humedales en general. La presencia de altas montañas, de abundantes precipitaciones pluviométricas, de extensas sabanas y selvas húmedas, junto con su ubicación estratégica, caracterizan el territorio colombia-

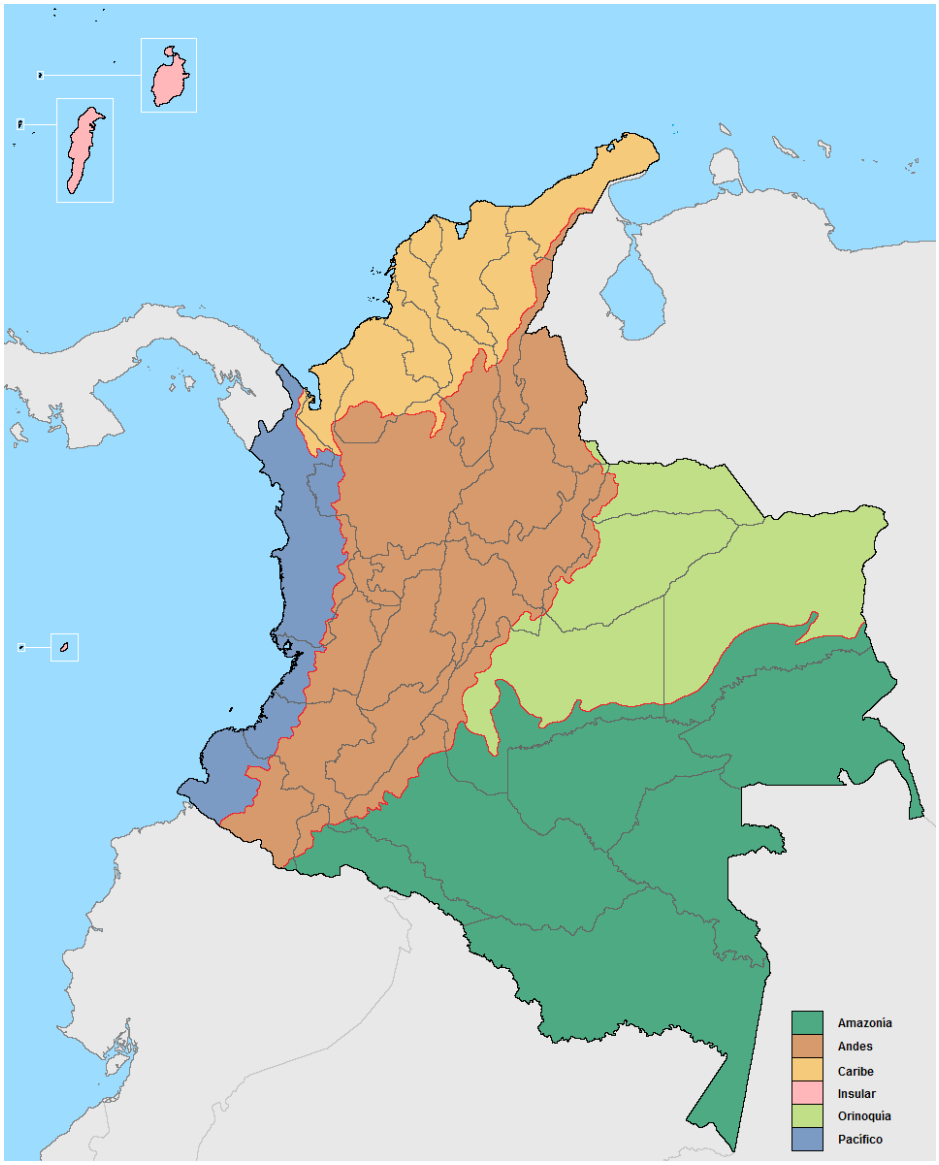


Figura 2. Mapa de las regiones naturales de Colombia (Fuente Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC 2002).

no y determinan la existencia de ecosistemas con un potencial hídrico valioso y con sistemas complejos de regulación. Este gran potencial hídrico es aprovechado para una serie de actividades antrópicas que generan efectos sobre el ciclo hidrológico y en particular en la calidad del agua (Campuzano *et al*. 2012).

Colombia cuenta con al menos 737,000 cuerpos de agua entre ríos, pequeñas corrientes o quebradas, lagos, lagunas y ciénagas, entre otros humedales (IDEAM 2008). En promedio cada año caen 3,400 km³ de agua, se evaporan 1,100 km³ y 2,300 km³ se transportan por escorrentía. Si se asume que el país es ca-

paz de retener en sus dispositivos de abastecimiento 40% de esta oferta, en efecto Colombia contaría con 1,150 km³/año de la oferta hídrica total superficial. La capacidad de los sistemas de abastecimiento y suministro de agua aún no alcanzan ese porcentaje con respecto a la oferta de agua. La oferta de agua más frecuente (oferta modal) para el territorio colombiano alcanza la cifra de 1,910 km³/año, mientras que en eventos extremos (oferta en año seco) no supera los 1,240 km³/año (IDEAM 2010).

2.3. Estado del conocimiento sobre los macroinvertebrados acuáticos

Fue en la década de 1970 cuando se iniciaron los primeros trabajos de macroinvertebrados acuáticos en Colombia (Roldán *et al*. 1973, Pérez y Roldán 1978). Las identificaciones preliminares en esta época se realizaron con base en las claves disponibles, desarrolladas en su mayoría por especialistas norteamericanos y europeos. Una vez hecho el primer reporte a especialistas de los Estados Unidos de Norte América, se encontró que la mayoría del material estaba mal identificado, pues las claves de estos autores estaban hechas para zonas templadas. Hubo que elaborar claves para el Neotrópico con base en las recolectas hechas en el territorio colombiano y para ello se contactó a investigadores que ya conocían sobre macroinvertebrados tropicales y se les solicitó su colaboración. En la sección de agradecimientos del manuscrito se detallan los nombres e instituciones de aquellos especialistas que aceptaron de manera entusiasta su participación en este ambicioso proyecto.

Al inicio de la década de 1980 y con el apoyo de un grupo de investigadores americanos se comenzó la elaboración de claves taxonómicas para cada uno de los grupos de macroinvertebrados presentes en Colombia. En este proyecto se convocó a los estudiantes del Programa de Biología en la Universidad de Antioquia, quienes aportaron a través de sus trabajos de pregrado valiosa información al conocimiento de los diferentes órdenes de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos. Fue así como se publicó la "Guía para el Estudio de los Macroinvertebrados Acuáticos del Departamento de Antioquia" (Roldán 1988), trabajo que sirvió de referencia para el inicio de los estudios de esta comunidad en diferentes regiones de Colombia y en otros países de Centro América y, en general, latinoamericanos. En la última década la taxonomía de varios grupos sufrió modificaciones y revisiones y se establecieron nuevos taxones, razón por la cual el documento en referencia se encuentra en proceso de actualización con la colaboración de diferentes investigadores nacionales y expertos en los diferentes órdenes que conforman la comunidad de macroinvertebrados.

2.3.1 Estudios taxonómicos

En general, el conocimiento de los aspectos taxonómicos y ecológicos de los macroinvertebrados de los ecosistemas acuáticos es todavía incompleto en Colombia. Los grupos de mayor utilización en evaluaciones de la calidad del agua corresponden a taxones de la entomofauna como efemerópteros, tricópteros, plecópteros y coleópteros. La información derivada

de otros grupos, en la mayoría de los casos, se reduce a especies cosmopolitas de uso muy genérico, con un conocimiento bastante limitado de su taxonomía, distribución y autoecología, como es el caso de los dípteros, los oligoquetos y los hirudineos. A continuación se hace una síntesis de la diversidad de los grupos que conforman la comunidad de macroinvertebrados de mayor utilización en bioindicación de calidad de agua en la región.

Filo Nematoda– No se cuenta con información para este grupo.

Filo Nematomorpha –No hay información disponible, excepto los registros del género *Neochordodes* (Chordodidae) en aguas muy limpias en la cabecera del río Medellín (Roldán *et al.* 1973) y la familia Gordiodea en sistemas de aguas prístinas en la Isla Gorgona (Longo *et al.* 2014)

Filo Platyhelmintes -Aunque muy abundantes en Colombia, desde aguas limpias a poco contaminadas, a la fecha no hay un estudio sistemático del grupo para la región. La escasa información disponible está relacionada con algunos registros esporádicos, dispersos en la literatura científica. Las primeras citas de los turbelarios de agua dulce en Colombia fueron hechas por Fuhrmann (1914), Furmann y Mayor (1914) y Ball (1969, 1980). *Dugesia* (Planariidae) es conocida para los ríos Medellín y Rionegro en aguas poco contaminadas (Roldán *et al.* 1973, Pérez y Roldán 1978) y *Girardia cameliae*, *G. paramensis* y *G. tigrina* (Dugesiidae), fueron identificadas en 22 sistemas acuáticos del centro y sur oriente del departamento de Antioquia (Muñoz y Vélez 2007).

Filo Annelida -Es un grupo complejo y poco conocido no solo en Colombia sino a nivel sudamericano, a pesar de su alta biomasa y densidad de población en los ambientes acuáticos ricos en carga orgánica residual y pobres en niveles de oxígeno disuelto. Los primeros registros de la clase Oligochaeta fueron hechos por Michaelsen (1913-1914) y la única clave para las familias Naidae y Tubificidae presentes en Colombia fue realizada por Gaviria (1993). *Tubifex* (Tubificidae) es el género registrado con mayor frecuencia en listados generales sobre la composición de los macroinvertebrados y en evaluaciones sobre la calidad del agua y hay un importante registro de la presencia de géneros de las clases Arhynchobdellida, Rhynchobdellida y Tubicida en sistemas pericotinentales del Caribe y en Isla Providencia (Longo *et al.* 2014). Argentina y Brasil son los países con el mayor número de estudios, los cuales sirvieron de base a Marchese (2009) para la elaboración de una clave taxonómica para los oligoquetos sudamericanos. Esta información es útil para mejorar la resolución taxonómica de los trabajos relacionados con el grupo en Colombia.

La subclase Hirudinea es un grupo que se encuentra principalmente en ambientes acuáticos degradados, ricos en carga orgánica residual y con baja disponibidad de oxígeno disuelto. No hay estudios taxonómicos en el país y la información disponible se encuentra dispersa en listados de macroinvertebrados o en diferentes tipos de documentos relacionados con la evaluación de calidad de agua. Los primeros reportes de hirudíneos en ecosistemas acuáticos de diferentes regiones de Colombia, incluida la zona altoandina y los páramos, fueron hechos, entre otros autores, por Weber (1913) y Ringuelet (1972, 1974, 1975).

Filo Arthropoda

Subfilo Chelicerata

Clase Arachnida

Orden Trombidiformes – (Hydrachnidia) – No se dispone de un estudio sistemático de este taxón para Colombia. Algunos registros pioneros de los ácaros acuáticos del país fueron hechos por Walter (1912), Lundblad (1953) y Viets (1956). La escasa información del grupo se encuentra dispersa o en listados de la comunidad de macroinvertebrados. Recientemente, Rosso de Ferradás y Fernández (1995, 2005, 2009) publicaron un listado de las especies con datos biogeográficos y claves taxonómicas ilustradas para las principales familias y géneros de los ácaros acuáticos (Hydrachnidia) de Sur América. Esta información es útil para mejorar la resolución taxonómica de los trabajos relacionados con el grupo en Colombia.

Subfilo Crustacea

Clase Malacostraca

Orden Amphipoda – Como en el caso del orden anterior, no hay un estudio sistemático del taxón para Colombia y la escasa información disponible está dispersa en listados de macroinvertebrado y en la llamada "literatura gris" de acceso muy retringido. Watling (2003), reportó una nueva especie de *Hyalella* y Peralta y Grosso (2009) elaboraron claves taxonómicas para la identificación de los grupos más representativos de Crustacea de aguas dulces de Sur América, incluido Amphipoda.

Orden Decapoda - En el país hay alguna información disponible sobre este grupo de macroinvertebrados. Rodriguez (1972) revisó los Brachyura-Trichodactylidae de Venezuela y Colombia; Rodriguez (1985) y Rocha (1994) evaluaron los decápodos Pseudothelphusidae del país y Arteta-Bonivento (2009) estudiaron los cangrejos en el delta del río Ranchería. Campos y Rodriguez (1985) determinaron una nueva especie de *Neostrengeria* (Crustacea: Decapoda: Pseudothelphusidae) y la distribución geográfica del género. Otros trabajos con información de Crustacea de Colombia están citados en von Prahl (1988), quien elaboró un catálogo de cangrejos; Campos (2003) realizó la revisión del género *Hypolobocera* (Decapoda: Brachyura: Pseudothelphusidae) y Valencia y Campos (2007) evaluaron el género *Macrobrachium* (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae). Campos y Guerra (2008) establecieron la propuesta de sinonimia para las especies de cangrejos dulceacuícolas *Hypolobocera solimanie* e *Hypolobocera triangula.* Peralta y Grosso (2009) elaboraron claves taxonómicas para la identificación de los grupos más representativos de Crustacea de aguas dulces de Sur América (Syncarida, Amphipoda y Decapoda), información que incluye algunos taxones que se encuentran en Colombia.

Subfilo Hexapoda

Clase Collembola – No se cuenta con información sobre especies dulceacuícolas de este grupo para Colombia.

Clase Insecta

Incluye un número importante de órdenes ampliamente distribuidos en Colombia, tanto en ecosistemas loticos como lénticos, desde zonas pristinas, hasta las zonas bajas de los ríos e incluso en sus desembocaduras. Se encuentran asociados a diversos sustratos, especialmente roca y hojarasca.

Orden Ephemeroptera -Este taxón es uno de los que cuenta con el mayor número de trabajos en el país. Sin embargo, a pesar de ser de amplia distribución en diferentes tipos de ecosistemas, los aspectos taxonómicos del grupo son incompletos, particularmente a nivel de imagos, ya que en la región reciben mayor atención los estados inmaduros. En varias regiones no se dispone de información o ésta es muy limitada por la falta de recolectas de campo e inventarios y colecciones de referencia. Los primeros estudios en Colombia se realizaron en el departamento de Antioquia, con énfasis en su taxonomía y distribución en diferentes gradientes altitudinales (Roldán 1980, 1985, 1988). Posteriormente, varios autores contribuyeron en al avance del conocimiento del órden en varias regiones, mediante el registro y la descripción de nuevos géneros y especies, particularmente de las familias Leptohyphidae, Baetidae, Leptophlebiidae y Polymitarciydae (Alba-Teredor y Mosquera 1999, Domínguez *et al*. 2002, 2006, 2009, Domínguez y Zúñiga 2003, 2009, Camargo y Rozo 2003, Molineri 2010, Molineri *et al.* 2002, 2011, Molineri y Zúñiga 2004, 2006, Gutiérrez y Reinoso 2010, Salinas *et al.* 2011,2012, Dias *et al.* 2011a,b, Forero *et al.* 2013, Forero y Reinoso 2013, García *et al.* 2013, Gutiérrez *et al.* 2013).

La fauna de Ephemeroptera conocida en la actualidad se cataloga en nueve familias (Baetidae, Caenidae, Coryphoridae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Leptohyphidae, Leptophlebiidae, Oligoneuriidae y Polymitarcyidae), 53 géneros y 75 especies. Baetidae, Leptophlebiidae y Leptohyphidae son las familias de mayor distribución y diversidad y es la región natural andina la que cuenta con el mayor número de registros específicos (Roldán 1988, Reinoso 1999, Zúñiga *et al.* 2004, Domínguez *et al.* 2006, Gutiérrez y Reinoso 2010). No existe una clave taxonómica consolidada a nivel nacional para los géneros y especies conocidas en estado de ninfa e imago, pero sí algunos trabajos locales, especialmente en Antioquia (Roldán 1988), Valle del Cauca y la región suroccidental (Rojas *et al.* 1993, González 1993, Zúñiga *et al.* 2004) y Cundinamarca (Muñoz y Ospina 1999, Liévano y Ospina 2007), entre otros autores. A nivel sudamericano se encuentran disponibles dos libros que recopilan la información sobre las ninfas y los imagos citados en la región y en el país, e incluyen aspectos taxonómicos, ecológicos y de distribución, así como también, claves ilustradas para los géneros y las especies conocidas (Domínguez *et al.* 2006, Domínguez y Fernández 2009).

En relación con la asociación de los estados de vida de los efemerópteros, en Sur América únicamente alrededor del 10% de las especies son conocidas en estado de ninfa e imago (Domínguez *et al.* 2006). Esta asociación en general no es fácil, debido a que los imagos o adultos son de vida efímera y las ninfas son sensibles a las condiciones de su desarrollo. Recientemente, Dias *et al*. (2011) y Hoyos *et al.* (2014) utilizaron técnicas de biología molecular (Amplified Fragment Length Polymorphism-AFLP) para asociar a través de perfiles de ADN los estados inmaduros y sus correspondientes imagos. La técnica AFLP se constituye en una valiosa herramienta para la determinación taxonómica del grupo y para realizar las identificaciones a nivel de especie a partir de formas inmaduras, aspecto que con el conocimiento actual solo es posible en algunos taxones de Baetidae y Leptohyphidae.

Orden Odonata - Las ninfas de este orden de insectos tienen una amplia distribución en ecosistemas lóticos y lénticos con diferente nivel de estado ecológico. Sin embargo, para un número considerable de especies y géneros, aún no se conoce la asociación entre las formas inmaduras y su correspondiente estado alado. Los primeras trabajos sobre el orden en el país fueron hechos por Williamson (1918a, b, 1919, 1920), Navás (1935) y Hincks (1934). Otros autores que contribuyeron a incrementar el número de larvas descritas fueron Arango y Roldán (1983), Cruz (1986); Suárez (1987), De Marmels (1982a, b, 2001), Novelo-Gutiérrez (1995a, b), Ramírez (1996), Ramírez y Novelo-Gutiérrez (1999).

Trabajos sobre la taxonomía, la riqueza del orden y su distribución en algunas zonas como Antioquia, Cundinamarca, distrito de Santa Marta, Valle del Cauca, Boyacá, Meta y las regiones del Pacífico y el Atlántico, fueron realizados a partir de extensas revisiones de los diferentes taxones por Arango y Roldán (1983), Cruz (1986), Suárez (1987), Pérez-Gutiérrez (2003), Ceballos (2004); Astudillo (2005), Bermúdez (2005b), Urrutia (2005), Altamiranda-Saavedra *et al.* (2010), Garzón y Realpe (2009), Amaya-Perilla y Palacino-Rodríguez (2012) y Palacino-Rodríguez *et al.* (2012). Palacino-Rodríguez (2009) aportó información adicional a partir de los ejemplares de anisópteros depositados en la colección del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia.

En años recientes, diferentes autores ampliaron el registro y la distribución para Colombia de las familias y géneros conocidos y describieron nuevas especies o larvas asociadas con sus correspondientes estados alados (Pérez-Gutiérrez 2003, 2007, Pérez *et al.* 2007, 2009, Bermúdez y López 2009, Montes-Fontalvo y Pérez-Gutiérrez 2011a, b, Amaya-Vallejo y Novelo-Gutiérrez 2011 y Rojas-Riaño 2011). En Colombia, igual que para Sur América, la mayor riqueza de especies está en las familias Libellulidae (Anisoptera) y Coenagrionadae (Zigoptera). Sin embargo, el conocimiento sobre su distribución, los requerimientos del hábitat y la ecología están poco documentados (von Ellenrieder y Garrison 2009). Zúñiga *et al.* (2013a), reportaron a Libellullidae como la familia de más amplia distribución y abundancia y a Polythoridae como la de menor presencia.

Pérez-Gutiérrez y Palacino-Rodríguez (2011) actualizaron el listado de la odonatofauna de Colombia en 335 especies, 92 géneros y 15 familias. Se encuentran disponibles para pocas regiones del país claves taxonómicas para la identificación de las familias y los géneros de los subórdenes Anisoptera y Zigoptera, las especies de imagos de Megapodagrionidae y para los géneros de Libellulidae (Roldán 1988, Bermúdez 2005a, Montes-Fontalvo y Pérez-Gutiérrez 2011b). En Sur y Centro América hay claves taxonómicas ilustradas para la identificación de los individuos adultos y las larvas (von Ellenrieder y Garrison 2009, Ramírez 2010), información que incluye varios taxones presentes en Colombia.

Orden Orthoptera. – No hay información en Colombia sobre los escasos taxones de este orden asociados a ambientes húmedos.

Orden Plecoptera – Este es otro de los pocos grupos que ha recibido atención en el estudio de la entomofauna acuática en Colombia. Los trabajos realizados especialmente durante la última década han contribuido a incrementar

el conocimiento de la diversidad y la distribución del orden en el país. Plecoptera está representado por la familia Gripopterygidae y el género *Claudioperla,* de reciente registro para los Andes del sur de Nariño (Barreto *et al.* 2005, Zúñiga *et al*. 2009) y Perlidae, con los géneros *Klapalekia* (conocido en los Andes orientales de la Sabana de Bogotá), *Anacroneuria* dominante en Colombia y el Neotrópico y *Macrogynoplax,* registrado únicamente en tierras bajas de la región Amazónica (Zúñiga y Stark 2007; Zúñiga *et al.* 2001, 2007). El registro actual de *Anacroneuria* es de 61 especies, con amplia distribución altitudinal (50-3,600 msnm), la mayoría de ellas citadas para las regiones naturales Andina y Pacífica y en menor proporción para la Caribe, la Amazónica y la región Insular del Pacífico (Isla Gorgona) (Zúñiga *et al.* 2014). A la fecha no hay información disponible a nivel específico para las regiones de la Orinoquía y la región Insular Atlántica, aunque se encuentran algunos registros genéricos (Zúñiga 2010, Ramírez *et al.* 2013, Longo *et al.* 2014).

Varios autores han contribuído en los últimos años al avance del conocimiento del orden, mediante la descripción de nuevas especies y el registro y ampliación del ámbito de distribución para los géneros y las especies, particularmente de la familia Perlidae (Rojas y Baena 1993, Zamora y Rossler 1995, 1997, Stark *et al.* 1999, 2002, 2009, Stark y Zúñiga 2003, Zúñiga y Stark 2002, 2007, Zúñiga *et al.* 2006, 2007, 2009, 2013b, 2014b, Zúñiga 2010; Bohórquez *et al.* 2011, Castillo *et al.* 2013). Claves taxonómicas para la identificación de los estados inmaduros y de los individuos adultos presentes en Sur América y en Colombia se encuentran en Stark *et al*. (1999, 2009) y Froehlich (2009). Sin embargo, no está disponible una clave consolidada a nivel nacional o sudamericano para las ninfas de las especies de *Anacroneuria.* Unicamente alrededor del 10% de las 350 especies conocidas de este género dominante en el Neotrópico se encuentran asociadas con su correspondiente estado adulto (Stark *et al.* 2009, Zúñiga 2010). Esta información es necesaria para la identificación específica a partir de las formas inmaduras, aspecto que con el conocimiento actual es posible solo a partir de los individuos adultos machos.

Orden Hemiptera - Los insectos conocidos popularmente como chinches y cucarachas de agua pertenecen al órden Hemiptera (suborden Heteroptera).Se distinguen, los semiacuáticos (infraorden Gerromorpha) que viven posados en la película superficial del agua y los verdaderos heteróptera acuáticos (infraorden Nepomorpha) que habitan bajo la superficie del agua. En Colombia, los Heteroptera no cuentan con un registro consolidado de las familias, géneros y especies. Los trabajos referidos a las especies y su distribución están orientados a taxones particulares y se encuentran dispersos en la literatura. La información, en la mayoría de casos, es parte de la llamada "literatura gris", de acceso muy restringido. Adicionalmente, varias áreas del país están pobremente muestreadas y es posible que haya deficiencias en las técnicas de colecta. Algunos individuos son pequeños o crípticos y pasan desapercibidos y en algunos casos se omiten hábitats en donde es posible encontrarlos.

Los registros pioneros del grupo fueron hechos por Roback y Nieser (1974) y Álvarez y Roldán (1983), en los llanos orientales y Antioquia, respectivamente. Las familias de mayor frecuencia y riqueza específica son Naucoridae

y Veliidae. Entre los Heteroptera, los Gerromorpha constituyen el grupo mejor conocido en el país. Aristizábal (2002) estudió los taxones de este infraorden en la película superficial del agua. Molano *et al.* (2005) reportaron un listado de las especies de Gerromorpha, con información sobre su distribución geográfica y elevacional. Aportes importantes al conocimiento de los heterópteros con descripciones de nuevas especies fueron hechas por Polhemus y Manzano (1992), Polhemus y Polhemus (1995), Aristizábal (2002), Padilla y Nieser (2003), Padilla (2010a, b, 2012a, b), Molano y Camacho (2006), Rojas *et al.* (2006), Morales-Castaño y Molano-Rendón (2008), Posso y González (2008) y Sites y Alvarez (2010). Esta información está relacionada especialmente con los departamentos de Antioquia, Risaralda, Quindío, Nariño, Valle del Cauca, centro y suroccidente del país.

No hay claves taxonómicas consolidadas a nivel nacional para los grupos que conforman el suborden Heteroptera. Sin embargo, en Roldán (1988) puede consultarse una guía para las familias del departamento de Antioquia. Mazzucconi *et al.* (2009) desarrollaron una guía ilustrada para los Guerromorpha y Nepomorpha sudamericanos que incluye varias familias y géneros que se encuentran en Colombia.

Orden Coleoptera – El Orden Coleoptera es un grupo megadiverso con aproximadamente 30 familias en la zona Neotropical, con representantes acuáticos y semiacuáticos que habitan en la vegetación ribereña. La mayor parte de los coleópteros son terrestres, pero se estima que alrededor de 10,000 especies son acuáticas en alguno de sus estadios de desarrollo. Se encuentran en una amplia gama de ambientes acuáticos continentales. Aunque la riqueza de los coleópteros es mayor en los ambientes lénticos y en la zona de ribera, hay familias que habitan casi exclusivamente en los ambientes lóticos como parte de la comunidad bentónica (Archangelsky *et al.* 2009). En el país, las familias de mayor abundancia y riqueza son Elmidae, Ptilodactylidae y Psephenidae y, en general, están asociadas a aguas de buena calidad ambiental y con alta saturación de oxígeno (Roldán 2003, Arias-Díaz *et al.* 2007, Zúñiga y Cardona 2009, Archangelsky *et al.* 2009). El conocimiento de las formas inmaduras de la fauna de coleópteros en Colombia y la región neotropical, con muy pocas excepciones, es incompleto. La mayor parte de investigadores están dedicados al campo de la sistemática de los individuos adultos y las larvas de varios géneros son desconocidas (Archangelsky *et al.* 2009).

Los primeros trabajos sobre Coleoptera fueron de Wooldrige (1973, 1976), con énfasis en la descripción de nuevas especies y registros de los géneros en el norte del país, cuencas de los ríos Cauca y Magdalena y en el Urabá antioqueño. Otros autores contribuyeron con el conocimiento del grupo en la región Neotropical, afín con la fauna de coleópteros del país (Spangler 1981, Spangler y Santiago-Fragoso 1987, 1992). Posteriormente, Machado (1988), Roldán (1988), Ramos (1997), Manzo (2005, 2006), Caupaz-Flórez *et al.* (2006), Arias Díaz *et al.* (2007) y Gutiérrez *et al.* (2009), aportaron información sobre la riqueza del órden, especialmente en los departamentos de Antioquia, Tolima, Valle del Cauca y en el suroccidente y centro del país. Elmidae fue la familia de mayor diversidad y ámbito de elevación, con predominio de los géneros *Heterelmis*, *Macrelmis*, *Cylloepus*, *Microcylloepus* y *Disersus*. Archangelsky *et al.* (2009) publicaron claves taxonómicas para la identificación de las

larvas y adultos hasta los niveles de familia y género de los principales taxones con representantes acuáticos en Sur América. Varios de estos grupos se encuentran en Colombia.

Orden Megaloptera – La información disponible se encuentra dispersa en listados de macroinvertebrados o en diferente tipo de documentos relacionados con la evaluación de calidad de agua. La familia registrada con mayor frecuencia es Corydalidae y su género *Corydalus* (Roldán 2003, Zúñiga y Cardona 2009). Contreras-Ramos (1998) contribuyó al conocimiento del orden en Colombia con nuevos registros de distribución y con la descripción de nuevas especies de *Corydalus* presentes en el país. Para este órden, en Sur América Contreras-Ramos (2009) elaboró una clave taxonómica ilustrada para larvas y adultos y una sinópsis de las familias Corydalidae y Sialidae, información útil para los taxones que se encuentran en Colombia.

Orden Trichoptera – Conjuntamente con Ephemeroptera y Plecoptera, Trichoptera forma parte de los grupos de la entomofauna de amplia utilización en bioindicación ambiental de la calidad del agua y es de interés en diferentes tipos de estudios taxonómicos y ecológicos en Colombia. Sin embargo, los trabajos están centrados casi exclusivamente en las formas inmaduras y hay muy poca información a nivel de los individuos adultos, destacándose los trabajos de Flint (1991) en el departamento de Antioquia. A pesar de ser un órden de amplia distribución, abundancia y riqueza en los ambientes acuáticos, su conocimiento taxonómico, de distribución y ecológico es incompleto. Con excepción de la región natural Andina, el resto de regiones naturales en el país poseen poca información por la falta de recolectas de campo, colecciones de referencia e inventarios.

Se conocen 208 especies de Trichoptera para Colombia, distribuidas en 13 familias y 45 géneros (Muñoz-Quesada 2000). Hydropsychidae es la familia con mayor distribución y diversidad, seguida de Leptoceridae e Hydroptilidae (Reinoso 1999, Muñoz-Quesada 2004, Guevara-Cardona *et al.* 2005, 2007a, b, Reinoso *et al.* 2007, 2008, Vásquez *et al.* 2010, Vásquez y Reinoso 2012, Vásquez *et al.* 2013, 2014). Las especies de Trichoptera reportadas son nominales y el conocimiento de su distribución y biología es muy incipiente. Adicionalmente, la asociación de los estados inmaduros y sus correspondientes estados adultos, aún es desconocida para la gran mayoría de las especies registradas en el país. Por tal razón, a nivel de individuos inmaduros la máxima jerarquía taxonómica en cuanto a su identificación, sólo alcanza la categoría de género. El individuo adulto-macho es indispensable para definir la identificación de la especie, como sucede con la gran mayoría de los taxones de la entomofauna acuática.

En las últimas décadas varios autores contribuyeron al registro y la descripción de nuevos géneros y especies, particularmente de las familias Hydropsychidae, Leptoceridae e Hydroptilidae (Flint 1978, 1991, Flint y Wallace 1980, Holzenthal 1988a, b, Holzenthal y Flint 1995, Holzenthal y Blahnik 1995, Blanik 1998, Muñoz-Quesada 1997, entre otros). Claves taxonómicas para la identificación de las formas inmaduras y los individuos adultos solo están documentadas regionalmente en Antioquia (Roldán 1988, Flint 1991, Posada y Roldán 2003). A nivel sudamericano y neotropical, la informa-

ción consignada en Angrisano y Sganga (2009) y en Springer (2010) incluye varios taxones que se encuentran en Colombia

Orden Lepidoptera – Los estudios taxonómicos del orden en Colombia, están enfocados en individuos adultos. No hay trabajos relacionados con los estados inmaduros y sus correspondientes individuos alados asociados con ambientes acuáticos. La información disponible se encuentra dispersa en listados de macroinvertebrados acuáticos o en diferente tipo de documentos relacionados con la evaluación de la calidad de agua. En Sur América, Romero y Navarro (2009) aportaron información sobre las familias más comunes con representantes acuáticos y semiacuáticos y elaboraron una clave taxonómica ilustrada para larvas y adultos de estos taxones, varios de ellos presentes en Colombia

Orden Diptera – El orden Diptera, es uno de los grupos megadiversos, cuenta con 126 familias y 30,000 especies citadas para la región Neotropical. Alrededor de 30 familias tienen representantes en el ambiente acuático para sus estados preimaginales. Ocupan una amplia variedad de microhábitats, muy superior a los de cualquier otro órden de insectos (Lizarralde de Grosso 2009). Este órden es el de mayor abundancia, diversidad, amplio espectro ambiental y de elevación en los ecosistemas acuáticos, pero en Colombia es uno de los grupos menos conocidos. En general, la escasa información taxonómica sobre los dípteros acuáticos está relacionada con los registros esporádicos dispersos en la literatura científica o en listados regionales sobre la composición de los macroinvertebrados. Welkenson (1979) reportó los Tabanidae de los departamentos del Chocó, Valle del Cauca y Hogue (1989) describió una nueva especie de Blephariceridae de la Sierra Nevada de Santa Marta. Bedoya y Roldán (1984) realizaron evaluaciones sobre la riqueza y la distribución elevacional de los estados larvarios de familias en el departamento de Antioquia. Lizarralde de Grosso (2009) documentó las principales familias de dípteros acuáticos conocidos para Sudamérica, varias de ellas frecuentes en cuerpos de agua del país.

Por ser el órden de mayor importancia epidemiológica dentro de los insectos, algunos investigadores del área de la entomología médica han hecho valiosas contribuciones al conocimiento de dípteros acuáticos transmisores de enfermedades y pertenecientes a las familias Simullidae, Ceratopogonidae y Psychodidae (Wirth y Lee 1967, Hogue 1989, 1990, Muñoz, 1994a, b, 1996, Coscarón y Muñoz 1995, Coscarón-Arias 2009 y González 2009). Información sobre representantes acuáticos de las familias Simuliidae y Ceratopogonidae se encuentran en la serie Aquatic Biodiversity in Latin America-ABLA (Coscarón y Coscarón-Arias 2007, Coscarón-Arias 2009, Borkent y Spinelli 2007). En Colombia, información sobre la presencia de estados inmaduros en ambientes acuáticos es esporádica en listados regionales acerca de la composición de los macroinvertebados bentónicos o en evaluaciones de calidad de agua. Las familias citadas con mayor frecuencia son Simullidae, Ceratopogonidae, Tipulidae y Psychodidae.

La familia Chironomidae constituye parte importante de la biomasa de los ambientes lóticos y lénticos y tiene un papel determinante en los ciclos tróficos y el procesamiento de los detritus (Ospina *et al*. 1999, Paggi 1999). Sin em-

bargo, su conocimiento taxonómico y ecológico es incipiente. De manera general, la familia se asocia casi de manera exclusiva con ambientes degradados con alta carga orgánica residual y se desconoce su relación con ambientes no alterados y de buena calidad ambiental (Paggi 1999). Se conocen pocos registros a nivel genérico asociados a diferentes tipos de estado ecológico y niveles de conservación de los cuerpos de agua (Meza *et al.* 2012, González *et al.* 2012, Forero *et al.* 2014, Longo *et al.* 2014). Esta situación repercute en una interpretación equivocada de las escalas de los valores en términos de bioindicación, cuando se intenta la utilización de la familia en los diferentes índices bióticos para evaluar la calidad del agua. Los estudios de la taxonomía, la diversidad y la ecología de Chironomidae aún son muy preliminares en Colombia. Abril y Parra (2007) y Posada-García *et al.* (2008) aportaron información sobre la familia con base en el análisis de los huevos, las larvas, las pupas y los individuos adultos de los sistemas lénticos y lóticos del páramo de Frontino (3,500-4,000 msnm).

Con base en información de la sabana de Bogotá, Ospina *et al.* (1999) y Ruíz *et al.* (2000a, b) elaboraron guías taxonómicas ilustradas para la identificación genérica de: Chironominae, Tanypodinae, Podonominae y Diamesinae y Wiedembrug y Ospina-Torres (2005) publicaron una clave para la identificación de exhuvias de Tanytarsini (Chironmidae) neotropicales. Prat *et al.* (2012) publicaron información acerca de esta familia en la zona altoandina del Ecuador, región biogeográfica muy afín con los Andes colombianos. En la actualidad no hay un registro consolidado de los géneros y las especies de los quironómidos conocidos en Colombia. Trivinho-Strixino y Strixino (1995) y Paggi (1998, 2009) aportaron información de las tres subfamilias mejor representadas en Sudamérica (Chironominae, Orthocladiinae y Tanypodinae), con claves para los géneros hasta ahora conocidos en sus tres estados de desarrollo. Varios de estos taxones se encuentran en Colombia.

Filo Mollusca - Los moluscos gasterópodos hacen parte de un filo animal muy diverso en términos de la riqueza de las especies que ocupan una variedad de ambientes dulceacuícolas. Sin embargo, en América del Sur los estudios taxonómicos y de distribución son escasos (Cuezzo 2009). En Colombia no hay un estudio sistemático del grupo y la información disponible está dispersa en la literatura científica o en listados generales y esporádicos sobre la composición de los macroinvertebrados de interés regional. Las familias con registros frecuentes son: Physidae, Planorbidae, Lymnaeidae, Ancylidae, Hidrobiidae, Ampullariidae y Thiaridae (Roldán 1988, 2003, Zúñiga y Cardona 2009).

Los primeros registros los realizon Fuhrmann y Mayor (1914) a partir de su viaje de exploración científica a Colombia. Posteriormente, Patiño-González (Hermano Daniel) (1941), Pilsbry (1955), Prain (1956), Malek y Little (1971), presentaron descripciones de nuevas especies en diferentes familias y Soler (1983) estudió la taxonomía y la ecología de los caracoles pulmonados de la sabana de Bogotá. Gracias al Programa de Estudio y Control de Enfermedades Tropicales (PECET), existe un amplio conocimiento sobre la taxonomía, ecología y distribución de caracoles pulmonados que son hospederos intermediarios de helmintos (Gómez y Velásquez 1999, Ortega *et al.* 2000, Ló-

pez *et al.* 2008, Velásquez *et al.* 2001, Velásquez y Escobar 2001). Longo *et al.* (2005) discutieron aspectos relacionados con la autoecología de dos especies de *Lymnaea.* Cuezzo (2009) desarrolló claves taxonómicas ilustradas para las principales familias y géneros de agua dulce en Sur América, varios de ellos existentes en Colombia.

Colecciones biológicas. El material biológico de los macroinvertebrados colectados en las diferentes zonas geográficas de Colombia está depositado en varias colecciones ubicadas en universidades o institutos de investigacion del país. Estas colecciones cumplen rigurosamente con los protocolos de manejo y el proceso de reacreditacion períodico exigido por el Instituto Alexander von Humboldt, que es la entidad nacional encargada de regular en Colombia las colecciones biológicas. Actualmente está organizando la información de tal manera que ésta sea visible en el portal http://www.sibcolombia.net/web/sib/home.

2.3.2. Estudios ecológicos

Los trabajos pioneros sobre la ecología acuática en Colombia se iniciaron en la década de 1970 con los estudios sobre la contaminación del río Medellín y otras corrientes de agua en el departamento de Antioquia (Roldán *et al.* 1973, Pérez y Roldán 1978, Matthias y Moreno 1983). Los aportes recientes en diferentes regiones han contribuido al conocimiento de la entomofauna acuática en aspectos como sistemática, taxonomía, diversidad, distribución geográfica y en gradientes de elevación, así como la bioindicación de la calidad del agua y las relaciones tróficas y filogenéticas. Los estudios que contribuyeron a identificar y a documentar la diversidad de las familias y de los géneros de varios órdenes y su relación con diferentes elevaciones en el departamento de Antioquia fueron: Roldán (1980, 1985), Ramírez *et al.* (2004) (Ephemeroptera), Arango y Roldán (1983) (Odonata), Alvarez y Roldán (1983) (Hemíptera), Machado (1988) (Coleoptera), Correa *et al.* (1981) (Trichoptera), Bedoya y Roldán (1984) (Díptera). Saavedra (2009), estudió la diversidad de libélulas (Odonata) para dos usos de suelo en un bosque seco tropical. Para este departamento existen otros estudios sobre la composición de los macroinvertebrados acuáticos en general (Quiñonez *et al.* 1998, Posada *et al.* 2000). Estos trabajos fueron complementados con la publicación de la segunda edición del libro sobre Fundamentos de Limnología Neotropical (Roldán y Ramírez 2008) y con el trabajo "Estudio del desarrollo de la limnología en Colombia: cuatro décadas de avances progresivos" (Roldán, 2009).

En el Valle del Cauca y en la región suroccidental, Quintero y Rojas (1987), Rojas *et al.* (1995), Rojas y Zúñiga (1996), Zúñiga *et al.* (1997), Ballesteros *et al.* (1997), Ramos (1997), Mosquera *et al.* (2001), Urrutia (2005), Gutiérrez *et al.* (2009), García *et al.* (2009), Giraldo (2012), registraron con base en muestreos realizados en corrientes de la cuenta alta del río Cauca y en la región Pacífica, aspectos ecológicos, de bioindicación y distribución en gradientes de elevación la fauna de Ephemeroptera, Trichoptera, Odonata y Coleoptera (con énfasis en Elmidae y Staphylinidae). Zúñiga *et al.* (2013a), respecto a Odonata, reportaron las preferencias por los ambientes lénticos para Aeshnidae y, particularmente para *Aeshna,* mientras Libellulidae y Calopterygidae predominaron en los ambientes lóticos. *Argia*

(Coenagrionidae) mostró preferencia por las macrófitas del cauce y *Cannaphila* (Libellulidae) por los sustratos de tipo lodoso en aguas de calidad regular. La composición de la comunidad de los macroinvertebrados bentónicos en las corrientes de bajo orden en los Andes del sur y en el centro del país se evaluó en Chará *et al.* (2009) y Zúñiga *et al.* (2013a).

Zamora (1995, 1996, 2002, 2010) y Serna y Zamora (2004) analizaron la similitud de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos entre los ecosistemas lénticos ubicados en la costa pacífica caucana y en el piedemonte amazónico, así como diferentes aspectos ecológicos y biogeográficos de las corrientes hídricas del departamento del Cauca. En otras regiones del país, Guevara-Cardona *et al.* (2005, 2007a, b), Arias-Díaz *et al.* (2007), Vásquez-Ramos y Reinoso-Flórez (2012), reportaron la estructura y distribución de la fauna de coleópteros y tricópteros y su relación con la calidad del agua en varios cuerpos de agua corriente del departamento del Tolima. Casas-Córdoba *et al.* (2006) documentaron la composición y la distribución de los Ephemeroptera en algunos ríos del Chocó. Rincón (1996, 1999) y Romero *et al.* (2006), se refirieron a la distribución espacial de los tricópteros en los Andes orientales y Rincón y Castro (2008) al efecto del caudal sobre los patrones de emergencia de los individuos de este orden.

Para las zonas altoandinas y de páramo hay poca información disponible. Aun así destacan los trabajos realizados por Posada-García *et al.* (2008) en el páramo de Frontino (Antioquia) y el de Castellanos y Serrato (2008) en el Páramo de Santurbán (Norte de Santander).

En las corrientes hídricas pericontinentales del caribe colombiano, Serna (2003) analizó la estructura del ensamble de Trichoptera y su dinámica espacio-temporal en un gradiente de elevación en la cuenca del río Manzanares. Rúa-García (2012) analizó la composición y la distribución de los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera en cuatro ríos de la Sierra Nevada de Santa Marta. Pérez-Gutiérrez (2003) realizó el estudio biotaxonómico de los odonatos del distrito de Santa Marta.

En cuanto a sistemas lóticos en islas, se cuenta con trabajos en Isla Gorgona (Pacífico oriental) y en Isla Providencia (Caribe). En Gorgona, Zamora *et al.* (1996) realizaron el primer diagnóstico taxonómico y evaluaron la composición de los macroinvertebrados en pequeños cuerpos de agua corriente de esta región insular. Posteriormente, Gómez-Aguirre *et al.* (2009) y Longo *et al.* (2009) trabajaron en la determinación de la composición y la diversidad, así como en el entendimiento de patrones espaciales y temporales de las comunidades de macroinvertebrados y del ensamblaje de insectos presentes en pequeños cuerpos de agua corriente de Isla Gorgona. En esta isla también se analizaron los filtros ambientales que determinan la abundancia y la distribución de los macroinvertebrados diádromos y no diádromos en cada nivel jerárquico del paisaje fluvial (Longo y Blanco 2009, 2014a). Recientemente, también para esta isla, Zúñiga *et al.* (2014a), a partir de individuos adultos, identificaron nuevas especies de los órdenes Plecoptera y Ephemeroptera y adicionaron información al conocimiento de las formas inmaduras, mediante la ampliación del registro de la distribución de varios géneros. En Longo *et al.* (2014) se encuentra una recopilación de los trabajos realizados en Isla Gorgona con nuevos datos de Isla Providencia. En este documento se abarcan temas de composición

y diversidad, así como de organismos fragmentadores y algunos aspectos biogeográficos.

Adicional a la información anterior, se reseñan algunos trabajos ecológicos en relación con el microhábitat, los hábitos alimentarios, los patrones de emergencia y la producción secundaria. Ballesteros (2004), Tamaris-Turizo *et al.* (2007), Tamaris-Turizo y Sierra-Labastidas (2009), Zúñiga (2010) y Bohórquez *et al.* (2011), aportaron al conocimiento de estos tópicos para el orden Plecoptera en la zona andina del suroccidente y del caribe colombiano. Rincón (2002) analizó las preferencias de taxones de insectos acuáticos por los microhábitats disponibles en una pequeña corriente altoandina del oriente del país y Realpe (2009), determinó la diversidad del género *Ischnura* (Odonata: Coenagronidae) y su relación con la elevación y la orogenia de los Andes orientales.

La incidencia de variables hidrobiológicas y ecohidráulicas sobre la distribución y la abundancia de los macroinvertebrados en los cuerpos de agua de la cuenca alta del río Cauca fueron analizados por Vásquez *et al.* (1990) y Velasco *et al.* (2010). Longo *et al.* (2010) evaluaron la respuesta de esta comunidad a los cambios estacionales del caudal en una pequeña corriente hídrica intermitente localizada en un ecosistema de bosque seco (Valle del Patía). Cardona-Duque (2012) desarrolló curvas de idoneidad de hábitat, herramienta valiosa en la estimación y modelación de los caudales ambientales en los ríos andinos de Colombia mediante macroinvertebrados bentónicos como modelo. Variables hidráulicas como velocidad, profundidad y composición del sustrato influyeron en la riqueza, la dominancia, la diversidad y la densidad de las familias y los géneros de la entomofauna presente.

Chará-Serna *et al.* (2010, 2012), Guzmán-Soto y Tamariz-Turizo (2014) mediante análisis de contenido estomacal, evaluaron la dieta de la entomofauna asociada a los paquetes de hojarasca en corrientes de bajo orden en zonas protegidas de la ecorregión cafetera y la Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia) y definieron el papel trófico de esta fauna. La materia orgánica de particula fina y gruesa fue la principal fuente de alimentación para esta comunidad. Los colectores especialistas constituyeron el grupo más abundante, pero en términos de biomasa, los trituradores fueron dominantes (*Phylloicus* y *Leptonema*). En este estudio, los taxones de mayor abundancia fueron los quironómidos y todos los grupos tróficos tuvieron representantes de esta familia.

Quiñonez *et al.* (1998) y Rodríguez-Barrios *et al.* (2007) estimaron la variación en la densidad de la deriva de los macroinvertebrados y el transporte de materia orgánica en términos de la biomasa en una pequeña corriente hídrica de montaña en la zona ritral del río Medellín y en los cerros orientales de Bogotá. En la región Caribe, Tamaris-Turizo (2009), Tamariz-Turizo *et al.* (2013), Rodríguez-Barrios *et al.* (2011) y Aguirre-Pabón *et al.* (2012) evaluaron la biomasa y la variación espacio-temporal de los grupos funcionales alimentarios y la deriva de macroinvertebrados en el río Gaira (Sierra Nevada de Santa Marta). Boyero *et al.* (2011a, b) analizaron los patrones de la distribución a nivel global (incluída Colombia), de los macroinvertebrados detritívoros y los patrones de la diversidad latitudinal, así como sus implicaciones en la pérdida de la biodiversidad en las corrientes ubicadas en las zonas de clima variable.

Longo y Blanco (2014b) identificaron, para Isla Gorgona, los géneros que componen

al gremio fragmentador de hojarasca, compuesto por fragmentadores especialistas y generalistas. Otro resultado relevante fue que las cucharachas del género *Epilampra,* constituyeron el taxón más importante debido a la alta biomasa y al elevado contenido de materia orgánica gruesa en su interior. Otros taxones destacados fueron el camarón *Potimirin,* el quironómido *Stenochironomus,* el efeméroptero *Leptohyphes* y los coleópteros *Macrelmis y Anchytarsus.*

Además de la información acerca del papel trófico de Chironomidae (Diptera), Nazarova *et al.* (2004) realizaron observaciones sobre las deformidades del aparato bucal de las larvas de esta familia en los canales laterales de la Ciénaga grande de Santa Marta, en una comunidad dominada por *Goeldichironomus* y *Chironomus*. La presencia de metales pesados en los sedimentos provenientes de los canales del río Magdalena y un agotamiento nocturno del oxígeno disponible, a causa de la contaminación orgánica, probablemente contribuyeron con el incremento de las deformaciones, con respecto a su aparición en condiciones naturales. Adicionalmente, Monsalve (2004), Abril y Parra (2007) utilizaron los fósiles de esta familia para valoraciones sedimentarias del páramo de Frontino en Antioquia y discutieron su utilización como indicadores del cambio climático. En términos de la calidad del agua, la información referida al papel ecológico en los ambientes conservados necesita profundización, ya que el grupo tradicionalmente es asociado con los ambientes degradados y con altos niveles de contaminación orgánica.

Chará *et al.* (2007, 2008, 2011) evaluaron la transformación del paisaje hacia monocultivos agrícolas y ganaderos en las microcuencas asociadas al río La Vieja (Valle del Cauca). Los resultados de estos trabajos mostraron problemas de degradación del suelo, la pérdida de la diversidad biológica y la disminución de la calidad y cantidad de agua, especialmente en pequeños cuerpos de agua corriente. La deforestación, la expansión de la agricultura y las pasturas, han contribuido a la desprotección total o parcial de las fuentes de agua y con ello al incremento de los problemas de erosión y contaminación. Pedraza *et al.* (2008) y Giraldo *et al.* (2014) evaluaron los cambios en el ambiente acuático asociados a la restauración del corredor ribereño en las corrientes de bajo orden afectadas por la ganadería y su impacto sobre las comunidades bentónicas y las características abióticas. La mayor diversidad de organismos encontrados en las corrientes protegidas por corredores ribereños está relacionada, en parte, con la mayor variedad de sustratos presentes en estos cuerpos de agua y sus zonas de ribera. La heterogeneidad y la disponibilidad del sustrato es uno de los parámetros más relacionados con la variación en la composición de las comunidades acuáticas.

2.3.3. Estado de conservación

Colombia a través de la Ley 165 de 1994 suscribió el convenio de Diversidad Biológica, legislación que sirvió de base para la formulación de la Política Nacional de Biodiversidad en la cual se adquirió el compromiso de conformar y consolidar un Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP). Este sistema comprende el conjunto de áreas protegidas, actores sociales y estrategias e instrumentos de gestión que las articulan, para contribuir como un todo, al cumplimiento de los objetivos de conserva-

ción del país. El SINAP incluye todas las áreas protegidas del órden público, privado o comunitario y se enmarca en el ámbito de la gestión nacional, regional o local (Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sotenible-SINAP 2013).

La Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales (SPNN), es un organismo del sector central de la administración que forma parte de la estructura orgánica del Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), con autonomía administrativa y financiera, encargada del manejo y administración del SPNN y de la coordinación del SINAP. El propósito de la unidad es la de conservar la diversidad biológica y ecosistémica representativa del país, proveer y mantener bienes y servicios ambientales y proteger el patrimonio cultural y el hábitat natural donde se desarrollan las culturas tradicionales como parte del patrimonio nacional. En la actualidad, 56 áreas naturales pertenecientes al SPNN conservan la diversidad de Colombia, uno de los países más diversos a nivel mundial, las cuales representan 9.98% (11, 390,994 ha) del área terrestre y el 1.30% (1, 211,325.78 ha) del área marina (Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sotenible- SINAP 2013) (figura 3).

Desde finales de la década de 1980 y principios de 1990, se empezaron a gestar en Colombia los primeros pasos para la conservación de los humedales del país. Por otra parte, en el plano internacional, el MADS realizó las gestiones políticas y técnicas para que el Congreso de la República y la Corte Constitucional aprobaran la adhesión del país a la Convención Ramsar. Lo anterior se logró mediante la Ley 357 del 21 de enero de 1997, produciéndose la adhesión protocolaria el 18 de junio de 1998 durante la reunión Panamericana de la Convención celebrada en Costa Rica y entrando en vigencia para el país a partir del 18 de octubre de 1998 (Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible-Instituto Humboldt 1999).

El MADS en el año 2001 fijó las normas para una Política Nacional de Humedales Interiores de Colombia, de acuerdo con las pautas de RAMSAR. Los humedales interiores del país son de gran importancia no sólo desde el punto de vista ecológico sino también socioeconómico, por sus múltiples funciones, valores y atributos, los cuales son esenciales para la sociedad en su conjunto. Sin embargo, la alteración de su equilibrio natural por actividades antrópicas tiene un costo económico, social y ecológico.

Considerando a los lagos, los pantanos y turberas, las ciénagas, las llanuras y bosques inundados como humedales, se puede decir que en Colombia el área total de estos ecosistemas es de 20, 252,500 ha (Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible 1999). Las lagunas representan 22,950 ha aproximadamente y las sabanas inundables cubren una superficie total aproximada de 9, 255,475 ha, estas últimas ubicadas en los departamentos del Amazonas, Guainía y Guaviare. Los bosques inundables tienen una superficie aproximada de 5, 351,325 ha, se localizan en la Orinoquía, Amazonia, Bajo Magdalena y, en menor proporción, en la zona pacífica (Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible-Instituto Humboldt 1999). Con base en las seis grandes regiones naturales del país, la región Caribe es de gran importancia por la presencia de 71% del total de humedales con carácter permanente o semipermanente (Cuadro 1).

Figura 3. Áreas de importancia ambiental en Colombia (Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC 2002).

Cuadro 1.Complejo de humedales por regiónes natuales en Colombia.

Región natural	*Complejo de humedales*
Caribe	Río Atrato
	Río Sinú
	Depresión Momposina
	Bajo Magdalena
	Canal del Dique
	Delta Río Magdalena
	Alto Río Cauca
	Magdalena Medio
Pacífica	Interior
Andina	Central
	Oriental
	Macizo Colombiano
Orinoquia	Río Arauca
	Río Meta
	Río Casanare
	Río Vichada
	Río Tomo
	Río Guaviare
	Río Inírida
Amazonia	Río Vaupés
	Río Apaporis
	Río Caguán
	Río Caquetá
	Río Putumayo
	Río Amazonas
Insular	Pequeñas corrientes hídricas (quebradas) temporales y permanentes, lagunas.

2.4. Empleo de los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua

A partir del avance en el conocimiento de los aspectos taxonómicos y ecológicos de los macroinvertebrados acuáticos en Colombia (Roldán 1988) se iniciaron los trabajos en bioindicación de la calidad del agua a mediados de la década de 1970. Los aportes pioneros sobre este tema tuvieron su origen en la Universidad de Antioquia con la publicación de los resultados obtenidos de variables fisicoquímicas y biológicas de varios ríos del departamento (municipios de Anorí, Medellín y Rionegro), con diferente nivel de carga orgánica residual y con agentes contaminantes como detergentes (Roldán 1973,1999, 2001, Pérez y Roldán 1978, Machado 1981, Posada *et al.* 2000, Arango *et al.* 2008, Montoya 2008, Carmona *et al.* 2010). Estos trabajos posteriormente dieron origen a la guía para el uso de la bioindicación del agua en Colombia, mediante el uso del método BMWP/Col (British Monitoring Work Party/Colombia) (Roldán 2003).

En el suroccidente y en el centro del país, Zúñiga (1985,1986) realizó un diagnóstico taxonómico de los macroinvertebrados del río Cali y su relación con la calidad del agua y evaluó, con parámetros fisicoquímicos y biológicos, el impacto de efluentes líquidos de minas de carbón sobre la fauna béntica. En años posteriores, Zúñiga *et al.* (1993, 1994), Zúñiga y Cardona (2009), Zúñiga (2009) y Giraldo *et al.* (2010), aportaron información acerca de los indicadores ambientales de la calidad del agua y el caudal ambiental en diferentes tipos de corrientes de la cuenca alta del río Cauca. En la Universidad del Cauca trabajaron sobre el efecto de las actividades antrópicas, la contaminación orgánica residual, la extracción de arena y los efluentes de los procesos industriales sobre la comunidad de macroinvertebrados en ríos y corrientes de baja magnitud del departamento del Cauca y en la región insular de Gorgona (Castillo y Zamora 1999, Zamora y Sarria 2001, Zamora 1997, 1998, Zamora *et al.* 1996, 2011, 2014, Longo *et al.* 2004).

En otras regiones del país, Reinoso *et al.* (2007, 2008), Vásquez-Ramos y Reinoso-Flórez (2012) registraron los aspectos ecológicos de los macroinvertebrados y la calidad del agua en varias cuencas de origen andino en el departamento del Tolima. Sánchez-Herrera (2005), Sánchez-Herrera y Avendaño- Sánchez (2005) y Contreras *et al.* (2008) trabajaron estos tópicos en ríos del norte de Santander. Guerrero-Bolaño *et al.* (2003) y Manjarréz y Manjarréz (2004) publicaron datos del río Gaira y de otras pequeñas corrientes hídricas de la Sierra Nevada de Santa Marta. Liévano y Ospina (2007) en el río Bahamón (Cundinamarca) y Ortiz (2005) en los cerros orientales de Bogotá. Bernal *et al.* (2005) y Torres *et al.* (2006) en la cuenca del río Otún (Risaralda) y Chocó, respectivamente. En Caldas, el registro taxonómico de los macroinvertebrados y su relación con la calidad del agua en las áreas protegidas fue discutido por Walteros-Rodríguez y Paiba-Alzate (2010), Gonzáles *et al.* (2012) y Meza *et al.* (2012).

Los trabajos de biondicación de la calidad de agua realizados entre la década de 1970 y finales de 1990, se hicieron con base en el diagnóstico taxonómico de los macroinvertebados y su correlación con los parámetros de

tipo fisicoquímico y bacteriológico de las corrientes hídricas de bajo y mediano orden, ubicadas prioritariamente en la región andina del occidente del país. Los indicadores biológicos utilizados fueron aquellos relacionados con la comunidad, como la riqueza de Margalef, la diversidad de Shannon-Weaver y la dominancia, entre otros (Wilham y Dorris 1968). Los métodos de muestreo utilizados en estos trabajos fueron las redes tipo D, Surber y de pantalla, asi como la búsqueda manual en diferente tipo de sustratos.

A finales de la década de 1990, en la Universidad del Valle se organizó un seminario internacional sobre macroinvertebrados acuáticos y la calidad del agua, en donde los investigadores Javier Alba-Tercedor y Narcis Prat discutieron el uso del indicador biótico BMWP en los programas de evalaución ambiental en las cuencas de España (Alba-Tercedor *et al.* 2002). Este método fué adoptado en la región, con una rápida difusión, por su fácil aplicación y el bajo nivel de resolución taxonómica (familia) que requiere la identificación de los macroivertebrados. Complementario al indicador biológico, Behar *et al.* (1997) adaptaron índices de la calidad del agua de uso regional a partir de las variables de tipo fisicoquímico y bacteriológico para los ríos Cali y Meléndez en el Valle del Cauca. Ramírez *et al.* (2000) generaron, a partir de la información regional, indicadores de la contaminación por materia orgánica, mineralización y residuos en suspensión.

Roldán (2003) publicó una guía para el uso de la bioindicación del agua en Colombia mediante el uso del método BMWP/Col (British Monitoring Work Party para Colombia) y varios autores realizaron adaptaciones regionales para este indicador en Cauca, Valle del Cauca, Cundinamarca y Norte de Santander (Zamora 2000, 2007, Riss *et al.* 2002a, b, Sánchez-Herrera 2005, Zúñiga y Cardona 2009). Adicional al método BMWP, se han implementado otras propuestas numéricas que buscan establecer valores de tolerancia de los taxones ante diferentes condiciones ambientales, con lo cual se busca complementar y robustecer los datos de bioindicación. Para ello se han empleado cálculos de promedios ponderados, análisis multivariados y técnicas de modelación matemática. En este sentido, se ha propuesto el Índice de Calidad Ecológica ($ICE_{RN\text{-}MAE}$) (Forero *et al.* 2014), datos ponderados de bioindicación (Riss *et al.* 2002a, b) y el método de Lógica Difusa Neuro-Adaptativa (LDN-A) (Gutierréz *et al.* 2004, 2006).

En términos de la bioindicación de la calidad del agua, las formas inmaduras de la entomofauna tienen un buen potencial, además de ser una comunidad diversa, abundante y de amplia distribución altitudinal en los ecosistemas hídricos de Colombia. *Anacroneuria* (Plecoptera: Perlidae), es uno de los grupos de mayor sensibilidad a la degradación del hábitat y el enriquecimiento de la carga orgánica residual (Roldán 2003, Zúñiga 2010). Entre los géneros de Ephemeroptera sensibles se encuentran *Lachlania* (Ologineuriidae), *Haplohyphes* (Leptohyphidae), *Mayobaetis, Andesiops* (Baetidae) *Atopophlebia* y *Thraulodes* (Leptobhlebiidae), mientras que *Camelobaetidius, Baetodes* (Baetidae), *Leptohyphes*y *Tricorythodes* (Leptohyphidae) son de amplio espectro ambiental. (Roldán, 2003, Zamora 1996, Zúñiga *et al*. 1997, Zúñiga y Cardona 2009).

En el orden Trichoptera, los géneros más sensibles son *Triplectides* (Leptoceridae), *Rhyacopsyche* (Hydroptiliidae), *Chimara* (Philopotamidae), *Marilia* (Odontoceridae) y *Phylloi-*

cus (Calamoceratidae). *Leptonema* (Hydropsychidae) y *Atanatolica* (Leptoceridae) tienen una franja ambiental amplia, con adaptaciones a los ecosistemas con degradación incipiente (Roldán 2003, Zúñiga *et al.* 1993, Zamora 1996, Ballesteros *et al.* 1997, Guevara *et al.* 2007a, b, Zúñiga y Cardona 2009, Forero *et al.* 2013, Forero y Reinoso 2013, Vásquez *et al.* 2013, 2014).

Varias familias de macroinvertebrados acuáticos son utilizadas para la obtención del puntaje del índice BMWP/Col (Cuadro 2). Las cinco clases de calidad del agua, resultantes al sumar la puntuación obtenida por las familias encontradas en un ecosistema determinado, varía de muy crítica a óptima (Cuadro 3). De acuerdo con el puntaje obtenido en cada situación, se clasifican los diferentes niveles de la calidad ambiental del recurso hídrico, asignándoles a cada una de ellas un color determinado para la elaboración de las representaciones cartográficas.

Cuadro 2. Puntajes asignados a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del BMWP/Col (Roldán 2003).

Familias	*Puntajes*
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blephariceridae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gripopterygidae, Lampyridae, Odontoceridae, Perlidae, Polymitarcyidae, Polythoridae, Psephenidae.	10
Coryphoridae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gomphidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Limnephilidae, Oligoneuriidae, Philopotamidae, Platystictidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae.	9
Atyidae, Calamoceratidae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydraenidae, Hydroptilidae, Leptoceridae, Lymnaeidae, Naucoridae, Palaemonidae, Pseudothelpusidae, Trichodactylidae, Saldidae, Sialidae, Sphaeriidae.	8
Ancylidae, Baetidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Crambidae, Dicteriadidae, Dixidae, Elmidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydrobiidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Lestidae, Ochteridae, Pyralidae.	7
Aeshnidae, Ampullariidae, Caenidae, Corydalidae, Dryopidae, Dugesiidae, Hyriidae, Hydrochidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Mycetopodidae, Pleidae, Staphylinidae.	6
Ceratopogonidae, Corixidae, Gelastocoridae, Gyrinidae, Libellulidae, Mesoveliidae, Nepidae, Notonectidae, Planorbidae, Simuliidae, Tabanidae, Thiaridae.	5
Belostomatidae, Chrysomelidae, Curculionidae, Ephydridae, Glossiphoniidae, Haliplidae, Hydridae, Muscidae Scirtidae, Empididae, Dolichopodidae, Hydrometridae, Noteridae, Sciomyzidae.	4
Chaoboridae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Stratiomyidae, Tipulidae.	3
Chironomidae (cuando no es la familia dominante), Isotomidae, Culicidae, Psychodidae, Syrphidae.	2
Haplotaxida, Tubificidae.	1

Cuadro 3. Clasificación de la calidad del agua con base en el indicador BMWP/Col, significado y colores para las representaciones cartográficas (Alba-Tercedor y Sánchez-Ortega 1988).

Clase	Calidad	Valor del BMWP/Col	Significado	Color
I	Buena	≥150	Aguas muy limpias	
		123-149	Aguas no contaminadas	
II	Aceptable	71-122	Ligeramente contaminadas: se evidencian efectos de la contaminación	
III	Dudosa	46-70	Aguas moderadamente contaminadas	
IV	Crítica	21-45	Aguas muy contaminadas	
V	Muy crítica	<20	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica	

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

Hasta el momento el uso de los macroinvertebrados acuáticos para determinar la calidad ambiental de las aguas en Colombia no ha sido reglamentado, pero es aplicada como una norma general del Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible. Entre los lineamientos y las políticas para los diversos aspectos relacionados con el ambiente se encuentran:

- Lineamientos de Política para el Manejo Integral del Agua, 1995.
- Bases para una Política Nacional de la Población y Medio Ambiente, 1998.
- Estrategias para un Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 1994.
- Lineamientos para la Política Nacional de Ordenamiento Ambiental del Territorio, 1998.
- Política para el desarrollo sostenible de los espacios oceánicos e Insulares de Colombia, 2000.
- Política Nacional para Humedales Interiores de Colombia, 1994.
- Política Nacional de Educación Ambiental, 2002.

En el 2004 se propuso una directriz por parte del gobierno para aprobar un nuevo proyecto de Ley del agua, el cual finalmente no prosperó. Ésta tenía como objetivos: 1) fomentar una cultura frente al agua para asegurar su uso eficiente y sostenible; 2) establecer los lineamientos principales para regular su explotación, uso y aprovechamiento; 3) garantizar a la población el acceso al agua en la cantidad y la calidad adecuadas; 4) otorgar competencias administrativas y de control en los distintos niveles con el fin de proteger el recurso hídrico y darle al agua un valor adecuado para garantizar su conservación.

2.6. Perspectivas futuras

Normalización de los protocolos de trabajo. En Colombia no hay protocolos normalizados para los trabajos en la bioindicación de la calidad del agua, aplicados a nivel regional o nacional, que faciliten las comparaciones entre los estudios realizados en las diferentes zonas del país. Es necesario trabajar en la estandarización de estos protocolos de muestreo, con énfasis en los grandes ríos y en los cuerpos de agua lénticos, como los humedales o los grandes lagos. Esta homogeneización e intercalibración de los protocolos de trabajo de campo, el recuento de los organismos, el análisis de laboratorio y el uso de los índices, son imprescindibles para conseguir los resultados y las bases de datos consistentes y comparables. Rueda-Delgado (2002) publicó el Manual de Métodos en Limnología, en donde compiló la información general sobre los diferentes métodos de estudio para la biota de mayor importancia en los ambientes acuáticos.

Los grandes ríos y los ecosistemas lénticos, como los humedales, tienen condiciones hidrológicas y de microhábitats diferentes a aquellas que caracterizan las corrientes hídricas de bajo orden. En tal sentido, es importante además de la estandarización de los protocolos de muestreo, definir los taxones con potencial en la bioindicación ambiental y adaptar los índices y los sistemas de clasificación para estos ecosistemas, en los cuales no es posible la aplicación de los métodos tradicionales utilizados en los pequeños cuerpos de agua corriente de bajo y mediano orden.

La bioindicación debe evaluarse de manera paralela con el análisis de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua para evitar interpretaciones subjetivas, con respecto a la sensibilidad de los diferentes taxones a las perturbaciones del hábitat. La definición de los índices de la calidad fisicoquímica y bacteriológica, adaptados a las condiciones del recurso hídrico regional y la definición de las escalas de gradación y los niveles de clasificación, son herramientas necesarias en la evaluación objetiva de la calidad del agua en los ecosistemas con diferente nivel de intervención antrópica.

Tipología de ecosistemas acuáticos y calibración de los rangos de clasificación

Para la utilización de la bioindicación como método de evaluación de la calidad ecológica de las aguas continentales, es importante la definición de la tipología de los cuerpos de agua en estudio. Debido a que las comunidades de macroinvertebrados pueden variar en ausencia de la contaminación y de manera natural en función de las características geomorfológicas e hidrológicas del hábitat, es necesario establecer las condiciones de referencia (sin alteraciones antrópicas en lo posible), para los diferentes tipos de ecosistemas acuáticos. Adicionalmente, es importante identificar el máximo potencial ecológico para estos ecosistemas, con el fin de fijar los rangos de gradación que permiten la clasificación ambiental en términos de la calidad del agua. Estas condiciones tienen implicaciones en la interpretación de los índices biológicos, cuyos niveles de clasificación ambiental de calidad deben ser distintos en cada caso particular, puesto que las comunidades son diferentes (Bonada *et al.* 2002). En

este sentido, con base en una reunión nacional en 2013, que convocó a 120 profesionales de distintas profesiones que trabajan en torno a los ecosistemas acuáticos, se inicio una clasificación tipológica de los ecosistemas lóticos y lénticos presentes en Colombia (Instituto de Investigación en Recursos Biológicos Alexander von Humboldt 2013).

Uno de los problemas en la utilización de la bioindicación de la calidad del agua en Colombia es el uso indiscriminado de los índices bióticos, tanto en ecosistemas de aguas lóticas como lénticas, de igual manera que en corrientes hídricas de bajo orden como en grandes ríos. Estos ecosistemas tienen características hidrológicas y ecológicas diferentes y una biota adaptada a las condiciones particulares de cada uno de estos ambientes. El índice BMWP es muy popular y, aunque existen algunas adaptaciones de este parámetro biológico a nivel regional, para la validez de su aplicación es importante tener en cuenta la tipología de los cuerpos de agua donde se aplica. Este índice ha sido estandarizado para la evaluación de la calidad del agua en pequeños cuerpos de agua corriente de bajo y mediano orden, principalmente de la zona andina. Para proceder a la adaptación y normalización de los índices bióticos y los rangos de clasificación válidos para su aplicación en los ambientes lénticos en general, es necesario definir los taxones que caracterizan estos cuerpos de agua y su autoecología, especialmente en términos de su sensibilidad a la calidad del agua.

Resolución taxonómica

La implementación y la eficacia de los programas de la bioindicación de la calidad del agua dependen en gran medida del soporte sólido de la taxonomía. Este aspecto es fundamental para garantizar la identificación correcta de los diferentes grupos que pueden suministrar información ecológica, acerca de su respuesta con la calidad ambiental del recurso hídrico. En tal sentido, es importante aunar esfuerzos entre los diferentes grupos que abordan el tema, con el fin de elaborar una guía taxonómica adaptada a la fauna regional.

En Colombia, la información sobre la taxonomía y la ecología de algunos de los grupos entomológicos de mayor diversidad, abundancia y biomasa es aún deficiente, como Diptera y, en particular, de la familia Chironomidae. Esta situación es similar para los órdenes Odonata y Hemiptera (suborden Heteroptera), taxones que podrían suministrar información valiosa desde el punto de vista de la bioindicación, especialmente para los ambientes lénticos en donde su abundancia y diversidad, en general, es mayor que la que se presenta en los ecosistemas de las aguas corrientes. Taxones diferentes a la entomofauna, cuya abundancia y biomasa es muy alta, especialmente en ambientes contaminados y enriquecidos con materia orgánica, carentes de información taxonómica son los gasterópodos y los anélidos, entre otros grupos, cuya pobre resolución taxonómica lleva a generalizaciones e interpretaciones erradas acerca de su potencial como biondicadores de la calidad del agua.

Otro aspecto a tener en cuenta en la bioindicación de los cuerpos de agua corriente es la evaluación de los taxones que caracterizan la comunidad de macroinvertebrados de los grandes ríos, en cuyo caso, los grupos más representativos corresponden a aquellos grupos para los cuales en Colombia la resolución taxonómica e información ecológica es deficiente. El en-

samble de macroinvertebrados de los grandes ríos, en condiciones naturales, es diferente y de menor diversidad que aquella de las corrientes hídricas de bajo y mediano orden. Por tal razón, los índices y, en especial, las escalas de clasificación ambiental no son equivalentes a las que se utilizan en los ríos andinos de menor magnitud. Finalmente, para garantizar el éxito de los programas de evaluación biológica de la calidad del agua y mejorar los sistemas actuales de la bioindicación, es necesario fomentar entre las instituciones académicas y de manejo del recurso hídrico regional, grupos de trabajo y discusiónes permanentes sobre los diferentes temas abordados en este capítulo.

2.7. Conclusiones

El estudio de los macroinvertebrados acuáticos en Colombia y la información disponible en aspectos taxonómicos, ecológicos y de bioindicación de la calidad del agua, tiene diferencias entre los órdenes. Para la entomofauna y, en particular, para los grupos como Efemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, se cuenta con los mayores avances en los aspectos mencionados.

Es necesario profundizar en taxones como los anélidos, los moluscos y los dípteros, especialmente de la familia Chironomidae. Debido a su pobre resolución taxonómica y deficiente conocimiento autoecológico, no es posible una interpretación clara acerca del papel de estos grupos en términos de la bioindicación de la calidad del agua.

En el país han recibido mayor atención las formas inmaduras de la entomofauna acuática, por tal razón, es necesario avanzar en el conocimiento de los individuos adultos. De igual manera se necesita el conocimiento en la asociación de los estados inmaduros y sus correspondientes formas aladas, así como entre machos y hembras.

Es necesario definir una metodología para el estudio de los ecosistemas lénticos y los grandes ríos. En este contexto, deben evaluarse los taxones de la comunidad de los macroinvertebrados que tengan mejor potencial como bioindicadores de la calidad del agua, así como los rangos de clasificación ambiental para estos lugares.

Se requiere impulsar con el gobierno nacional y, en especial con el Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible, la implementación de las normas que promuevan la utilización de los macroinvertebrados como bioindicadores en programas de evaluación ambiental de cuerpos de agua. Esta herramienta es un buen complemento a la información de tipo fisicoquímica y bacteriológica de amplia utilización en Colombia y permitirá un análisis integral del recurso hídrico.

2.8. Agradecimientos

Mencionamos muy especialmente por su valioso aporte y acompañamiento en el estudio de la taxonomía y ecología de los macroinvertebrados acuáticos en Colombia, a los profesores Oliver Flint (Smithsonian Institution, EUA), Dale Habeck (University of Florida, Gainsville, EUA), Charles Hogue (Museo de Historia Natural de los Angeles, EUA), Derek Duckhouse (Universidad de Adelaida, Australia), William Peters, Michel Hubbard, Manuel Pescador y Will Flowers (Universidad de Florida, Tallahassee, EUA); Claudio Froelich (Universidad de São Paulo, Brasil), Axel Bachmann y Silvia Ma-

zzuconi (Universidad de Buenos Aires, Argentina), Paul Spangler (Smithsonian Institution, EUA), Minter Wesfall (University of Florida, Gainsville, EUA), Jürg De Marmels (Universidad Central de Venezuela), Niko Niesser (Universidad de Utrecht, Holanda), Joseph Fitkau (Museo de Zoología de Munich, Alemania), Ingrid Muellerliebanau (Max Plank Institut, Plön, Alemania) y Eduardo Domínguez, (Universidad Nacional de Tucumán, Argentina). Se destacan los aportes a la "Guía para el estudio de los macroionvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia" de los biólogos Luisa Fernanda Alvarez (Hemiptera) María Cecilia Arango (Odonata), Margarita Correa (Trichoptera), Inés Bedoya (Diptera), María Isabel Gómez (Mollusca) y Tito Machado (Coleoptera). A los profesores Narcis Prat (Universidad de Barcelona, España), Javier Alba-Tercedor (Universidad de Granada, España), Niels de Paw de Bélgica, Dean Jacobsen de Dinamarca, entre otros investigadores, por su asesoría e información compartida en términos de la bioindicación de la calidad del agua.

2.9. Literatura citada

Alba-Tercedor, J. y Mosquera, S. 1999. *Caenis chamie:* a new species from Colombia (Ephemeroptera: Caenidae). *Pan-Pacific Entomologist* 75: 61-67.

Abril, R. G. y Parra, L.N. 2007. Macroinvertebrados acuáticos de páramo de Frontino Antioquia-Colombia, con énfasis en Chironomidae. Tesis de Maestría Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. 60 p.

Aguirre-Pabón, J., Rodríguez-B, J. y Ospina-T, R. 2012. Deriva de macroinvertebrados acuáticos en dos sitios con diferente grado de perturbación, Río Gaira, Santa Marta-Colombia. *Revista Intrópica* 7: 9-19.

Alba-Tercedor, J. y Sánchez-Ortega, A. 1988. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes, basado en el de Hellawel 1978. *Limnetica* 4: 51-56.

Alba-Tercedor, J., Cuellar, P.J., Álvarez, M., Avilés, J., Bonada, N., Casas, J., Mellado, A., Ortega, M., Pardo, I., Prat, N., Rieradevall, M., Robles, S., Sáinz Cantero, C.E., Sánchez-Ortega, A., Suárez, M.L., Toro, M., Vidal-Abarca, M.R., Vivas, S. y Zamora-Muñoz, C. 2002. Caracterización del estado ecológico de ríos mediterráneos ibéricos mediante el índice IBMWP (antes BMWP). *Limnetica* 21(3-4):175-185.

Altamiranda-Saavedra, M., Pérez-Gutiérrez, L.A. y Gutiérrez-Moreno, L.C. 2010. Distribución y respuesta de la comunidad de larvas de odonatos (Insecta: Odonata) a la disponibilidad de sustratos en una ciénaga del Departamento del Atlántico, Colombia. *Caldasia* 32(2): 399-410.

Álvarez, L.F. y Roldán, G. 1983. Estudio taxonómico y ecológico de los hemípteros a diferentes pisos altitudinales en el Departamento de Antioquia. *Actualidades Biológicas* 12(44): 31-45.

Amaya-Perilla, C y Palacino-Rodríguez, F. 2012. An update list of the dragonflies (Odonata) of Meta department (Colombia) with forty six new department records. *Bulletin of American Odonatology* 11(2): 29-38.

Amaya-Vallejo, V. y Novelo-Gutiérrez, R. 2011. The larva of *Palaemnema mutans* Calvert 1931 (Odonata: Platystictidae). *Zootaxa* 3049: 59-63.

Angrisano, E.B. y Sganga, J.V. 2009. Trichoptera. Pp. 255-307. En: Domínguez, E. y Fernández, H. (Eds). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo. Tucumán, Argentina.

Arango, M.C. y Roldán, G. 1983. Estudio de las larvas acuáticas del orden Odonata a diferentes pisos altitudinales en el Departamento de Antioquia. *Actualidades Biológicas* 12(46): 91-104.

Arango, M.C., Álvarez, L.F., Arango, G.A., Torres, O.E. y Monsalve, A., 2008. Calidad del agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda, San Luis, Antioquía. *Revista Escuela de Ingeniería de Antioquía* 9: 181-186.

Archangelsky, M., Manzo, V., Michat, M.C. y Torres, P.L.M. 2009. Coleoptera. Pp. 411-468. *En*: Domínguez, E. y Fernández, H. (Eds.). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Primera Edición. Fundación Miguel Lillo, San Miguel de Tucumán, Argentina.

Arias-Díaz, D., Reinoso-Flórez, G., Guevara-Cardona, G. y Villa-Navarro, F.A. 2007. Distribución espacial y temporal de los coleópteros acuáticos en la cuenca del Río Coello (Tolima, Colombia). *Caldasia* 29(1): 177-194.

Aristizábal, H. 2002. Los hemípteros de la película superficial del agua en Colombia. Parte I: Familia Gerridae. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Colección Jorge Álvarez Lleras No 20.* Santafé de Bogotá.

Arteta-Bonivento, R. 2009. Cangrejos en el delta del río Ranchería, Riohacha (Colombia) (Crustacea: Decapoda: Brachyura) *Boletín Científico Museo de Historia Natural* 13 (1): 140 -152.

Astudillo, M.R. 2005. Variación altitudinal de las náyades de los géneros de Odonata (Insecta) en algunos cuerpos de agua del suroccidente colombiano. Tesis de pregrado. Universidad del Valle. Programa de Biología. Santiago de Cali.

Ball, I.R. 1969. An annoted checklist of freshwater Tricladida of the Neartic Neotropical regions. *Candian Journal of Zoology* 47: 59-64.

Ball, I.R. 1980. Freshwater planarians from Colombia; a revision of Fuhrmans' types. *Bijdragen tot Dierkunde* 50: 235-242.

Ballesteros, Y.V. 2004. Contribución al conocimiento del género Anacroneuria (Pecoptera: Perlidae) y su relación con la calidad del agua en el río Riofrío (Valle del Cauca). Tesis de Maestría en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Universidad del Valle. Cali, Colombia.

Ballesteros, Y.V., Zúñiga, M. del C. y Rojas, A.M. 1997. Distribution and structure of the order Trichoptera in various drainages of the Cauca River basin, Colombia, and their relationships to water quality. Pp. 19-23. En: Holzenthal, R.W. y Flint, O. Jr. (Eds.). *Proceedings of the 8th International Symposium on Trichoptera, 1995.* Ohio Biological Survey, Columbus, Ohio, USA.

Barreto, V.G., Reinoso, G., Guevara, G. y Villa, F.A. 2005. Primer registro de Gripopterygidae (Insecta: Plecoptera) para Colombia. *Caldasia* 27: 243-246.

Bedoya, I. y Roldán, G. 1984. Estudio de los dípteros acuáticos en diferentes pisos altitudinales en el Departamento de Antioquia. *Revista Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas* 2(2): 113-134.

Behar, G.R., Zúñiga, M. del C. y Rojas, O. 1997. Análisis y valoración del índice de calidad de agua (ICA) de la Fundación Sanitaria Nacional de los Estados Unidos de Norte América (FSN): caso Ríos Cali y Meléndez. *Revista de Ingeniería y Competitividad* 1(1): 17-27.

Bermúdez, C. 2005a. Clave para los imagos de los géneros de Libellulidae (Odonata: Anisoptera) del Valle del Cauca, Colombia. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle* 6(1): 7-22.

Bermúdez, C. 2005b. Estudio taxonómico de los adultos del suborden Anisoptera (Odonata) del Valle del Cauca, Colombia. Tesis de Grado. Universidad del Magdalena. Santa Marta. Colombia.

Bermúdez, C. y López-Victoria, M. 2009. Primeros registros de libélulas (Odonata: Anisoptera) en la Isla Malpelo, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología* 35(2): 286-287.

Bernal, E., García D., Novoa, M. y Pinzón, A. 2006. Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados de la quebrada Paloblanco de la cuenca del río Otún (Risaralda, Colombia). *Acta Biológica Colombiana* 11(2): 45-59.

Blahnik, R.J. 1998. A revisión on the Neotropical species of the genus *Chimarra,* subgenus *Chimarra* (Trichoptera: Philopotamidae). *Memoirs of the American Entomological Institute* 59: 1-318.

Bohórquez, H., Reinoso, G. y Guevara, G. 2011. Seasonal size distribution of *Anacroneuria* (Plecoptera: Perlidae) in an Andean tropical river. *Revista Colombiana de Entomología* 37(2): 305-312.

Bonada, N., Prat, N., Munné, A., Rieravedall, M., Alba-Tercedor, J., Álvarez, M., Avilés, J., Casas, J., Jáimez-Cuellar, P., Mellado, A., Moyá, G., Pardo, I., Robles, S., Ramón, G., Suárez, M.L., Toro, M., Vidal-Abarca, M.R., Vivas, S. y Zamora-Muñoz, C. 2002. Criterios para la selección de condiciones de referencia en los ríos mediterráneos. Resultados del proyecto GUADALMED. *Limnética* 21(3-4): 99-114.

Borkent, A. y Spinelli, G.R. 2007. Neotropical Ceratopogonidae. *Aquatic Biodiversity in Latin America* (*Aquatic Biodiversity in Latin America*). Vol. 2. Pensoft, Sofia-Moscow.

Boyero, L., Pearson, R., Dudgeon, G., Graca, M.A.S., Gessner, M.O., Albariño, R.J., Ferreira, V., Yule, C.M., Boulton, A.M., Arunachalam, J., Callisto, M., Chauvet, E., Ramírez, A., Chará, J., Moretti., J.F., Goncalves, J.F. Jr., Helson, J.E., Chará-Serna, A.M., Encalada, A.C., Davies, J.N., Lamothe, S., Cornejo, A., Castela, J., Li, A.O.Y., Buria, L.M., Villanueva, V.D., Zúñiga, M.del C. y Pringle, C.M. 2011a. Global distribution of a key trophic guild contrasts with common latitudinal diversity patterns. *Ecology* 92(9): 1839-1848.

Boyero, L., Pearson, R.G., Dudgeon, D., Ferreira, V., Graca, M.A.S., Gessner, M.O., Boulton, A.J., Chaubet, E., Yule, C.M., Albariño, R.J., Ramírez, A., Helson, J.E., Callisto, M., Arunachalam, M., Chará, J., Figueroa, R., Mathooko, J.M., Moretti, M.S., Goncalves, J.F. Jr., Chará-Serna, A.M., Davies, J.N., Encalada, E.A., Lamothe, S., Buria, L.M., Castela, J., Cornejo, A., Li, A.O.Y., Erimba, C.M., Villanueva, V.D., Zúñiga, M. del C., Swan, C.M. y Barmuta, L.A. 2011b. Global patterns of stream detritivore distribution: implications for biodiversity loss in changing climates. *Global Ecology and Biogeography* 21: 134-141.

Camargo, C. y Rozo, M.P. 2003. Colombian Darien Ephemeroptera. Pp. 291-292. En: Gaino, E. (Ed.). *Research Update on Ephemeroptera & Plecoptera.* University of Perugia, Perugia, Italy.

Campos, M. 2003. A review of the freshwater crabs of the genus *Hypolobocera* Ortmann, 1897 (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Pseudothelphusidae), from Colombia *Proceedings of the Biological Society of Washington* 116 (3):754-802.

Campos, M. y Rodríguez, G. 1985. A new species of *Neostrengeria* (Crustacea: Decapoda: Pseudothelphusidae) with notes on geographical distribution of the genus. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 98(3): 718-727.

Campos, M. y Guerra, L. 2008. Propuesta de sinonimia para las especies del cangrejo dulceacuícola *Hypolobocera solimani*e, *Hypolobocera triangula* de Colombia. *Revista de Biología Tropical* 56(3): 987-994.

Campuzano, C.P., Roldán, G., Guhl, E y Sandoval, M. 2012. Una visión del recurso hídrico en Colombia. Pp. 195-225. En: Jiménez, B. y Tundisi, J. (Eds.) *Diagnóstico del Agua en las Américas - IANAS. Foro Consultivo Científico y Tecnológico*, A.C. México, D.F.

Cardona-Duque, W. 2012. Curvas de idoneidad de hábitat para macroinvertebrados bentónicos: una herramienta para la estimación de caudales ambientales. Tesis de Maestría. Universidad del Valle.Ingeniería con énfasis en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Santiago de Cali, Colombia.

Carmona, Y., Herrera, R. y Roldán , G. 2010. Estudio socioeconómico y ambiental de la vereda el Colorado, Municipio de Guarne, Antioquia. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Colección Jorge Álvarez Lleras No 26*. Santafé de Bogotá.

Casas-Córdoba, L., Córdoba-Aragón, K. E., Asprilla-Murillo, S. y Mosquera, Z. 2006. Composición y distribución del Orden Ephemeroptera en los ríos Tutunendo y Catugadó, Quibdó-Chocó (Colombia). *Asociación Colombiana de Limnología -Neolimnos* 1: 92-97.

Castellanos, P.M. y Serrato, C. 2008. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en un nacimiento de río en el páramo de Santurbán, Norte de Santander. *Revista Academia Colombiana de Ciencias* 32: 79-86.

Castillo, S.M. y Zamora, H. 1999. Evaluación del efecto generado por la extracción de arena sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y la calidad físico-química del agua en el río Los Robles, Departamento del Cauca. *Cespedesia* 23(73-74): 79-98.

Castillo, G., Zúñiga, M. del C. y Bacca, T. 2013. El orden Plecoptera (Insecta) del departamento de Nariño, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología* 39(2): 229-236.

Caupaz-Flórez, F., Reinoso, G., Guevara, F.A.y Villa, F.A. 2006. Diversidad y distribución de la familia Elmidae (Insecta: Coleoptera) en la cuenca del río Prado (Tolima, Colombia). *Asociación Colombiana de Limnología-Neolimnos* 1: 106-116.

Ceballos A. 2004.Contribucion al conocimiento y distribución de los odonatos (Insecta: Odonata) en Colombia. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Colombia.

Chará J., Pedraza, G., Giraldo, L.P e Hincapié, D. 2007. Efecto de corredores ribereños sobre el estado de quebradas en la zona ganadera del río La Vieja, Colombia. *Revista Agroforestería de las Américas* 45: 72-78.

Chará, J., Pedraza, G. y Giraldo, L.P. 2008. Corredores ribereños como herramienta de protección de ambientes acuáticos en zonas ganaderas. Pp 111-130. En: Murgueitio, E., Cuartas, C. y Naranjo, J.F. (Eds.). *Ganadería del futuro: Investigación para el desarrollo. Fundación CIPAV*. Santiago de Cali, Colombia.

Chará, J., Zúñiga, M. del C., Giraldo, L.P., Pedraza, G., Astudillo, A., Ramírez, L. y Posso, C.E. 2009. Diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos en quebradas de la cuenca del río La Vieja, Colombia. Pp. 129-142. En: Rodríguez, J.M., Camargo, J.C., Niño, J., Pineda, A.M., Arias, L.M., Echeverry, M.A. y Miranda, C.L. (Eds.) *Valoración de la Biodiversidad en la Ecorregión del Eje Cafetero*. CIEBREG. Pereira, Colombia.

Chará, J., Giraldo, L.P., Chará-Serna, A.M. y Pedraza, G.X. 2011. Beneficios de los corredores ribereños de *Guadua angustifolia* en la protección de ambientes acuáticos en la ecorregión cafetera de Colombia. Efectos sobre la escorrentía y captura de nutrientes. *Recursos Naturales y Ambiente* 61: 60-66.

Chará-Serna, A.M., Chará, J., Zúñiga, M. del C., Pedraza, G.X. y Giraldo, L.P. 2010. Clasificación trófica de insectos acuáticos en ocho quebradas protegidas de la ecorregión cafetera colombiana. *Universitas Scientiarum* 15(1): 27-36.

Chará-Serna, A.M., Chará, J., Zúñiga, M. del C., Pearson, R.G. y Boyero, L. 2012. Diets of leaf litter associated invertebrates in three tropical streams. *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology* 48: 139-144.

Contreras-Ramos, A. 1998. Systematics of the dobsonfly genus *Corydalus* (Megaloptera: Corydalidae). *Thomas Say Publications in Entomology: Monographs.* Lanham.

Contreras-Ramos, A. 2009. Megaloptera. Pp. 233-245. En*:* Domínguez, E. y Fernández, H. (Eds.). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología*. Primera Edición. Fundación Miguel Lillo, San Miguel de Tucumán, Argentina.

Contreras, J., Roldán, G., Arango, A. y Álvarez, L.F., 2008.- Evaluación de la calidad del agua de las microcuencas La Laucha, La Lejía y La Rastrojera, utilizando los macroinvertebrados como bioindicadores. Municipio de Durania, departamento Norte de Santander, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias.* 32 (123): 171-193.

Correa, M., Machado, T. y Roldán, G. 1981. Taxonomía y ecología del orden Trichoptera en el Departamento de Antioquia a diferentes pisos altitudinales. *Actualidades Biológicas* 10(36): 35-48.

Coscarón-Arias, C.L. 2009. Diptera: Simullidae. Pp. 365-382. En: Domínguez, E. y Fernández, H. (Eds). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo. Tucumán, Argentina.

Coscarón, S. y Muñoz, P. 1995. Blackfly novelties from the area near the Páramo de los Valles in the Department of Tolima, Colombia (Diptera: Simuliidae). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias. Exactas Físicas y Naturales* 19 (74): 587-593.

Coscarón. S. y Coscarón-Arias, C. 2007. Neotropical Simuliidae (Diptera: Insecta). *Aquatic Biodiversity of Latin America (ABLA Series)*.Vol. 3. Pensoft Publishers, Sofia, Moscow.

Cruz, L. 1986. Contribución a los estudios taxonómicos de Odonata Zigoptera de Colombia: descripción de una nueva especie de *Cianallagma* (Odonata: Coenagrionidae). *Caldasia* 14(68/70): 743-747.

Cuezzo, M.G. 2009. Mollusca Gastropoda. Pp. 595-630. En: Domínguez, E. y Fernández, H. (Eds). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo. Tucumán, Argentina.

De Marmels, J. 1982a. Cuatro náyades nuevas de la familia Libellulidae (Odonata: Anisoptera). *Boletín de Entomología Venezolana* 2(11): 94-101.

De Marmels, J. 1982b. Dos náyades nuevas de la familia Aeshnidae (Odonata: Anisoptera). *Boletín de Entomología Venezolana* 2(12): 102-106.

De Marmels, J. 2001. *Aeshna* (*Hesperaeschna*) *condor* sp. nov. from the Venezuelan Andes, with a redescription of *A.* (*H.*) *joannisi*, comments on other species, and description of larvae (Odonata: Aeshnidae). *International Journal of Odonatology* 4(2): 119-134.

Dias, L., Bacca, T., Navarro, L., Acevedo, F., Benavides, P. y Fiuza-Ferreira, P.S. 2011a. Association of nymphs and adults of Ephemeroptera (Insecta) using the amplified fragment length polymorphism (AFLP) technique. *International Journal of Limnology* 47: 151-157.

Dias, G.L., Bacca, T. y Ferreira, F.P.S. 2011b. *Tricorythodes caunapi:* a new speies from the rain forest of the colombian pacific (Ephemeroptera: Leptohyphidae). *Revista Colombiana de Entomologia* 37(1): 327-330.

Domínguez, E. y Zúñiga, M. del C. 2003. First generic record and description of a new species of *Ulmeritoides* (Ephemeroptera: Lepophlebiidae) from Colombia. Pp. 43-45. En: Gaino, E. (Ed.). *Research update on Ephemeroptera and Plecoptera*. University of Perugia, Italy.

Domínguez, E. y Zúñiga, M. del C. 2009. First description of the nymph of *Farrodes roundsi* (Traver) (Ephemeroptera: Leptophlebiidae, Atalophlebiinae) with comments on its phylogenetic relationships. *Aquatic Insects* 31 (Suppl. 1): 73-81.

Domínguez, E. y Fernández, H. (Eds.). 2009. *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología*. Primera Edición. Fundación Miguel Lillo. San Miguel de Tucumán, Argentina.

Domínguez, E., Zúñiga, M. del C. y Molineri, C. 2002. Estado actual del conocimiento y distribución del orden Ephemeroptera (Insecta) en la región amazónica. *Caldasia* 24(2): 459-469.

Domínguez, E., Molineri, C., Pescador, M.L., Hubbard, M.D. y Nieto, C. 2006. Ephemeroptera of South America. En: Adis, J., Arias, J.R., Rueda-Delgado, G. y Wantzen, K.M. (Eds.). *Aquatic Biodiversity in Latin America (ABLA Series)* Vol. 2. Pensoft, Sofia, Moscow.

Domínguez, E., Molineri, C. y Mariano, R.R. 2009. Revision of the South American species of *Hagenulopsis* Ulmer and Askola Peters (Ephemeroptera: Leptophlebiidae) with description of six new species. *Zootaxa* 2142: 29-44.

Flint, Jr., O.S. 1978. Studies of Neotropical caddisflies. XXII: Hydropsychidae of the Amazon basin (Trichoptera). *Amazoniana* 6: 373-421.

Flint, Jr. O.S.1991. Studies of Neotropical Caddisflies, XLV: The Taxonomy, Phenology and Faunistics of the Trichoptera of Antioquia, Colombia. *Smithsonian Contributions to Zoology* 520: 1-113.

Flint, Jr. O. y Wallace, J.B. 1980. Studies of Neotropical caddisflies, XXV: the immature stages of *Blepharopus diaphanous* and *Leptonema columbianun* (Trichoptera: Hydropsychidae). *Proceeding of the Biological Society of Washington* 93(1): 178-193.

Forero, C. A. M y Reinoso, F. G. 2013. Estudio de la familia Baetidae (Ephemeroptera: Insecta) en una cuenca con influencia de la urbanización y agricultura: río Alvarado-Tolima. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias* 25: 12-21.

Forero, C. A.M; Gutiérrez, C y Reinoso, F. G. 2013. Evaluación de la calidad del agua del rio Opia (Tolima-Colombia) a través de la fauna de macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos. *Caldasia* 35 (2): 371- 387. 2013.

Forero, L., Longo, M., Ramírez, J.J. y Chalar G. 2014. Índice de calidad ecológica con base en macroinvertebrados acuáticos para la cuenca del río Negro (ICE_{RN-MAE}), Colombia. *Revista de Biología Tropical* 62(2): 233-247.

Froehlich, C.G. 2009. Plecoptera. Pp. 145-166. En: Domínguez, E. y Fernández, H. (Eds.). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología*. Primera Edición. Fundación Miguel Lillo, San Miguel de Tucumán, Argentina.

Fuhrmann, O. 1914. Turbellariés d'eau douce de Colombie. *Mémoires de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles* 5(2): 793-804.

Fuhrmann, O. y Mayor, E. 1914. Voyage d'exploration scientifique en Colombie. *Mémoires de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles* 5(2): 193-201.

García, J. F., Cantera, J., Zúñiga, M. del C y Montoya, J. 2009. Estructura y diversidad de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en la cuenca baja del río Dagua (Andén pacífico vallecaucano-Colombia). *Revista de Ciencias de la Universidad del Valle* 13: 27-48.

García, T.L.F., Hoyos, J.D.C. y Dias, G.L. 2013. Primer reporte de *Cloroterpes* (Ephemeroptera: Leptophlebiidae) para Caldas, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología* 39(1): 164-165.

Garzón, C. y Realpe, E. 2009. Diversidad de Odonata (insecta) en la Reserva Natural Cabildo-Verde (Sabana de Torres-Santander, Colombia), una aproximación hacia la conservación. *Caldasia* 31(2): 459-470.

Gaviria, E. 1993. Claves para las especies colombianas de las familias Naidae y Tubificidae (Oligochaeta, Annelida). *Caldasia* 17(2): 237-248.

Giraldo, L.P. 2012. Diversidad y abundancia de larvas de Trichoptera (Insecta) asociadas a pequeñas quebradas andinas del centro y sur occidente colombiano. Tesis de Maestría. Universidad de Costa Rica. Estudios de Posgrado en Biología. San José, Costa Rica.

Giraldo, L.P., Chará-Serna, A.M., Chará, J.D., Zúñiga, M. del C. y Pedraza, G.X. 2010. *Monitoreo de la calidad del agua con macroinvertebrados de la zona andina colombiana*. *Fundación CIPAV*. Santiago de Cali, Colombia.

Giraldo, L.P., Chará, J., Zúñiga, M.del C., Chará-Serna, A.M. y Pedraza, G. 2014. Impacto del uso del suelo agropecuario sobre macroinvertebrados acuáticos en pequeñas quebradas de la cuenca del río La Vieja (Valle del Cauca, Colombia). *Revista de Biología Tropical* 62 (Suppl. 2): 203-219.

Gómez, M.I. y Velásquez, H.I. 1999. Estudio de los moluscos de agua dulce de la Reserva Ecológica Cerro de San Miguel (Caldas, Antioquia, Colombia). *Actualidades Biológicas* 21(71): 151-161.

Gómez-Aguirre, A., Longo, M. y Blanco, J.F. 2009. Ensamble de macroinvertebrados de las quebradas de la Isla Gorgona: patrones espaciales durante dos períodos hidrológicos contrastantes. *Actualidades Biológicas* 31(91): 161-178.

González, O.R. 1993. Clave para familias de imagos de Ephemeroptera (Insecta) de Colombia. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle* 1(2): 23-31.

González, O. R. 2009. *Introducción al estudio taxonómico de Anopheles de Colombia. Claves y notas de distribución*. Programa Editorial Universidad del Valle. Santiago de Cali, Colombia.

González, S. M., Ramírez, Y.P., Meza, A.M. y Dias, G.L. 2012. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua de quebradas abastecedoras del municipio de Manizales. *Boletín Científico Museo de Historia Natural* 16 (2): 135-138.

Guerrero-Bolaño, F., Manjarrés-Hernández, A. y Nuñez-Padilla, N. 2003. Los macroinvertebrados bentónicos de Pozo Azul (Cuenca del Rio Gaira, Colombia) y su relación con la calidad del agua. *Acta Biológica Colombiana* 8(2): 43-55.

Guevara-Cardona, G., Reinoso, F.G. y Villa-Navarro, N.F. 2005. Estudio del orden Trichoptera en su estado larval en la cuenca del Río Coello, Departamento del Tolima. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas* 17: 59-70.

Guevara-Cardona, G., Reinoso-Flórez, G. y Villa-Navarro, N.F. 2007a. Caddisfly larvae (Insecta: Trichcotera) of the Coello River Basin in Tolima (Colombia): Spatial and temporal patterns and bioecological aspects. Pp. 113-120. En: Bueno-Soria, J., Barba-Alvarez, R. y Armitage, B. (Eds.). *Proceeding of the XIIth International Symposium on Trichoptera*. The Caddis Press. USA.

Guevara-Cardona, G., López-Delgado, E.O., Reinoso-Florez, G. y Villa-Navarro, N.F. 2007b. Structure and distribution of the Trichoptera fauna in a Colombian Andean river basin (Prado, Tolima) and their relationship to water quality. Pp. 129-134. En: Bueno-Soria, J., Barba-Álvarez, R. y Armitage, B. (Eds.). *Proceeding of the XII th International Symposium on Trichoptera*. The Caddis Press. USA.

Gutiérrez, C. y Reinoso, G. 2010. Géneros de ninfas del orden Ephemeroptera (Insecta) del Departamento del Tolima, Colombia: listado preliminar. *Biota Colombiana* 11(1 y 2): 23-32.

Gutiérrez, J. D., Riss, W. y Ospina, R. 2004. Bioindicación de la calidad del agua con macroinvertebrados acuáticos en la sabana de Bogotá, utilizando redes neuronales artificiales. *Caldasia* 26(1): 151-160.

Gutiérrez, J. D., Riss, W. y Ospina, R. 2006. Bioindicación de la calidad del agua en la sabana de Bogotá - Colombia, mediante la utilización de la lógica difusa neuro-adaptativa como herramienta. *Caldasia* 28 (1): 45-56.

Gutiérrez, C., Zúñiga, M. del C., Van Bodegom, P.M., Chará, J. y Giraldo, L.P. 2009. Rove beetles (Coleoptera: Staphylinidae) in Neotropical riverine landscapes: characterizing their distribution. *Insect Conservation and Diversity* 2: 106-115.

Gutiérrez, Y., Gomes-Dias, L. y Salles-Falcão, F. 2013. *Paracloeodes caldensis* (Ephemeroptera: Baetidae), an atypical new species from the Colombian Andes. *Zootaxa* 3721(3): 291-295.

Gutiérrez, J., Zamora, H. y Andrade, C. 2014. Efecto de la actividad antrópica sobre la composición y diversidad de macroinvertebrados acuáticos en el río Cofre (sistema lótico andino colombiano). *Revista de Biodiversidad Neotropical* 4(2): en prensa.

Guzmán-Soto, C. J. y Tamariz-Turizo, C. E: 2014. Hábitos alimentarios de individuos inmaduros de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera en la parte media de un río tropical de montaña. *Revista de Biología Tropical* 62(Suppl.2): 169-178.

Hincks, W.D. 1934. Odonata (Paraneuroptera) from Perú and Colombia. *Entomologist's Record and Journal of Variation* 46: 77-81.

Hogue, Ch. 1989. Description of a new species of net-winged midge (Diptera: Blephariceddidae) from the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Contributions in Sciences.Natural History Museum of Los Angeles County* 340: 1-10.

Hogue, Ch. 1990. A remarkable new species of *Maruina* (Diptera: Psychodidae) from Colombia. *Aquatic Insects* 12 (3): 185-191.

Holzenthal, R.W. 1988a. Studies in Neotropical Leptoceridae (Trichoptera), VIII: the genera *Atanatolica* Mosely and *Grumichella* Müller (Triplectidinae: Grumichellini). *Transactions of the American Entomological Society* 114: 71-128.

Holzenthal, R.W. 1988b. Systematic of Neotropical *Triplectides* (Trichoptera: Leptoceridae). *Annals of the Entomological Society of America* 81: 187-208.

Holzenthal, R.W. y Blahnik, R.J. 1995. New species of *Smicridea* (*Rhyacophylax*) (Trichoptera: Hydropsychidae) from Costa Rica. *Entomological News* 106: 213-223.

Holzenthal, R.W. y Flint, Jr. O.S. 1995. Studies of Neotropical caddisflies. LI: systematics of the Neotropical caddisfly genus *Contulma* (Trichoptera: Anomalopsychidae) *Smithsonian Contributions to Zoology* 575: 1-59.

Hoyos, C.D., García, T.L.F., Rivera, P.F., López, G.G.A., Zúñiga, M. del C. y Dias, G.L. 2014. Contribución a conocimiento de las especies de *Haplohyphes* Allen (Insecta: Ephemeroptera: Leptohyphidae) de Colombia. *Caldasia* 36(1): 125-138.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAG. 2000. *Atlas de Colombia*. Quinta Edición. Imprenta Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá.

Instituto de Hidrología, Metereología y Estudios Ambientales- IDEAM. 2008. Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia. *Estudio Nacional del Agua: relaciones de demanda de agua y oferta hídrica*. Imprenta Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá.

Instituto de Hidrología, Metereología y Estudios Ambientales IDEAM- 2010. *Estudio Nacional del Agua*. Imprenta Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá.

Instituto de Investigación en Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 2013. Documento preparado en el marco del Convenio 13-014 (FA 005 de 2013) suscrito entre el Fondo Adaptación y el IAvH. Primera edición. Santafé de Bogotá, Colombia.

Liévano, L. A. y Ospina, T. R. 2007. *Guía ilustrada de los macroinvertebrados acuáticos del río Bahamón (Cundinamarca)*. Universidad del Bosque e Instituto de Investigación en Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Primera Edición. Santafé de Bogotá, Colombia.

Lizarralde de Grosso, M. 2009. Diptera: generalidades. Pp. 341-364. En: Domínguez, E. y Fernández, H. (Eds). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo. Tucumán, Argentina.

Longo, M. 2012. Gorgona Island streams bioassessment (Tropical Pacific): Hierarchical controls of aquatic insect abundance and composition, richness and spatial arrangement of shredder taxa. Tesis Doctoral, Universidad de Antioquia, Medellín.

Longo, M.y Blanco, J.F. 2009. Sobre los filtros que determinan la distribución y abundancia de los macroinvertebrados diádromos y no-diádromos en cada nivel jerárquico del paisaje fluvial en islas. *Actualidades Biológicas* 31(91): 179-195.

Longo, M., y Blanco, J.F. 2014a. Patterns at multi-spatial scales on tropical island stream insect assemblages (Gorgona Island Natural National Park, Colombia, Tropical Eastern Pacific). *Revista de Biología Tropical* 62(1): 65-83.

Longo M., y Blanco, J.F. 2014b. Shredders are abundant and species-rich in tropical continental-island low-order streams: Gorgona Island, Tropical Eastern Pacific, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 62(1): 85-105.

Longo, M., Ceballos, V.E., Zamora, G. y Vásquez, G. 2004. Diversidad, similitud y carácter bioindicador de los macroinvertebrados acuáticos epicontinentales de tres ecosistemas lóticos en el piedemonte llanero. *Revista Unicauca Ciencia* 8: 15-20.

Longo, M., Zamora, H., Vásquez, V.A. y Velásquez, L.E. 2005. Aspectos ecológicos de *Limnaea* (Mollusca: Limnaeideae) en la región de Aguas Tibias, Municipio de Puracé-Coconuco. *Revista Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas* 17: 47-58.

Longo, M., Gómez-Aguirre, A.M., Blanco, J.F. y Zamora-González, H. 2009. Cambios multianuales y espaciales de la composición y estructura del ensamble de insectos acuáticos en las quebradas perennes de la Isla Gorgona, Colombia. *Actualidades Biológicas* 31(91): 141-160.

Longo, M., Zamora, H., Guisande, G. y Ramírez, J.J. 2010. Dinámica de la comunidad de macroinvertebrados en la quebrada Potrerillos (Colombia): respuesta a los cambios estacionales de caudal. *Limnetica* 29(2): 195-210.

Longo, M., Cortés-Guzmán, D., Contreras, E., Motta, A., Blanco, J.F., Lasso, C. y Ospina R. 2014. En: Blanco, J.F. y Lasso, C. (Eds.). *Cuencas pericontinentales de Colombia, Venezuela, Ecuador y Perú: tipología, biodiversidad, servicios ecosistémicos y sostenibilidad de los ríos, quebradas y arroyos costeros*. Instituto de Investigación en Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. Primera edición. En prensa.

López, L., Romero, J., y Velásquez L. 2008. Aislamiento de Paramphistomidae en vacas de leche y en el hospedador intermediario (*Lymnaea truncatula* y *Lymnaea columella*) en una granja del trópico alto en el occidente de Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 21: 9-18.

Lundblad, O. 1953. Die Hydracarinen fauna von Colombia. *Arkiv för Zoologi* (Ser. 2), 5 (8): 435-585.

Machado, T. 1981. Estudio de las características fiscoquímicas y biológicas del río Anorí y sus principales afluentes. *Actualidades Biológicas* 10(35): 3-19.

Machado, T. 1988. Distribución ecológica e identificación de los coleópteros acuáticos en diferentes pisos altitudinales del Departamento de Antioquia. Informe Final, Universidad de Antioquia (Departamento de Biología) - Colciencias Medellín, Colombia.

Malek, E.A. y Little, M.D. 1971. *Aroapyrgus colombiensis* n. sp. (Gastropoda, Hydrobiidae) snail intermediate host of *Paragonimus caliensis* in Colombia. *Nautilus* 85: 20-26.

Manjarrés, G.G. y Manjarrés, G.P., 2004.- Contribución al conocimiento hidrobiológico de la parte baja de los ríos de la vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Revista Intrópica* (1): 39-50.

Manzo, V. 2005. Key to the South America genera of Elmidae (Insecta: Coleoptera) with distributional data. *Studies of Neotropical Fauna and Environmental* 40(3): 201-208.

Manzo, V. 2006. A review of the American species of *Xenelmis* Hinton (Coleoptera: Elmidae), with a new species from Argentina. *Zootaxa* 1242: 53-68.

Marchese, M.R. 2009. Annelida Oligochaeta. Pp. 551-565. En: Domínguez, E. y Fernández, H. (Eds). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo. Tucumán, Argentina.

Matthias, U. y Moreno, H. 1983. Estudio de algunos parámetros físicoquímicos y biológicos del río Medellín y sus principales afluentes. *Actualidades Biológicas* 12(46): 106-117.

Mazzucconi, S.A., López-Ruf, M.L. y Bachmann, A.O. 2009. Hemiptera: Heteroptera: Gerromorpha y Nepomorpha. Pp. 167-232. En: Domínguez, E. y Fernández, H. (Eds). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo. Tucumán, Argentina.

Meza, A.M., Rubio, J., Dias, L. y Walteros, J. 2012. Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. *Caldasia* 34(2): 443-456.

Michaelsen, W. 1913-1914. Die Olichaeten Columbias. En: Fuhrmann and Mayr, Voyage d'exploration scientifique en Colombie. *Mémoires de la Société Neuchâteloise des* Sciences *Naturelles* 5:202-252.

Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible - Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, 1999. *Humedales Interiores de Colombia: Bases Técnicas para su Conservación y Uso Sostenible*. Santafé de Bogotá.

Ministerio del Ambiente y Desarrrollo Sostenible - Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Colombia. 2013. Disponible en: http://www.parquesnacionales.gov.co/PNN/portel/libreria/php/decide.php?patron=01.11. (Obtenido el 21 de septiembre de 2013).

Molano, F., Camacho, D.L. y Serrato, C. 2005. Guerridae (Heteroptera: Gerromprpha) de Colombia. *Biota Colombiana* 6(2): 163-172.

Molano, F. y Camacho, D.L. 2006. Especies de Gerridae (Heteroptera: Gerromorpha) del Departamento del Quindío. Pp. 370-376. En: Molano, F. y Morales, I.T. (Eds.). *Riqueza biótica quindiana*. Universidad del Quindío, Armenia, Colombia.

Molineri, C. 2010. A cladistic revision of *Tortopus* Needham & Murphy with description of the new genus *Tortopsis* (Ephemeroptera: Polymitarcyidae). *Zootaxa* 2481: 1-36.

Molineri, C. y Zúñiga, M. del C. 2004. *Lumahyphes*, a new genus of Leptohyphidae (Insecta: Ephemeroptera). *Aquatic Insects* 26(1): 19-30.

Molineri, C. y Zúñiga, M. del C. 2006. New species of Leptophyphidae (Insecta: Ephemeroptera) from Colombia with evidence of reproductive time segregation. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 41(2): 139-151.

Molineri, C., Peters, J. y Zúñiga, M. del C. 2002. A new family, Coryphoridae (Ephemeroptera: Ephemerelloidea) and description of the winged and egg stages of *Coryphorus*. *Insecta Mundi* 15(2): 117-122.

Molineri, C., Cuz, P.V. y Emerich, D. 2011. A new species of *Asthenopus* (Ephemeroptera: Polymitarcyidae: Asthenopodinae) from Brasil and Colombia. *Zootaxa* 2750: 33-38.

Montes-Fontalvo, J.M. y Pérez-Gutiérrez, L.A. 2011a. Rediscovery of *Mesagrion leucorrhinum* (Zygoptera: Megapodagrionidae): a formal description of female and ultimate stadium of larva with notes on habits. *International Journal of Odonatology* 14(1): 91-100.

Montes-Fontalvo, J.M. y Pérez-Gutiérrez, L.A. 2011b. *Heteropodagrion croizati* sp. nov. (Odonata: Megapodagrionidae) with a key to the known species of the genus. *Zootaxa* 2810:63-68.

Monsalve, C. A. 2004. Palinología del Holoceno superior en la laguna Puente Largo, Páramo de Frontino, Antioquia, cordillera occidental colombiana. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencas Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia (Medellín).

Montoya, Y.M., 2008. Caracterización de la biodiversidad acuática y de la calidad de las aguas de la quebrada Los Andes, El Carmen de Viboral, Antioquia. *Revista Universidad Tecnológica de Chocó: Investigación, Biodiversidad y Desarrollo* 27 (1): 85-91.

Morales-Castaño, I.T. y Molano-Rendón, F. 2008. Heterópteros acuáticos del Quindio (Colombia): Los infraórdenes Gerromorpha y Nepomorpha. *Revista Colombiana de Entomología.* 34 (1): 121-128.

Mosquera, S., Alba-Tercedor, J. y Zúñiga, M.del C. 2001. *Atopophlebia fortunensis* Flowers (Ephemeroptera: Leptophlebiidae) and *Caenis chamie* (Ephemeroptera: Caenidae). Notes on their biology and ecology. Pp. 157-160, En: Domínguez, E. (Ed.), *Trends in Research in Ephemeroptera and Plecoptera*. Kluwer Academic Plenum Publishers. New York, USA.

Muñoz, P., 1994a. Simúlidos (Diptera: Simuliidae) de la región de Chisacá, Cundinamarca, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales* 19 (73): 393-412.

Muñoz, P. 1994b. Simuliidae (Diptera) de Colombia: Distribución de las especies registradas. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales* 19 (73): 413-437.

Muñoz, P. 1996. *Simulium (Grenieriella) sumapazense* Coscarón y Py-Daniel (Diptera: Simuliidae): descripción del adulto y larva. Redescripción de la pupa. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales* 20(76): 141-148.

Muñoz-Quesada, F. 1997. Five new species and a new record of Costa Rican *Leptonema* Guérin (Trichoptera: Hydropsychidae). *Proceeding of the Entomological Society of Washington* 99: 115-132.

Muñoz-Quesada, F. 2000. Especies del orden Trichoptera (Insecta) en Colombia. *Biota Colombiana* 1(3): 267-288.

Muñoz-Quesada, F. 2004. El Orden Trichoptera (Insecta) en Colombia, II: inmaduros y adultos, consideraciones generales. Pp. 319-349. En: Fernández, F., Andrade, M.G., y Amat, G. (Eds.). *Insectos de Colombia No 3*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. Santafé de Bogotá, Colombia.

Muñoz, D. y Ospina, R. 1999.Guía para la identificación genérica de los Ephemeroptera de la Sabana de Bogotá, Colombia. Ninfas y algunos géneros de adultos. *Actualidades Biológicas* 21(70): 47-60.

Muñoz, M y Vélez, I. 2007. Redescripción y algunos aspectos ecológicos de *Girardia tigrina*, *G. cameliae* y *G. paramensis* (Dugesiidae, Tricladida) en Antioquia, Colombia. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 78: 291- 301, 2007.

Navás, L. 1935. Odonatos de Colombia. *Boletín de la Sociedad Entomológica Española.* 17: 33-38.

Nazarova, L.B., Riss, W., Kahlheber, A. y Werding, B. 2004. Some observations of buccal deformities in chironomid larvae (Diptera: Chironomidae) from the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Caldasia* 26(1): 275-290.

Novelo-Gutiérrez, R. 1995a. La náyade de *Brechmorhoga praecox* (Hagen, 1861), y notas sobre las náyades de *B. rapax* Calvert, 1898, *B. vivax* Calvert, 1906 y *B. mendax* (Hagen, 1861) (Odonata: Libellulidae). *Folia Entomológica Mexicana* 94: 33-40.

Novelo-Gutiérrez, R. 1995b. Náyade de *Brechmorhoga pertinax* (Odonata: Libellulidae). *Anales del Instituto de Biología Universidad Nacional Autónoma de México, serie Zoología* 66(2): 181-187.

Ortega, J., Hurtado, M., Salazar, A., Jimenez, N., Robledo, S., Vélez, I., y Velásquez, L.E. 2000. Epidemiology of Paragonimosis in Colombia. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 94: 661-663.

Ortiz, L.L, 2005. La bioindicación de la calidad del agua: importancia de los macroinvertebrados en la cuenca alta del Río Juan Amarillo, Cerros Orientales de Bogotá. *Umbral Científico* 7: 5-11.

Ospina, T.R., Riss, W. y Ruíz, J.L. 1999. Guía para la identificación genérica de larvas de quironómidos (Diptera: Chironomidae: Orthocladiinae) de la Sabana de Bogotá. Pp. 363-383, En: Amat, G., Andrade, M.G. y Fernández, F. (Eds.). *Insectos de Colombia No 2. Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Colección Jorge Alvárez Lleras No 13*. Santafé de Bogotá, Colombia.

Padilla-Gil, D.N. 2010a. Five new species of *Buenoa* (Hemiptera: Heteroptera: Notonectidae) from Colombia. *Zootaxa* 2411: 22–32.

Padilla-Gil, D.N. 2010b. Two new species of *Martarega* (Hemiptera: Heteroptera: Notonectidae) and a new species of *Tachygerris* from Colombia. *Zootaxa* 2560: 61-68.

Padilla-Gil, D.N. 2012a. Two new species of *Rhagovelia* from Colombia (Hemiptera: Heteroptera: Veliidae) with revised keys to the Colombian species in the *torquata* and *robusta* groups. *Zootaxa* 325:57-63.

Padilla-Gil, D.N. 2012b. *Los hemípteros acuáticos del Municipio de Tumaco (Nariño, Colombia). Guía ilustrada*. Editorial Universitaria-Universidad de Nariño, San Juan de Pasto.

Padilla-Gil, D.N. y Nieser, N. 2003. Nueva especie de *Tachygerris* y nuevos registros de colecta de los Gerridae (Hemiptera: Heteroptera) de Colombia. *Agronomía Colombiana* 21(1-2): 51-57.

Paggi, A.C. 1998. Chironomidae. Pp. 327-337. En: Morrone, J.J. y Coscarón, S. (Eds.). Biodiversidad de Artrópodos Argentino. Una perspectiva biotaxonómica. Ediciones Sur, La Plata, Argentina.

Paggi, A.C. 1999. Los Chironomidae como indicadores de calidad de ambientes dulceacuícolas. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina* 58: 202-207.

Paggi, A.C. 2009. *Diptera: Chironomidae*. Pp. 383-410. En: Domínguez, E. y Fernández, H. (Eds). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo. Tucumán, Argentina.

Palacino-Rodríguez, F. 2009. Dragonflies (Anisoptera: Odonata) of the collection of the Instituto de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Colombia. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle.* 10(1): 37-41.

Palacino-Rodríguez, F. 2010. First records of possible migratory dragonflies in Colombia. *Argia* 22 (3): 9-10.

Palacino-Rodríguez, F., Contreras, N. y Córdoba-Aguilar, A. 2012. Population structure in dry and rainy seasons in *Erythrodiplax umbrata* (Linnaeus 1758) Odonata: Libellulidae. *Odonatologica* 4 (3): 245-249.

Patiño-González J. (Hermano Daniel). 1941 Apuntes sobre algunos moluscos colombianos. *Revista de la Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales* 4: 15-16.

Pedraza, G., Giraldo, L.P. y Chará, J. 2008. Efecto de la restauración de corredores ribereños sobre características bióticas y abióticas de quebradas en zonas ganaderas de la cuenca del río La Vieja, Colombia. *Zootecnia Tropical* 26:1-4.

Peralta, M. y Grosso, L.E. 2009. *Crustacea, Syncarida, Amphipoda y Decapoda*. Pp. 469-496. En: Domínguez, E. y Fernández, H. (Eds). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo. Tucumán, Argentina.

Pérez, G. y Roldán, G. 1978. Niveles de contaminación por detergentes y su influencia en las comunidades bénticas del Río Rionegro (Antioquia). *Actualidades Biológicas* 7(24): 27-36.

Pérez-Gutiérrez, L.A. 2003. Estudio biotaxonómico de los odonatos (Insecta: Odonata Fabricius, 1973) del Distrito de Santa Marta (Magdalena, Colombia). Tesis de pregrado. Universidad del Magdalena, Facultad de Ciencias Básicas, Programa de Biología. Santa Marta, Colombia.

Pérez-Gutiérrez, L.A. 2007. The larvae of *Teinopodagrion caquetanum* De Marmels and *T. vallenatum* De Marmels (Zygoptera: Megapodagrionidae). *Odonatologica* 36(3): 307-313.

Pérez-Gutiérrez, L.A., Monroy-González, J.D. y Realpe-Rebolledo, E.A. 2007. Local assemblage patterns of odonates in Central Choco, Colombian Pacific. *Odonata Biology of Dragonflies* 1: 183-199.

Pérez-Gutiérrez, L.A., Realpe-Rebolledo, E.A. y Velásquez-Vallejo, N.V. 2009. Larval development and growth ratio in *Ischnura cruzi* De Marmels, with description of last larval instar (Zygoptera: Coenagrionidae). *Odonatologica* 38(1): 29-38.

Pérez-Gutiérrez, L.A. y Palacino-Rodríguez, F. 2011.Updated checklist of the Odonata known from Colombia. *Odonatologica* 40(3): 203- 225.

Pilsbry, H.A. 1955. South American land and freshwater mollusks.IX Colombian Species *Lymnaea bogotensis. Proceeding of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 87: 83-88.

Polhemus, J.T. y Manzano, M.R. 1992. Marine Heteroptera of the Eastern Tropical Pacific (Gelastocoridae, Gerridae, Mesoveliidae, Saldidae, Veliidae). Pp. 302-320. En: Quintero, D. y Avello, A. (Eds.). Insects of Panama and Mesoamérica. Oxford University Press.

Polhemus, J.T. y Polhemus, D.A. 1995. A phylogenetic review of the *Potamobates* fauna of Colombia (Hemiptera: Gerridae) with descriptions on three new species. *Proceeding of the Biological Society of Washington* 97(2): 350-372.

Posada, J. A. y Roldán, G. 2003. Clave ilustrada y diversidad de las larvas de Trichoptera en el nor-occidente de Colombia. *Caldasia* 25(1): 169-192.

Posada, J.A., Roldán, G. y Ramírez, J.J. 2000. Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de aguas de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 48: 59-70.

Posada-García, J.A., Abril-Ramírez, G. y Parra-Sánchez, L.N. 2008. Diversidad de los macroinvertebrados acuáticos del páramo de Frontino (Antioquia, Colombia). *Caldasia* 30 (2): 441-445.

Posso, C.E. y González, R. 2008. Gerridae (Hemiptera: Heteroptera) del Museo Entomológico de la Universidad del Valle. *Revista Colombiana de Entomología* 34(2): 230-238.

Prain, T. 1956. On a collection of *Pomacea* from Colombia, with description of a new subspecies. *Journal of Conchology* 24: 73-79.

Prat, N., Acosta, R., Villamarín, C. y Rieradevall, M. 2012. Guía para el reconocimiento de las larvas de Chironomidae (Diptera) de los ríos Altoandinos de Ecuador y Perú. Disponible en: http://www.ub.edu/riosandes/index.php/cera/10-resultados-cera.htm. (Obtenido el 18 de septiembre de 2013).

Quintero, A. y Rojas, A.M. 1987. Aspectos bioecológicos del orden Trichoptera y su relación con la calidad del agua. *Revista Colombiana de Entomología* 13(1): 26-38.

Quiñonez, M., Ramírez, J. y Días, A. 1998. Estructura numérica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos derivadores en la zona de ritral del río Medellín. *Actualidades Biológicas* 20:75-86.

Ramírez, A. 1996. Six new dragonfly larvae of the family Gomphidae in Costa Rica, with a key to the Central American genera (Anisoptera). *Odonatologica* 25(2): 143-156.

Ramírez, A. Odonata. 2010. Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I. *Revista de Biología Tropical.* 58 (Supl. 4): 97-136.

Ramírez, A y Novelo-Gutiérrez, R. 1999. The Neotropical dragonfly genus *Macrothemis*: new larval descriptions and an evaluation of its generic status based on larval stage (Odonata: Libellulidae). *Journal of the North American Benthological Society* 18(1): 67-73.

Ramírez, A., Restrepo, R. y Viña-Viscaíno, G. 2000. Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicaciones. ECOPETROL-IPC, Bucaramanga. *Ciencia, Tecnología y Futuro* 1: 135–153.

Ramírez, J.J., Roldán, G. y Yepes, G.A. 2004. Altitudinal variation of numerical estructure and biodiversity of the taxocenosis of Ephemeroptera in the south, north and central regions of the Department of Antioquia, Colombia. *Acta Limnologica Brasiliensia* 16 (4): 329-339.

Ramírez, J.J., Medina, M., Pérez, C. y Longo, M. 2013. Caracterización ecológica de los sistemas acuáticos muestreados en el año 2013 en las regiones Orinoquía (ventanas Lipa y Tame) y Andina (ventana Paipa) en áreas operativas de Ecopetrol. Documento preparado en el marco del contrato 13-12-067-077PS suscrito entre el Instituto Alexander von Humboldt y la Universidad de Antioquia. Santafé de Bogotá, Colombia.

Ramos, A. 1997. Coleópteros acuáticos y semiacuáticos en cuatro ríos del sur occidente colombiano. Tesis de pregrado. Universidad del Valle, Programa de Biología. Santiago de Cali, Colombia.

Realpe, E. 2009. Diversidad del genero *Ischnura* (Odonata: Coenagronidae) y su relación con la altitud y orogenia de la Cordillera Oriental-Andes colombianos. Tesis de doctorado. Universidad de los Andes.

Reinoso-Flórez, G. 1999. Estudio de la fauna béntica del río Combeima, Colombia. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas* 11(Fasc. 1): 35-44.

Reinoso, G., Guevara, G., Arias, D., García, J y Villa, F. 2007. Aspectos bioecológicos de la fauna entomológica de la cuenca mayor del río Coello - Departamento del Tolima, Colombia. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas* 19 (1):65-72.

Reinoso, G., Guevara, G., Vejarano, M., García, J. y Villa, F. 2008. Evaluación del río Prado a partir de los macroinvertebrados y de la calidad del agua. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas* 20 (1):102.116.

Rincón, M.E. 1996. Aspectos bioecológicos de los tricópteros de la quebrada Carrizal (Boyacá, Colombia). *Revista Colombiana de Entomología* 22: 53-60.

Rincón, M. E. 2002. Comunidad de insectos acuáticos de la quebrada Mamarramos (Boyacá, Colombia). *Revista Colombiana de Entomología* 28(1): 101-108.

Rincón, M.E. 1999. Estudio preliminar de la distribución altitudinal y espacial de los tricópteros en la cordillera Oriental, Colombia. Pp. 267-282. En: Andrade, M.G., Amat, G. y Fernández, F. (Eds.). *Insectos de Colombia No 2. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Jorge Álvarez Lleras No 13. Santafé de Bogotá.*

Rincón, M.E. y Castro, M.I. 2008. Efecto del caudal sobre la emergencia de Trichoptera.Pp. 211-223. En: Donato, J. (Ed.) *Ecología de un río de montaña de los Andes Colombianos (Río Tota, Boyacá)*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. Bogotá, Colombia.

Ringuelet, R.A. 1972. Hirudíneos neotropicales de Colombia, Cuba y Chile, con descripción de una nueva especie de *Oligobdella* (Glossiphoniidae). *Physis* 31(83): 345-352.

Ringuelet, R.A. 1974. Los hirudíneos terrestres del género *Blanchiardella* Weber del Páramo nor-andino de Colombia. *Physis* 33(86): 63-69.

Ringuelet, R.A. 1975. Un nuevo hirudíneo de Colombia parásito de la trucha arcoíris. *Neotropica* 21(64): 1-4.

Riss, W., Ospina, R., y Gutiérrez, J.D. 2002a. Una metodología para el cálculo de valores primarios de bioindicación. *Acta Biológica Colombiana* 7(2): 29-35.

Riss, W., Ospina, R. y Gutiérrez, J.D. 2002b. Establecimiento de valores de bioindicación para macroinvertebertados acuáticos de la Sabana de Bogotá. *Caldasia* 24(1), 135-156.

Roback, S.S. y Nieser, N. 1974. Aquatic Hemiptera (Heteroptera) from the Llanos Orientales of Colombia. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 126(4): 29-49.

Rocha, C.M. 1994. Diversidad en Colombia de los cangrejos del género *Neostrengeria*. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Jorge Álvarez.* Pp 1-143. Lleras No 5. Santafé de Bogotá.

Rodríguez, G. 1972. Trichodactylidae from Venezuela, Colombia, and Ecuador (Crustacea: Brachyura). *Tulane Studies in Zoology and Botany* 17(3):41-55.

Rodríguez, G. 1985. A new cavernicolous crab (Crustacea: Decapoda: Pseudothelphusidae) from Colombia. *Biološki Vestnik* 33(2):73-80.

Rodríguez, F. 2009. Dragonflies (Odonata: Anisoptera) of the collection of the Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle* 10(1): 37-41.

Rodríguez-Barrios, J., Ospina-Torres, R, Gutiérrez, J.D.y Ovalle, H. 2007. Densidad y biomasa de macroinvertebrados acuáticos derivantes en una quebrada tropical de montaña (Bogotá, Colombia). *Caldasia* 29(2): 397-412.

Rodríguez-Barrios, J., Ospina-Torres, R. y Turizo-Correa, R. 2011. Grupos funcionales alimentarios de macroinvertebrados acuáticos en el río Gaira, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 59(4): 1537-1552.

Rojas, A.M. y Baena, M.L. 1993. *Anacroneuria farallonensis* (Plecoptera: Perlidae) una nueva especie para Colombia. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle* 1: 23-28.

Rojas, A.M., Baena, M.L., Caicedo, G. y Zúñiga, M. del C. 1993. Clave para las familias y géneros de ninfas de Ephemeroptera del Departamento del Valle del Cauca. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle* 1(2): 33-46.

Rojas, A.M. Zuñiga, M. del C., Burbano, M.E. y Serrato, C. 1995. Altitudinal distribution of Ephemeroptera in the Farollones de Cali National Park, Colombia. Pp. 121-129. En: Corkum, L.P. y Ciborowski, J.J.N. (Eds.). *Current directions in research on Ephemeroptera*. Canadian Scholars Press, Inc. Toronto, Canada.

Rojas, A.M. y Zúñiga, M. del C. 1996. Aspectos bioecológicos del orden Ephemeroptera en cuencas de algunos ríos del Departamento del Valle del Cauca (Colombia). Pp. 453-472. En: Andrade, G., Amat, G. y Fernández, F. (Eds.). *Insectos de Colombia. Estudios escogidos. Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Colección Jorge Álvarez Lleras No. 10*. Santafé de Bogotá.

Rojas, M.R., Molano, F. y Morales, I.T. 2006. Contribución al conocimiento de chinches semiacuáticos (Hemiptera: Gerridae) en ambientes lóticos y lénticos del Departamento de Risaralda. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindio* 16: 37-45.

Rojas-Riaño, N.C. 2011. First record of the damselfly genus *Anisagrion* (Odonata: Coenagrionidae) from Colombia. *Revista Colombiana de Entomología* 37(1): 164-165.

Roldán, G. 1980. Estudio limnológico de cuatro ecosistemas neotropicales diferentes con especial referencia a su fauna de efemerópteros. *Actualidades Biológicas* 9(34): 103-117.

Roldán, G. 1985. Contribución al conocimiento de las ninfas de efemerópteros en el Departamento de Antioquia. *Actualidades Biológicas* 14(51): 3-13.

Roldán, G. 1988. *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Fondo FEN-Colombia- Conciencias - Universidad de Antioquia, Editorial. Presencia Ltda. Santafé de Bogotá.

Roldán, G. 1999. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales* 23(88): 375-387.

Roldán, G. 2001. Estudio limnológico de los recursos hídricos del parque de Piedras Blancas. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales Colección Jorge Álvarez Lleras No. 9.* Santafé de Bogotá.

Roldán, G. 2003. *La bioindicación de la calidad del agua en Colombia*. Editorial Universidad del Antioquia, Medellín.

Roldán, G. 2009. Desarrollo de la limnología en Colombia: cuatro décadas de avances progresivos. *Actualidades Biológicas* 31(91: 227-237.

Roldán, G., Builes, J. J., Trujillo, C. M. y Suárez, A. 1973. Efectos de la contaminación industrial y doméstica sobre la fauna béntica del río Medellín. *Actualidades Biológicas* 2(5): 54-64.

Roldán, G. y Ramírez J.J. 2008. *Fundamentos de Limnología Neotropical*. 2da Edición. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín.

Romero, I.R., Pérez, S.M. y Rincón, M.E. 2006. Aspectos ecológicos de los Trichoptera del parque Nacional Natural Cueva de los Guácharos, Huila (Colombia). *Actualidad y Divulgación Científica* 9: 129-140.

Romero, F. y Navarro, F. 2009. Lepidoptera. Pp. 309-340. En*:* Domínguez, E. y Fernández, H. (Eds.). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología*. Primera Edición. Fundación Miguel Lillo, San Miguel de Tucumán, Argentina.

Rosso de Ferradás, B. y Fernández, H.R. 1995. Acari, Hydrachnidia. Pp. 819-853. En: Loreto, E. y Tell, G. (Eds.). *Ecosistemas de aguas continentales.* Editorial Sur, Argentina.

Rosso de Ferradás, B. y Fernández, H.R. 2005. Elenco y biogeografía de los ácaros acuáticos (Acari, Parasitengona, Hydrachnidia) de Sudamérica. *Graellsia* 61: 181-224.

Rosso de Ferradas, B. y Fernández, H.R. Acari, Parasitengona, Hydrachnidia. 2009. Pp. 497-550. En: Domínguez, E. y Fernández, H. (Eds). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo. Tucumán, Argentina.

Rúa-García, G. A. 2012. Distribución y composición de los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera en cuatro ríos de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. Tesis de pregrado. Universidad del Magdalena. Programa de Biología Santa Marta.

Rueda-Delgado, G (Ed.). 2002. *Manual de Métodos en Limnología*. Asociación Colombiana de Limnología. Pen Clips Publicidad y Diseño Ltda. Santafé de Bogotá.

Ruíz, J., Ospina, R. y Riss, W. 2000a. Guía para la identificación genérica de larvas de quironómidos (Diptera: Chironomidae) de la Sabana de Bogotá. II. Subfamilia Chironominae. *Caldasia* 22 (1):15-33.

Ruíz, J., Ospina, R., Gómez, H. y Riss, W. 2000b. Guía para la identificación genérica de larvas de quironómidos (Diptera: Chironomidae) de la Sabana de Bogotá. III. Subfamilias Tanypodinae, Podonominae y Diamesinae. *Caldasia* 22(1): 34-60.

Saavedra, M. 2009. Diversidad de libélulas (Insecta-odonata) para dos usos de suelo, en un bosque seco tropical. *Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia (Medellin)* 62(2): 5071-5079.

Salinas, L.G., Dias, L., Salles, F. y Bacca T. 2011. Three new species of *Baetodes* Needham & Murphy (Ephemeroptera: Baetidae) from Colombia. *Zootaxa* 3110: 61–68.

Salinas, L. G., Dias, G. L., Bacca, T., Zúñiga, M. del C. y Rodríguez, M. 2012. Primeros registros de Ephemeroptera (Insecta) para el Departamento de Putumayo. *Boletín Científico Museo de Historia Natural* 16 (2):198-208.

Sánchez-Herrera, M.J. 2005. El índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party score), modificado y adaptado al cauce principal del río Pamplonita, Norte de Santanter. *Bistua Universidad de Pamplona* 3(2): 54-67.

Sánchez-Herrera, M.J. y Avendaño-Sánchez, M. 2005. Macroinvertebrados del Norte de Santander. *Respuestas. Revista de la Universidad Francisco de Paula Santander* 1: 3-20.

Serna, D. 2003. Estructura de la comunidad de larvas del orden Trichoptera y su dinámica espacio-temporal en un gradiente altitudinal de la cuenca del río Manzanares, Santa Marta, Caribe colombiano. Tesis de Pregrado. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad del Magdalena.

Serna-Zamora, M.Y. y Zamora, H. G. 2004. Biogeografía y relaciones de similitud entre las poblaciones de macroinvertebrados acuáticos epicontinentales en un transecto Cauca-Meta. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas* 16 (1): 71-79.

Sites, R. y Alvarez, L.F. 2010. Description of the female of *Procryphocricos perplexus* Polhemus (Hemiptera: Heteroptera: Naucoridae). *Zootaxa* 2562: 66-68.

Soler, E. 1983. Contribución al estudio taxonómico y ecológico de caracoles (pulmonados de agua dulce) de la Sabana de Bogotá. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Colombia. Programa de Biología. Santafé de Bogotá.

Spangler, P.L. 1981. Coleoptera. Pp. 129-220. *En*: Hulbert, S.H., Rodríguez, G y Santos, D. (Eds.). *Aquatic Biota of Tropical South America. Part 1.* San Diego State University.San Diego, California.

Spangler, P.J. y Santiago-Fragoso, S. 1987. A revisión of the genera *Disersus, Pseudodisersus* and *Potamophilops* of the Western hemisphere (Coleoptera: Elmidae) *Smithsonian Contributions to Zoology* No 446. Smithsonian Institution Press, Washington.

Spangler, P.J. y Santiago-Fragoso, S. 1992. The aquatic beetle subfamily Larainae (Coleoptera: Elmidae) in México, Central America and West Indies. *Smithsonian Contributions to* Zoology No 528. Smithsonian Institution Press, Washington.

Springer, M. Trichoptera. Macroinvertebrados de Agua dulce de Costa Rica I. *Revista de Biología Tropical* 58 (Supl. 4): 151-198.

Suárez, M. 1987. Contribución al estudio de los odonatos del Valle del Cauca. Tésis de pregrado. Universidad del Valle. Programa de Biología. Cali. Colombia

Stark, B.P., Zúñiga, M. del C., Rojas, A.M. y Baena, M.L. 1999. Colombian *Anacroneuria*: descriptions of new and old species (Insecta: Plecoptera: Perlidae). *Spixiana* 22: 13-46.

Stark, P.B., Zúñiga, M. del C. y Sivec, I. 2002. Description of *Anacroneuria* (Plecoptera: Perlidae) from the upper Río Amazonas drainage, Colombia and Peru. *Acta Entomologica. Slovenica* 9(2): 119-122.

Stark, P.B. y Zúñiga, M. del C. 2003. The *Anacroneuria guambiana* complex of South America (Plecoptera: Perlidae). Pp. 151-159. En: Gaino, E. (Ed.). *Research update on Ephemeroptera and Plecoptera*. University of Perugia, Italy.

Stark, B.P., Froehlich, C. y Zúñiga, M. del C. 2009. South American stoneflies (Plecopera). *Aquatic Biodiversity of Latin America (ABLA Series)*. Vol 5. Pensoft, Sofia-Moscow.

Tamaris-Turizo, C. 2009. Transporte de materia orgánica y deriva de macroinvertebrados acuáticos a lo largo de un río tropical. Tesis de Maestría en Acuicultura y Ecología Acuática Tropical. Instituto de Posgrados. Universidad del Madalena.

Tamaris-Turizo, C., Turizo, R. y Zúñiga, M. del C. 2007. Distribución espacio-temporal y hábitos alimentarios de ninfas de *Anacroneuria* (Insecta: Plecoptera: Perlidae) en el río Gaira (Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia). *Caldasia* 29(2): 375-385.

Tamaris-Turizo, C. y Sierra-Labastidas, T. 2009. Una inspección al papel de la producción de los Plecopteros en los sistemas lóticos. *Revista de Ciencias. Facultad de Ciencias Naturales y Exactas de la Universidad del Valle.* 13:109-120.

Tamaris-Turizo, C., Rodríguez-Barrios, J. y Ospina-Torres, R. 2013. Deriva de macroinvertebrados acuáticos a lo largo del río Gaira, vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Caldasia* 35(1): 149-163.

Torres, Y., Roldán, G., Asprilla, S. y Rivas, T.S., 2006.- Estudio preliminar de algunos aspectos ambientales y ecológicos de las comunidades de peces y macroinvertebrados acuáticos en el río Tuntunendo, Chocó, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias* 30 (114): 67-76.

Trivinho-Strixino, S. y Strixino, G. 1995. *Larvas de Chironomidae (Diptera) do Estado de São Paulo. Guia de identificação e diagnose dos gĕneros*. Universidad Federal de São Carlos, Sao Carlo, Sp.

Urrutia, M.X. 2005. Riqueza de especies de Odonata Zigoptera por unidades fisiográficas en el Departamento del Valle del Cauca. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle* 6(2): 30-36.

Valencia, D. y Campos, M. 2007. Freshwater prawns of the genus *Macrobrachium* Bate, 1868 (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae) of Colombia. *Zootaxa* 1456: 1–44.

Vásquez, G.L., Zamora, H. y Naundorf, G. 1990. Estudio hidrobiológico del Río Cauca, en el sector comprendido entre el embalse La Salvajina y el puente de El Hormiguero. *Revista Novedades Colombianas* 2: 18-24.

Vásquez, J.M., Ramírez, F., Guevara G. y Reinoso, G. 2010. Distribución espacial y temporal de los tricópteros inmaduros de la cuenca del Río Totaré (Tolima, Colombia). *Caldasia* 32(1): 129-148.

Vásquez-Ramos, M. y Reinoso-Flórez, G. 2012. Estructura de la fauna béntica en corrientes de los Andes colombianos. *Revista Colombiana de Entomología* 38(2): 351-358.

Vásquez, J.M., Guevara G. y Reinoso, G. 2013. Impactos de la urbanización y agricultura en cuencas con bosque seco tropical: influencia sobre la composición y estructura de larvas de tricópteros. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas* 25: 61-70.

Vásquez, J.M., Guevara G. y Reinoso, G. 2014. Factores ambientales asociados con la preferencia de hábitat de larvas de tricopteros en cuencas con bosque seco tropical (Tolima, Colombia). *Revista de Biología Tropical* 62 (Suppl. 2): 21- 40.

Velasco, F.R., Orozco V, A., Zamora G, H. 2010. Influjo de algunas variables ecohidráulicas sobre la distribución y la abundancia de los macroinvertebrados acuáticos en un sector del río Palacé. *Revista Unicauca Ciencia* (13): 103-118.

Velásquez, L., y Escobar, J.S. 2001. *Physa cubensis* Pfeiffer, 1839 (Pulmonata: Physidae) en la sabana de Bogotá (Cundinamarca, Colombia). *Actualidades Biológicas* 23 (75): 75-80.

Velásquez, L. Paraense, W.L., Pointier, J. Amarista, M. Dejong, R.J., Morgan, J., Ayeh P., Babiker, A., Barbosa, C.S., Rodríguez, C., y Gutierrez, A. 2001. Evolutionary relationships and biogeography of *Biomphalaria* (Gastropoda: Planorbidae) with implications regarding its role as Host of the human bloodfluke, Schistosoma mansoni. *Molecular Biology and Evolution* 18 (12): 2225-2239.

Viets, K. 1956. Wassermilben (Hydrachnellae, Acari) aus Venezuela und Kolumbien. Pp 315-327. *Ergebnisse der deutschen limnologischen Venezuela-Expedition 1952. Band 1.* Deutscher Verlag der Wissenschaften. Berlin

von Ellenrieder, N. y Garrison, R.W. 2009. Odonata. Pp. 96-143. En: Domínguez, E. y Fernández, H. (Eds.). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología.* Primera Edición. Fundación Miguel Lillo, San Miguel de Tucumán, Argentina.

von Prahl, H. 1988. Cangrejos de agua dulce (Crustacea: Brachyura: Pseudothelphusidae y Trichodactylidae) capturados en el Departamento de Antioquia, Colombia. *Ecotrópica* 18: 3-11.

Walter, C. 1914. Hydracarina de Colombie. Pp. 193-201. En*:* Fuhrmann, O. y Mayor, E. Voyage d'exploration scientifique en Colombie. *Mémoires de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles*. Vol. 5. Neuchatel, Attinger.

Walteros-Rodríguez, J. y Paiba-Alzate, J.E. 2010. Estudio preliminar de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la Reserva forestal Torre cuatro. *Boletín Científico Museo de Historia Natural* 14 (1): 137-149.

Watling, L. 2003. A new species of *Hyalella* from Colombia, and the redescription of H. meinerti Stebbing, 1899 from Venezuela (Crustacea: Amphipoda). *Journal of Natural History* 37(17): 2095-2111.

Weber, M. 1913. Hirudinéens Colombiennes. *Mémoires de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles* 5:731-747.

Welkenson, R.C. 1979. Horse-flies (Diptera: Tabanidae) of the Colombian Departments of Chocó, Valle, and Cauca. *Cespedecia* 8(31-32): 87-435.

Wiedenbrug, S. y Ospina-Torres, R. 2005. A key to pupal exuviae of Neotropical Tanytarsini (Diptera: Chironomidae). *Amazoniana* 18(3-4): 317-371

Wilham, J. F. y Dorris, T.C. 1968. Biological parameters of water quality. *Bioscience* 18: 447- 481.

Williamson, E.B. 1918a. A collecting trip to Colombia, South America. *Miscellaneous Publications. Museum of Zoology of Michigan* 3: 1-24.

Williamson, E.B. 1918b. Results of the University of Michigan-Williamson expedition to Colombia, 1916-1917: two interesting new Colombian Gomphines (Odonata). *Occasional papers of the Museum of Zoology of Michigan* 52: 1-14.

Williamson, E.B. 1919. Results of the University of Michigan-Williamson Expedition to Colombia, 1916-1917: notes on species of the genus *Heteragrion* Selys with descriptions of new species (Odonata). *Occasional papers of the Museum of Zoology of Michigan.* 68: 1-89.

Williamson, E.B. 1920. Results of the University of Michigan-Williamson Expedition to Colombia, 1916-1917: notes on species of the genus *Progomphus* (Odonata). *Occasional papers of the Museum of Zoology of Michigan* No 77: 1-21.

Wirth, W.W. y Lee, V.H. 1967. New species of *Culicoides* from high altitudes in the Colombian Andes (Diptera: Ceratopogonidae). *Proceeding of the United States National Museum* 124: 1-22.

Wooldride, D. 1973. New *Paracymus* from South America. *Journal of Entomological Society* 46: 116-123.

Wooldridge, D. 1976. New world Limnichidae. VI. A revision of *Limnichoderus* Casey (Coleoptera: Limnichidae). *Journal of the Kansas Entomological Society* 11:163-173.

Zamora, H. 1995. Relaciones de similitud entre comunidades de macroinvertebrados dulceacuícolas de ecosistemas lénticos, ubicados entre la costa pacífica caucana y el piedemonte amazónico. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas* 9 (1-2): 7-21.

Zamora, H. 1996. Aspectos bioecológicos de las comunidades de macroinvertebrados dulceacuícolas en el Departamento del Cauca. *Revista Revista Unicauca Ciencia* 1: 1-11.

Zamora, H. 1997. Niveles de alteración de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos del Río Molino por efecto de las actividades antrópicas y la contaminación doméstica. *Revista Unicauca Ciencia*. 3: 35-46.

Zamora, H. 1998. Evaluación rápida de la calidad ambiental en ecosistemas lóticos mediante el análisis de sus macroinvertebrados. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas* 10: (1-2): 22-26.

Zamora, H. 2000. Adaptación del índice BMWP para la evaluación biológica de la calidad de las aguas epicontinentales en Colombia. *Revista Revista Unicauca Ciencia* 4: 47-59.

Zamora H. 2002. Análisis biogeográfico de los macroinvertebrados acuáticos epicontinentales (MAE) en el Departamento del Cauca, Colombia. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas* 14 (1): 37-64.

Zamora, H. 2007. El Índice BMWP y la evaluación biológica de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos epicontinentales naturales de Colombia. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas* 19: 73-81.

Zamora, H. 2010. Importancia de los macroinvertebrados acuáticos epicontinentales en la dieta natural de tres especies de peces nativos del río Patía, departamento del Cauca. *Revista Revista Unicauca Ciencia* (13): 65-75.

Zamora, H. y Roessler, E. 1995. Descripción morfológica y taxonómica de una nueva especie de *Anacroneuria* (Insecta-Plecoptera). *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas* 9 (1-2): 85-91.

Zamora, H. y Roessler, E. 1997. Número de estadios nayadales, ciclo biológico y patrón de crecimiento de *Anacroneuria caucana* (Insecta: Plecoptera). *Revista Unicauca Ciencia* 2:15-24.

Zamora, H. y Sarria, H. 2001. Calidad biológica de dos ecosistemas lóticos afectados por aguas residuales de rallanderías de yuca mediante la utilización de sus macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, comparando además la aplicación de los índices de Shannon-Weaver y BMWP. *Revista Unicauca Ciencia* 6: 21-42.

Zamora, H., Naundorf, G. y Vásquez, G.L. 1996. Macroinvertebrados dulceacuícolas del Parque Natural Nacional Isla Gorgona, Departamento del Cauca. *Revista Unicauca Ciencia* 1: 12-18.

Zamora, H., Sandoval, J.A., Vásquez, G.L., Naundorf, S., Zambrano, P. y González J. 2011. Estructura de la comunidad de macroinvertebrados y caracterización de la calidad del agua mediante bioindicación en la cuneca baja del río Ovejas. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas* 24: 81-89.

Zúñiga, M. del C. 1985. Estudio de la ecología del Río Cali con énfasis en su fauna bentónica como indicador biológico de calidad. *Revista de la Asociación de Ingenieros Sanitarios de Antioquia- AINSA* 8: 63-85.

Zúñiga, M. del C. 1986. Efluentes de minas de carbón: efectos sobre la fauna bentónica y la ecología de agua dulce. *Revista de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental- ACODAL* 129: 22-32.

Zúñiga, M. del C. 2009. Bioindicadores de calidad de agua y caudal ambiental.: Caso del río Meléndez (Valle del Cauca, Colombia). Pp. 303-310. En: Cantera, J., Y. Carvajal y L. Castro (Compiladores). Caudal ambiental: Conceptos Experiencias y Desafíos. Programa Editorial de la Universidad del Valle. Cali, Colombia.

Zúñiga, M. del C. 2010. Diversidad, distribución y ecología del orden Plecoptera (Insecta) en Colombia, con énfasis en *Anacroneuria* (Perlidae). *Universidad de la Amazonía. Momentos de Ciencia* 7(2): 101-112.

Zúñiga, M. del C. y Stark, B.P. 2002. New species and records of Colombian *Anacroneuria* (Insecta: Plecoptera: Perlidae). *Spixiana* 25(3): 209-224.

Zúñiga, M. del C. y Stark, B.P. 2007. The first record of *Macrogynoplax* Enderlein (Plecoptera: Perlidae) from the Colombian Amazon. *Illiesia* 3(11): 102-103.

Zúñiga, M. del C. y Cardona, W. 2009. Bioindicadores de calidad de agua y caudal ambiental. Pp. 167-198, En: Cantera, J., Carvajal, Y. y Castro, L. (Compiladores). *Caudal ambiental: conceptos experiencias y desafíos.* Programa Editorial de la Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Zúñiga, M. del C., Rojas, A.M. y Caicedo, G. 1993. Indicadores ambientales de calidad de agua en la cuenca del Río Cauca. *Revista de la Asociación de Ingenieros Sanitarios de Antioquia- AINSA* 13(2): 17-28.

Zúñiga, M. del C., Rojas, A.M. y Serrato, C. 1994. Interrelación de índices ambientales de calidad en cuerpos de aguas superficiales del Valle del Cauca. *Revista Colombiana de Entomología* 20(2): 124-130.

Zúñiga, M. del C., Rojas, A.M. y Mosquera, S. 1997. Biological aspect of Ephemeroptera in rivers of southwestern Colombia (South América). Pp. 261-268. En: Landolt, P. y Sartori, M. (Eds). *Ephemeroptera and Plecoptera: Biology, Ecology and Systematics.* MTL, Mauron Tinguely y Lachat S.A., Switzerland.

Zúñiga, M. del C., Stark, B.P., Rojas, A.M. y Baena, M.L. 2001. Colombian *Anacroneuria* (Insecta: Plecoptera: Perlidae): Biodiversity and distribution. Pp. 301-304. En: Domínguez, E. (Ed.) *Trends in Research in Ephemeroptera and Plecoptera*. Kluwer Academic Plenum Publishers, New York, USA.

Zúñiga, M. del C. Molineri, C. y Domínguez, E. 2004. El Orden Ephemeroptera en Colombia. Pp. 17-41. En: Andrade. M.G., Amat García. G. y Fernández F. (Eds.). *Insectos de Colombia. Vol 3. Universidad Nacional de Colombia e Instituto Humboldt*. Santafé de Bogotá., Colombia.

Zúñiga, M. del C., Stark, B.P., Vázcones, J.J., Bersosa, F. y Vimos, D. 2006. Colombian and Ecuadoran *Anacroneuria* (Plecoptera: Perlidae) - new species, records and life stages. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 41(1): 45-57.

Zúñiga, M. del C., Stark, B.P., Cardona, W., Tamaris, C. y Ortega, O.E. 2007. Additions to the Colombian *Anacroneuria* (Plecoptera: Perlidae) with descriptions of seven new species. *Illiesia* 3(13): 127-149.

Zúñiga, M. del C., Días, L., Martínez, D., Zabala, G. y Bacca, T. 2009. The first record of *Claudioperla* Illies (Plecoptera: Gripopterygidae) from Colombia. *Aquatic Insects* 31(Supplement 1): 743-744.

Zúñiga, M. del C., Chará. J., Giraldo, L.P., Chará-Serna, A.M. y Pedraza, G. 2013a. Composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en pequeñas quebradas de la región andina colombiana, con énfasis en la entomofauna. *Dugesiana* 20(2): 663-277.

Zúñiga, M. del C., Stark, B.P., Posso, C.E. y Garzón, E. 2013b. Especies de *Anacroneuria* (Insecta: Plecoptera: Perlidae) de Colombia depositadas en el Museo de Entomología de la Universidad del Valle (Cali, Colombia). *Biota Colombiana.* Suplemento especial-Artículo de datos: 5-12.

Zúñiga, M. del C., Cardona, W., Molineri, C., Mendivil, J., Cultid, C., Chará, A.M. y Giraldo, A. 2014a. Entomofauna acuática del Parque Nacional Natural Gorgona (Colombia), con énfasis en Ephemeroptera y Plecoptera. *Revista de Biología Tropical* 62 (Suppl. 1): 221-241.

Zúñiga, M. del C., Giraldo, L.P., Calero, H., Ramírez, Y.P. y Chará, J.D. 2014b. *Anacroneuria caraca* Stark y *A. jewetti Stark* (Insecta: Plecoptera: Perlidae): Primeros registros para los Andes orientales y el pie de monte de la Orinoquía colombiana. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle* 15(1): 12-19.

Río Savegre - Costa Rica
Autor de fotografía: Kenji Nishida

Hydropsychidae, Trichoptera

Autor de fotografía: Monika Springer

Costa Rica

Monika Springer[1], Silvia Echeverría-Sáenz[2] y Pablo E. Gutiérrez-Fonseca[3]

[1]Escuela de Biología y CIMAR, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. monika.springer@ucr.ac.cr. [2]Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas, IRET, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. silvia.echeverria.saenz@una.cr. [3]Departamento 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 mayoría 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).

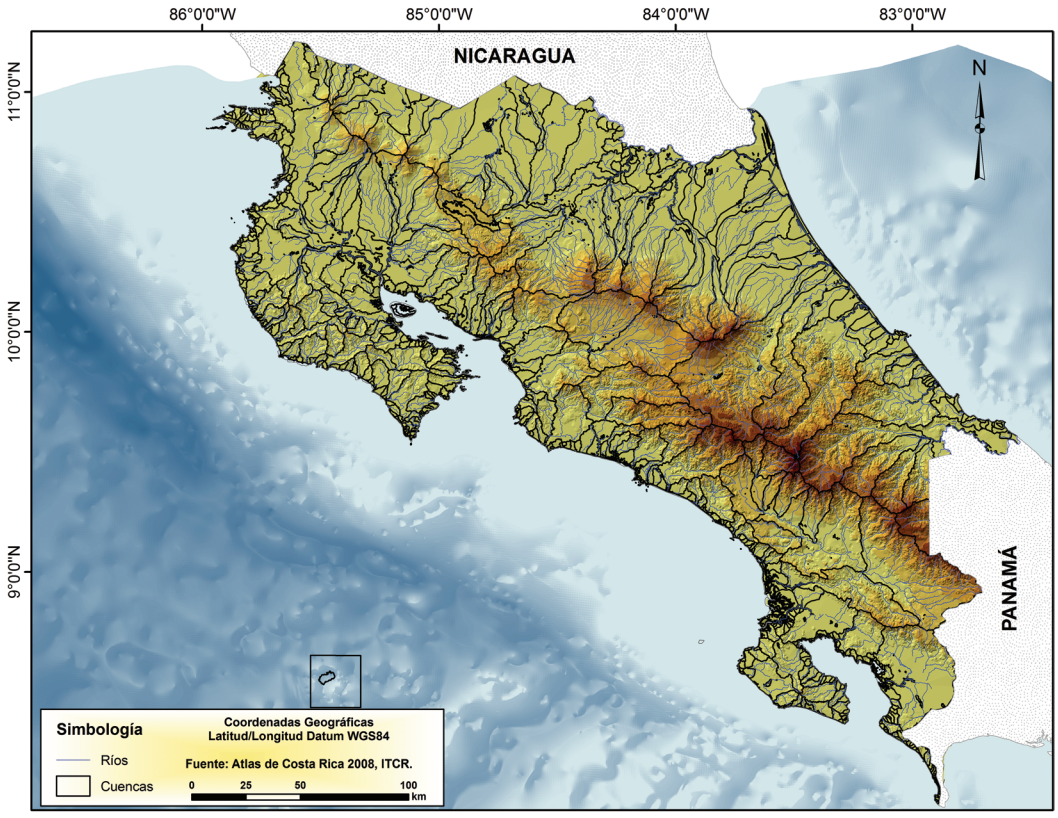


Figura 1. Ambientes lóticos y cuencas hidrográficas de Costa Rica.

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

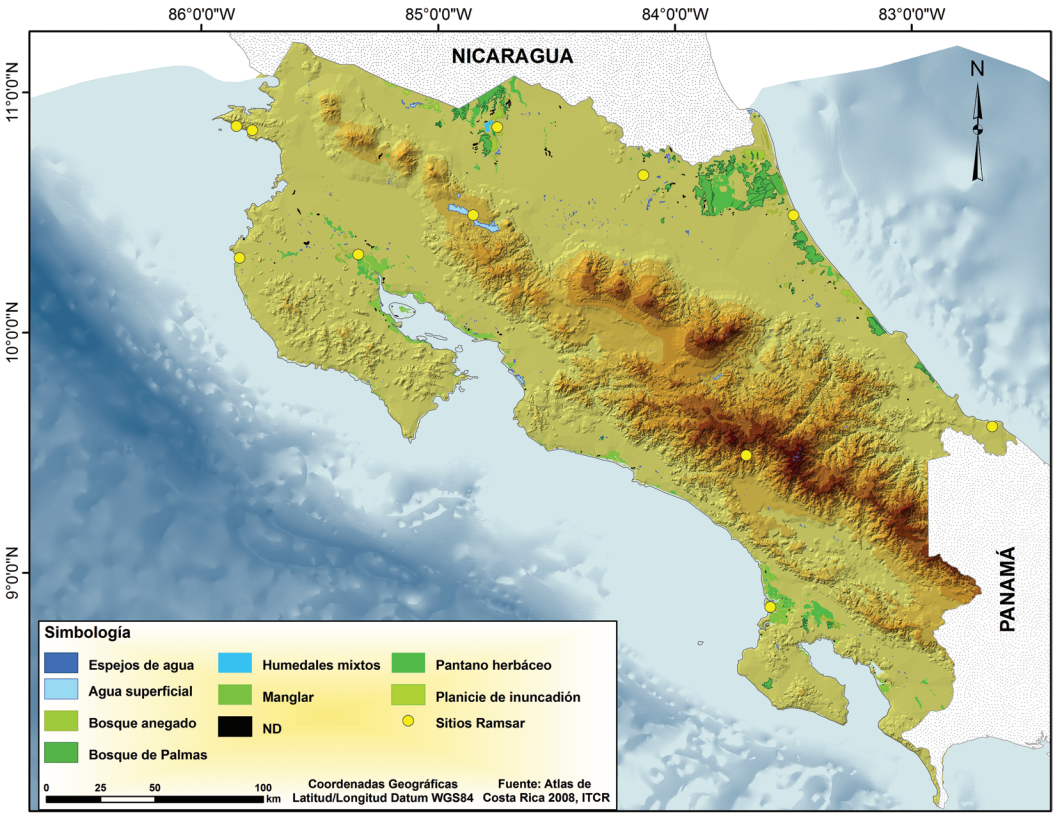


Figura 2. Ubicación de los diferentes ambientes lénticos y sitios Ramsar de Costa Rica, con excepción de la Isla del Coco.

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, subfilo 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 trabajadas 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, Oceguera-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 redescripción de la especie *Hyalella faxoni* (anteriormente identificada como *Hyalella 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 especies 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 Pseudothelphusidae (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 que 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 (Schneeweihs 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 abdomennigrum* (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, Pacheco-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 redescripción 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, Corydalus* 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, Ephydridae 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.biologia.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.biologia.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

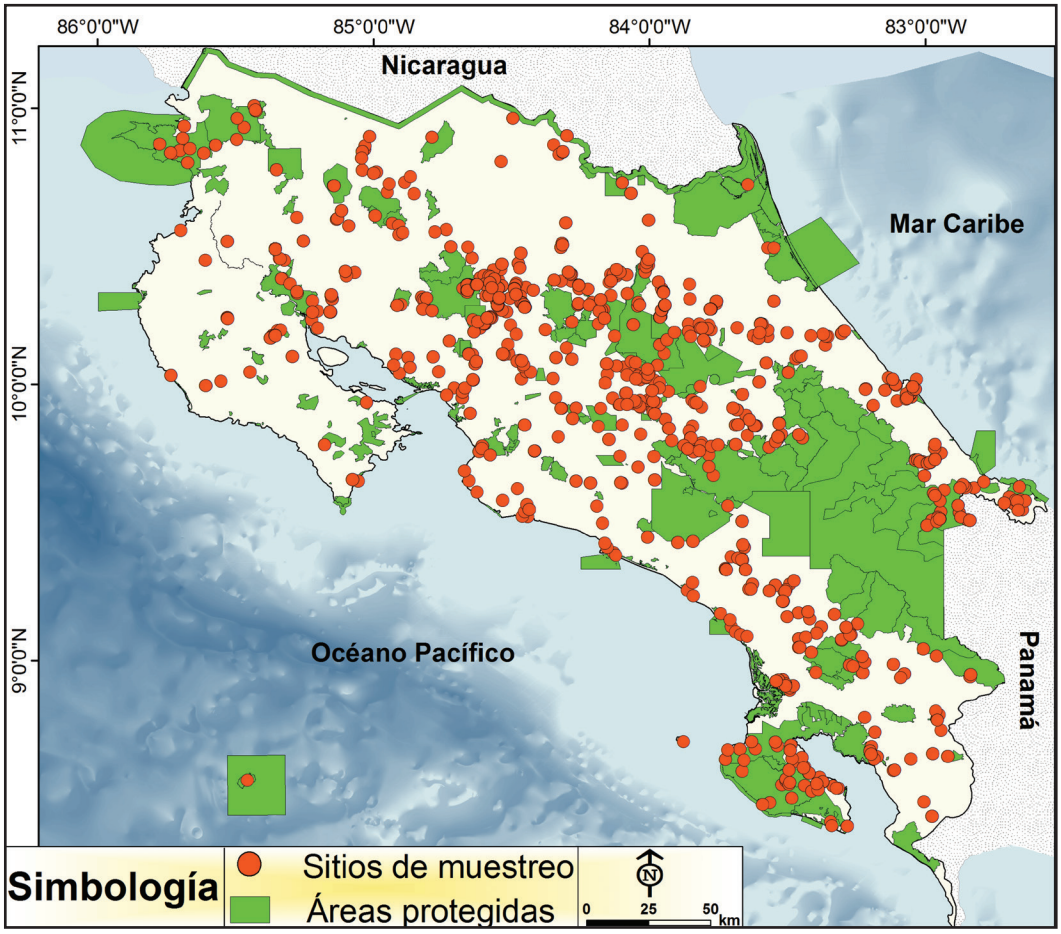


Figura 3. Sitios de recolecta de macroinvertebrados dulceacuícolas fuera y dentro de las áreas protegidas de Costa Rica, incluidas las islas del Caño y del Coco (esta última a una distancia de aprox. 550km de la costa).

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, efemerópteros 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 rio 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 Pacifico 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 cuido 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 acuacultura.

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 119mm^3 en el día y 29mm^3 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 acuacultura 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*, Loriicaridae) (Bussing 2002). También se introdujeron especies de decápodos como el langostino *Macrobrachium rosenbergii* (Palaemonidae), la langosta australiana *Cherax quadricarinatus* (Parastacidae) 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 (Marenco 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 ecosistemas 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 pacifico 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 macroinvertebrados que se han ejecutado por empresas consultoras privadas para utilizarse en estudios de impacto ambiental (EsIA). 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 faltan 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 macroinvertebrados 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 espaciotemporales. 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, Limon, 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 *Buenoa 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 *Hyalella faxoni* from Costa Rica (Crustacea: Amphipoda: Hyalellidae). *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 Entomolocia 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. Electonic 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* Andrássy, 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 neotropic 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.

Marenco 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 redescripción 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 Acuacultura Continental, OSPESCA/Taiwán/OIRSA, INCOPESCA, 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 Zoología* 22(2): 354-365.

Savage, H.M., Flowers, R.W. y Porras, W. 2005. Rediscovery of *Choroterpes 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 Carribean species of horsehair worms (Nematomorpha), with the description of three new species. *Journal of Natural History* 39(7): 515-529.

Schneeweihs, 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 Notropic 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. Biomonitoreo. 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, Biomonitoreo, 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. Freeliving 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: *(D: Diptera; E: Ephemeroptera; P: Plecoptera; T: Trichoptera; O: Odonata; C: Coleoptera; M: Megaloptera; H: Hemiptera; L: Lepidoptera; B: Blattodea)*
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; Platysticitidae **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** Leptohyphidae; Oligoneuriidae; Polymitarcyidae; Baetidae

Puntaje 4:

C Chrysomelidae; Curculionidae; Haliplidae; Lampyridae; Staphylinidae ; Dytiscidae; Gyrinidae; Scirtidae; Noteridae

D Dixidae; Simuliidae; Tipulidae; Dolichopodidae; Empididae; Muscidae; Sciomyzidae; Ceratopogonidae; Stratiomyidae; Tabanidae

H Belostomatidae; Corixidae; Naucoridae; Pleidae; Nepidae; Notonectidae

O Calopterygidae; Coenagrionidae

E Caenidae

Puntaje 3:

C Hydrophilidae

D Psychodidae

Valvatidae, Hydrobiidae, Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae, Bithyniidae, Bythinellidae, Sphaeridae, Glossiphonidae, Hirudidae, Erpobdellidae, Asellidae

Puntaje 2:

D Chironomidae; Culicidae; Ephydridae

Puntaje 1:

D Syrphidae

Oligochatea (todas las clases)

NIVEL DE CALIDAD	*BMWP'*	*Color representativo*
Aguas de calidad excelente	>120	Azul
Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible	101-120	Azul
Aguas de calidad regular, eutrófica, contaminación moderada	61-100	Verde
Aguas de calidad mala, contaminadas	36-60	Amarillo
Aguas de calidad mala, muy contaminadas	16-35	Naranja
Aguas de calidad muy mala extremadamente contaminadas	<15	Rojo

Coenagrionidae, Odonata
Autor de fotografía: Kenji Nishida

Larva de Chironomidae, Diptera

Autor de fotografía: Kenji Nishida

Cuba

Carlos Naranjo López (q. e. p. d.)[1], Pedro López Del Castillo[1], Orestes C. Bello González[2] y Senén Muñoz Riviaux[3].

[1]Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad (BIECO), Santiago de Cuba, Cuba. pldelcastillo@bioeco.ciges.inf.cu y pldelcastillo@nauta.cu ; [2]Instituto de Ecología y Sistemática (IES) La Habana, obello@ecologia.cu; [3]Centro de Aplicaciones Tecnológicas para el Desarrollo Sostenible, Guantánamo.

4.1. Resumen

El objetivo de este capítulo es evaluar el estado del conocimiento de los macroinvertebrados dulceacuícolas que habitan el archipiélago cubano en los aspectos de sistemática, taxonomía, biomonitoreo, ecología y en los estudios de aplicación que han impactado en el manejo eficiente de los ecosistemas lóticos y lénticos del país. Para lograr el objetivo se llevó a cabo una profunda revisión bibliográfica de las investigaciones (tesis de grado e informes científicos-técnicos) y publicaciones realizadas en estas temáticas enfocadas en las especies de macroinvertebrados acuáticos del archipiélago cubano. Se muestra la necesidad de desarrollar las investigaciones de aquellos grupos taxonómicos que han sido poco estudiados. El orden Diptera es el grupo más necesitado de estudios taxonómicos en Cuba, *e.g.* la familia Chironomidae, con una alta diversidad específica, de la cual solo se conoce una fracción muy pequeña. Coleoptera es otro orden dominante en cuanto a riqueza de especies en los ecosistemas lóticos; sin embargo, falta mucho para alcanzar un nivel de conocimiento satisfactorio de las comunidades de escarabajos acuáticos. No ocurre lo mismo con órdenes como Ephemeroptera y Odonata, en ambos la composición de especies presentes en Cuba está a punto de conocerse en su totalidad. Sin embargo, las investigaciones de la ecología de cada especie y su historia natural, necesitan un impulso mayor para comprender la importancia de ellas dentro de las comunidades. En Cuba el estado de conservación de las especies y comunidades de macroinvertebrados en los sistemas lóticos es aceptable, con excepción de las partes

bajas de ríos que atraviesan importantes centros urbanos. Gracias al presente estudio se han logrado identificar y focalizar las necesidades investigativas futuras sobre la taxonomía y ecología de los macroinvertebrados cubanos y el grado de aplicación que tienen y tendrán estos estudios.

4.1. Abstract

The objective of this chapter is to evaluate the state of knowledge about the freshwater macroinvertebrates that inhabit the Cuban archipelago-in terms of systems, taxonomy, biomonitoring and ecology-as well as application studies that have influenced the efficient management of lotic and lentic ecosystems in the country. To achieve this objective, an in-depth literature review was conducted of investigations (graduate theses and scientific-technical reports) and publications on these topics, with a focus on aquatic macroinvertebrate species in the Cuban archipelago. The need for investigations of taxonomic groups that have not been widely studied is demonstrated. The order Diptera is the group most in need of taxonomic studies in Cuba, *e.g.* the family Chironomidae, with high specific diversity and about which only a very small fraction is known. Coleoptera is another dominant order in terms of species richness in lotic ecosystems, although much work is needed to reach a satisfactory level of knowledge about aquatic beetle communities. Meanwhile, for orders such as Ephemeroptera and Odonata, the entire composition of species present in Cuba is close to being identified. Nevertheless, investigations related to the ecology of each species and their natural history need to be encouraged in order to understand their importance within the communities. In Cuba, the state of conservation of macroinvertebrate species and communities in lotic systems is acceptable, with the exception of lower portions of rivers that run through large urban centers. The present study has made it possible to identify and focus future research needs related to the taxonomy and ecology of Cuban macroinvertebrates and determine the degree to which these studies are applicable now and in the future.

4.2. Introducción

La República de Cuba ocupa una superficie de 110,922 km². Pertenecen a la isla de Cuba 104,945 km²; el resto, 5,977 km² son de otras 1,600 islas, cayos e islotes. Se encuentra situada entre 19°49´36´´ y 23°17´09´´ de latitud Norte y entre 74°07´55´´ y 84°57´54´´ de longitud Oeste, lo que la ubica en la zona intertropical cercana al Trópico de Cáncer. Limita al Norte con el Océano Atlántico, al Este con el Paso de los Vientos, al Sur con el Mar Caribe y al Oeste con el Golfo de México (Garrido y Kirkconnell 2010).

Alrededor de 70% de toda la superficie emergida es llana. Las principales elevaciones están incluidas en cuatro grupos montañosos dispersos por la isla principal. En la región oriental, se encuentran los dos más importantes: la Sierra Maestra y Nipe-Sagua-Baracoa. En el centro es notable el grupo montañoso Guamuhaya y hacia el occidente la Cordillera de Guaniguanico (Academia de Ciencias de Cuba 1989).

Los dos grupos orográficos orientales son los principales debido a que presentan las mayores alturas, ocupan mayor área, tienen la mayor diversidad de hábitats y una gran variación climática. Estos factores han favorecido e influido sobre la estructura y composición de la gran diversidad de la flora, formaciones vegetales y fauna de la región oriental. La Sierra Maestra posee las mayores elevaciones de Cuba (El Pico Real Turquino a 1,974 metros sobre el nivel del mar (msnm); el Pico Cuba a 1,872 msnm; Pico Bayamesa a 1,752 msnm).

El clima de Cuba es tropical húmedo debido a la cercanía al Trópico de Cáncer y por la forma alargada y estrecha de la isla. Tiene un período seco entre diciembre y abril, y un período lluvioso entre mayo y noviembre donde ocurren entre el 75 y 80 % de las precipitaciones, con un promedio anual de 1,400 mm.

La red hidrográfica (figura 1) está compuesta por 632 cuencas que drenan al mar, distribuidas heterogéneamente por todo el país, divididas por un parte-aguas central que separa a la isla principal en las vertientes norte (272 cuencas) y sur (327). Existen diez cuencas que son de interés nacional. Dos de ellas pertenecientes a la región oriental de Cuba, donde está incluido el río Cauto, el más largo de Cuba (8,969 km² de cuenca y 343 km de largo) y el más caudaloso, el río Toa (1,053 km² de cuenca y 118 km de largo).

Los ambientes lénticos en Cuba son heterogéneos; existen 239 represas, con una capacidad de embalse de 8774.34 millones de metros cúbicos y 788.4 kilómetros de canales magistrales para la distribución de agua principalmente en actividades agrícola. Se cuenta además con 16 grandes estaciones de bombeo de trasvase administradas por el INRH (Instituto Nacional de Recursos Hídricos) (Academia de Ciencias de Cuba 1989).

Existen principalmente dos llanuras con formaciones lagunares naturales, una al sureste de la provincia de Camagüey en la región central del país y la otra al oeste de la Provincia de Pinar del Río, la más occidental de las provincias cubanas.

La flora y la fauna de Cuba tienen altos porcentajes de endemismo, debido a tres causas principales: fragmentación natural del archipiélago, ruta de migración de muchas especies por la ubicación entre América del Norte y América del Sur y gran diversidad de geosistemas producto del mosaico geólogo - geomorfológico. Según Samek (1973) hay 48 formaciones vegeta-

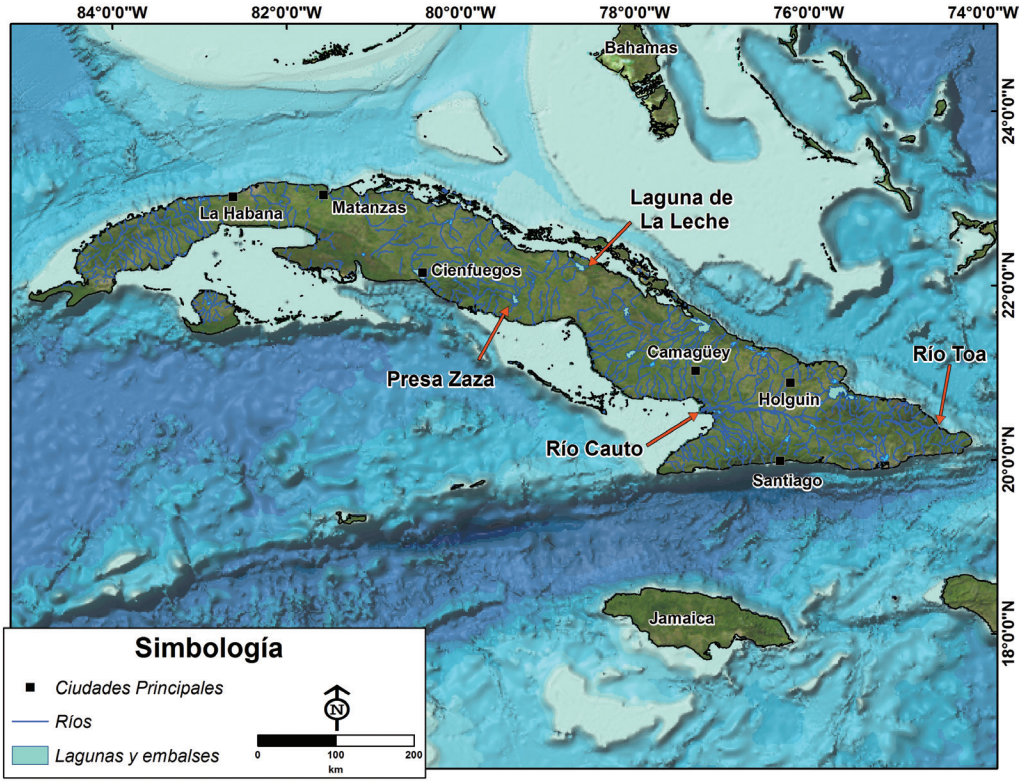


Figura 1. Mapa hidrológico de Cuba con principales ciudades, ríos, lagunas y embalses.

les en Cuba. Se citan 38 especies de mamíferos, 350 de aves, 121 de reptiles, 46 de anfibios, 57 de peces de agua dulces, 1,302 de arácnidos y 7,493 especies de insectos. El promedio de endemismo es de 42 %, destacándose el grupo de anfibios con 93.4% (Vales *et al.* 1998).

4.3. Estado del conocimiento sobre macroinvertebrados dulceacuícolas en Cuba

El primer trabajo integral cubano en la ecología acuática, fue realizado por Alayo (1965), sobre los principales grupos de organismos (algas, protozoarios, planarias, las principales familias de plantas superiores, crustáceos, arácnidos,

insectos tratados al nivel de órdenes, moluscos, peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos) que habitan los sistemas lénticos y lóticos del archipiélago.

En el año 1982 se fundó el grupo de investigación de fauna acuática de la Universidad de Oriente en la ciudad de Santiago de Cuba. Por primera vez en Cuba, un conjunto de investigadores se planteó como objetivo principal, caracterizar la fauna dulceacuícola de los ríos del país. En el grupo se formaron más de 20 estudiantes y varios profesores jóvenes en las líneas de investigación de taxonomía, biología y ecología de los diferentes grupos de organismos acuáticos. Actualmente la Universidad de Oriente y el Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad (BIOECO), ambas instituciones de la ciudad de Santiago de Cuba, lideran las investigaciones sobre los macroinvertebrados dulceacuícolas del archipiélago cubano.

4.3.1 Estudios taxonómicos

El estudio de los macroinvertebrados en los ríos de Cuba, inició con trabajos dispersos en diferentes grupos, realizados en el siglo XIX y la primera mitad del XX. La mayoría de las investigaciones tuvieron una orientación sistemática y taxonómica, cuyos fines fueron la descripción de nuevas especies y la elaboración de inventarios en grupos zoológicos con representantes en las aguas dulces. Con el objetivo de incrementar el conocimiento de la fauna cavernícola en Cuba el Dr. Antonio Núñez Jiménez, entonces director de la Academia de Ciencias de Cuba, organizó las Expediciones Bio-espeleológicas Cubano-Rumanas con el instituto Rumano "Emile Racovitza" desde el 1973 a 1983, aportando importantes resultados taxonómicos en distintos grupos fluviales como crustáceos, e insectos de los órdenes Trichoptera, Coleoptera, Diptera, Lepidoptera y Hemiptera.

Una panorámica general sobre el estado del conocimiento fue presentada por Naranjo *et al.* (2007) con el objetivo de estimular el estudio de los macroinvertebrados en Cuba. Con la formación y acumulación de experiencias de jóvenes especialistas cubanos, entre 2006 y 2013 se han publicado 29 trabajos sobre macroinvertebrados acuáticos de Cuba, principalmente en taxonomía y sistemática. De estos, 19 incluyeron revisiones de familias y géneros, además de descripciones de nuevas especies de insectos dulceacuícolas.

Seguidamente se hace un breve bosquejo de los principales resultados en cada grupo.

Filo Nematoda - las especies dulceacuícolas de este filo no están estudiadas en Cuba; sólo existe el trabajo de Coman (1973) que describe a *Neomermis jimenezi* (Mermithidae), una especie de ríos de cavernas.

Filo Nematomorpha – Según Schmidt-Rhaesa y Menzel (2005) se han reportado las especies *Chordodes cubanenis* y *Parachordodes capitosulcatus* para Cuba, descritas por Montgomery en 1898.

Filo Platyhelminthes - Se cuenta con poca información bibliográfica sobre este grupo. De la expedición Cubano - Rumana fue descrita *Dugesia cubana* por Codreanu y Balcesco (1973).

Filo Annelida - Los anélidos de agua dulce no han sido estudiados en Cuba. Hay una especie sin determinar de la clase Hirudinea, familia Glossiphoniidae, que es muy abundante en ríos de la zona oriental de la isla.

Filo Arthropoda

Subfilo Chelicerata

Clase Arachnida

Orden Trombidiformes – (Hydrachnidia) – El primer registro de ácaros acuáticos para Cuba proviene de Ruth Marshall en los años veinte (Marshall 1927 a, b), quien recolectó seis especies en el alrededor de La Habana (en una poza y un río). Brehm (1948) mencionó una hembra del género Limnesia encontrada en una muestra de la laguna de Ariguanabo. La gran mayoría de la información que tenemos sobre la fauna de ácaros acuáticos de Cuba viene de la expedición Cubano-Rumana en 1973 (Orghidan y Georgesco 1977, Orghidan y Gruia 1977, 1980a,b, 1981, 1983a,b,c,d, Orghidan *et al.* 1977a,b,c, 1981). En este momento conocemos 38 especies de 22 géneros y 13 familias (Cuervo *et al.* 1995); entre estos, tres géneros (Sibooneyacarus, Cladomomonia y Xenomomonia) son endémicos de Cuba. En general, la fauna de ácaros acuáticos de Cuba y la Hispaniola es muy diferente de la fauna en la parte continental de América Central (Goldschmidt 2007).

Subfilo Crustacea

Clase Ostracoda – Lalana *et al.* (2005) citan cinco especies dulceacuícolas para Cuba.

Clase Malacostraca

Orden Amphipoda – De la familia Talitridae, Dancáu (1973) describe a *Weckelia* (*Neoweckelia*) *cubanica* n.sg., n.sp. en dos cuevas y menciona a *Gammarus caecum* de la familia Gammaridae, como la primera especie de anfípodo reportada en aguas subterráneas de Cuba. Esta familia también está presente en ríos cubanos pero no se cuenta con información a nivel de especies.

Orden Isopoda – Lalana *et al.* (2005) publicó una lista de 22 especies marinas para Cuba y solo citó una especie dulceacuícola, *Brackenphiloscia vandeli*.

Orden Decapoda - Los primeros trabajos para este grupo, fueron los reportes de Parra (1787) con descripción de algunas especies, principalmente marinas. Como resultado de la expedición Cubano – Rumana, Holthuis (1977) refiere para la isla 12 especies de decápodos incluidas en diez géneros (Atya, Jonga, Micratya, Potimirim, Xiphocaris, Macrobrachium, Palaemon, Procambarus, Epilobocera y Sesarma) de tres familias de camarones y langostinos (Atyidae, Palaemonidae, Astacidae) y dos de cangrejos (Pseudothelphusidae y Grapsidae). El material se encuentra depositado en el instituto de espeleología "Emile Racovitza" en Rumania. En el catálogo de los camarones cubanos de agua dulce (Gómez *et al.* 1990) se citan 25 especies con un género y dos especies como nuevos registros para Cuba. Otro aporte al grupo lo hicieron Juarrero y Gómez (1995) con una sinopsis de los camarones dulceacuícolas de Cuba, donde incluyen 26 especies agrupadas en 12 géneros y cuatro familias.

Subfilo Hexapoda

Clase Collembola - En Cuba se registran 116 especies de colémbolos (Díaz-Azpiazu *et al.* 2004). Sin embargo, no están bien definidas las especies acuáticas, las cuales han sido observadas, pero nunca identificadas.

Clase Insecta

Debido a la abundancia de los insectos en los ecosistemas acuáticos, los trabajos de inventarios enfocados en varios órdenes han proliferado. En la Universidad de Oriente se han desarrollado investigaciones en más de 15 ríos de la zona oriental principalmente durante el desarrollo de trabajos de diploma. Los datos obtenidos sirvieron de base para publicaciones con listados de especies pertenecientes a distintos órdenes de insectos. Naranjo y Trapero (2000) publicaron una lista con 59 especies de insectos acuáticos del macizo montañoso de la Gran Piedra (26 km al este de la ciudad de Santiago de Cuba), pertenecientes a 28 familias de los órdenes Odonata, Ephemeroptera, Hemiptera, Trichoptera, Coleoptera y Lepidoptera. López *et al.* (2004) encontraron 64 especies pertenecientes a 35 familias y siete órdenes de Insecta en el Parque Nacional La Bayamesa. González *et al.* (2005) hallaron 42 especies pertenecientes a 25 familias y seis órdenes de insectos en las Sierras de Nipe y Cristal. En las alturas de Banao, región central de Cuba, se registraron 35 especies, agrupadas en 26 familias y seis órdenes de Insecta, se citaron por primera vez para la región ocho especies de Ephemeroptera, Trichoptera y Diptera (López *et al.* 2006). En la cuenca alta y media del Río Cauto, el mayor de Cuba, Deler *et al.* (2007) recolectaron seis órdenes, 30 familias y 59 especies de insectos acuáticos (15% de endemismo, 42 nuevos registros para el área y uno para la región oriental). Muñoz *et al.* (2009) publicaron la lista de insectos acuáticos del Área Protegida Resolladero del río Cuzco, Categoría III de la UICN en la Provincia Guantánamo, sector Oriental de Cuba con 35 especies, 22 familias y siete órdenes.

Orden Ephemeroptera - Alayo (1977) publicó una introducción al estudio de este orden en Cuba, donde se citaron nueve especies de la familia Leptophlebiidae y diez géneros de otras cinco familias. Naranjo y Cañizares (1999) estudiaron la taxonomía, ecología, distribución geográfica y probable origen biogeográfico de las especies del orden Ephemeroptera en Cuba, arrojando la siguiente composición de especies por familias: Baetidae (11 spp), Caenidae (2 spp), Euthyplociidae (1 sp), Leptophlebiidae (13 spp), Leptohyphidae (5 spp) y Oligoneuridae (1 sp), que suman 33 especies. González *et al.* (2008) publicaron un nuevo resumen actualizado con modificaciones taxonómicas de varios taxa y la adición de dos nuevas especies de *Caenis* (Caenidae) y *Fallceon* (Baetidae), elevándose a 35 especies, agrupadas en seis familias y 12 géneros.

La primera familia que se investigó con profundidad en Cuba fue Leptophlebiidae (Peters 1971), de la cual se describieron tres nuevos géneros y cinco nuevas especies y se discutió la filogenia y las relaciones entre los géneros antillanos. Leptohyphidae fue estudiada por Kluge y Naranjo (1990), quienes identificaron cinco especies nuevas del género Tricorythodes; dos son de amplia distribución geográfica por toda la isla de Cuba, mientras que las tres restante solo se encontraron en la cadena montañosa de la Sierra Maestra en el sector oriental de la isla. De Euthyplocidae fue descrita *Mesoplocya inaccessibile* (Kluge y Naranjo 1994), la efímera de mayor tamaño de Cuba. Kluge (1991, 1992a, 1992b) estudió las familias Baetidae y Leptophlebiidae con el material recolectado por el grupo de fauna acuática de la Universidad de Oriente. Este autor hizo un nuevo arreglo de subgéneros dentro del género *Baetis* y descri-

bió nueve especies nuevas para la ciencia de los géneros *Cloeodes, Paracleoedes* y *Baetis* (subgéneros *Caribaetis* y *Americabaetis*). En la revisión de la familia Leptophlebiidae fueron descritas además seis nuevas especies y una subespecie; también se propuso un nuevo arreglo taxonómico del género *Hagenulus* (Kluge 1993).

Al nivel de especies se han hecho varios trabajos. Kluge y Naranjo (1994) describieron *Euthyplocia inaccessibile* (Euthyplociidae) y Kluge (1993) describió a *Hagenulus (Traverina) oriente* (Leptophlebiidae). Posteriormente, Naranjo y Teruel (2001) publican nuevos registros de localidad para estas dos especies. En el 2007, Malzacher *et al.* describieron a *Caenis cubensis* (Caenidae), una especie que a pesar de ser abundante en todos los ríos cubanos, permanecía sin describir. González y Salles (2007), describen *Fallceon grandis* (Baetidae), a partir de larvas, redescribieron la especie *Fallceon longifolius* y presentaron una clave para las larvas de este género para Cuba. Una clave taxonómica ilustrada de los estadios ninfales de las 34 especies de Ephemeroptera citadas para el país, fue publicada por González y Naranjo (2007).

Orden Odonata - Alayo (1968 b,c) publicó los primeros trabajos completos sobre el orden en Cuba donde se incluyeron 87 especies, con la diagnosis de las hembras y los machos adultos y la distribución geográfica de las especies. Posteriormente, Flint (1996a) reajustó el listado a 81 especies. Trapero y Naranjo (2003) actualizaron el listado del orden Odonata en Cuba, expusieron los antecedentes del estudio del orden, la sistemática, distribución estacional, altitudinal, geográfica y probable origen del grupo. Estos autores también presentaron un resumen de 83 especies de Odonata, incluidas en 42 géneros y siete familias, reportadas para Cuba por diferentes investigadores. Trapero y Naranjo (2004) reajustaron la lista a 84 especies y perfeccionaron las claves de adultos (familias, géneros y especies) publicadas por Alayo (1968 b,c). Naranjo y Trapero (2008) publicaron la primera clave de larvas a nivel de especie para el archipiélago.

Con relación a los listados y citas de especies por localidades, Naranjo y Trapero (2000) y Trapero y Naranjo (2001), registraron por primera vez varias especies de Odonata para la región oriental de Cuba. Trapero *et al.* (2004) publicaron la lista anotada de 24 especies recolectadas u observadas de Odonata para el Parque Nacional Alejandro Humboldt en la provincia de Guantánamo.

Orden Orthoptera – No se cuenta con información sobre especies acuáticas de este grupo para Cuba.

Orden Plecoptera - No se ha registrado un solo ejemplar y no existe en la literatura científica una explicación biogeográfica a esta ausencia.

Orden Blattodea - No se cuenta con información sobre especies acuáticas de este grupo para Cuba.

Orden Hemiptera - Alayo (1974) dio a conocer la primera lista de los hemípteros acuáticos y semiacuáticos de Cuba con 68 especies, 32 géneros y 14 familias. Recientemente se publicaron dos artículos de revisión, actualizaciones taxonómicas y ecológicas, donde se corrigen descripciones erróneas y sinonimias

(Naranjo *et al.* 2010, Muñoz *et al.* 2010). La lista final para Cuba es de 74 especies incluidas en 35 géneros y 16 familias.

Orden Coleoptera - Spangler (1973) hizo la primera lista de Cuba con 18 especies de coleópteros acuáticos de seis familias (Gyrinidae, Dytiscidae, Hydrophilidae, Hydraenidae, Elminthidae y Psephenidae). Posteriormente el mismo autor (Spangler 1981) con el material biológico recolectado durante la expedición Cubano-Rumana hizo otra lista de 114 especies de coleópteros acuáticos y semiacuáticos para Cuba, incluidos en 56 géneros de 11 familias (se agregaron Haliplidae, Noteridae, Dryopidae, Hydrochidae, Elmidae y Limnichidae). Peck *et al.* (1998) publicaron el inventario, distribución y ecología de las especies de coleópteros de troglóbios de Cuba, incluidas las familias con ejemplares acuáticos. Peck (2005) publicó la monumental obra sobre 87 familias, 954 géneros y 2673 especies de escarabajos cubanos, con datos sobre distribución y ecología; en esta lista se encuentran incluidas más de 110 especies acuáticas. Deler y Cala (2010) en la Reserva Florística Manejada de Monte Barranca (al norte de la provincia de Santiago de Cuba), en ambientes lénticos y lóticos capturaron 264 ejemplares de 17 especies con una subespecie, incluidas en cinco familias de Coleoptera (Insecta) y publicaron datos sobre el hábitat y la ecología de cada especie.

Debido a la gran diversidad de los escarabajos acuáticos, en los últimos años han proliferado las investigaciones de familias. Se revisaron las familias Noteridae, Haliplidae e Hydraenidae con datos de taxonomía, distribución y bionomía (Megna y Deler 2006a, Megna *et al.* 2007, Deler y Delgado 2011, Deler y Delgado 2012). Deler y Megna (2007) aportaron nuevos registros de la especie endémica *Desmopachria tarda* (Coleoptera: Dytiscidae) con notas sobre el hábitat. Megna y Deler (2006b) capturaron 456 ejemplares incluidos en 12 especies (nueve nuevos reportes para el sector Baracoa y dos para la región oriental de Cuba) de *Hydradephaga* (Coleoptera) en el parque nacional Alejandro de Humboldt; Deler y Delgado (2010) registraron por primera vez a *Enochrus (Lumetus) hamiltoni* (Coleoptera, Hydrophilidae) para las Antillas Mayores, con datos sobre su hábitat. Además, se precisaron algunos sistemas de clasificación, y se describieron varias especies nuevas para la ciencia en los géneros *Thermonectus, Laccophilus, Laccodytes, Copelatus* y *Berosus* de las familias Dytiscidae e Hydrophilidae (Alarie *et al.* 2009, Megna *et al.* 2011, Deler y Delgado 2011, Megna y Epler 2012, Deler *et al.* 2013).

Orden Megaloptera - de Cuba solo se ha citado *Sialis bifasciata* (Hagen 1861) de la familia Sialidae, una especie rara, dispersa por las islas del archipiélago (Alayo 1968a).

Orden Neuroptera - no se cuenta con información sobre especies acuáticas de este grupo para Cuba.

Orden Trichoptera - la taxonomía del orden fue intensamente trabajada en la segunda mitad del siglo pasado. El eminente entomólogo cubano Pastor Alayo publicó un trabajo de compilación con 36 especies incluidas en 10 familias (Alayo 1975). Posterior a la expedición Cubano – Rumana la cifra de especies aumentó a 80 (Botosaneanu 1979). Se han logrado asociar numerosas larvas con sus respectivos adultos (Botosaneanu 1994), este fue un importante

paso para el conocimiento de la taxonomía de varias especies del orden. Flint (1996b) aumentó el listado hasta 90 especies. Naranjo y González (2005) expusieron el estado del conocimiento en el grupo; la fauna de Trichoptera para Cuba es de 93 especies agrupadas en 12 familias y 28 géneros. En el XII Simposio Internacional de Trichoptera, López *et al.* (2007) discutieron la lista de 28 especies de Trichoptera de los ríos Mayarí y Yara en la región oriental de Cuba, compararon la diversidad y abundancia en varias estaciones de ambos ríos.

El número de especies de tricópteros en la región del Caribe (en las cuatro Antillas Mayores) puede resumirse de la siguiente manera. La fauna de La Española contiene la mayor riqueza de especies con 109, de las que 86 son endémicas (Flint y Sykora 2004). Le sigue Cuba con 93 especies y 68 endémicas. Jamaica tiene 52 especies y Puerto Rico 42. El nivel de endemismo en las Antillas Mayores varía entre 70% y 80 %.

Orden Lepidoptera - Hollinger (1983) identificó de las aguas corrientes cubanas, a tres taxa que fue imposible determinar hasta especie, dos de ellos pertenecientes a los géneros *Elophila* y *Parapoynx* y el tercero solo identificado hasta familia (Pyralidae – ahora Crambidae). López *et al.* (2004) reportan por primera vez el género *Petrophila* (Crambidae) de La Bayamesa, Sierra Maestra en la zona oriental de la isla.

Orden Diptera - el estudio de los dípteros, especialmente los acuáticos, es aún muy incompleto. Hasta el momento se citan 16 familias con especies dulceacuícolas. El trabajo más importante sobre los dípteros cubanos es el de Alayo y Garcés (1989) donde están incluidas 16 familias con especies acuáticas. Las familias hematófagas con especies acuáticas han sido las mejor estudiadas, como Culicidae con 68 especies en 14 géneros (González 2008). Garcés *et al.* (1992) citaron por primera vez para Cuba y las Antillas Mayores, la familia Blephariceridae, con la especie *Paltostoma palominoi*. López *et al.* (2004) citaron por primera vez para Cuba la familia Dixidae, con el género *Dixella*. En el caso de la familia Chironomidae se han realizado varios aportes en los últimos años, así Téllez (2009) registró por primera vez para la isla a *Goeldichironomus devineyae* y Bello (2010) refirió por primera vez a *Chironomus stigmaterus*. Al año siguiente Bello y Torres (2011) y Bello (2011) reportaron por primera vez para Cuba a *Monopelopia tillandsia* y *Beardius reissi*, respectivamente. Téllez (2011) registró por primera vez para el archipiélago cubano a *Goeldichironomus natans* y a *Coelotanypus scapularis*. Bello (2012) y Bello y Téllez (2012) identificaron por primera vez para Cuba a *Ablabesmyia (Karelia) cinctipes* y a *Tanypus neopunctipennis*, respectivamente. Bello *et al.* (2013) compilaron la información en los trabajos previos referidos total o parcialmente a los Chironomidae en Cuba y presentaron un listado final de 34 taxa, incluyendo los identificados hasta especie y aquellos ejemplares solo identificados hasta género.

Filo Mollusca - Negrea y Jacobson (1977) indicaron para Cuba diez especies de gasterópodos acuáticos, recolectados durante la expedición Cubano–Rumana, pertenecientes a nueve géneros de siete familias (Ampullaridae, Thiariidae, Lymnaeidae, Planorbidae, Physidae, Ancylidae y Pupillidae). Pointier *et al.* (2005) publicaron un importante trabajo donde se expone una reseña histórica sobre

los principales investigadores y estudios de los moluscos fluviales de Cuba; además se caracterizaron 41 especies de moluscos dulceacuícolas compuesta por nueve bivalvos y 32 gasterópodos.

Colecciones taxonómicas

Las colecciones constituyen herramientas de trabajo importantes para la taxonomía y biogeografía. En Cuba las colecciones más grandes de macroinvertebrados acuáticos se encuentran situadas en la Universidad de Oriente, BIOECO (Santiago de Cuba) y el Instituto de Ecología y Sistemática. Esta última está oficialmente reconocida y forma parte de la Colección Zoológica de la Academia de Ciencias de Cuba (CZACC). La inmensa mayoría del material fue colectado e identificado por el eminente entomólogo cubano Dr. Pastor Alayo Dalmáu entre los años 1954 y 1979 y consiste, entre otros, de 1191 ejemplares de Odonata, incluyendo 74 especies de este orden. También incluye 794 ejemplares de hemípteros de 43 especies así como numerosos ejemplares de efemerópteros y tricópteros conservados en seco o en alcohol.

Una parte importante de ejemplares de insectos fue donada por el grupo de fauna acuática de la Universidad de Oriente a la colección del Instituto de Zoología de la Academia de Ciencias de San Petersburgo en Rusia, incluyendo material tipo de las familias Baetidae, Leptophlebiidae, Leptohyphidae, Caenidae y Euthyplociidae de Ephemeroptera. En la colección de Arthropoda de la "Florida Agriculture and Mechanical University" están depositados varios ejemplares tipo de Leptophlebiidae y una importante réplica de ejemplares de más de 20 especies cubanas de efímeras.

4.3.2 Estudios ecológicos

Naranjo (1986a, 1986b, 1987) realizó un análisis ecológico–faunístico de los torrentes montañosos del antiguo Gran Parque Nacional Sierra Maestra, considerando a Trichoptera, Ephemeroptera y Odonata, ofreciendo una lista de especies de otros grupos acuáticos observados. En 1988 se publicaron tres trabajos importantes sobre ecología. Se encontraron larvas vivas de la libélula endémica antillana *Hypolestes trinitatis* (Naranjo 1988a) en un cauce seco de un río en la Sierra Maestra, una notable adaptación a los arroyos de corrientes intermitentes, típicos de la ladera sur del macizo montañoso oriental. Se capturaron por primera vez seis larvas del género *Euthyplocia* en arroyos pocos profundos al sur de la Sierra Maestra (Naranjo 1988b) que sirvieron para su posterior descripción (Kluge y Naranjo 1994). Por último, Naranjo (1998c) estudió la morfología y el hábitat de las ninfas de las especies de efímeras cubanas (Ephemeroptera) y las agrupó en seis tipos ecomorfológicos. Trapero (2007) investigó la composición y funcionamiento de las comunidades de macroinvertebrados asociados a las raíces de *Eichhornia crassipes*, y mostró que las libélulas (orden Odonata) y moluscos (clase Gastropoda) fueron los grupos dominantes.

En el 2010, Naranjo *et al.* establecieron una metodología única de recolecta para homogeneizar los datos obtenidos por otros investigadores y facilitar las comparaciones entre diferentes cuencas de ríos cubanos. Gracias al desarrollo de tesis de grado en el Departamento de Biología de la Universidad de Oriente, se tienen caracterizados más de 15 ríos de la zona oriental. Los aspectos ecológicos investigados fueron: la composición de especies de macroinvertebrados de cada

río; distribución espacial, temporal y altitudinal; determinación de la diversidad taxonómica mediante índices, cálculos de frecuencia, abundancia e indicadores de contaminación orgánica de las aguas corrientes. Aunque algunos datos han sido publicados, la mayoría permanecen inéditos. A la fecha, existen datos de 66 localidades distribuidas por toda Cuba.

4.3.3 Estado de conservación

La República de Cuba cuenta con un marco legal para la protección en materia de diversidad biológica. Se regulan actividades que involucran la conservación de los ecosistemas fluviales, contenidas en:

1. Ley No 81"Del Medio Ambiente" del 11 de julio de 1997.
2. Ley No 85 "Ley Forestal" del 21 de julio de 1998.
3. Decreto-Ley No 136 "Sobre el Patrimonio Forestal y la Fauna Silvestre" del 5 de marzo de 1993, derogado parcialmente por la Ley No 85, quedando vigente solo lo referido a la fauna silvestre.

La Ley No 81 es la más importante en materia ambiental. Constituye el instrumento jurídico de mayor rango jerárquico específico de que dispone Cuba sobre el medio ambiente. Ofrece un tratamiento sobre el sistema nacional de áreas protegidas, evaluación de impactos ambientales, licencias ambientales, educación ambiental, investigaciones científicas e innovaciones tecnológicas, protección y uso sostenible de la diversidad biológica, aguas y ecosistemas acuáticos, aguas terrestres y cuencas hidrográficas.

En las cuencas altas y media de los ríos de montañas los macroinvertebrados se encuentran protegidos naturalmente debido a lo poco accesible de estas localidades. Sin embargo, hay zonas donde el cultivo del café contamina las aguas debido al vertimiento de las despulpadoras, cuyos residuos son dañinos al medio (Naranjo y González 2005). Un buen porcentaje de las áreas que ocupan las poblaciones de macroinvertebrados de agua dulce están incluidas en zonas con alguna categoría de manejo. Por ejemplo de las 34 especies de Ephemeroptera que habitan en Cuba, 24 se encuentran en la cadena montañosa Sierra Maestra, donde se ubican diferentes áreas protegidas bajo diversas categorías. En la cuenca del río Cauto, el más largo del país, se relacionaron las comunidades con las áreas prioritarias para la conservación (Deler *et al.* 2007). Los autores propusieron cuatro áreas de interés para la conservación debido a la presencia de altos valores de endemismos.

La situación de las partes bajas de las cuencas cubanas es completamente opuesta a las zonas altas. Se tienen identificados los principales impactos que causan algún efecto sobre los macroinvertebrados como son: deforestación de las riberas; cambio de usos de la tierra con fines agrícolas en zonas aledañas a ríos, la agricultura a su vez genera focos de contaminación con pesticidas, fertilizantes químicos y materia orgánica; aumentos en el nivel de sólidos suspendidos en las aguas; vertimiento de aguas residuales sin tratar tanto industriales como domésticas; aumento del número de represas, lo que fragmenta y reduce el hábitat de los macroinvertebrados; extracción de arenas y material pétreo en ríos; introducción de especies exóticas como la tilapia (*Oreochromis aureus*) y la claria (*Clarias gariepinus*); el cambio climático, reflejado en las sequías prolongadas

y las lluvias torrenciales que alteran la calidad y cantidad de la agua en los cauces.

En la parte baja de los ríos y en las zonas llanas en general los principales esfuerzos de conservación potencialmente incidentes sobre los macroinvertebrados se desarrollan en los sitios Ramsar. Hasta le fecha existen en Cuba seis sitios Ramsar (figura 2; cuadro 1), que ocupan en conjunto una superficie de más de 1,100,000 hectáreas y aunque se ubican fundamentalmente en áreas costeras, incluyen muchos cuerpos de agua dulce corrientes y estancadas.

A pesar de tener identificadas las actividades que causan los principales impactos negativos, no se han realizado trabajos dirigidos a demostrar el grado y la importancia de éstos sobre los ecosistemas acuáticos y su fauna. Por esta razón no existen medidas coherentes en los planes de manejo de las cuencas hidrográficas del archipiélago.

4.4. Empleo de los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua

Los primeros pasos para el empleo de los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua se dieron en la Universidad de Oriente en el año 2002. Se desarrolló una tesis de licenciatura que tuvo como objetivo la creación de una base de datos (de trabajos publicados e inéditos) sobre las especies de macroinvertebrados, trabajados por el grupo de fauna de aguas dulces de la propia universidad (González *et al.* 2002). Como resultado se registraron algo más de 400 especies con datos asociados como localidades, fechas de colección, tipo de hábitat y altitud. A partir de estos datos se adaptó el Biological Monitoring Working Party (BMWP) de Inglaterra y se creó el BMWP-Cub. Para lograr el ajuste del índice, Naranjo *et al.* (2005) determinaron los valores de tolerancia de 69 familias de macroinvertebrados presentes en Cuba (Anexo 1). Los criterios para precisar la tolerancia fueron la puntuación otorgada a las familias en otros países del neotrópico, los resultados de otros índices (riqueza de especies, diversidad de Shannon-Wiener, diversidad de Simpson) en 29 estaciones de muestreo y el grado de conservación de las localidades escogidas. Con la ayuda del programa Cluster Analysis V. 5 se agruparon 49 estaciones de muestreos en tres tipos ecológicos. Las variables medidas para la agrupación fueron temperatura del agua, velocidad de la corriente, tipo de fondo y metros sobre el nivel del mar.

Luego de desarrolladas las tablas de tolerancias, el BMWP-Cub ha sido validado en varios ríos con resultados muy alentadores. Por ejemplo al aplicar el BMWP-Cub en el río Guaso, luego de atravesar la ciudad de Guantánamo en la zona oriental del país, los valores obtenidos indicaron que las aguas caen dentro de la clasificación de muy contaminadas. González *et al.* (2005) midieron el grado de contaminación en tres estaciones del macizo Nipe-Sagua-Baracoa, los valores de los índices empleados (BMWP-Cub, Diversidad de Shannon–Wiener y riqueza de especies) variaron de forma similar, lo que sugirió una estrecha relación entre el número de especies, la diversidad biológica y el grado de contaminación de las aguas en las estaciones analizadas.

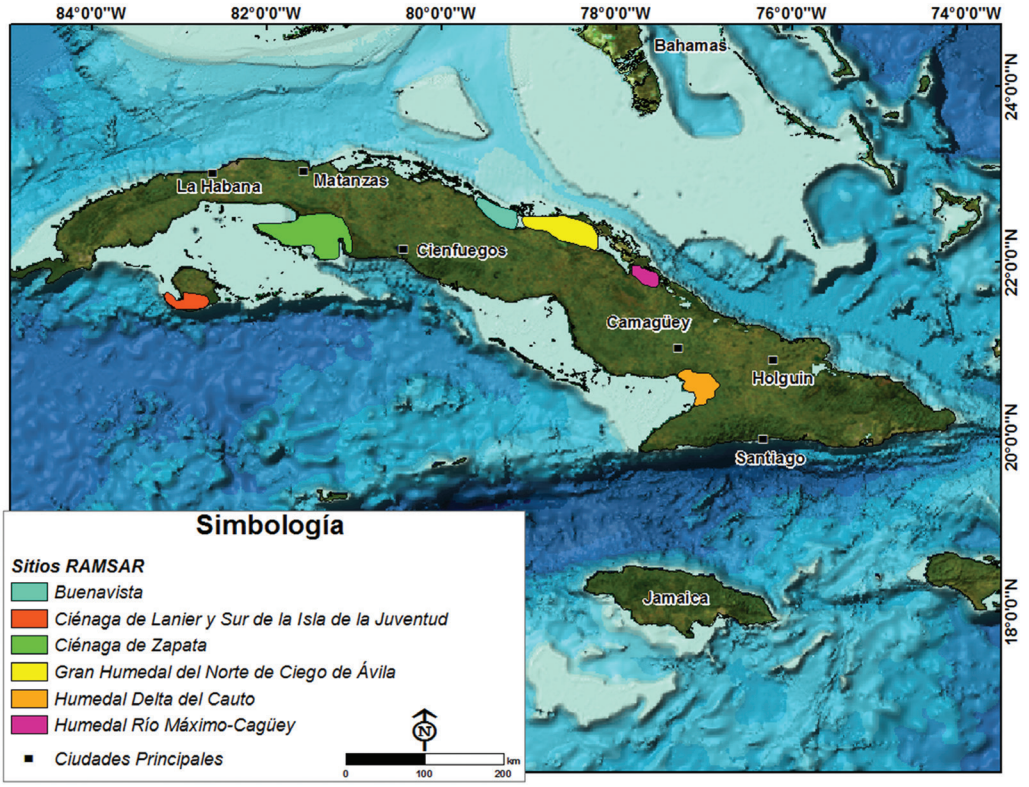


Figura 2. Ubicación de los sitios Ramsar en Cuba.

Cuadro 1. Localización, área y fecha de designación de los sitios Ramsar en Cuba.

No Ramsar	Nombre del sitio	Fecha de designación	Provincia	Área ha	Latitud	Longitud
1134	Ciénaga de Lanier y Sur de la isla de la Juventud	18/11/02	Isla de la Juventud	126,200	21°36' N	82°48' W
1062	Ciénaga de Zapata	12/04/01	Matanzas	452,000	22°20' N	81°22' W
1133	Buenavista	18/11/02	Villa Clara, Sancti Spíritus	313,500	22°27' N	78°49' W
1236	Humedal Delta del Cauto	18/11/02	Granma, Las Tunas	47,836	20°34' N	77°12' W
1235	Gran Humedal del Norte de Ciego de Ávila	18/11/02	Ciego de Ávila	226,875	22°19' N	78°29' W
1237	Humedal Río Máximo-Cagüey	18/11/02	Camagüey	22 000	21°43' N	77°27' W

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

La Constitución de la República de Cuba establece los principios jurídicos en materia de agua, los que se complementan y amplían mediante la Ley No.81 "Del Medio Ambiente", el Decreto Ley No. 138 "De las Aguas Terrestres" y otras normativas legales. El Decreto Ley No. 114 designa al Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) como el organismo de la administración central del estado encargado de dirigir, ejecutar y controlar la aplicación de la política del estado y el gobierno en cuanto a las actividades de planificación, uso y control de los recursos hídricos del país. La resolución no. 46/09 de 14 de mayo de 2009, contiene el Reglamento de Inspección Estatal del INRH. La Resolución 45/91 pone en vigor los Índices de Consumo de agua actualmente vigente para el sector de la economía no agrícola.

Hasta ahora, no existen regulaciones ni leyes sobre la utilización de los macroinvertebrados como herramientas para determinar la calidad de las aguas corrientes en Cuba. Se espera que con la adaptación del BMWP-Cub, se hayan creado las condiciones para que comience a usarse en ríos cubanos de forma oficial.

4.6. Perspectivas futuras

De acuerdo al estado actual de conocimientos de los macroinvertebrados en Cuba se requieren adoptar las siguientes líneas de trabajo:

1) Desarrollar estudios taxonómicos a nivel de especies, esencialmente en Diptera y Coleoptera; e incrementar la formación y capacitación de recursos humanos en ambos grupos.
2) Abordar los aspectos básicos de la ecología de las especies y comunidades, especialmente aquellas que son de gran importancia en el funcionamiento de procesos ecológicos en los ecosistemas fluviales; hay que hacer énfasis en la alimentación, ciclos de vida, aporte en biomasa e importancia como bioindicadores.
3) Incrementar los estudios de campo y recolectas en las cuatro regiones naturales del país (región Occidental, Central, Centro-Oriental y Oriental), sin excluir el resto de las islas y cayos del archipiélago. Los objetivos que deben trabajarse serán: enriquecer los inventarios, estudiar la ecología de las diferentes especies y evaluar el estado de la contaminación de las aguas (*e.g.* mientras que en la zona Oriental de la isla se conocen la fauna de macroinvertebrados de más de 15 ríos, en las regiones Central y Centro-oriental solo se han estudiado tres).

4) Incrementar y dirigir las recolectas hacia la captura de adultos con el fin de facilitar las asociaciones entre las larvas y sus respectivos imagos en cada especie, lo que aumentaría considerablemente el conocimiento taxonómico de cada grupo.
5) Aplicar el índice BMWP-Cub en un número mayor de ríos y asociar los resultados con análisis físico-químicos con el fin de corroborar la eficiencia de la utilización de macroinvertebrados como indicadores de contaminación orgánica en sistemas lóticos de toda Cuba.
6) Comenzar a estudiar el estado ecológico de los ríos, con análisis integrales de la calidad del agua utilizando varias herramientas: macroinvertebrados bioindicadores, análisis microbiológicos, físico-químicos y valoraciones del estado de las riberas, insertando además el concepto de las "condiciones de referencia" para obtener valoraciones más específicas para cada territorio y conjunto de condiciones ecológicas. Un aspecto muy importante será, en un futuro inmediato, la introducción en el sistema legal de protección de las cuencas el uso del BMWP-Cub como herramienta para la evaluación de la contaminación orgánica de las aguas de los sistemas lóticos.
7) Incrementar y profundizar las acciones comunitarias de educación ambiental enfatizando la importancia de los macroinvertebrados en los ecosistemas acuáticos y la necesidad de su conservación.

4.7. Conclusiones

Este trabajo sintetiza los principales resultados de 94 publicaciones sobre la biota de macroinvertebrados de los ecosistemas dulceacuícolas cubanos. La importancia de esta síntesis consiste en brindar una panorámica general sobre lo que se hace en Cuba y el estado de los conocimientos acerca de la taxonomía, biología, ecología de los macroinvertebrados y la aplicación que puede derivarse de las investigaciones. Se plantean las principales temáticas de trabajo que son necesarias para el avance de los futuros estudios.

Los macroinvertebrados de agua dulce en Cuba pertenecen a cinco filos: Platyhelminthes, Nemata, Annelida, Arthropoda y Mollusca. El que posee mayor diversidad de grupos taxonómicos superiores y especies es Arthropoda, particularmente los insectos que tienen especies de nueve órdenes.

De los órdenes de Insecta más importantes que viven en sistemas lóticos cubanos, Ephemeroptera, Odonata y Trichoptera se encuentran mejor estudiados, mientras que Diptera y Coleoptera, dos órdenes con alta diversidad de especies, necesitan de estudios taxonómicos y ecológicos.

Las instituciones responsables de las políticas ambientales cubanas no reconocen ni orientan acciones de conservación enfocadas en los macroinvertebrados acuáticos. Tampoco conciben su empleo como una herramienta en la bioindicación. En las áreas protegidas no están identificados como objetos de conservación y no se realizan acciones de manejo de cuencas con una visión holística o ecosistémica que incidan en la protección de comunidades de macroinvertebrados fluviales. Por esta razón BIOECO y la Universidad de Oriente se esfuerzan por demostrar la importancia de los estudios faunísticos, ecológicos y la aplicación práctica de los macroinvertebrados de agua dulce. Estamos seguros que la presente publicación ayudará en este sentido.

En Cuba existe la herramienta (BMWP-Cub) que permite hacer evaluaciones confiables y rápidas del nivel de contaminación orgánica en aguas de ríos mediante el empleo de las familias de macroinvertebrados. Estas evaluaciones pueden extender y hacer más factibles y eficientes los monitoreos complementando y brindando una alternativa a los análisis físico-químicos de las aguas con el fin de reducir el tiempo empleado y los costos totales de dichos análisis.

4.8. Agradecimientos

Los autores desean agradecer a Aydeé Cornejo por la organización y apoyo en la participación a uno de los autores en el Simposio "Los macroinvertebrados bentónicos: una herramienta para la conservación y manejo sustentable de sistemas dulceacuícolas de Mesoamérica" organizado dentro del XVI Congreso de la de la Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación, Panamá 2012, que nos dio la oportunidad a la inclusión de Cuba en este proyecto. Así también queremos agradecer a Raúl Pineda por todo su empeño en la Red MADMESO. Un especial reconocimiento a las siguientes instituciones: Rufford Foundation y Idea Wild por financiar proyectos relacionados con la conservación de cuencas hidrográficas y biomonitoreos, al Instituto Conmemorativo Gorgas de la Salud en Panamá por haber otorgado ayuda financiera a uno de los autores de este trabajo. Un agradecimiento especial a los editores del libro por las arduas horas de trabajo y acertadas críticas. A Arturo Hernández Marrero por la colaboración con la base cartográfica.

Dedicatoria

El profesor Dr. Juan Carlos Naranjo López falleció recientemente. Formador directo de la mayoría de los que hoy estudiamos algún grupo de macroinvertebrados acuáticos en Cuba, no podrá ver este trabajo terminado. A él queremos dedicarlo, con el respeto que merece quién tanto conocimiento compartió, quién tanto esfuerzo dedicó a estudios básicos y aplicados de los macroinvertebrados. También con admiración por mantener su entusiasmo después de tantos años descifrando ese mundo paralelo que solo tenemos la suerte de apreciar los que nos sentamos al microscopio. Quién sabe por dónde andaríamos hoy sin su guía. Gracias Carlos.

4.9. Literatura citada

Academia de Ciencias de Cuba e Instituto de Geodesia y Cartografía. 1989. Nuevo Atlas de Cuba, Rhea e Instituto Geográfico Nacional, España.

Alarie, Y., Megna, Y. y Deler, A. 2009. First West Indies records of *Thermonectus succinctus* (Aubé 1838), with notes on other Cuban species (Coleoptera: Dytiscidae). *Koleopterologische Rundschau* 79: 5–16.

Alayo, P. 1965. Guía elemental de las aguas dulces de Cuba. *Trabajo de Divulgación* 31: 37.

Alayo, P. 1968a. Los Neurópteros de Cuba. *Poeyana* 2: 9-10.

Alayo, P. 1968b. Las libélulas de Cuba. (Insecta–Odonata) *Torreia, Nueva serie* 2: 5–102.

Alayo, P. 1968c. Las libélulas de Cuba. (Insecta–Odonata) *Torreia*, *Nueva serie* 3: 3–54.

Alayo, P. 1974. Los Hemípteros Acuáticos de Cuba. *Torreia, Nueva serie* 36: 9–64.

Alayo, P. 1975. Notas sobre el Orden Trichoptera en Cuba. *Universidad Central de Las Villas*: 2-12.

Alayo, P. 1977. Introducción al estudio del orden Ephemeroptera en Cuba. *Informe Científico del Instituto de Zoología* 7: 1-15.

Alayo, P. y Garcés, G. 1989. Introducción al estudio del Orden Diptera en Cuba. Editorial Oriente. Santiago de Cuba.

Allen, R.K. 1973. New species of *Leptohyphes* Eaton (Ephemeroptera: Tricorythidae). *Pan-Pacific Entomology* 49: 363–372.

Bello, O. 2010. *Chironomus stigmaterus* Say, 1823 (Diptera, Chironomidae, Chironominae) nuevo registro para la quironomidofauna cubana. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 47: 457-458.

Bello, O. y Torres,Y. 2011. *Monopelopia tillandsia*, (Diptera,Chironomidae, Tanypodinae), primer registro para Cuba y el Neotrópico. *Revista Colombiana de Entomología*, 37 (1): 163-165.

Bello, O. 2011. *Beardius reissi* Jacobsen, 2000 (Diptera, Chironomidae, Chironominae), recorded for the first time from the Republic of Cuba. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 49: 364.

Bello, O. 2012. Primer registro de *Ablabesmyia (Karelia) cinctipes* (Diptera, Chironomidae) para Cuba. *Novitates Caribaea*, 5: 100-102.

Bello, O y Téllez, B. 2012. First record of *Tanypus neopunctipennis* Sublette, 1964 (Tanypodinae: Chironomidae) from Cuban archipelago. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 51: 356.

Bello, O., Spies, M. y Téllez, B. 2013. Estado del conocimiento de la familia Chironomidae (Insecta: Diptera) en Cuba. *Dugesiana* 20(2): 233-242.

Botosaneanu, L. 1979. The Caddis–Flies (Trichoptera) of Cuba and of Isla de Pinos: A synthesis. *Studies on the fauna of Curacao and other Caribbean Island*. 59: 33-62.

Botosaneanu, L. 1994. A study of the larvae of Caddisflies (Trichoptera) from Cuba. *Tropical Zoology* 7: 451–475.

Brehm, V. 1948. Datos sobre la fauna de agua dulce de Cuba. *Publicaciones del Instituto de Biología Aplicada, Barcelona* 5: 95-112. Codreanu, R. y Balcesco, D. 1973. *Dugesia cubana n. sp*., planarie nouvelle de l´ile de Cuba et ses affinités sud-américaines. Pp 71-87 En: Orghidan, T., Núñez-Jiménez, A., Botosaneanu, L., Decou, V., Negrea ST. y Viña-Bayés, N. (Eds.). Résultats des expéditions biospéologiques cubano-roumaines á Cuba (1). Editura Academiei Republicii Socialiste Romania.

Coman, D. 1973. Una nouvelle espèce de *Neomermis* des grottes de Cuba (Nematoda: Mermithidae). Pp. 101-102. En: Orghidan, T., Núñez-Jiménez, A., Botosaneanu, L., Decou, V., Negrea ST. y Viña-Bayés, N. (Eds.). Résultats des expéditions biospéologiques cubano-roumaines á Cuba (1). Editura Academiei Republicii Socialiste Romania.

Cuervo, N., González, J., Reyes, M. y Martínez, H. 1995. Lista de los ácaros de Cuba (Arachnida: Acari). *Revista Cocuyo* 2: 10-20.

Dancáu, D. 1973. Contribution á la connaissance des Amphipodes souterrains de Cuba. Pp. 223-229. En: Orghidan, T., Núñez-Jiménez, A., Botosaneanu, L., Decou, V., Negrea, S.T., y Viña-Bayés, N. (Eds.), Résultats des expéditions biospéologiques cubano-roumaines á Cuba (1). Editura Academiei Republicii Socialiste Romania.

Deler, A. y Cala, F. 2010. Escarabajos acuáticos (Coleoptera: Adephaga, Polyphaga) de la reserva florística manejada Monte Barranca. *Novitates Caribaea* 3: 69-76.

Deler, A. y Delgado, J. 2010. Primer registro de *Enochrus* (*Lumetus*) *hamiltoni* para Cuba (Coleoptera: Hydrophilidae) con datos sobre su hábitat. *Revista Colombiana de Entomología* 36(2): 338-339.

Deler, A. y Delgado, J. 2011. First data on the study of larval morphology and chaetotaxy of the family Hydraenidae from Cuba. *Acta Entomologica Musei Nationalis Pragae* 51(2): 731–756.

Deler, A. y Delgado, J. 2012. The Hydraenidae of Cuba (Insecta: Coleoptera) I: Contribution to the fauna of eastern Cuba. *Zootaxa* 3478: 213–238.

Deler, A., Fikáček, M. y Cala, F. 2013. A review of the genus *Berosus* Leach of Cuba (Coleoptera, Hydrophilidae). *ZooKeys* 273: 73–106.

Deler, A. y Megna, Y. 2007. New records of *Desmopachria tarda* Spangler (Coleoptera: Dytiscidae) an endemic specie from Cuba, with habitat notes. *Journal of the Kansas Entomological Society* 80(3): 262-263.

Deler A., Megna, Y., González, D. y Carcasés, C. 2007. Insectos acuáticos y áreas prioritarias para la conservación en la cuenca alta del Río Cauto, en la provincia Santiago de Cuba, Cuba. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa* 40: 451-461.

Díaz-Azapiazu, M., González, V., Palacios, J. y Luciáñez, M. 2004. Clave dicotómica para la determinación de los colémbolos de Cuba (Hexapoda: Collembola). *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa* 34: 73–83.

Flint, O. 1996a. The Odonata of Cuba, with a report on a recent collection and check list of the Cuban species. *Cocuyo* 5: 17–20.

Flint, O. 1996b. Check list of the Trichoptera, caddisflies, of Cuba. *Cocuyo* 5: 15–17.

Flint, O. y Sykora, J. 2004. Caddisflies of Hispaniola, with special reference to the Dominican Republic (Insecta: Trichoptera). *Annal of Carnegie Muesum* 73(1): 1-60.

Garcés, G., Naranjo, C. y González, F. 1992. Primer hallazgo de un representante de la familia Blephariceridae (Diptera: Nematocera) en Cuba. *Miscelánea Zoológicas del Instituto de Ecología y Sistemática*: 1.

Garrido, O. y Kirkconnell, A. 2010. Aves de Cuba. Comstock Publishing Associates, Cornell University Press, New York, USA.

Goldschmidt, T. 2007. Zoogeographical relationships of Central American Water Mites. In: Acarology XI: Proceedings of the International Congress 8-13 September 2002, Mérida, Yucatán, México. Morales-Malacara, J.B., Behan-Pelletier, V., Ueckermann, E., Pérez, T.M., Estrada-Venegas, E.G. & Badii, M. (eds.). Instituto de Biología and Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México; Sociedad Latinoamericana de Acarología. México, 2007: 83-95.

Gómez, O., Juarrero, A. y Virsida, A. 1990. Catálogo y bibliografía de los camarones (Crustacea: Decapoda) cubanos de agua dulce. *Poeyana* 397: 1-11.

González, D. y Naranjo, C. 2007. Clave de identificación para larvas de las especies del orden Ephemeroptera (Insecta) presentes en Cuba. *Revista de la Sociedad. Entomológica Argentina*: 66(1-2): 139-147.

González, D. y Salles, F. 2007. Description of a new species of *Fallceon* from Cuba, and redescription of the larva of *F. longifolius* (Ephemeroptera, Baetidae). *Zootaxa* 1583: 51–57.

González, D., Muñoz, S. y Musle, Y. 2002. Utilización de una base de datos para la determinación de los macroinvertebrados bioindicadores de la calidad del agua en Cuba. Tesis en opción al título de Lic. en C. Biológicas. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba. Cuba.

González, D., Salles, F. y Naranjo, C. 2008 Situación Actual del Estudio del Orden Ephemeroptera en Cuba. *Neotropical Entomology* 37(1): 45-50.

González, D., Trapero, A., Naranjo, C. y López, P. 2005. Macroinvertebrados dulceacuícolas y calidad de las aguas de tres estaciones de Sierra de Nipe y Sierra Cristal, Región Oriental de Cuba. *Cocuyo* 15: 15–20.

González, R. 2008. Culícidos de Cuba. Editorial Científico Técnica. La Habana, Cuba.

Hollinger, A. 1983. Larvae and pupae of aquatic Lepidoptera collected in running waters in Cuba. Pp. 208-215. En: T. Orghidan, A. Núñez-Jiménez, V. Decou, ST. Negrea y N. Viña-Bayés (Eds.). Résultats des expéditions biospéologiques cubano-roumaines á Cuba (4). Editura Academiei Republicii Socialiste Romania.

Holthuis, L.B. 1977. On some freshwater and terrestrial Crustacea Decapoda from Cuba. Pp. 271-275. En: T. Orghidan, A. Núñez Jiménez, V. Decou, S.T. Negrea y Viña Bayés, N. (Eds.). Résultats des expéditions biospéologiques cubano-roumaines á Cuba (2). Editura Academiei Republicii Socialiste Romania.

Juarrero, A. y Gómez, O. 1995. Sinopsis de los camarones dulceacuícolas: (Crustacea: Decapoda) de Cuba. Editorial Academia, Cuba.

Kluge, N. 1991. Efímeras cubanas de la familia Baetidae (Ephemeroptera) I: Géneros *Callibaetis*, *Cloeodes* y *Paracloeodes*. *Zoologicheskii Jurnal* 70(12): 128-135 (en ruso).

Kluge, N. 1992a. Efímeras cubanas de la familia Baetidae (Ephemeroptera) II: Subgéneros *Caribaetis* y *Americabaetis* del género *Baetis*. *Zoologicheskii Jurnal* 71(4): 13-20 (en ruso).

Kluge, N. 1992b. Efímeras cubanas de la familia Baetidae (Ephemeroptera) III: Subgénero *Fallceon* del género *Baetis*. *Zoologicheskii Jurnal* 71(5): 38-47 (en ruso).

Kluge, N. 1993. A revisión of Leptophlebiidae from Cuba (Ephemeroptera). *Zoosystematica Rossica* 2 (2): 247-285.

Kluge, N. y Naranjo, C. 1990. Efímeras de la familia Leptohyphidae (Ephemeroptera) de Cuba. *Entomologuicheskii Obozren* 69(3): 564-576 (en ruso).

Kluge, N. y Naranjo, C. 1994. Una especie peculiar de efímera del género *Euthyplocia* Eaton (Ephemeroptera: Euthyplociidae) de Cuba. *Entomologuicheskii Obozrenie* 73(4): 777-781 (en ruso).

Lalana, R., Ortiz, M. y Varela, C. 2005. Primera adición a la lista de los crustáceos no decápodos de Cuba. *Revista Biología* 19(1): 2.

López, P., González, D. y Naranjo, C. 2006. Lista de insectos acuáticos de la Reserva Ecológica "Alturas de Banao", Sancti Spiritus, Cuba (Insecta). *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa* 38: 201-204.

López, P., Naranjo, C., Fernández, J., González, D., Trapero A. y Pérez J. 2004. Insectos acuáticos del parque nacional "La Bayamesa", Cuba. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa* 35: 225-231.

López, P., C. Naranjo, Fernández J. y González, D. 2007. Caddisflies (Insecta: Trichoptera) in two Rivers of Eastern Cuba. Pp. 169-173. En: Bueno-Soria, J., R. Barba-Álvarez, y Armitage, B. (Eds). Proceedings of the XIIth International Symposium on Trichoptera.

Lugo-Ortiz C.R., McCafferty W.P. y Waltz, R.D. 1994. Contribution to the taxonomy of the Panamerican genus *Fallceon* (Ephemeroptera: Baetidae). *Journal of New York Entomolgy Society* 102: 460-475.

Malzacher, P., Naranjo, C., González, D. y Kluge, N. 2007. *Caenis cubensis*, a new species of the family Caenidae from Cuba (Insecta: Ephemeroptera). *Aquatic Insects* 29(4): 225-233.

Marshall, R. 1927a. Collecting Water Mites in Cuba. *Trans. Illinois State Acad. Sci.* 19: 197-199.

Marshall, R. 1927b. Water Mites from Cuba. *Transactions of the American Microscopical Society* 46 (1): 60-65.

Megna, Y. y Deler, A. 2006a. Composición taxonómica, distribución y bionomía de la familia Noteridae (Coleoptera: Adephaga) en Cuba. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina* 65(1-2): 69-80.

Megna, Y. y Deler, A. 2006b. Hydradephaga (Coleoptera: Adephaga) del Sector Baracoa del Parque Nacional Alejandro de Humboldt, Cuba. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa* 38: 153-156.

Megna, Y., Deler, A. y Challet, G. 2011. Description of a new species of *Laccophilus* Leach (Coleoptera: Dytiscidae), with notes on other Cuban species. *The Coleopterist Bulletin* 65(3): 213-226.

Megna, Y. y Epler, J. 2012. A review of *Copelatus* from Cuba, with the description of two new species (Coleoptera: Dytiscidae: Copelatinae). *Acta Entomologica Musei Nationalis Pragae* 52(2): 383–410.

Megna, Y., Naranjo, C. y Deler, A. 2007. Estado Actual del Conocimiento de la Familia Haliplidae en Cuba (Coleoptera: Haliploidea). *Bioriente* 1(1): 6-8.

Montgomery, T.H. 1898. The Gordiacea of certain American collections. Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College 32:23-59.

Muñoz, S., Ferraz, F., Moreira, F. y Naranjo, C. 2010. Checklist, distribution, and habitat of the semiaquatic and aquatic bugs from Cuba (Hemiptera: Heteroptera: Dipsocoromorpha, Leptopodomorpha, Gerromorpha and Nepomorpha). *Zootaxa* 2562: 1–23.

Muñoz, S., Naranjo, C., Garcés, G., González, D.D. y Musle, Y. 2005. Macroinvertebrados bioindicadores de la calidad del agua en Cuba (en línea). Disponible en: www.dama.gov.co. Obtenido el 21 de octubre del 2014.

Muñoz, S., Naranjo, C., González, D. e Imbert, T. 2009. Insectos acuáticos del Área Protegida Resolladero del río Cuzco (Provincia Guantánamo, Cuba). *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa* 44: 497-503.

Naranjo, C. 1986a. Análisis ecólogo-faunístico de insectos anfibióticos del Parque Nacional Sierra Maestra I. Ephemeroptera. *Vesnik* 2: 126-131 (en ruso).

Naranjo, C. 1986b. Análisis ecólogo-faunístico de insectos anfibióticos (Ephemeroptera, Trichoptera y Odonata) del Parque Nacional Sierra Maestra, Cuba. Autoreferat de Tesis de Doctorado. Universidad Estatal de San Petersburgo. Rusia. (en ruso)

Naranjo, C. 1987. Análisis ecólogo faunístico de insectos anfibióticos del Parque Nacional Sierra Maestra. II. Trichoptera. *Vesnik* 3: 90-92 (en ruso).

Naranjo, C. 1988a. Un caso notable de conducta en la larva de *Hypolestes trinitatis* Gundlach (Odonata: Lestidae). *Miscelánea Zoológica del Instituto de Zoología de la Academia de Cuba* 38: 3.

Naranjo, C. 1988b. Hallazgo de larvas del género *Euthyplocia* (Ephemeroptera: Euthyplocidae). *Miscelánea Zoológica del Instituto de Zoología de la Academia de Cuba* 38: 3-4.

Naranjo, C. 1988c. Tipos ecomorfológicos de larvas de efímeras cubanas (Ephemeroptera) *Miscelánea Zoológica del Instituto de Zoología de la Academia de Cuba* 37: 4

Naranjo, C., Aguirre, I., Martínez, Y. y Soria, J. 2010. Metodología de trabajo para macroinvertebrados dulceacuícolas en ríos de Cuba: *Cocuyo* 18: 55–57.

Naranjo, C. y Cañizares, M. 1999. Situación actual de Ephemeroptera (Insecta). *Cocuyo* 8: 17-19.

Naranjo, C., Garcés, G., González, D., Brandimarte, A., Muñoz, S. y Musle, Y. 2005. Una metodología rápida y de fácil aplicación para la evaluación de la calidad del agua utilizando el índice BMWP-Cub para ríos cubanos. *Tecnura* 17: 65–76.

Naranjo, C. y González, D. 2005. Situación actual del estudio del orden Trichoptera en Cuba. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa* 36: 147-152.

Naranjo C., González, D., Trapero, A. y Suárez, Y. 2007. Situación actual del estudio de los macroinvertebrados fluviátiles de Cuba. *Bioriente* 1(1): 1- 5.

Naranjo C. y López, P. 2013. Biological Monitoring Working Party, un índice biótico con potencialidades para evaluar la calidad de las aguas en ríos cubanos. *Ciencia en su PC* 2: 15-25.

Naranjo C., Muñoz, S., Moreira, F. y Correa, R. 2010. Taxonomy and distribution of aquatic and semiaquatic Heteroptera (Insecta) from Cuba. *Revista de Biología Tropical* 58(3): 897-907.

Naranjo, C. y Teruel, R. 2001. Nuevos registros de localidad de *Euthyplocia inaccessibile*, Kluge *et* Naranjo, 1994 y *Hagenulus* (*Traverina*) *oriente* Kluge, 1993 (Ephemeroptera: Euthyplocidae, Lepthophlebiidae). *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa* 29: 47-48.

Naranjo, C. y Trapero, A. 2000. Insectos acuáticos del macizo montañoso de la Gran Piedra. *Biodiversidad de Cuba oriental* 5: 89-93.

Naranjo, C. y Trapero, A. 2008. Clave dicotómica para la identificación de las especies cubanas del orden Odonata, en estado larval. *Cocuyo* 17: 28-36.

Negrea, A. y Jacobson, M.K. 1977. Gastéropodes de Cuba recueillis par les expéditions biospéologiques cubano-roumaines (1969 et 1973). Pp. 65-92. En: Orghidan, T., Núñez-Jiménez, A., Decou, V., Negrea, S.T. y Viña-Bayés, N. (Eds.), Résultats des expéditions biospéologiques cubano-roumaines á Cuba (2). Editura Academiei Republicii Socialiste Romania.

Olivares, G., Naranjo, C., López P. y Morell, A. 2012. Valoración de la calidad del agua del río San Juan de Santiago de Cuba asociado a un foco de contaminación ambiental. *Ciencia en su PC* 4: 4.

Orghidan, T. N. y Georgesco, M., 1977. Hydracariens de Cuba. Espéces nouvelles de *Neolimnochares* et de Wandsia. Pp. 209-215. En: T. Orghidan, A. Núñez Jiménez, V. Decou, S.T. Negrea y Viña Bayés, N. (Eds.). Résultats des expéditions biospéologiques cubano-roumaines á Cuba (2). Editura Academiei Republicii Socialiste Romania.

Orghidan, T.N. y Gruia, M. 1977. Sur quatre espéces du genre *Arrenurus* (Hydrachnellae) de Cuba. Pp. 231-240. En: T. Orghidan, A. Núñez Jiménez, V. Decou, ST. Negrea y Viña Bayés, N. (Eds.). Résultats des expéditions biospéologiques cubano-roumaines á Cuba (2). Editura Academiei Republicii Socialiste Romania.

Orghidan, T.N. y Gruia, M. 1980a. Hydracariene nouveaux de Cuba appartent aux familles des Unionicolidae Oudem., Mideidae Thor et Hungarohydracaridae Motas & Tanasachi. Travaux *de l'institute de spéologie «Emile Racovitza»* 19: 125-142.

Orghidan, T.N. y Gruia, M. 1980b. Diagnose de trois hydrachnelles nouveaux de Cuba. *Travaux de l'institute de spéologie «Emile Racovitza»* 19: 143-146.

Orghidan, T.N. y Gruia, M. 1981. Espèces nouvelles d'Axonopsella (Hydracarina) de Venezuela et Cuba. *Travaux de l'institute de spéologie «Emile Racovitza»* 20: 55-73.

Orghidan, T. N. y Gruia, M. 1983. Sur trois espéces nouvelles d´Hydrachnellae de Cuba appartenant au genre *Cladomomonia* Orgh. et Gruia et au sous-genre *Crocokonsbergia* Orgh. et Gruia. Pp. 167-179. En: T. Orghidan, A. Núñez Jiménez, V. Decou, ST. Negrea y Viña Bayés, N. (Eds.). Résultats des expéditions biospéologiques cubano-roumaines á Cuba (4). Editura Academiei Republicii Socialiste Romania.

Orghidan, T.N. y Gruia, M. 1983b. Espèces nouvelles d' hydracariens de Cuba. Résultats des expéditions biospéologiques cubano-roumaines à Cuba. II. 181-189.

Orghidan, T.N. y Gruia, M. 1983c. Description de deux espèces nouvelles d' Hydracariens de Cuba. *Travaux de l'institute de spéologie «Emile Racovitza»* 22: 3-8.

Orghidan, T.N. y Gruia, M. 1983d. Quelques données sur la faune hyporhéique des hydracariens de Cuba. *Mém. Biospéol*. 10, 339.

Orghidan, T.N., Gruia, M., Georgesco, M. y Vina Bayes, N. 1977a. Sur deux Hydrachnelles souterraines nouvelles de Cuba. Résultats des expéditions biospéologiques cubano-roumaines à Cuba. II.: 217-226

Orghidan, T. N., Gruia M. y Viña Bayés, N. 1977b. Sur une espéce d´Hydracarien vivant dans les Phytotelmes de Cuba. Pp. 227-230. En: T. Orghidan, A. Núñez Jiménez, V. Decou, ST. Negrea, Viña Bayés, N. (Eds.). Résultats des expéditions biospéologiques cubano-roumaines á Cuba (2). Editura Academiei Republicii Socialiste Romania.

Orghidan, T.N., Negrea, S. y Viña Bayés, N. 1977c. Deuxième expédition biospéologique cubano-roumaine à Cuba (1973). Présentation sommaire des stations terrestres et aquatiques prospectées. Résultats des expéditions biospéologiques cubano-roumaines à Cuba. II. 15-40.

Orghidan, T.N., Gruia, M. y Iavorschi, V. 1981. Espèce nouvelles d'Hydracariens de Cuba appartenant au genre *Axonopsis* Piersig. *Travaux de l'institute de spéologie "Emile Racovitza"* 20: 29-53.

Parra, A. 1787. Descripción de diferentes piezas de la historia natural, las más del ramo marítimo, representadas en setenta y cinco láminas. Imprenta de la Capitanía General, La Habana, Cuba.

Peck, S. 2005. A check list of the beetles of Cuba with data on distributions and bionomics. *Arthopods of Florida and Neighboring Land Areas* 18: 241.

Peck, S., Ruiz, A., y Garcés, G. 1998. The cave-inhabiting beetles of Cuba (Insecta: Coleoptera): diversity, distribution and ecology. *Journal of Cave and Karst Studies* 60: 156 – 166.

Peters, W.L. 1971. A revision of the Leptophlebiidae of the West Indies (Ephemeroptera). *Smithsonian Contribution to Zoology* 62: 1–48.

Pointier, JP., Yong, M. y Gutiérrez, A. 2005. Guide to the freshwater mollusks of Cuba. Conchbooks, Alemania.

Samek, V. 1973. Regiones Fitogeográficas de Cuba. Academia de Ciencias de Cuba. *Serie Forestal* 15:163.

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.

Smith, K. y Fernando, C. 1980. Guía para los copépodos (Calanoida y Cyclopoida) de Cuba. *Academia de Ciencias de Cuba* 28.

Spangler, P.J. 1973. Aquatic Coleoptera collected by the Biospeleological Expeditions to Cuba by the Academies of Science of Cuba and Romania (Gyrinidae, Dytiscidae, Hydrophilidae, Hydraenidae, Elminthidae, Psephenidae). Pp. 353-358. En: Orghidan, T., Núñez-Jiménez, A., Botosaneanu, L., Decou, V., Negrea, S.T. y Viña-Bayés, N. (Eds.), Résultats des expéditions biospéologiques cubano-roumaines á Cuba (1). Editura Academiei Republicii Socialiste Romania.

Spangler, P.J. 1981. Supplement to the aquatic and semiaquatic Coleoptera of Cuba collected by the Biospeleological Expeditions to Cuba by the Academies of Science of Cuba and Romania. Pp. 145-171. En: Orghidan, T., Núñez-Jiménez, A., Decou, V., Negrea, S.T., Viña–Bayés, N. (Eds.), Résultats des expéditions biospéologiques cubano-roumaines á Cuba (3). Editura Academiei Republicii Socialiste Romania.

Téllez, B. 2009. Primera cita para Cuba de *Goeldichironomus devineyae* Beck & Beck a partir de larvas (Diptera: Chironomidae). *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 44: 531-532.

Téllez, B. 2011. Nuevas citas para Cuba de *Goeldichironomus natans* Reiss, 1974, *Goeldichironomus holoprasinus* Goeldi, 1905 *y Coelotanypus scapularis* Loew, 1866, a partir de larvas saproxilófilas (Diptera: Chironomidae). *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 49: 299-301.

Trapero, A. 2007. Maroinvertebrados asociados a las raíces de *Eichhornia crassipes* (Pontederiaceae) en la presa Chalons, Santiago de Cuba. Tesis de Maestría, Universidad de Oriente, Cuba.

Trapero, A. y Naranjo, C. 2001. New locality reports for *Crocothemis servilia* (Drury, 1773) (Odonata: Libellulidae) in Cuba. *Argia. The New Journal of Dragonfly Society of the Americas* 13(2): 3.

Trapero, A. y Naranjo, C. 2003. Revision of the order Odonata in Cuba. *Bulletin of American Odonatology* 7(2): 23-40.

Trapero, A. y Naranjo, C. 2004. Clave de identificación para los adultos de las especies del orden Odonata presentes en Cuba. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa* 35: 171-180.

Trapero, A., Torres, Y., Naranjo, C. y Bello, O. 2004. Annoted list of the Odonates in the Alexander Humboldt National Park, Guantánamo Province, Cuba. *Argia, The new Journal of the Dragonfly Society of the Americas* 16(2):16-19.

Traver, J. 1938. Mayflies of Puerto Rico. *Journal of Agriculture, Universidad de Puerto Rico* 22(1): 5–42.

Vales, M. A., Álvarez A., Montes L. y Ávila, A. 1998. Estudio nacional sobre la diversidad biológica en la República de Cuba. CESYTA. Madrid, España.

4.10. Anexos

Anexo 1: Puntaje otorgado a cada familia de macroinvertebrados incluida para el cálculo del índice BMWP-Cub y clases de calidad de agua según sumatoria obtenida (según Muñoz et al. 2005).

El **BMWP-Cub** (*Biological Monitoring Working Party modificado para Cuba*) es un índice que se calcula sumando las puntuaciones asignadas a las familias a las que pertenecen los distintos taxones encontrados en las muestras de macroinvertebrados. 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 encontrados en cada una de las familias; o sea se toma en cuenta solamente la presencia de cada familia.

Ephemeroptera		***Trichoptera***		***Amphipoda***	
Baetidae	7	Hydrobiosidae	10	Gammaridae	1
Leptophlebiidae	9	Calamoceratidae	8		
Leptohyphidae	6	Glossosomatidae	9	***Decapoda***	
Caenidae	4	Helicopsychidae	8	Palaemonidae	6
Euthyplociidae	9	Hydropsychidae	5	Pseudotelphusidae	6
		Hydroptilidae	7	Atyidae	5
Hemiptera		Leptoceridae	8		
Corixidae	2	Odontoceridae	10	***Mollusca***	
Pleidae	2	Philopotamidae	8	Thiaridae	7
Gerridae	3	Polycentropodidae	8	Neritidae	7
Hydrometridae	3	Xiphocentronidae	9	Ampullaridae	4
Mesoveliidae	3	Ecnomidae	10	Ancylidae	6

Belostomatidae	4				
Veliidae	6	***Diptera***		***Turbellaria***	
Notonectidae	7	Blephariceridae	10	Dugesidae	7
Nepidae	6	Ceratopogonidae	5		
		Chironomidae	4	***Coleoptera***	
Odonata		Dolichopodidae	7	Dryopidae	5
Aeshnidae	8	Empididae	5	Gyrinidae	3
Coenagrionidae	5	Psychodidae	4	Hydrophilidae	5
Gomphidae	8	Simullidae	5	Elmidae	6
Lestidae	3	Tabanidae	6	Psephenidae	7
Libellulidae	3	Tipulidae	6	Carabidae	8
Protoneuridae	4	Dixidae	7	Noteridae	4
Megapodagrionidae	9	Stratiomyidae	7	Halliplidae	4
		Culicidae	2	Dytiscidae	4
Lepidoptera				Scirtidae	7
Crambidae	5	***Acarina***			
		Hydracaridae	3	***Hirudinea***	
		Hydrochidae	3	Gnathobdellidae	1
		Hydraenidae	5		

CLASES	CALIDAD	BMWP/Cu	SIGNIFICACIÓN	COLOR
I.	Buena	> 150 101 a 120	Aguas muy limpias, aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible.	Azul
II.	Aceptable	61 a 100	Evidentes algunos efectos de contaminación.	Verde
III.	Dudosa	36 a 60	Aguas contaminadas.	Amarillo
IV.	Crítica	16 a 35	Aguas muy contaminadas.	Naranja
V.	Muy crítica	< 15	Aguas fuertemente contaminadas.	Rojo

Leptoceridae, Trichoptera

Autor de fotografía: Kenji Nishida

Exuvia de náyade de Libellulidae, Odonata

Autor de fotografía: Pablo Gutiérrez

El Salvador

José Miguel Sermeño Chicas[1], Leopoldo Serrano Cervantes[2], Dagoberto Pérez[3], Rubén Ernesto López Sorto[4], Altagracia de Jesús Zepeda Aguilar[5] y Ana Karla Castillo Ayala[6]

[1]Departamento de Protección Vegetal, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. sermeno2013@gmail.com; [2]Departamento de Protección Vegetal, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. icervan2013@gmail.com; [3]Departamento de Ciencias Agronómicas, Facultad Multidisciplinaria Paracentral, Universidad de El Salvador. dagobertoperez@hotmail.com; [4]Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Universidad de El Salvador. rubensorto3@yahoo.com; [5]Programa de Maestría en Entomología, Universidad de Panamá. escarlet007@hotmail.com; [6]Centro de Investigaciones Científicas y Desarrollo en Salud (CENSALUD), Universidad de El Salvador. gaiakarla@gmail.com

5.1. Resumen

El Salvador es el país más pequeño de Centroamérica y a su vez presenta la densidad poblacional más alta. Entre los principales problemas ambientales predominantes en el territorio están la deforestación, erosión y contaminación tanto de los recursos hídricos como del suelo. Los recursos hídricos son contaminados por desechos domésticos, industriales, agroindustriales y agropecuarios. Un aspecto cultural que coadyuva al incremento de los niveles de contaminación de los ríos, es el uso de sus cauces e incluso canaletas que conducen agua para riego, para el lavado de vestimenta humana y la realización de otras actividades domésticas. El deterioro de los recursos hídricos también se ve favorecido por las descargas de vertidos de origen doméstico e industriales que son depositadas en el cauce de los ríos sin ningún tratamiento previo. Por lo anterior es imperativo realizar estudios que muestren los niveles de contaminación de las aguas continentales, debido a que hasta el momento son muy limitadas las investigaciones que se han realizado. Sin embargo, se ha logrado sistematizar alrededor de 60 trabajos relacionados con los macroinvertebrados acuáticos, con los primeros registros desde el año 1950. El mayor volumen de estudios relacionados con los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de

la calidad de las aguas continentales superficiales se inició en el año 1990. El interés por el estudio de estos organismos en los ecosistemas acuáticos salvadoreños ha evolucionado e incrementado muy recientemente y tales trabajos han sido realizados tanto por instituciones gubernamentales como no gubernamentales. El método legalmente establecido en El Salvador para determinar la calidad ambiental del agua es mediante el uso de parámetros físico-químicos y microbiológicos, específicamente el Índice de Calidad de Agua (ICA), no así el uso de los macroinvertebrados acuáticos, cuya metodología aún no ha sido de trámite legal. Por eso, en el año 2010, la Universidad de El Salvador, con el apoyo de otras instituciones gubernamentales, no gubernamentales e internacionales, realizó el proyecto de investigación "Formulación de una Guía Metodológica Estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos". A partir de este proyecto se adaptó una metodología tomando como base el Índice Biótico por familias de Hilsenhoff, generando el método adaptado IBF-SV-2010, que podría ser aplicable para El Salvador. Dichos resultados fueron entregados a las autoridades del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) para que gestionaran su legalización o al menos sirvieran de base para plantear una metodología de país; sin embargo, hasta el momento no ha sido considerado. Este aspecto, entre otros, forma parte de los elementos limitantes que han restringido la utilización legal de esta metodología para evaluar la calidad ambiental de las aguas continentales en El Salvador.

5.1. Abstract

While El Salvador is the smallest country in Central America, it has the highest population density. The primary environmental problems in the country include deforestation, erosion and contamination of both water resources as well as soil. Water resources are contaminated by domestic, industrial, agro-industrial and farming and livestock wastes. A cultural factor that contributes to increasing levels of contamination in rivers is the use of their channels and even irrigation canals to wash human clothing and conduct other domestic activities. The deterioration of water resources is also affected by domestic and

industrial wastes discharged into rivers with no prior treatment. Therefore, studies demonstrating the contamination levels of continental waters are imperative given that research has been very limited. Nevertheless, roughly 60 works related to aquatic macroinvertebrates have been systematized, with the first records dating back to the year 1950. Most of the studies related to aquatic macroinvertebrates as indicators of the water quality of continental surface water began in the year 1990. Interest in studying these organisms in Salvadoran aquatic ecosystems has evolved and increased very recently and these investigations have been performed by both governmental institutions and non-governmental organizations. The legally established method in El Salvador to determine the environmental quality of water includes physiochemical and microbiological parameters, specifically the Water Quality Index (WQI). The use of aquatic macroinvertebrates as a method has not been legally approved. Therefore, in the year 2010, the University of El Salvador conducted the research project "Formulation of a Standardized Methodological Guide to Determine the Environmental Quality of Water in Rivers in El Salvador, using Aquatic Insects," with the support of governmental institutions and non-governmental and international organizations. This project adapted a methodology based on the Hilsenhoff Index of Biotic Integrity, resulting in the adapted IBF-SV-2010 method, which could be applied to El Salvador. These results were submitted to the authorities at the Ministry of the Environment and Natural Resources (MENR) in order to proceed with the legalization of this method, or at least so that it could serve as a basis to propose a methodology for the country. Nonetheless, it has not yet been considered. This, among others factors, has restricted the legal use of this methodology to evaluate the environmental quality of continental water in El Salvador.

5.2. Introducción

El Salvador es el país más pequeño de Centroamérica, con una longitud costera de 321 kilómetros que inicia en la zona occidental del país desde el río Paz, frontera con Guatemala hasta el Golfo de Fonseca que comparte con Honduras y Nicaragua. Es un país de clima tropical con dos épocas bien definidas, una lluviosa que generalmente inicia en el mes de mayo y finaliza normalmente en el mes de octubre y el resto del año corresponde a transición y época seca.

En El Salvador existe una fuerte presión sobre los recursos naturales generados por la alta densidad poblacional que corresponde a 289.47 personas/km^2. El recurso hídrico está siendo altamente afectado por la presión humana, agravando cada vez más su disponibilidad, tanto en cantidad como en calidad. Los

factores de presión son principalmente la sobreexplotación de los acuíferos, el vertimiento de sustancias contaminantes a los cuerpos de agua, los cambios en el uso de los suelos, tales como la deforestación, las prácticas agrícolas inadecuadas y el incremento de urbanizaciones en zonas de producción hídrica, entre otros. Este decrecimiento en la disponibilidad hídrica aunado a un alto índice de crecimiento poblacional, genera conflictos que han comenzado a sentirse y que tienden a agravarse si no se toman las medidas necesarias, como la regulación del uso del agua a través de mecanismos de planificación, normativas y leyes que permitan su protección y su distribución en forma racional. Cabe destacar que El Salvador podría llegar a tener niveles de estrés hídrico al año 2050 bajo el escenario pesimista, asumiendo que se mantienen las condiciones actuales de oferta hídrica (Servicio Nacional de Estudios Territoriales y Servicio Hidrológico Nacional Balance Hídrico Integrado y Dinámico 2005).

El Salvador alberga un estimado de 590 ríos y arroyos, los cuales se agrupan en 11 regiones hidrográficas que vierten al océano Pacífico y algunas pequeñas cuencas endorreicas, entre las que destaca por su tamaño la del lago de Coatepeque (figura 1). De las 11 regiones citadas, seis están compuestas por ríos de recorrido considerable, las cuales son: cuenca del río Lempa, compartida con Honduras y Guatemala; cuenca del río Paz, compartida con Guatemala; Sonsonate, cuenca conformada por los ríos San Pedro y Sensunapán; cuenca del río Jiboa, en parte alimentada por el desagüe del lago de Ilopango; cuenca del Río Grande de San Miguel; cuenca del río Goascorán, compartida con Honduras. El resto de las regiones hidrográficas se ubican en la zona costera, donde dominan los ríos de corto recorrido, agrupados de la siguiente manera: entre los ríos Paz y Sonsonate, entre los ríos Sonsonate y Jiboa y entre los ríos Jiboa y Lempa (Jiménez *et al.* 2004).

Es necesario cuidar el limitado recurso hídrico que se dispone, para lo cual es preciso el monitoreo de su calidad ya sea para el consumo humano o desde el punto de vista ecológico. Este proceso se dificulta debido a lo oneroso que resulta la aplicación de las metodologías fundamentadas generalmente en el uso de parámetros físico-químicos y microbiológicos. Ante dicha situación se plantea la alternativa del uso de los macroinvertebrados acuáticos para evaluar la calidad ambiental del agua. Sin embargo, es necesario conocer más sobre el tema e identificar los avances y la situación en que se encuentra actualmente dicha temática. En este trabajo se presentan los resultados encontrados en diferentes publicaciones formales y en la literatura gris respecto a la situación en que se encuentra el estudio de los macroinvertebrados acuáticos en El Salvador. Se adiciona la información de los inventarios taxonómicos y los estudios que se han realizado sobre el monitoreo biológico de los ríos de El Salvador, mediante el uso de los macroinvertebrados acuáticos. Se ha encontrado muy poca información en relación a la comparación en tiempo y espacio, de la biodiversidad en diferentes cuerpos de agua, ni el impacto que causan las diversas alteraciones significativas en los cuerpos de agua continentales (lagos, lagunas, ríos y pantanos).

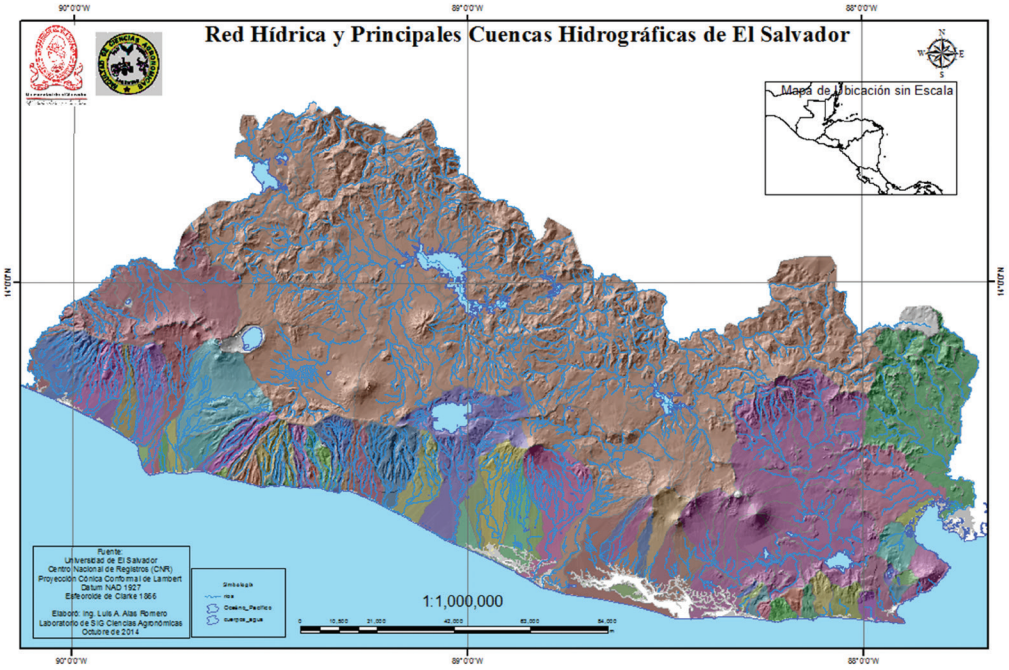


Figura 1. Red hídrica, cuencas hidrográficas y ambientes lénticos de El Salvador.

5.3. Estado del conocimiento sobre los macroinvertebrados dulceacuícolas en El Salvador

Hasta el momento son muy limitados los estudios que se han realizado, a pesar que se ha logrado sistematizar alrededor de 60 trabajos relacionados con los macroinvertebrados acuáticos, encontrando los primeros registros desde el año 1950. La mayoría de los trabajos relacionados con los macroinvertebrados acuáticos

como indicadores de la calidad de las aguas continentales superficiales se iniciaron aproximadamente en el año 1990. El interés por el estudio de estos organismos en los ecosistemas acuáticos salvadoreños ha evolucionado e incrementado recientemente, realizados tanto por instituciones gubernamentales como no gubernamentales. Sin embargo, se considera que actualmente el conocimiento sobre esta temática aún es limitado.

5.3.1. Estudios taxonómicos

Existen pocos estudios taxonómicos de macroinvertebrados acuáticos en El Salvador y su nivel de detalle se ubica al nivel de clase, orden y familia y sólo en pocos casos a nivel de género y especie. La mayoría de identificaciones taxonómicas han sido realizadas por expertos extranjeros. Esto muestra la necesidad de formar recurso humano nacional en esta área del conocimiento. Como una primera herramienta para la identificación de los insectos acuáticos de El Salvador, se publicaron una serie de guías ilustradas con claves dicotómicas a nivel de familia para los siguientes órdenes: Ephemeroptera (Serrano Cervantes y Zepeda Aguilar 2010), Plecoptera (Gutiérrez-Fonseca *et al.* 2010), Odonata (Sermeño Chicas *et al.* 2010), Hemiptera (Pacheco-Chaves 2010), Coleoptera (Gutiérrez-Fonseca 2010), Megaloptera y Neuroptera (López Sorto *et al.* 2010), Trichoptera (Springer *et al.* 2010), Lepidoptera (Serrano Cervantes y Zepeda Aguilar 2010) y Diptera (Menjívar Rosa 2010).

Filo Nematoda - La información que se encontró en los documentos que fueron consultados sobre el Filo Nematoda es limitada. Sin embargo, se ha documentado la presencia del nematodo dulceacuícola *Rhabdias fullerboni*, que parasita varias especies de anfibios (Caballero 1982).

Filo Nematomorpha – Según Schmidt-Rhaesa y Menzel (2005), no existen registros de especies de este filo para El Salvador.

Filo Plathyhelminthes – Se han detectado individuos turbeláridos tanto en agua dulce como en el medio marino. Estos organismos habitan bajo rocas, también dentro de conchas de murícidos y *Nerita* sp. El único registro bibliográfico de un turbelárido dulceacuícola en El Salvador corresponde a *Temnocephala brevicornis*, cuya asociación simbiótica con braquiuros fue señalada como dudosa (Barraza 2008). En 2003, se preservaron varios braquiuros del área natural protegida de Montecristo, sin embargo, no se pudo localizar espécimen alguno de esta especie de turbelárido. Un registro de otro turbelárido tricládido terrestre exótico en la ciudad de San Salvador en 1968, es la planaria *Bipalium kewense*, cuyo ámbito de distribución original abarca Vietnam, Camboya y posiblemente Malasia (Barraza 2008).

Filo Annelida - Howmiller (1974) publicó acerca de la presencia de oligoquetos pertenecientes a la familia Naididae (*Slavina evelinae*) en la laguna de Olomega, así como *Dero (Allodero) sp.* y *Allonais inaequalis* en la laguna de Cuscachapa. También hay registros de la presencia de la familia Tubificidae, representada por *Limnodrilus hoffmeistrei* en la laguna de Cuscachapa y de *L. udekemianus* y *Autorales cernosvitovi*, en la laguna de Olomega, (Barraza 2008). Harman (1982) documentó además la existencia

de 20 especies de Oligochaeta distribuidas en tres familias: Aelosomatidae, Opystocystidae y Naiadidae en la región de América Central. De la subclase Hirudinea, Barraza (2008) informó que se observaron al menos dos especies en sitios contaminados por materia orgánica del río Sucio en el valle de Zapotitán, asociados a plantas acuáticas o restos vegetales flotantes en zonas de baja corriente; sin embargo, se desconocen los géneros y las especies que existen en el país.

Filo Arthropoda

Subfilo Chelicerata

Clase Arachnida

Orden Trombidiformes – (Hydrachnidia) – Los registros sobre especies de ácaros acuáticos de El Salvador se limitan a un trabajo publicado por Viets (1953) sobre ácaros recolectados en la capa de musgos en una pared mojada en Los Chorros (Santa Tecla, San Salvador). En esta muestra se encontraron tres especies: *Epallagopus tecticoxalis, Trichothyas compressa* y *Tyrrellia crenophila*, las dos últimas también conocidas de hábitats similares de Costa Rica (Goldschmidt y Gerecke 2003, Goldschmidt 2004).

Subfilo Crustacea

Orden Ostracoda - McKenzie (1982) indicó la existencia de 120 especies y 40 géneros de ostrácodos para el área de México, América Central y las Antillas, de los cuales alrededor de 90 corresponden a especies dulceacuícolas, varias endémicas de las regiones antillana y neotropical. Hartmann (1957) informó de la existencia de dos géneros y siete especies nuevas para El Salvador y Triebel (1953) registró la existencia de especímenes fósiles de ostrácodos del género *Peleocypris*. Según Barraza (2008), estos organismos abundan en sedimentos del lago de Coatepeque y se recolectaron en sedimentos a 10m de profundidad. Estudios realizados por Collado *et al.* (1984) registraron la presencia de las especies *Chrissia humilis indica, Cypria petenensis* y *Heterocvpris sp.*, en ecosistemas acuáticos continentales del país.

Clase Malacostraca

Orden Amphipoda - Barraza (2008) informó de la presencia de la especie *Hyalella azteca* en el agua del arroyo El Berral dentro del área natural protegida Montecristo, así como en la laguna Las Ninfas, ambas localidades a una altitud mayor de 1,500 msnm.

Orden Isopoda - Organismos del orden Isopoda fueron encontrados en un trabajo de tesis que consistió en el reconocimiento de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos como alternativa para determinar la calidad del agua del río Sensunapán, en el departamento de Sonsonate (Chávez Sifontes y Orantes Guerrero 2010).

Orden Decapoda - En El Salvador, se considera que los decápodos dulceacuícolas constituyen el grupo más numeroso de Malacostraca, el cual está representado por tres familias, cuatro géneros y 17 especies (Amador 1992). Villalobos (1982) registró la presencia de la familia Atyidae, con las especies *Atya crassa* y *Potimirin glabra*, la familia Palaemonidae, con las especies *Macrobrachium tenellum* y *M. occidentale*, y la familia Pseudotelphusidae, con las especies *Elsalvadoria zurstrasseni, Raddaus bocourti* y *Potamocarcinus zilchi*.

Sufilo Hexapoda

Clase Collembola – Monterrosa Urías y Serrano Cervantes (1994) detectaron la presencia de organismos de la clase Collembola en un estudio sobre las comunidades de insectos acuáticos en tres estaciones y 12 fechas de recolecta en el río Chagüite (ambientalmente muy perturbado), afluente del lago de Ilopango. Otros estudios que registraron individuos de Collembola fueron realizados por Chávez Sifontes y Orantes Guerrero (2010), en el río Sensunapán, y por Martínez Quijano y Cano Funes (2008), aunque ninguno logró una identificación taxonómica más detallada.

Clase Insecta

Orden Ephemeroptera – De las 140 especies actualmente registradas para Centroamérica (Purdue University 2012), únicamente ocho han sido reportados para El Salvador, pertenecientes a las familias Leptohyphidae (*Leptohyphes*), Oligoneuridae (*Lachlania*) y Baetidae (*Americabaetis, Baetodes, Callibaetis, Camelobaetidius*). En un estudio realizado en el río Talnique (La Libertad), Sagastizado Méndez (2001) registró ninfas de los géneros *Baetodes, Callibaetis, Camelobaetidius* y *Mayobaetis* (Baetidae), *Thraulodes* y *Farrodes* (Leptophlebiidae), *Leptohyphes, Tricorythodes* y *Vacupernius* (Leptohyphidae).

Orden Odonata - En 1981, Gloyd presentó los primeros 17 registros de Odonata para El Salvador y en 1986 Westfall publicó 39 nuevos registros. También en un boletín filatélico se describieron seis especies de odonatos salvadoreñas (Donnelly y Hellebuyck 1985). Hellebuyck (1992) registró cuatro especies nuevas para la ciencia de Libellulidae, Gomphidae y Coenagrionidae, tres de ellas endémicas de El Salvador. El mismo autor presentó un listado preliminar de 128 especies y subespecies de 12 familias. Dentro de Zygoptera, Hellebuyck (1992) informó de la presencia de Polythoridae (1 sp); Calopterygidae (6 spp); Lestidae (4 spp); Megapodagrionidae (2 spp), Pseudostigmatidae (2 spp); Platystictidae (2 spp); Protoneuridae (2 spp); Coenagrionidae (9 gen, 34 spp.); y para el suborden Anisoptera: Aeshnidae (6 gen.,13 spp.); Gomphidae (4 gen.,11 spp.); Libellulidae (19 gen., 51 spp.) y Cordulegastridae (1 sp). Sin embargo, Paulson (2013), presentó un listado de 85 especies de Odonata para El Salvador, de las siguientes familias: Polythoridae (1 sp), Calopterygidae (1 gen., 3 spp), Lestidae (2 gen, 3 spp.), Megapodagrionidae (1 sp), Platystictidae (1 sp.), Protoneuridae (1 sp.), Coenagrionidae (6 gen., 17 spp.) Aeshnidae (4 gen., 5 spp.), Gomphidae (4 gen., 7 spp.), Libelluidae (19 gen., 40 spp.). Además, Hellebuyck (2002) describió la nueva especie *Paltothemis nicolae* (Libellulidae) para El Salvador. En un estudio realizado en el río Talnique, Sagastizado Méndez (2001), encontró náyades de las siguientes familias y géneros de Odonata: Calopterygidae (*Hetaerina*), Coenagrionidae (*Acanthagrion, Argia, Leptobasis* y *Nehalenia*), Platystictidae (*Palaemnema*), Aeshnidae (*Coryphaeshna* y *Remartinia*), Libellulidae (*Brechmorhoga, Dythemis*, y *Miathyria*), Gomphidae (*Epigomphus, Erpetogomphus* y *Phyllogomphoides*).

Orden Orthoptera - No se cuenta con información sobre especies acuáticas de este grupo para El Salvador.

Orden Plecoptera – Este orden fue registrado por primera vez en 1959 para El Salvador

con la familia Perlidae y el género *Anacroneuria* (Berry 1959). En un estudio realizado en el río Talnique Sagastizado Méndez (2001) encontró ninfas de *Anacroneuria* (Perlidae).

Orden Blattodea - En un trabajo de tesis de pregrado en el Área Natural Protegida La Magdalena, se encontró un total de 77 familias de organismos acuáticos en los ríos del área protegida, pertenecientes a 12 órdenes, de los cuales se reportaron dos familias del orden Blattodea (Salazar Colocho 2010).

Orden Hemiptera - En el documento titulado "Segunda lista de insectos clasificados de El Salvador" (Berry 1959), se registraron las siguientes familias y especies: Naucoridae (*Ambrysus dyticus* y *A. signoreti*) y Gelastocoridae (*Gelastocoris bufo, G.rotundatus, G. vicinus, Nerthra fuscipes* y *N. hungerfordi*). De la familia Hydrometridae en la región mesoamericana, existen dos de los cuatro géneros del continente, *Limnobates* e *Hydrometra*, registrándose para El Salvador la especie *Hydrometra ciliosa* según Drake y Lauck (1959). En su revisión de la familia Naucoridae, Herrera (2013) presentó registros de tres especies y dos géneros (*Ambrysus, Cataractocoris*) de esta familia para El Salvador. Pacheco-Chaves (2011) presentó un listado de las especies de la familia Gerridae registrados para Centroamérica, la cual incluye 11 especies de siete géneros (*Potamobates, Eurygerris, Limnogonus, Tachygerris, Halobates, Telmatometra, Trepobates*), con un ámbito de distribución que incluye El Salvador, aunque ninguna especie fue específicamente reportada para el país. Además, en su base de datos de distribución de hemípteros acuáticos en América Latina, Moreira (2014) registró la especie *Mesovelia mulsanti* (Mesoveliidae) como reportada para El Salvador. En un estudio realizado en el río Talnique, Sagastizado Méndez (2001) reportó las siguientes familias y géneros de hemípteros: Belostomatidae (*Belostoma* y *Lethocerus*), Naucoridae (*Limnocoris, Naucoris* y *Pelocoris*), Hebridae (*Hebrus*), Veliidae (*Rhagovelia* y *Microvelia*) y Ochteridae.

Orden Coleoptera - Spangler (1982) hizo referencia a nuevas especies de la familia Gyrinidae, *Gyretes salvadorensis* y *G. zilchi*, registrados en El Salvador. La revisión de la familia Elmidae para los países neotropicales por Ottoboni-Segura *et al.* (2013) mencionó al menos 18 especies con un ámbito de distribución que incluye El Salvador; sin embargo, ninguna de ellas ha sido registrado para el país. Sagastizado Méndez (2001) recolectó las siguientes familias y géneros de coleópteros acuáticos en el río Talnique: Dryopidae (*Dryops y Helichus*), Elmidae (*Heterelmis, Hexacylloepus, Macrelmis, Microcylloepus* y *Neocyllopus*), Ptilodactylidae (*Anchytarsus*), Scirtidae (*Elodes*) e Hydrophilidae (géneros sin identificar).

Orden Neuroptera – En El Salvador no se encontró información que haga referencia a la familia Sisyridae, la única familia del orden que contiene especies en agua dulce, las cuales se alimentan de esponjas de agua dulce, por lo que presentan una distribución restringida a la presencia de estos organismos.

Orden Megaloptera - En el río Talnique se han registrado larvas de los géneros *Corydalus* y *Chloronia* de la familia Corydalidae (Sagastizado Méndez 2001); sin embargo, aún se desconoce el número de especies presentes en el país.

De la familia Sialidae en Mesoamérica existe el género *Sialis*, con unas pocas especies reportadas (Fashing 1994), aunque se desconoce su presencia en El Salvador.

Orden Trichoptera - El catálogo de los tricópteros neotropicales (Flint *et al.* 1999), contiene únicamente 23 especies para El Salvador. No obstante, la fauna de tricópteros del país puede ser más diversa, sobre todo tomando en cuenta la distribución general de otras especies en la región y la diversidad presente en otros países centroamericanos, como Costa Rica, con más de 460 especies reportadas (Springer 2010). En el estudio realizado por Sagastizado Méndez (2001) se encontraron larvas de las siguientes familias y géneros: Calamoceratidae (*Phylloicus*), Hydroptilidae (*Hydroptila* y *Ochrotrichia*), Helicopsychidae (*Helicopsyche*), Hydropsychidae (*Leptonema* y *Smicridea*), Philopotamidae (*Chimarra*), Glossosomatidae (género sin identificar).

Orden Lepidoptera - En el estudio realizado por Sagastizado Méndez (2001) se reportó a la familia Crambidae con el género *Petrophila*. En 2012 se obtuvieron adultos del género *Petrophila* que se mantienen preservados en la Colección Nacional de Referencia de Insectos Acuáticos de la Universidad de El Salvador. Sin embargo, estos aún no han sido identificados a nivel de especie y se desconocen cuáles especies de lepidópteros acuáticos están presentes en el país.

Orden Diptera – En su revisión bibliográfica de la familia Culicidae para la región de Centroamérica, Ward (1982) incluyó varios registros para El Salvador. En 1942, Kumm y Zuñiga reportaron 52 especies de esta familia para el país. Duret (1971) describió la nueva especie *Psorophora (Janthinosoma) ferraroi* para El Salvador y Darsie *et al.* (1977) reportaron la especie *Anopheles crucians*. Además, O´Meara y Duret (1971) estudiaron variaciones geográficas de *Aedes atropalpus*. De la familia Tabanidae se han hecho recolectas esporádicas en El Salvador, Nicaragua, Honduras y Guatemala (Fairchild 1982). En el documento titulado "Segunda lista de insectos clasificados de El Salvador", para la familia Psychodidae se citó la especie *Telmatoscopus albipunctatus* y para la familia Syrphidae las especies *Tubifera (Eristalis) circe*, *T. furcata* y *T. vinetorum* (Berry 1959), además de las especies *T. testaceicornis* y *T. triangularis*, registradas anteriormente por Berry y Salazar Vaquero (1957). El género *Tubifera* (Eristalis) fue registrado además por Monterrosa Urías (1993) y Rubio-Fabian (2000). En el río Talnique (Sagastizado Méndez 2001), se encontraron estadios inmaduros de los siguientes familias y géneros de dípteros acuáticos: Tipulidae (sin identificar), Stratiomyidae (sin identificar), Chironomidae (sin identificar), Ceratopogonidae (sin identificar), Tabanidae (*Tabanus*) y Culicidae (*Culex*).

Filo Mollusca - De acuerdo a Barraza (2008), en El Salvador existen descritas 13 especies pertenecientes a diez familias y diez géneros de Gastropoda y para Bivalvia el género *Nephronaias* (Unionidae). Marshall (1926) describió la especie *Nephronaias lempensis* para El Salvador. Uno de los primeros reportes de caracoles (Gastropoda) de El Salvador fué publicado por Thompson (1963). Thompson y Hanley (1982) hicieron mención de la compleja situación de las principales familias de moluscos de agua dulce para Mesoamérica, Pilidae

(actualmente conocida como Ampulariidae), Hydrobiidae, Pleuroceridae y Thiaridae. En los ríos del Área Natural Protegida La Magdalena, se registraron las familias de moluscos dulceacuícolas: Pachycilidae, Hydrobidae, Thiaridae, Sphaeridae, Ancylidae, Viviparidae, Physidae y Planorbidae de aguas con diferentes grados de contaminación (García Pineda y Godínez Guardado 2010).

Colecciones taxonómicas

En El Salvador, existe una colección nacional de macroinvertebrados acuáticos dulceacuícolas fundada en el año 2010 y localizada en el edificio de la biblioteca de las ingenierías de la Universidad de El Salvador. Dicha colección derivó como uno de los productos del proyecto "Formulación de una Guía Metodológica Estandarizada para determinar la Calidad Ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos" con apoyo económico del fondo FEMCIDI de la secretaría Ejecutiva para el Desarrollo Integral de la Agencia Interamericana para la Cooperación y el Desarrollo (SEDI/AICD) de la Organización de Estados Americanos (OEA). Su resguardo y mantenimiento está a cargo de la Facultad de Ciencias Agronómicas, a través de dos unidades académicas: Dirección de Investigaciones y Departamento de Protección Vegetal. Posteriormente a su establecimiento, esta colección base se ha venido fortaleciendo mediante esfuerzos realizados a nivel nacional por medio de trabajos de tesis realizados por estudiantes de la Universidad de El Salvador, así como el aporte generado por proyectos de investigación docentes en biomonitoreo de la calidad ambiental de las aguas de los ríos del país. Sin embargo, dicha colección aún no cuenta con una base de datos digitalizada y la gran mayoría del material se mantiene con una identificación únicamente a nivel de familia.

5.3.2 Estudios ecológicos

Los estudios ecológicos sobre macroinvertebrados acuáticos que se han realizado en los ambientes de aguas continentales en El Salvador son muy escasos y prácticamente no existe información sobre la historia natural, biología o requerimientos ecológicos de las especies presentes en el país. A continuación se resume el limitado conocimiento ecológico sobre algunos grupos de macroinvertebrados, en su mayoría generado a partir del proyecto "Formulación de una Guía Metodológica Estandarizada para determinar la Calidad Ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos", mencionado anteriormente. La información generada durante dicho proyecto se refiere especialmente a la distribución de los estadios acuáticos de las familias encontradas durante una campaña de muestreo (una fecha por sitio, entre noviembre y diciembre del 2009), en 56 sitios de muestreo en 16 subcuencas donde se desarrolló el estudio. Los mapas de distribución, junto con las abundancias de cada una de las familias recolectadas se encuentran en las siguientes publicaciones para cada uno de los órdenes detallados a continuación: Ephemeroptera (Serrano Cervantes y Zepeda Aguilar 2010), Plecoptera (Gutiérrez-Fonseca *et al.* 2010), Odonata (Sermeño Chicas *et al.* 2010c), Hemiptera (Pacheco-Chaves 2010), Coleoptera (Gutiérrez-Fonseca 2010), Megaloptera (López Sorto *et al.* 2010), Trichoptera (Springer *et al.* 2010), Lepidoptera

(Serrano Cervantes y Zepeda Aguilar 2010) y Diptera (Menjívar Rosa 2010).

Dentro del orden Ephemeroptera, las familias que presentaron amplia distribución en el territorio nacional fueron Baetidae, Leptohyphidae y Leptophlebiidae. Por otro lado, Caenidae y Heptageniidae se encontraron con una distribución restringida y representados por pocos individuos recolectados por sitio. Ninfas de la familia Heptageniidae se encontraron principalmente en las partes altas de las cuencas (Serrano Cervantes y Zepeda Aguilar 2010). Las familias del orden Odonata que se encontraron ampliamente distribuidas fueron Gomphidae y Libellulidae de Anisoptera y Coenagrionidae y Calopterygidae de Zygoptera (Sermeño Chicas *et al.* 2010). Al contrario, Aeshnidae, Cordulegastridae (Anisoptera) y Lestidae (Zygoptera) se recolectaron cada uno en un único sitio por lo que aparentemente cuentan con una distribución restringida, su mayoría en elevaciones mayores a los 2,000 msnm. Asimismo, la familia Platystictidae fue encontrado únicamente en dos de los sitios estudiados. La familia que se encontró bajo condiciones de mayor contaminación fue Gomphidae (Sermeño Chicas *et al.* 2010c).

Dentro del orden Plecoptera, la familia Perlidae, con el único género conocido para El Salvador, *Anacroneuria* tuvo una distribución restringida a sitios en las cuencas altas de ríos de la zona norte del país y otros pocos sitios en ríos del interior (Gutiérrez-Fonseca *et al.* 2010). Estos sitios corresponden a los que presentaron los niveles de contaminación más bajos. Para Hemiptera, las familias que habitan la superficie ("patinadores") y que se encontraron con amplia distribución fueron Gerridae, Veliidae y Hebridae, a pesar que la metodología empleada en el proyecto (recolecta con red "D") no necesariamente es el método más apto para la captura de los individuos de estas familias. Posiblemente por esta misma razón, sumado al hecho que varias habitan ambientes distintos a los que fueron incluidos en este proyecto (especialmente lénticos), las familias Hydrometridae, Mesoveliidae, Ochteridae, Saldidae, Gelastocoridae, Nepidae, Pleidae, Corixidae y Notonectidae presentaron una distribución geográfica no tan amplia. Por otro lado, las familias de los chinches acuáticos Belostomatidae y Naucoridae se encontraron con una amplia distribución en los ríos del país (Pacheco-Chaves 2010).

Dentro del orden Coleoptera, las familias con más amplia distribución encontrada fueron Elmidae y Staphylinidae, que se encontraron en altas abundancias en algunos sitios; seguidos por Dytiscidae, Dryopidae, Psephenidae y Ptilodactylidae. Las familias Gyrinidae, Hydroscaphidae, Hydrophilidae, Limnichidae, Lampyridae, Ptilidae y Scirtidae se encontraron en algunos muy pocos sitios mientras que Noteridae, Curculionidae y Lutrochidae sólo fueron recolectadas en una única localidad (Gutiérrez-Fonseca 2010). Corydalidae, fue la única familia de Megaloptera, se encontraron larvas en varios sitios de cuerpos de aguas lóticos. Algunos de estos con cierto grado de contaminación (López Sorto *et al.* 2010). Para Trichoptera, la familia de mayor distribución y abundancia relativa en algunos sitios fue Hydropsychidae, seguida por Hydroptilidae y Philopotamidae. Otras familias con relativamente amplia distribución fueron Helicopsychidae, Leptoceridae y Glossosomatidae. Representantes de Calamoceratidae, Polycentropodidae e Hydrobiosidae se encontraron en pocos lugares del país, prin-

cipalmente en las partes altas de las cuencas. Lepidostomatidae y Odontoceridae presentaron distribución muy restringida, aunque a nivel local fueron relativamente abundantes con respecto a la cantidad de individuos encontrados. La familia Xiphocentronidae se recolectó únicamente en dos sitios; sin embargo, su distribución real podría ser más amplia ya que su escasez en las muestras puede ser un efecto del método de recolecta ya que sus refugios se encuentran pegados a las rocas a menudo por encima de la superficie del agua (Springer *et al.* 2010).

Diptera fue el grupo taxonómico de mayor distribución y abundancia relativa durante el muestreo del proyecto antes mencionado. La familia que destacó por su distribución en prácticamente todos los sitios del estudio y su gran cantidad de individuos recolectados en algunos sitios, sobre todo los de mayor grado de contaminación, fue Chironomidae. Otras familias de amplia distribución fueron Ceratopogonidae, Culicidae, Dolichopodidae, Ephydridae, Muscidae, Psychodidae, Simuliidae, Syrphidae, Tabanidae y Tipulidae. Dixiidae fue encontrada en tres sitios, mientras que larvas de Blephariceridae fueron recolectadas únicamente en el río Mashtapula en el Área Natural Protegida El Imposible (Menjívar Rosa 2010).

A parte de la información generada por el proyecto mencionado anteriormente, existen únicamente algunos estudios aislados sobre cangrejos y moluscos. Pocasangre y Carranza (1988) realizaron estudios de aspectos básicos de la biología de *Pseudothelphusa magna*, en los lagos Coatepeque, Ilopango y Guija así como en los ríos, Paz, Grande de San Miguel, Sucio, Lempa y en la Presa Cinco de Noviembre. Orellana-Amador (1997) indicó que esta especie desarrolla su ciclo biológico en lagos, ríos y arroyos y permanece durante el día en refugios naturales o construidos por los individuos entre grietas, cuevas o debajo de piedras, siendo muy activos durante la noche; con frecuencia su hábitats son sustratos arenoso-lodosos o rocosos en diferentes profundidades hasta los 60 m. Dentro del filo Mollusca y la clase Gastropoda de agua dulce, Argueta (1985) realizó un estudio relacionado con la reproducción del caracol de agua dulce *Pomacea sp.*, mientras que García Pineda y Godinez Guardado (2010) investigaron la distribución de las familias de moluscos dulceacuícolas en los ríos del Área Natural Protegida La Magdalena, en relación al grado de contaminación presente en los sitios de muestreo.

5.3.3. Estado de conservación

El Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas de El Salvador, constituye un elemento central de la estrategia nacional para la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad. Entre las actividades más relevantes que se realizan en la actualidad figura un análisis de vacíos e identificación de áreas prioritarias y más representativas para la conservación de la biodiversidad y ecosistemas, terrestres, marinos y de aguas continentales. El Salvador cuenta actualmente con 84 Áreas Naturales Protegidas (72 estatales y 12 privadas), las cuales, debido a su extensa red hídrica, incluyen diversos ríos y lagos (MARN 2014). Los humedales Ramsar son otra de las estrategias de conservación con que cuenta el país. A la fecha existen cinco de ellos, principalmente de agua dulce, con excepción de un sitio perteneciente a un complejo de ríos y humedales costeros (Cuadro 1).

Para lograr una adecuada conservación del recurso hídrico, el MARN (2013) publicó la "Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2013" la cual forma parte de la "Estrategia Nacional del Medio Ambiente" que tiene como objetivo revertir la degradación ambiental y reducir la vulnerabilidad frente al cambio climático. Como parte de esta estrategia, el MARN realiza evaluaciones de la calidad de agua superficial (mediante parámetros físico-químicos y microbiológicos) para medir el nivel de contaminación, principalmente de los ríos del país. En el 2011 se encontró, en una muestra de 123 sitios evaluados de 55 ríos, que únicamente un 12% de los sitios contaban con una calidad de agua de categoría "buena", mientras que el 50% registró calidad "regular", 31% calidad "mala" y un 7% era de calidad de agua "pésima".

Datos similares fueron arrojados en otra evaluación del grado de contaminación de los ríos que se realizó por Pérez *et al.* 2010 por medio de la Universidad de El Salvador (UES) con apoyo financiero de la Organización de los Estados Americanos (OEA). Durante este estudios se evaluaron 56 sitios de muestreo, correspondientes a 16 subcuencas. Estos sitios se ubicaron en 23 de los principales ríos del país: Lempa, San José, Sumpul, Torola, Talchiga, Quebrada Las Pilas, Guaco, Sapo, Talnique, Sucio, Suquiapa, Matalapa, Acelhuate, Titihuapa, Acahuapa, Mashtapula, Cara Sucia, Sensunapán, San Antonio, Comalapa, Jiboa, San Sebastián y Grande de San Miguel. En estos sitios fue evaluada la calidad de agua mediante parámetros físico-químicos y microbiológicos, con el cálculo del índice ICA, además del índice biológico por familia de macroinvertebrados para El Salvador (IBF-SV-2010), el cual fue desarrollado durante el proyecto. Según los resultados, la mayoría de ríos tenían algún grado de contaminación ya que solamente el 5.4% clasificaron en la categoría de buena calidad del agua. Estos corresponden a los puntos ubicados en áreas naturales protegidas del país, lo cual indica que con un buen uso de los recursos naturales, es factible generar menor deterioro. Al igual que en el estudio realizado por el MARN, no se detectó ningún sitio con calidad de agua de muy buena a excelente, que son las máximas categorías asignadas en el índice IBF-SV-2010. Esto es un elemento que debe tomarse muy en cuenta debido a la notable degradación que se ha detectado en los ríos estudiados, por lo que es urgente tomar medidas tendientes a revertir los procesos de

Cuadro 1. Sitios Ramsar en El Salvador. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (http://www.marn.gob.sv/)

Sitios Ramsar	*Área (ha)*	*Tipo de hábitat*	*Fecha de declaratoria*
Laguna El Jocotal	1,958	humedales de agua dulce	22 enero de 1999
Embalse Cerrón Grande	13,244	humedales de agua dulce	22 noviembre de 2005
Laguna Olomega	3,943	humedales de agua dulce	2 de febrero de 2010
Complejo Güija	10,180.0	humedales de agua dulce	16 de diciembre de 2010
Complejo de Jaltepeque	49,454	ríos y humedal costero	23 de febrero de 2011

contaminación o al menos reducir los niveles de impacto.

Es también de mucha importancia resaltar que hasta la fecha, ningún cuerpo léntico (lagos, lagunas y pantanos) ha sido evaluado para determinar la calidad del agua ni la diversidad de macroinvertebrados presentes en ellos. Esto representa un vacío de información que debe de ser solventado con investigación para complementar la información de estos grupos para El Salvador (Sermeño Chicas *et al.* 2010a).

En lo que respecta la conservación de especies acuáticas, en el Acuerdo No. 36 publicado en el Diario Oficial del 5 de junio de 2009, se emitió el listado oficial de las especies de vida silvestre amenazadas y en peligro de extinción para El Salvador, que incluyó un listado de 18 especies de odonatos cuyas poblaciones actualmente se consideran oficialmente amenazadas en el territorio nacional. Las especies que se incluyeron en este listado son: *Palaemnema angelina* (Platystictidae), *Acanthagrion trilobatum* (Coenagrionidae), *Argia ulmeca* (Coenagrionidade), *Enallagma semicirculare* (Coenagrionidae), *Coryphaeschna secreta* (Aeshnidae), *Coryphaeschna viriditas* (Aeshnidae), *Gynacantha mexicana* (Aeshnidae), *Gynacantha helenga* (Aeshnidae), *Aphylla obscura* (Gomphidae), *Aphylla protracta* (Gomphidae), *Erpetogomphus bothrops* (Gomphidae), *Erpetogomphus constructor* (Gomphidae), *Erpetogomphus eutania* (Gomphidae), *Brechmorhoga nubecula* (Libellulidae), *Lepthemis attala* (Libellulidae), *Micrathyria laevigata* (Libellulidae), *Paltothemis nicolae* (Libellulidae) y *Tramea onusta* (Libellulidae) (Ministerio de Gobernación 2009).

5.4. Empleo de los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en El Salvador

Uno de los primeros trabajos sobre el uso de macroinvertebrados como bioindicadores fue realizado entre 1977 y 1983, en 120 sitios de ríos y arroyos en todo el territorio nacional (Rubio Fabian 2000). Estos sitios se ubicaron en zonas montañosas, valles y planicies costeras bajo la influencia de diversos actividades antropogénicas que generaron diferentes grados de contaminación orgánica. En cada sitio se tomaron muestras de macroinvertebrados bentónicos y perifíton y se analizaron 14 parámetros físicoquímicos, además de cinco variables ambientales y de hábitat. El estudio contó con el apoyo de los laboratorios de la Dirección General de Recursos Naturales Renovables del Ministerio de Agricultura y Ganadería.

Entre los resultados más relevantes de este estudio se encontró una correlación entre la ausencia o dominancia de ciertos grupos de macroinvertebrados con los niveles de oxígeno disuelto de las aguas (OD), los cuales presentaron un amplio rango entre los diferentes sitios. Los análisis identificaron nueve grupos de macroinvertebrados para la interpretación ambiental de los ecosistemas acuáticos lóticos en relación a sus requerimientos de OD, los cuales se agruparon en las siguientes categorías: I "Sensibles o Intolerantes" (Plecoptera, Megaloptera, Trichoptera), dominantes (>50%) en

aguas limpias o con leve o mínima contaminación orgánica (rango de OD entre 6 - 8.5 ppm), II: "Facultativos" (Ephemeroptera, Odonata), dominantes (>50%) en aguas medianamente o moderadamente contaminadas, dentro de un rango de OD desde 4 – 6 ppm) y III: "Resistentes" (*Chironomus, Tubifex, Psychoda, Eristalis*), dominantes (>50%) en aguas con fuerte o extrema contaminación orgánica (rango de OD de 0 – 4 ppm). La agrupación general de organismos acuáticos indicadores de calidad de agua ordenados de mayor a menor calidad de agua se determinó en este estudio de la siguiente manera: Plecoptera, Megaloptera, Trichoptera, Ephemeroptera, Odonata (Rubio Fabian 2000).

Otros estudios relacionados con el uso de macroinvertebrados como bioindicadores fueron realizados en el río Chagüite por Monterrosa-Urías (1993), en el río Talnique por Sagastizado Méndez (2001) y en el río Cara Sucia (Martínez Quijano y Cano Funes 2008). Monterrosa-Urías (1993) estudió los ensamblajes de los insectos acuáticos en 12 fechas de recolecta (abril a noviembre de 1991), en tres estaciones del río Chagüite, el cual es un tributario del lago de Ilopango y se encuentra ambientalmente muy perturbado. Los resultados mostraron una fuerte correlación estadística entre los valores de pH, oxígeno disuelto y las poblaciones de organismos (Monterrosa-Urías y Serrano Cervantes 1994). El estudio realizado por Sagastizado Méndez (2001) caracterizó la calidad química y biológica del agua en ocho sitios en la cuenca del río Talnique, entre marzo y junio de 2001. En una evaluación de calidad utilizando el índice BMWP-CR en el río Cara Sucia, se determinó que la cuenca alta del río presentó una calidad de agua excelente mientras que el resto de los sitios de muestreo resultaron de una calidad regular y mala (Martínez Quijano y Cano Funes 2008). Además a estos estudios puntuales, el Ministerio de Recursos Naturales y Medio Ambiente (MARN) ha evaluado la calidad de agua mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos en ríos de diferentes zonas de El Salvador (Barraza 2002, 2007, Martínez Rodríguez *et al.* 2010).

En el período 2009 a 2010, la Universidad de El Salvador, coordinó a través de la Facultad de Ciencias Agronómicas, con fondos económicos FEMCIDI-OEA, un proyecto de investigación que permitió desarrollar una propuesta metodológica estandarizada para evaluar la calidad ambiental del agua de ríos de El Salvador, utilizando macroinvertebrados acuáticos (Sermeño Chicas *et al.* 2010a). Los resultados de dicha investigación fueron entregados oficialmente al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador y se encuentran disponibles en la biblioteca virtual de la Universidad de El Salvador (http://ri.ues.edu.sv/2995/).

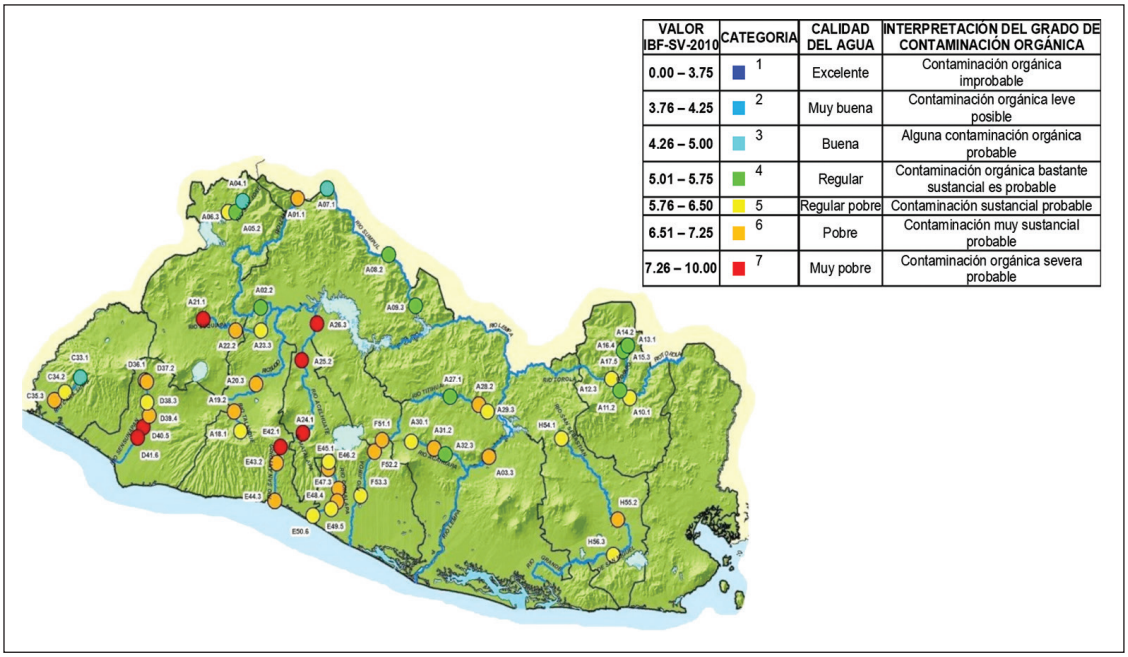
En este proyecto se tomó en cuenta la legislación nacional relacionada con la calidad de aguas y se realizaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos (Bonilla de Torres *et al.* 2010) junto con muestreos de organismos acuáticos en varios sitios en cada una de las cuencas del país. Se tuvo como objetivo desarrollar la consolidación de un proyecto piloto a nivel nacional que permitió el estudio de las aguas de ríos en la zona montañosa (Cordillera Norte, Cordillera Sur, Cordillera del Bálsamo), la Región Central y el Valle Interior, además de las zonas costeras. Se trabajó con un enfoque ecosistémico, en el cual los sitios de muestreo en los diferentes ríos se analizaron como parte integrante de las cuencas hidrográficas.

Inicialmente el proyecto contempló la utilización del Índice "Biological Monitoring Working Party", modificado para Costa Rica (BMWP-CR; Reglamento 33903 MINAE-S 2007), para la evaluación de la calidad del agua por medio de las familias de macroinvertebrados acuáticos. Sin embargo, se encontró que este índice sobreestimó la calidad de las aguas de los ríos de El Salvador, por lo cual fue necesaria la aplicación de otros índices. Uno de ellos es el índice biótico a nivel de familias propuesto por Hilsenhoff (1998), conocido originalmente en inglés como Family Biotic Index (FBI). A partir de los resultados del proyecto, se adaptó este índice a las condiciones del país para ser utilizado en la medición de la calidad de las aguas de los ríos de El Salvador, y se denominó "Índice Biológico a nivel de Familia de macroinvertebrados acuáticos en El Salvador" o "IBF-SV-2010" (Sermeño Chicas et al. 2010a). La clasificación de la calidad del agua para algunos ríos de El Salvador incluye siete categorías con calidades desde muy pobre hasta excelentes, y cuya distribución en el territorio nacional se ilustra en la figura 2 (Sermeño Chicas *et al.* 2010a). Es notable que la gran mayoría de los ríos estudiados mostró una condición de calidad de agua entre regular, regular-pobre y muy pobre (figura 2). Los resultados de esta investigación también fueron publicados en la Revista Laderas de El Salvador (Sermeño Chicas 2010).

Otros productos que resultaron de este proyecto, son la publicación de una metodología estandarizada de muestreo multihábitat de macro invertebrados acuáticos mediante el uso de la red "D" (Sermeño Chicas *et al.* 2010b), así como un atlas geográfico ilustrado con información detallada de cada una de las cuencas (Hernandez Martínez *et al.* 2010). Este atlas además incluye la ubicación de los sitios de muestreo, la calidad de agua encontrada en cada uno y mapas de distribución para cada una de las familias de insectos acuáticos recolectadas en el proyecto. Información detallada sobre la condición de cada río estudiado durante el proyecto se encuentra además en la publicación "Clasificación de la calidad del agua de los principales ríos de El Salvador y su relación con las poblaciones de insectos acuáticos" (Pérez *et al.* 2010). Este documento incluye también las abundancias encontradas de cada familia de macroinvertebrados en cada uno de los sitios de muestreo. El total de familias de macroinvertebrados acuáticos recolectados en los ríos estudiados en el territorio nacional se muestran en la figura 3.

Posterior al desarrollo del índice IBF-SV-2010, se han realizado varios estudios en el país relacionados con el uso del mismo (Salazar-Colocho 2010, Chávez Sifontes y Orantes Guerrero 2010, CTPT 2011, Vaquerano Madrid *et al.* 2011). Estos trabajos incluyen la comparación con otros índices bióticos, ecológicos y químicos, así como un análisis de la metodología de recolecta y los principales resultados de los mismos se detallan a continuación.

Salazar-Colocho (2010) de la Universidad de El Salvador desarrolló un trabajo de tesis de pregrado en el Área Natural Protegida La Magdalena, en el cual utilizó los índices BMWP-CR, SVAP, IBF-SV-2010, además de algunos índices ecológicos de diversidad y de similitud. Otro trabajo de tesis fue el reconocimiento de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos como alternativa para determinar la calidad del agua del río Sensunapán, departamento de Sonsonate, mediante los índices IBF-SV-2010, BMWP-CR y el índice químico ICA. En este estu-



VALOR IBF-SV-2010	CATEGORIA	CALIDAD DEL AGUA	INTERPRETACIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN ORGÁNICA
0.00 – 3.75	1	Excelente	Contaminación orgánica improbable
3.76 – 4.25	2	Muy buena	Contaminación orgánica leve posible
4.26 – 5.00	3	Buena	Alguna contaminación orgánica probable
5.01 – 5.75	4	Regular	Contaminación orgánica bastante sustancial es probable
5.76 – 6.50	5	Regular pobre	Contaminación sustancial probable
6.51 – 7.25	6	Pobre	Contaminación muy sustancial probable
7.26 – 10.00	7	Muy pobre	Contaminación orgánica severa probable

Figura 2.Clasificación de la calidad de las aguas de los principales ríos del país a través del uso del Índice Biológico a nivel de Familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010). Tomado de Sermeño Chicas *et al.* (2010a).

dio se concluyó que el índice biológico que mejor describe las condiciones de calidad de agua del río Sensunapán con base en los análisis fisicoquímicos y microbiológicos fue el Índice Biótico por Familias IBF-SV-2010 (Chávez Sifontes y Orantes Guerrero 2010). En 2011, Vaquerano Madrid *et al.* realizaron un estudio donde se compararon diferentes tiempos de muestreo con la red "D", para determinar el Índice Biótico IBF-SV-2010. Al determinar la variabilidad en los tiempos de muestreo con respecto al número de familias de macroinvertebrados acuáticos y respuesta en la calificación de la calidad del agua no existieron diferencias significativas, ya que el IBF-SV-2010 obtuvo similares resultados con 9, 15 y 21 minutos de muestreo (cada uno con tres sub-muestras de 3, 5 y 7 minutos respectivamente). Entre julio y octubre de 2010, se desarrolló un estudio en algunos ríos de la Región Trifinio (Guatemala, Honduras y El Salvador) y en él se incluyeron muestreos de macroinvetebrados acuáticos en dos ríos que están localizados en territorio salvadoreño: río San José y río El Rosario, ambos en el municipio de Metapán del departamento de Santa Ana. Del estudio se concluyó que existió una relación directa entre el Índice de Calidad de Agua (ICA) y el IBF-SV-2010, lo cual demostró la complementariedad de ambos índices para determinar la calidad del recurso hídrico (CTPT

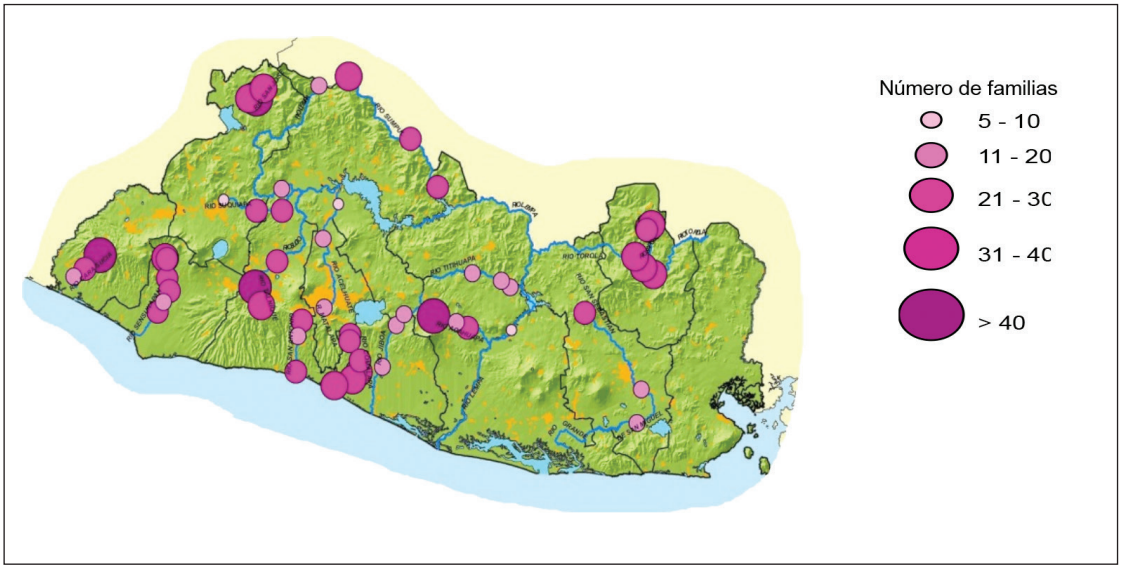


Figura 3. Riqueza de las familias de los invertebrados acuáticos en las aguas de los principales ríos de El Salvador. Tomado de Sermeño Chicas *et al.* (2010a).

2011). Finalmente, en el año 2011 se realizó un estudio utilizando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores en los ríos San José y El Rosario ubicados en el departamento de Santa Ana. El análisis de ambos ríos se llevó a cabo durante las épocas seca-lluviosa y lluviosa, contrastando la información de los índices ecológicos de Shannon y de Simpson con el Índice Biológico IBF-SV 2010 a fin de entender con mayor claridad las condiciones presentes en los ecosistemas de cada río en estudio (Estrada Hernández *et al.* 2011).

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

Hasta el momento el uso de los macroinvertebrados acuáticos para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, no está legislado. Hasta muy recientemente el país cuenta con resultados que respaldan el uso de esta metodología. Se espera que el MARN, retome la temática y proponga que se incluya en la legislación salvadoreña el uso de los macroinvertebrados acuáticos para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos y arroyos de El Salvador. En el año 2012 se

inició en la Asamblea Legislativa de El Salvador la discusión de un anteproyecto de Ley General de Agua, el cual establece en al artículo 127 que el MARN tiene la responsabilidad de garantizar que se realicen los monitoreos de calidad de las aguas superficiales. Sin embargo, esta propuesta de ley no considera el uso de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de las aguas superficiales.

5.6. Perspectivas futuras

En El Salvador se carece de una legislación que exija el uso de los macroinvertebrados como indicadores de la calidad ambiental del agua de los ríos, por lo que es necesario hacer conciencia especialmente en la clase política sobre la importancia y ventajas que implica el uso de estos organismos acuáticos como una herramienta adicional y de menor costo.

Comparar la biodiversidad de diferentes cuerpos de aguas en ambientes lóticos y lénticos en tiempo y espacio: El biomonitoreo es una herramienta importante para caracterizar y comparar diferentes sitios de cuerpos de aguas en diferentes épocas. Debido a lo incipiente que es para el país el uso de esta metodología, hasta el momento la mayor parte de estudios han enfatizado muestreos en época seca, por lo cual se hace necesario evaluarlos en diferentes épocas del año.

Realizar estudios que correlacionen contaminación de diferentes orígenes incluyendo metales pesados con la biodiversidad acuática existente: Los cuerpos de agua dulce nacionales, tanto lóticos como lénticos, suelen ser contaminados no únicamente por residuos provenientes de desechos orgánicos de origen doméstico, sino también por descargas de otros tipos de contaminantes químicos, físicos o ambos. Estos provienen con frecuencia de la actividad industrial, de la escorrentía de las aguas lluvias que se concentran en los asentamientos humanos, así como de parcelas agrícolas que arrastran residuos de agroquímicos. Lo anterior conlleva a que la fauna característica de cada cuerpo de agua cambie considerablemente, por lo que es necesario saber cuáles contaminantes impactan significativamente las poblaciones de organismos acuáticos.

Estudiar y describir las comunidades bióticas de macroinvertebrados acuáticos en determinados ambientes que representen riesgos a la salud pública: En El Salvador existen épocas del año en que la incidencia de enfermedades transmitidas por especies acuáticas vectoras que afectan fuertemente a muchas comunidades humanas, especialmente a las más pobres, aumentan significativamente. Esto implica que es necesario identificar la época de mayor incidencia, los organismos que transmiten las enfermedades y los hábitats que favorecen su presencia y abundancia. Asimismo se debe estudiar la influencia de otros organismos acuáticos reguladores de población de dípteros, a fin de reducir el impacto que ocasionan las especies nocivas (Culicidae, Ceratopogonidae, Psychodidae, Tabanidae entre otros), que cada vez tiende a agudizarse.

Afinar criterios de asignación de grados de tolerancia o de sensibilidad, a las familias de macroinvertebrados acuáticos: Debido a los graves problemas de contaminación que son evidentes en los cuerpos de agua de El Salvador, existe la necesidad de asignar con mayor precisión el grado de sensibilidad o tolerancia

de los diferentes taxones de organismos acuáticos de acuerdo a las condiciones contaminadas típicas del ambiente en que se desarrollan.

Realizar estudios que permitan utilizar tecnologías de menor costo que muestren igual o mejor eficacia en la captura de organismos acuáticos: La mayor parte de estudios que se han realizado en el país, han utilizado tecnologías cuyas herramientas son de difícil acceso o adquisición, como por ejemplo la red "D". Esto conduce a que en algunas ocasiones se imposibilite aplicar la metodología, por lo que se hace necesario evaluar otras alternativas que generen similares resultados sin incurrir en mayores costos.

Fortalecer capacidades técnicas para el diagnóstico taxonómico y garantizar el equipo adecuado: El Salvador dispone de poco personal técnico calificado en el diagnóstico taxonómico de macroinvertebrados acuáticos; sin embargo, la implementación de estudios con dichos organismos requiere disponer de personal técnico con entrenamiento suficiente para el muestreo y el reconocimiento taxonómico de estos organismos. Por lo tanto es necesario formar nuevo recurso técnico que coadyuve con la identificación y además garantizar el acceso a un equipamiento de instalaciones de laboratorio adecuado que permita contar con el equipo necesario para los procesos antes mencionados.

Fortalecer la colección nacional de referencia de El Salvador: Se reconoce que para valorar la calidad ambiental del agua de los ríos mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos, se requiere entre otros aspectos, de colecciones de referencia de macroinvertebrados. El desarrollo de una colección nacional de referencia de macroinvertebrados acuáticos, es una necesidad real, para la cual la Universidad de El Salvador dio los primeros pasos en el año 2010. Sin embargo, es de suma importancia darle seguimiento al adecuado mantenimiento y desarrollo de dicha colección, el cual incluye su revisión por expertos taxónomos y el establecimiento de una base de datos digitalizada.

Formar equipos multidisciplinarios con personal técnico capacitado en biomonitoreo acuático: La realización de estudios sobre la calidad de las aguas continentales requiere personal capacitado y de un equipo multidisciplinario integrado por técnicos con capacidades en áreas diversas como entomología, biología general, taxonomía, ecología, y otros que puedan contribuir a un mejor entendimiento de la situación de contaminación de las aguas continentales superficiales como químicos y microbiólogos, entre otros. En tal sentido, en la Universidad de El Salvador se pretende desarrollar un proyecto con la integración de equipo de investigación conformado por docentes y estudiantes de diferentes disciplinas del saber y de diferentes facultades, el cual permitirá el fortalecimiento de capacidades en el tema, así como continuar alimentando la Colección Nacional de Referencia de Insectos Acuáticos. A su vez, pertenecer a la Red de Macroinvertebrados Dulceacuícolas en Mesoamérica (MADMESO), es un gran soporte que permitirá continuar con el fortalecimiento en dicha temática en El Salvador.

5.7. Conclusiones

El conocimiento de los macroinvertebrados acuáticos de las aguas continentales superficiales de El Salvador, es aún escaso. La poca

información disponible se encuentra dispersa y en literatura gris, mientras que la literatura formal en relación a bioindicadores es pocas veces empleada por tomadores de decisiones por estar en idiomas distintos al español. El desarrollo del conocimiento de los macroinvertebrados acuáticos de El Salvador no ha sido igual en todos los taxa; en todo caso aún es insuficiente, especialmente en el reconocimiento taxonómico de los géneros y las especies.

Se requieren estudios biológicos y ecológicos básicos, sobre los géneros y las especies más frecuentes o abundantes de los macroinvertebrados acuáticos de El Salvador, para fortalecer las bases en la nominación adecuada de algunas especies como bioindicadoras de condiciones específicas de la calidad ambiental del agua. Asimismo, es necesario profundizar en el entendimiento biológico y ecológico de las comunidades de los macroinvertebrados acuáticos de El Salvador, bajo diferentes condiciones de calidad ambiental del agua.

Hace falta fortalecer y desarrollar más capacidad física instalada en diferentes instituciones de educación y enseñanza a nivel intermedio y superior dentro de la temática de la taxonomía de los macroinvertebrados acuáticos de El Salvador a fin de conocer y crear conciencia de su utilidad como indicadores biológicos. También hay que invertir en la formación de recursos humanos para lograr una mayor capacidad y un entrenamiento calificado para las tareas de reconocimiento taxonómico, muestreos y valoración ambiental de las poblaciones de tales organismos.

5.8. Agradecimientos

Se agradece al Dr. J.E. Barraza, y M.Sc. A.J. Monterrosa-Urías del Ministerio de Recursos Naturales y Medio Ambiente (MARN), por haber facilitado información relacionada con los macroinvertebrados dulceacuícolas de El Salvador. Al Biol. D. Rosales Arévalo, docente de la Facultad Multidisciplinaria de Occidente de la Escuela de Biología de la Universidad de El Salvador (UES), por su apoyo con información de estudios de tesis y trabajos relacionados con macroinvertebrados acuáticos. Así mismo al Biol. O. Pocasangre, docente de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Escuela de Biología de la Universidad de El Salador (UES), por proporcionar información de literatura relacionada con la temática en estudio. A la Facultad de Ciencias Agronómicas y la Escuela de Biología de la Universidad de El Salvador (UES), por facilitar el desarrollo de este trabajo. Agradecimientos especiales a la Red Mesoamericana de Recursos Bióticos, por apoyar en la realización de este capítulo y facilitar la participación como país en la reunión especial de macroinvertebrados dulceacuícolas en Mesoamérica (MADMESO) desarrollado en Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Villahermosa Tabasco, México en 2010 (primera reunión anual), Universidad de Costa Rica, Costa Rica en 2011 (segunda reunión anual) y Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México en 2012 (tercera reunión anual).

5.9. Literatura citada

Amador, J.J. 1992. Inventario preliminar de los crustáceos marinos y de agua dulce de El Salvador, América Central. Parte I. Trabajo de investigación presentado a la Secretaría Ejecutiva de Medio Ambiente (SEMA).

Argueta, A. 1985. Reproducción del caracol de agua dulce *Pomacea sp.* en la estación piscícola Santa Cruz Porrillo, San Vicente, El Salvador. Tesis para optar al grado de Licenciado en Biología, Universidad de El Salvador, Escuela de Biología. San Salvador, El Salvador.

Barraza, J.E. 2002. Informe sobre la mortalidad de peces en el río Guaza, Municipio de Guazapa, Departamento de San Salvador. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Natural (MARN), Gerencia de Recursos Biológicos, Dirección General de Patrimonio Natural. San Salvador, El Salvador.

Barraza, J.E. 2007. Informe de inspección en río San Francisco, Municipio de San Francisco Menéndez, Departamento de Ahuachapán, Posterior a evento de uso de sustancia toxica a fauna acuática. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Natural (MARN), Gerencia de Recursos Biológicos, Dirección General de Patrimonio Natural. San Salvador, El Salvador.

Barraza, J.E. 2008. Revisión sobre algunos taxa de macro invertebrados acuáticos en El Salvador. Gerencia de Recursos Biológicos y Ecosistemas Dirección General de Patrimonio Natural. Ministerio del medio Ambiente y Recursos Natural (MARN) de El Salvador. Disponible en http://www.marn.gob.sv/index.php?option=com_content&view=article&id=128&Itemid=183 (Obtenido el 2 de enero de 2011)

Berry, P.A. y Salazar Vaquero, M. 1957. Lista de insectos clasificados de El Salvador. Boletín Técnico No. 21. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Servicio Cooperativo Agrícola salvadoreño americano, Santa Tecla, El Salvador.

Berry, P.A. 1959. Segunda lista de insectos clasificados de El Salvador. Boletín Técnico No. 23. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Servicio Cooperativo Agrícola salvadoreño americano, Santa Tecla, El Salvador.

Bonilla de Torres, B.L.Carranza Estrada, F.A., Flores Tensos, J.M., Gonzáles, C.A., Arias de Linares, A.Y. y Chávez Sifontes, J.M.2010. Metodología analítica para la determinación del índice de calidad del agua (ICA). En: Springer, M. y. Sermeño Chicas J.M (eds.). Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES) - Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador.

Bushnell, J.H. 1982. Entoprocta and Endoprocta. Pp.144-153. En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.). Aquatic Biota of México, Central America and West Indies. San Diego, California, U.S.A.

Caballero, R.G. 1982. Nematoda. Pp. 101-120. En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.). Aquatic Biota of México, Central America and West Indies. San Diego, California, U.S.A.

Chávez Sifontes, J.M. y Orantes Guerrero, E.E. 2010. Reconocimiento de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos como alternativa para determinar la calidad del agua del río Sensunapán, Departamento de Sonsonate, El Salvador, C.A. Tesis para optar al grado de Ingeniero Agrónomo, Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Protección Vegetal. San Salvador, El Salvador.

Collado, C., Fernando, C.H.y Sephton, D. 1984. The freshwater zooplancton of Central America and the Caribbean. *Hydrobiologia* 113: 105-119.

Comisión Trinacional del Plan Trifinio El Salvador CTPT, Secretaría Ejecutiva Trinacional. 2011. Estudio de calidad del agua del Área Protegida Trinacional Montecristo (APTM). Línea base en base a los indicadores del Marco lógico del APTM Impacto del marco lógico del APTM. (Proyecto No. GRT/FM-9945-RS) SALVADOR-GUATEMALA- HONDURAS. Consultoría ejecutada por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Oficina El Salvador.

Darsie, R.F., Jr., Merino, M.E. y Wilton, D.P. 1977. Discovery of *Anopheles crucians* subgroup on the Pacific coast of El Salvador. *Mosquitoe News* 37: 645-646.

Drake, C.J. y Lauck, D.R. 1959. Descriptions, synonymy and checklist of American Hydrometridae (Hemiptera: Heteroptera). *Great Basin Naturalist* 19(2-3): 43-52.

Duret, J.P. 1971. Cinco especies nuevas de culícidos neotropicales (Diptera: Culicidae). *Neotropica* 14: 121-124.

Esquivel, C. 2006. Libélulas de Mesoamérica y el Caribe. Instituto Nacional de Biodiversidad InBio,Santo Domingo de Heredia, Costa Rica.

Estrada Hernández, R.M., Hidalgo Aguilar, B.M. y Quintanilla Carrillo, L.E. 2011. Determinación de la calidad ambiental del agua en los ríos San José y El Rosario, a través del uso de insectos acuáticos como bioindicadores, durante el año 2011. Tesis Lic. Biol. Facultad Multidisciplinaria de Occidente, Departamento de Biología, Santa Ana, Universidad de El Salvador.

Fairchild, G.B. 1982. Tabanidae. Pp. 452–460. En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.). Aquatic Biota of México, Central America and West Indies. San Diego,California, U.S.A.

Fashing, N.J. 1994. A novel habitat for larvae of the fishfly *Chauliuodes pectinicornis* (Megaloptera: Coridalidae). *Banisteria* 4: 25-26.

Flint, O.S. Jr., Holzenthal, R.W. y Harris, S.C. 1999. Catalog of the Neotropical caddisflies (Insecta: Trichoptera). Ohio Biological Survey. College of Biological Sciences. The Ohio State University. Columbus Ohio. U.S.A.

Frey, D.J. 1982. Cladocera. Pp.177-186. En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.). Aquatic Biota of México, Central America and West Indies. San Diego, California. U.S.A.

García Pineda, C.P. y Godínez Guardado, P.M. 2010. Determinación de moluscos indicadores de la calidad ambiental en los ríos del área natural protegida La Magdalena, Municipio de Chalchuapa, Santa Ana, El Salvador 2009.Tesis para optar al grado de Licenciada en Biología, Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria de Occidente, Departamento de Biología. Santa Ana, El Salvador.

Gloyd, L. K. 1981. Records of Odonata from El Salvador. *Notulae Odonatologicae* 1: 133.

Goldschmidt, T. 2004. 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. y Gerecke, R. 2003. Studies on hydryphantid water mites (Acari: Actinedida: Hydrachnidia) from Central and South America. Pp. 83-150. En: I.M. Smith (ed.): An Acarological Tribute to David R. Cook – From Yankee Springs to Wheeny Creek, Indira Publishing House, West Bloomfield, Michigan, EEUU.

Gutiérrez-Fonseca, P.E. 2010. Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del Orden Coleoptera en El Salvador. En: Springer, M. y Sermeño Chicas, J.M. (eds.). Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES) – Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador. 59 p.

Gutiérrez-Fonseca, P.E., Sermeño Chicas, J.M. yChávez Sifontes, J.M. 2010. Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del orden Plecoptera en El Salvador. En: Springer, M. (Ed.). Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES) -Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador. 10p.

Harman, W.H. 1982. Oligochaeta. Pp.162–163. En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.) Aquatic Biota of México, Central America and West Indies. San Diego, California, U.S.A.

Hartmann, G. 1957. Zur Kenntniss des Mangrove-estero-gebietes von Salvador und seiner Ostracoden-fauna. *Kiel. Meeresforschung* 13(1): 134-159.

Hellebuyck, V.J 1992. Lista preliminar de las libélulas de El Salvador. No. 2. Documento de trabajo de investigación de la Secretaría Ejecutiva del Medio Ambiente (SEMA). Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). San Salvador, El Salvador.

Hellebuyck, V.J. 2002.*Paltothemis nicolae*, spec. nov., a new dragonfly from El Salvador (Odonata: Libellulidae). *Revista Nicaraguense de Entomología* 59/62: 5-15.

Hernández Martínez, M.A., Pérez, D., Serrano Cervantes, L., Sermeño Chicas, J.M., Paniagua Cienfuegos, M.R., Springer, M. y Monterrosa-Urías, A.J. 2010. Atlas geográfico de los insectos acuáticos indicadores de calidad ambiental de aguas de los ríos de El Salvador. En: Springer, M. (Ed.).Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES) -Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador. 104 p.

Herrera, F. 2013. Estado del conocimiento y catálogo de la familia Naucoridae (Insecta: Heteroptera) en Centroamérica. *Dugesiana* 20(2): 221 – 232.

Hilsenhoff, W. L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *Journal of the North American Benthological Society* 7(1): 65-68.

Howmiller, R.P. 1974. Some Naididae and Tubificidae from Central America. *Hydrobiologia* 44(1): 1-12.

Hurlbert, S. y Villalobos-Figueroa, A. 1982. Aquatic Biota of México, Central América and West Indies. San Diego, California, U.S.A.

Jiménez I., Sanchez Mármol L.G. y Herrera, N. 2004. Inventario Nacional y Diagnóstico de los Humedales de El Salvador. MARN/AECI. San Salvador. El Salvador.

Kumm, H.W. y Zuñiga, H. 1942. The mosquitoes of El Salvador. *American Journal for Tropical Medicine* 22: 399-415.

López Sorto, R.E., Sermeño Chicas, J.M. y Pérez, D.2010. Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros de los órdenes Megaloptera y Neuroptera en El Salvador. En: Springer, M. (ed.). Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES) - Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador.

McKenzie, K.G. 1982. Ostracoda. Pp 187-191. En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.). Aquatic Biota of México, Central America and West Indies. San Diego, California, U.S.A.

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador). 2008. Listado de géneros de macroinvertebrados indicadores de calidad ambiental, observados en el Río Ixcanal, ANP El Imposible. Dirección General de Patrimonio Natural. Disponible en http://www.marn.gob.sv/index.php?option=com_content&view=article&id=128&Itemid=183 (obtenido el 2 de enero de 2011).

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2009a. Gerencia de Vida Silvestre, Dirección General de Patrimonio Natural. Inventario de moluscos (Mollusca) de El Salvador.

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2009b. Acuerdo No. 36. Listado oficial de especies de vida silvestre amenazadas o en peligro de extinción. Publicado en El Diario Oficial, Tomo No. 383, Número 103 en páginas 75-89, *República de El Salvador en la América Central, San Salvador.* Disponible en http://www.marn.gob.sv/index.php?option=com_content&view=article&id=128&Itemid=183 (obtenido el 5 de junio de 2011)

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2013. Estrategia Nacional de recursos hídricos 2013. Versión 2, Junio 2013. Disponible en http://www.marn.gob.sv/descarga/documentos/estrategia_ENRH.pdf (obtenido el 2 de noviembre de 2014).

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2014. Áreas Naturales Protegidas. Disponible en: http://www.marn.gob.sv/index.php?option=com_content&view=article&id=127&Itemid=178 (obtenido el 2 de noviembre del 2014).

Marshall, W.B. 1926. New land and freshwater mollusks from Central and South America. *Proceedings of the United States National Museum* 69: 1-12.

Martínez Quijano, E. del C. y Cano Funes, R.S. 2008. Informe de Consultoría "Estudio de macroinvertebrados bentónicos en el río Cara Sucia, Municipio de San Francisco Menéndez, Departamento de Ahuachapan".

Martínez Rodríguez, R.O., Pérez, V. y Bazzaglia, A. 2010. Contaminación al río Lempa y mortalidad de peces. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Natural (MARN), Dirección General de Insectoría Ambiental. San Salvador, El Salvador.

McLean, D. y Meyer, S.T. 2010. Estado actual y futuro de la Biodiversidad en Centroamérica. Programa Estratégico de Monitoreo y Evaluación de la Biodiversidad (PROMEBIO). Reporte técnico junio 2010. Escuela Agrícola Panamericana (EAP), Tegucigalpa, Honduras.

Menjívar Rosa, R.A. 2010. Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del Orden Diptera en El Salvador. En: Springer, M. y Sermeño Chicas J.M. (Eds.). Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES)-Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador. 50 p.

Ministerio de Gobernación. 2009. Diario oficial de la República de El Salvador en la América Central. Acuerdo No. 36. Listado Oficial de Especies de vida silvestre amenazadas o en peligro de extinción. Tomo No. 383. Número 103. San Salvador, El Salvador. p. 75-89.

Monterrosa-Urías, A.J. 1993. Caracterización de algas, protozoos e insectos acuáticos presentes en las comunidades planctónicas y bentónicas en las aguas del río Chagüite (afluente del Lago de Ilopango), El Salvador. Tesis para optar al grado de Licenciado en Biología, Universidad de El Salvador, Escuela de Biología. San Salvador, El Salvador. 262 p.

Monterrosa Urías, A.J. y Serrano Cervantes, L. 1994. Caracterización de comunidades de insectos acuáticos del Río Chagüite, afluente del Lago de Ilopango, El Salvador. *Protección Vegetal* 4(2): 37- 52.

Moreira, F.F. 2014. Water bugs distributional data base. Disponible en https://sites.google.com/site/distributionaldatabase/ (Obtenido el 10 de octubre de 2014)

Orellana-Amador, J.J. 1992. Inventario Preliminar de los Crustáceos Marinos y de Agua Dulce de El Salvador,

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. Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del Orden Hemiptera en El Salvador. En: Springer, M. y J.M. Sermeño Chicas (Eds.). Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES)-Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador. 48 p.

Pacheco-Chaves, B. 2011. Diversidad taxonómica y distribución de los chinches patinadores (Hemiptera: Gerridae) en Costa Rica. Tesis de licenciatura en Biología, Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica. 128 p. Disponible en: http://cro.ots.ac.cr/rdmcnfs/datasets/biblioteca/pdfs/nbina-12677.pdf

Paulson, D.R. 1982. Odonata. Pp. 249–277. En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.). Aquatic Biota of México, Central America and West Indies. San Diego, California, U.S.A.

Paulson, D.R. 2013. Middle American Odonata by country. Disponible en: http://www.pugetsound.edu/academics/academic-resources/slater-museum/biodiversity-resources/dragonflies/middle-american-odonata/ (Obtenido en junio de 2013),

Pérez, D., Serrano Cervantes, L., Sermeño Chicas, J.M., Springer, M., Paniagua Cienfuegos, M. R., Hernández Martínez, M.A., Rivas Flores, A.W., Monterrosa Urías, A.J., Bonillade Torres, B.L., Carranza Estrada, F.A., Flores Tensos, J. M., de Los Ángeles González, C., Gutiérrez-Fonseca, P.E., Menjívar Rosa, R. A., Arias de Linares, A.Y., Chávez Sifontes, J.M., Muñoz Aguillón, S.M., López Turcios, N.A., y Rosales Arévalo, B. 2010. Clasificación de la calidad del agua de los principales ríos de El Salvador y su relación con las poblaciones de macroinvertebrados acuáticos. Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES) - Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador. 84 p.

Pocasangre, O. y Carranza, O. 1988. Biología y evaluación de población de cangrejos de agua dulce *Pseudotelphusa magna* del lago de Coatepeque, El Salvador. Tesis de Licenciado en Biología, Universidad de El Salvador, Escuela de Biología. San Salvador, El Salvador.

Pocasangre, O. 1994. Aspectos biológicos del "Cangrejo de agua dulce" (*Pseudotelphusa magna*) del lago de Coatepeque. Universidad de El Salvador. Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas. Escuela de Biología. *Revista Flora y Fauna*. (9.):9-21.

Polhemus, J. 1982. Hemiptera: Hydrometridae. Pp. 313–314. En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.). Aquatic Biota of México, Central America and West Indies. California, U.S.A.

Purdue University. 2012. Mayfly Central. Species List Central America.Disponible en: http://www.entm.purdue.edu/mayfly/ca-species-list.php (Obtenido el 24 de octubre del 2014).

Rubio Fabian, R.E. 2000. Macroinvertebrados bioindicadores de la calidad de las aguas lóticas en El Salvador. XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitaria e Ambiental. Associaciao Brasileira de Engenharia Sanitaria e Ambiental (ABES). Porto Alegre, Brasil. Anais. Disponible en http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/v-103.pdf (Obtenido el 04 de junio 2013)

Sagastizado Méndez, M.E. 2001. Impacto del uso de la tierra sobre la calidad del agua en la cuenca del Río Talnique, El Salvador. Tesis de maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Programa de Enseñanza para el Desarrollo y la Conservación. Escuela de Posgraduados. Turrialba, Costa Rica.

Salazar Colocho, A.E. 2010. Determinación de insectos acuáticos bioindicadores de calidad ambiental en los ríos del área natural protegida La Magdalena, Municipio de Chalchuapa, Santa Ana, El Salvador 2009. Tesis de Licenciado en Biología, Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria de Occidente, Departamento de Biología. Santa Ana, El Salvador.

Schmidt-Rhaesa, A. y Menzel, L. 2005. Central American and Carribean species of horsehair worms (Nematomorpha), with the description of three new species. *Journal of Natural History* 39(7): 515-529.

Sermeño Chicas, J.M. 2010. Determinación de la calidad ambiental de las aguas de ríos de El Salvador utilizando invertebrados acuáticos. *Revista Centroamericana Laderas*13(30): 13-14.

Sermeño Chicas, J.M., Serrano Cervantes, L., Springer, M., Paniagua Cienfuegos, M.R. Pérez, D., Rivas Flores, A.W., Menjívar Rosa, R.A., Bonillade Torres, B.L., Carranza Estrada, F.A., Flores Tensos, J.M., de Los Ángeles Gonzáles, C., Gutiérrez-Fonseca, P.E., Hernández Martínez, M.A., Monterrosa Urías, A.J. Yarias de Linares, A.Y. 2010a. Determinación de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando invertebrados acuáticos: índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010). Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES) - Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador. 44 p.

Sermeño Chicas, J.M., Pérez, D., Muñoz Aguillón, S.M., SerranoCervantes, L., Rivas Flores, A. W. y Monterrosa Urías, A. J.2010b. Metodología estandarizada de muestreo multi-hábitat de macroinvertebrados acuáticos mediante el uso de la Red "D" en ríos de El Salvador. Proyecto Universidad de El Salvador (UES)-Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador. 22 p.

Sermeño Chicas, J.M., Pérez D. y Gutiérrez-Fonseca, P.E. 2010c. Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del orden Odonata en El Salvador. En: Springer, M. (Ed.). Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES)-Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador. 33 p.

Serrano Cervantes, L. y Zepeda Aguilar, A. 2010a. Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del orden Ephemeroptera en El Salvador. En: Springer, M., Sermeño Chicas, J.M. y Vásquez Acosta, D. (Eds.). Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES) - Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador. 28 p.

Serrano Cervantes, L. y Zepeda Aguilar, A. 2010b. Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del orden Lepidoptera en El Salvador. En: Springer, M. y J.M. Sermeño Chicas (Eds.). Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos en El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES) - Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, S.A. de C.V., San Salvador, El Salvador. 16 p.

Servicio Nacional de Estudios Territoriales y Servicio Hidrológico Nacional Balance Hídrico Integrado y Dinámico. 2005. Balance Hídrico Integrado y Dinámico en El Salvador componente evaluación de recursos hídricos, San Salvador, El Salvador.

Spangler, P.J. 1982. Gyrinidae. Pp.349 – 354. En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.). Aquatic Biota of México, Central America and West Indies. San Diego, California, U.S.A.

Springer, M. 2010.Trichoptera. En: Springer, M., Hanson, P. y A. Ramírez (eds.). Macroinvertebrados de agua dulce en Costa Rica I. *Revista Biología Tropical* 58(Suppl.4): 151-198.

Springer, M., Serrano Cervantes, L. y Zepeda Aguilar, A. 2010. Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del orden Trichoptera. En: Sermeño Chicas, J.M. (ed.). Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES) - Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador. 47 p.

The Nature Conservancy (TNC). 2009. Evaluación de ecorregiones de agua dulce en Mesoamérica, sitios prioritarios para la conservación en las ecorregiones de Chiapas a Darién. Programa de Ciencias Regional, Región de Mesoamérica y El Caribe. The Nature Conservancy, San José, Costa Rica.

Thompson, F.G. y Hanley, R.W. 1982. Mollusca. Pp. 477-485. En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.). Aquatic Biota of México, Central America and West Indies. San Diego, California, U.S.A.

Thompson, F.G. 1963. New land snails from El Salvador. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 76: 19-32.

Triebel, E. 1953. Eine fossile *Pelocypris* (Crustacea, Ostracoda) aus El Salvador. *Senckenbergiana* 34: 1-4.

Universidad de El Salvador (UES), Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Escuela de Biología. 2007. Listado de especies de crustáceos decápodos registrados en la escuela de biología. Consultado el 22 de junio de 2014. Disponible en http://paginaweb.cimat.ues.edu.sv/biologia/quehacer/paginas/DOCUMENTOS/LISTADO%20ORDEN%20DECAPODA.pdf

Vaquerano Madrid, E.A., Farfán Aguilar, J.R. y Escobar Carranza, J.C. 2011. Tiempo de muestreo para determinar calidad ambiental del agua del río Copinula utilizando el índice biológico de familias de macroinvertebrados modificado para El Salvador. Tesis de Ingeniero Agrónomo, Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Protección Vegetal. San Salvador, El Salvador.

Viets, K. 1953. Einige neue Wassermilben (Hydrachnellae, Acari) aus San Salvador. *Veröffentlichungen aus dem Überseemuseum Bremen,* Reihe A, 3(16): 149-160.

Villalobos-Figueroa. A. 1982. Decapoda. Pp.215-239. En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.). Aquatic Biota of México, Central America and West Indies. San Diego, California, U.S.A.

Ward, R.A. 1982. Culicidae. Pp. 417- 428. En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.). Aquatic Biota of México, Central América and West Indies. San Diego, California, U.S.A.

Westfall, M.J. 1986. Additional records of Odonata from El Salvador.*Notula Odonatologica*2: 115-117.

Corydalidae, Megaloptera

Autor de fotografía: Kenji Nishida

Adulto de Dryopidae, Coleoptera

Autor de fotografía: Kenji Nishida

Guatemala

Fátima Reyes-Morales[1], Oscar Sacahuí-Reyes[2], Norma Gil[3], y Anna Cristina Bailey[4]

[1]Escuela de Biología, Universidad San Carlos de Guatemala, fatimarys3@yahoo.com; [2]Escuela de Biología, Universidad de San Carlos de Guatemala, osacahui@gmail.com; [3]Centro de Estudios del Mar CEMA, Universidad de San Carlos de Guatemala. normadecastillo1965@yahoo.com; [4]Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, Universidad Rafael Landívar. Guatemala. acbailey@url.edu.gt

6.1. Resumen

El estudio de los macroinvertebrados acuáticos en Guatemala en los últimos años ha sido más significativo y trascendental. El conocimiento del estado actual de este grupo es escaso debido a que la disponibilidad de literatura es limitada o dispersa. Son raros los estudios taxonómicos que se han realizado en el país en los últimos años, además mucha de la información no es publicada. El objetivo principal de este capítulo es presentar el estado actual del conocimiento de los macroinvertebrados acuáticos en Guatemala, incluidos los principales grupos taxonómicos, estudios ecológicos y estudios taxonómicos. El capítulo incluye una revisión bibliográfica de diferentes grupos taxonómicos, así como los procesos de normalización, utilización como bioindicadores de la calidad de agua y adaptación de índices bióticos para regiones específicas de interés para grupos de investigadores. Para la elaboración de este capítulo se realizó una búsqueda de la información presente en las bibliotecas universitarias del país, instituciones gubernamentales y privadas, trabajos de investigación, así como bibliografía disponible en internet, tales como la base de datos EBSCO. A pesar de que para Guatemala existen registros de recolectas de macroinvertebrados acuáticos desde la década de 1870, su estudio es aún elemental y la recopilación de la bibliografía aún más. La información disponible para organismos recolectados en el país es escasa y a pesar de que existen investigaciones importantes, estas se encuentran limitadas a ciertas regiones. La mayor cantidad de

muestreos que se llevan a cabo en el país se realizan principalmente para estudios de impacto ambiental que no han sido publicados, por lo que el acceso a esta información es difícil. En la mayoría de estudios se realiza una identificación taxonómica a nivel de familia, por lo que falta trabajo taxonómico para identificar organismos a nivel de género y especie.

6.1. Abstract

The study of aquatic macroinvertebrates in Guatemala has been more significant and transformative in recent years. Knowledge about the current state of this group is scarce due to the limited and diffuse availability of literature. Few taxonomic studies have been performed in the country during recent years and a large amount of information has not been published. The main objective of this chapter is to present the current state of knowledge about aquatic macroinvertebrates in Guatemala, including the main taxonomic groups, ecological studies and taxonomic studies. The chapter includes a literature review of different taxonomic groups and the process of their normalization and utilization as bioindicators of water quality, as well as the adaptation of biotic indices for specific regions of interest to groups of investigators. To produce this chapter, a search was performed of information from university libraries in the country, governmental and private institutions, research works and internet bibliographies such as the EBSCO database. Even though records of aquatic macroinvertebrates have existed in Guatemala since 1870, the study of these organisms continues to be elementary and the compiling of the literature even more so. The information available about organisms sampled in this country is scarce, and although significant investigations exist, they are limited to certain regions. Most of the sampling conducted in the country is primarily for environmental impact studies which have not been published and, therefore, it is difficult to access this information. Since the taxonomic identification in most of the studies is performed at the family level, taxonomic work to identify organisms at the genus and species levels is lacking.

6.2. Introducción

Guatemala es un país montañoso, con una gran diversidad de climas locales dependientes del relieve topográfico del lugar y de su distancia del mar. El país cuenta con 14 ecorregiones, que son unidades relativamente grandes de tierra que contienen distintos arreglos de comunidades naturales y especies con límites que se aproximan a las extensiones que originalmente tenían las comunidades naturales previo a los cambios generados por el uso de la tierra. Además, en su territorio se encuentran 14 zonas de vida, siete biomas y 66 ecosistemas. Del total de ecosistemas, 34 son de bosques que cubren aproximadamente el 48% del territorio nacional. Por su orografía el país se divide en tres vertientes: Pacífico, Atlántico o Caribe y Golfo de México. El país cuenta con siete lagos y 1,144 lagunas y la red hídrica está distribuida en 35 cuencas (figura 1) (URL *et al.* 2010).

La mayoría de los cuerpos de agua de Guatemala presentan problemas de contaminación, aunque la información disponible de este tema es escasa, limitada y difusa, ya que no se cuenta con información oficial al respecto, debido a que no se realizan monitoreos de manera sistemática en la mayoría de cuerpos de agua. Las principales amenazas que afectan la red hídrica son provocadas primordialmente por actividades agrícolas, industriales y el cambio del uso del suelo debido al crecimiento acelerado y desordenado de la población. Algunas instituciones educativas y gubernamentales han realizado estudios puntuales de calidad del agua, desde el punto de vista fisicoquímico y microbiológico, dejando a un lado la investigación basada en bioindicadores (URL *et al.* 2006).

Entre las actividades que se han realizado para aumentar el conocimiento de los macroinvertebrados, se encuentra la organización de un curso introductorio al conocimiento de éstos en el 2010, en donde se unieron las principales universidades del país, la Universidad de San Carlos de Guatemala, la Universidad Rafael Landívar y la Universidad del Valle, en conjunto con la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán (AMSA). En este curso se contó con la participación de dos expertos en el tema de macroinvertebrados de Costa Rica. Como producto de este curso, el tema de los macroinvertebrados acuáticos quedó integrado en los cursos de limnología que se imparten en dichas universidades y se comenzaron a organizar proyectos de investigación en varias ecorregiones de Guatemala.

En los monitoreos realizados en los últimos años por las cuatro instituciones antes mencionadas, ya se toman en cuenta el uso de macroinvertebrados como bioindicadores (Herrera *et al.* 2000, García 2008, García *et al.* 2009, Reyes 2012). Esto ha generado que el conocimiento sobre estos grupos vaya aumentando, además de que motiva a nuevos investigadores para que se integren a estudios que relacionen los macroinvertebrados con los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua. Recientemente se han realizado distintos trabajos en ecorregiones que por algún interés en particular han desarrollado ya varios estudios ecológicos y de biomonitoreo. Ejemplos de esos trabajos son los realizados en la Ecorregión Lachuá, cuenca del lago de Atitlán y algunas zonas del departamento de Petén. No obstante, la información se ha centralizado principalmente en organismos de la clase Insecta, debido a su abundancia y el acceso

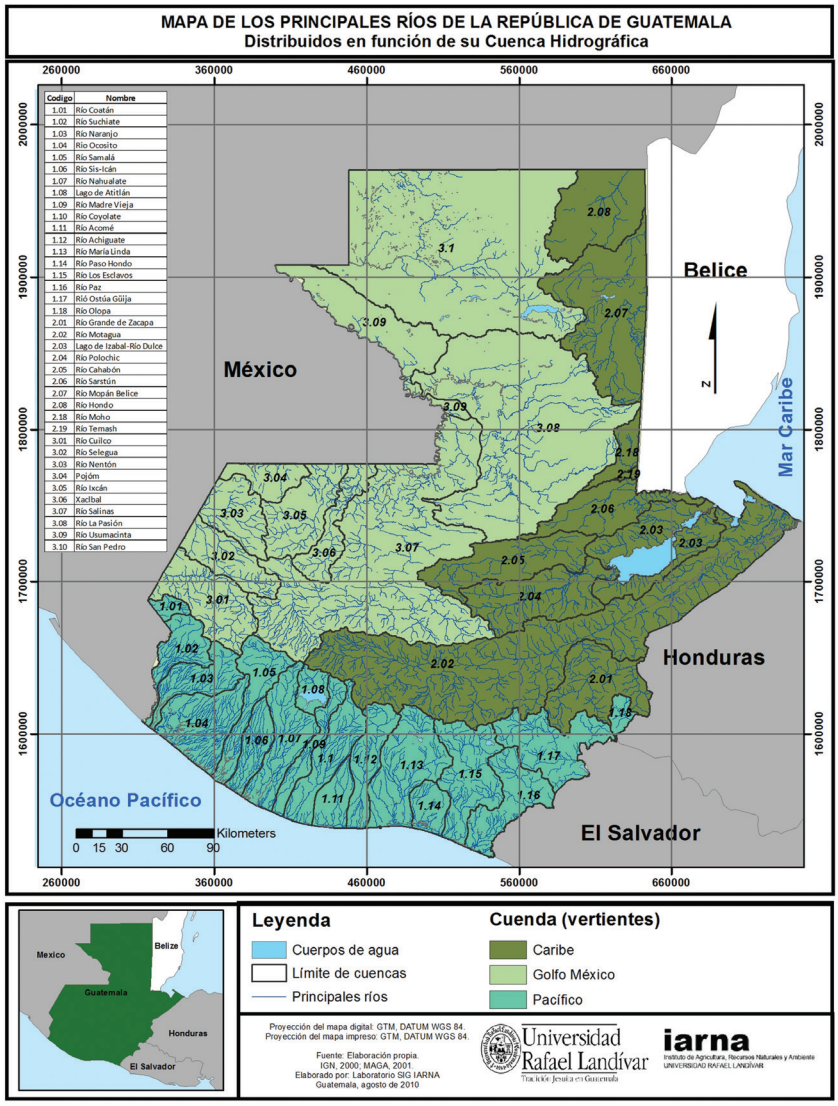


Figura 1. Principales ríos de la República de Guatemala (URL *et al.* 2010).

a bibliografía de apoyo para la identificación (Quintana 2004).

En este documento se presenta el estado del conocimiento de los macroinvertebrados en Guatemala. Además se expone el estado de conservación de los cuerpos de agua dulce en el país y perspectivas futuras.

6.3. Estado del conocimiento sobre macroinvertebrados dulceacuícolas en Guatemala

El estado del conocimiento taxonómico y ecológico de los macroinvertebrados de aguas continentales superficiales de Guatemala es aún escaso o disperso, ya que es uno de los países de la región mesoamericana con pocos estudios taxonómicos recientes realizados. Además, la información publicada para este tema se encuentra en publicaciones que incluyen varias regiones de la zona y en diversas revistas especializadas de poca accesibilidad por los investigadores locales. Recientemente se han realizado nuevos estudios propiciados principalmente por su uso como bioindicadores de la calidad de agua; aunque, el número de investigadores e investigaciones relacionadas al estudio de macroinvertebrados en Guatemala es bastante bajo.

6.3.1. Estudios taxonómicos

Existen algunos documentos o trabajos descriptivos sobre la diversidad, taxonomía y distribución de los macroinvertebrados acuáticos de Guatemala. El conocimiento de los macroinvertebrados acuáticos en el país se inició con registros que se dieron en 1871 para Ephemeroptera y 1873 para Hemiptera que se originaron de recolectas eventuales de adultos, realizadas por naturalistas de la época (Hurlbert y Villalobos-Figueroa 1982). El siguiente análisis es producto de una revisión de información exhaustiva de fuentes literarias y de publicaciones realizadas desde 1871 hasta la fecha. Sin embargo, existe información que no fue posible consultar debido a su difícil acceso. Algunos grupos taxonómicos no cuentan con información, aun cuando se sabe que se encuentran distribuidos y presentes en en la región o incluso hay listados de algunos órdenes de macroinvertebrados acuáticos presentes en Guatemala. Esto debido a que se encontró poca o ninguna información publicada sobre estos grupos. Sólo se describen algunos grupos taxonómicos con información obtenida de estudios ecológicos que se han realizado en Guatemala y que no han sido publicados.

Filo Nematoda - No se encontró información sobre especies de agua dulce de este grupo en Guatemala, solo se encontró literatura sobre nematodos terrestres que son fitoparasíticos de algunas especies de cultivos.

Filo Nematomorpha - Schmidt-Rhaesa y Menzel (2005) reportaron cinco especies (*Chordodes gestri, Gordius guatemalensis, G. platycephalus, Pseudochordodes bulbarnotatus* y *Pseudochordodes guatemalensis*) de Nematomorpha para Guatemala en un estudio realizado para Mesoamérica y el Caribe en donde incluye un listado de varias especies para la región. Es muy probable que haya más especies de este filo en el país, no obstante hay falta de investigaciones y expertos en este grupo taxonómico.

Filo Platyhelmintes - Mitchell y Kawatsu (1973) reportaron una nueva especie de la familia Planariidae, *Dugesia guatemalensis*, en estudios realizados en la Sierra Madre de Chiapas,

la cual está conectada geográficamente con la Sierra Madre de Guatemala, por lo que es muy probable que este organismo se encuentre en gran parte de la región de las cuencas de Guatemala que desembocan en el Golfo de México. Reddell (1981) reportó en estudios realizados en el sur de México, Guatemala y Belice, cuatro especies del género Dugesia. Las muestras de Mitchell y Kawatsu se encuentran en el Instituto Smithsoniano del Museo Nacional de Historia Natural en el Departamento de Invertebrados y Zoología en Washington D.C y las muestras de Reddell (1981) en el Museo Memorial de la Universidad de Texas.

Filo Annelida - Harman (1982b) reportó 20 especies de oligoquetos (clase Clitellata, subclase Oligochaeta) de las familias Aeolosomatidae, Opistocystidae y Naididae para Guatemala, Costa Rica, El Salvador, Nicaragua y Honduras. Moore (1908) reportó las especies *Glossophonia lineata* y *Erpobdella triannulata* para el lago de Amatitlán, en donde adicionalmente hace una breve descripción de las especies. La información de oligoquetos y otros órdenes de agua dulce de Guatemala es escasa y dispersa, por lo que es muy probable que haya más especies de este filo en el país. Se han recolectado organismos de este filo en varios estudios realizados en el país, sin embargo, sólo se han reportado hasta nivel de subclase o familia, debido a la falta de claves taxonómicas.

Filo Arthropoda

Subfilo Chelicerata

Clase Arachnida

Orden Trombidiformes – (Hydrachnidia) – La fauna de los ácaros acuáticos de Guatemala es una de las mejor conocidas de América Central. El primer registro para el país fue publicado por Stoll (1886-1893); de esta publicación se pueden reconocer dos especies: *Limnesia laeta* y *Neumania alticola*. Hoy día tenemos registros de 69 especies en 32 géneros y 15 familias (Viets 1975, 1977, 1977-78a-d). Además existen también datos ecológicos sobre la fauna de ácaros acuáticos de tres quebradas en Baja y Alta Verapaz (Böttger 1980a, 1984) y una publicación sobre el ciclo de vida y la ecología de *Arrenurus valencius* en la laguna Chichoj (Böttger 1980b).

Subfilo Crustacea

Clase Ostracoda - Los estudios taxonómicos de ostrácodos en Guatemala iniciaron en el lago Petén Itzá en el año 1925 con las colecciones de Dampf (Pérez *et al.* 2010). Brehm (1932) reportó tres especies de ostrácodos en una publicación de la fauna de agua dulce de Guatemala y México: *Cypria pelagica, Dolerocypris opesta* y *Limnocythere sp.* En una segunda publicación, Brehm (1939) presentó nuevos resultados sobre la microfauna del lago Petén Itzá. Pérez *et al.* (2010) reportaron once especies recolectadas en el lago Peten Itzá, Guatemala, las cuales fueron anteriormente reportadas por Dampf a principios del siglo XX (Brehm 1939).

Clase Malacostraca

Orden Amphipoda - No se encontró información publicada sobre este grupo para Guatemala, sin embargo, en algunos estudios se han recolectado algunos especímenes de este orden (*e.g.*, Petén, lago Atitlán y la laguna Lachúa, entre otros).

Orden Isopoda - No se encontró información publicada sobre especies de agua dulce de este grupo para el país. En algunos estudios han sido recolectados ciertos especímenes de este orden, sin embargo, han sido reportados a nivel de orden debido a la falta de claves taxonómicas.

Orden Decapoda - Los cangrejos pseudotelfúsidos se distribuyen desde el norte del Perú y el centro de Brasil hasta el norte de México (Rodríguez 1986). En la región Neotropical la mayoría de estudios con cangrejos de la familia Pseudothelphusidae se han realizado en la región de México, casi no hay información de estudios realizados en Guatemala. Villalobos (1982) reportó que la distribución de dos especies del sur de México alcanza Guatemala, una Belice y otra más Honduras. También Hobbs (1984) reportó que el género *Procambarus* (cangrejo de río) se encuentra distribuido desde el sureste de los EUA y que llega a Guatemala. Rodríguez (1982, 1992) y Wehrtmann *et al.* (2014) reportaron para Guatemala una alta riqueza de cangrejos de agua dulce, que consiste en once especies válidas en seis géneros (*e.g., Raddaus bocourti* y *Potamocarcinus magnus*, entre otras). Meek y Cory (1908) reportaron la especie *Bithynis jamaicensis* de la familia Palaemonidae (camarón) y la especie *Potamocarcinus guatemalensis* de la familia Potamonidae (cangrejo) para los lagos de Amatitlán y Atitlán, respectivamente; dentro de su publicación hace una breve descripción de ambas especies.

Subfilo Hexapoda

Clase Collembola - A nivel mundial aproximadamente 103 especies de colémbolos están asociados a ambientes acuáticos (Deharveng *et al.* 2008). En Guatemala los colémbolos han sido recolectados en diferentes estudios en ríos, sin embargo, no se tiene información con respecto al número ni las especies existentes en el país, ya que no se cuenta con información sobre especies de agua dulce de este grupo ni claves taxonómicas.

Clase Insecta

Orden Ephemeroptera - En Guatemala fueron descritas las primeras especies por Eaton (1871), desde éste a la fecha, no hubo avances importantes, hasta que se dieron a conocer los trabajos realizados por Lugo-Ortiz y McCafferty (1993), en los cuales se registran 20 especies de este orden. McCafferty *et al.* (2004), indicaron que se han recolectado especímenes del Orden Ephemeroptera en 33 de las 35 cuencas de la red hidrográfica de Guatemala, aunque es muy probable que estén presentes en todas; representados por 32 géneros y 66 especies. Son pocos los reportes de nuevas especies para el país, McCafferty y Baumgardner (2003) describieron un nuevo género y una nueva especie, *Lugoiops maya*, para Guatemala. En el listado de especies Mayflay Central (Purdue University 2013) se registran para Guatemala 68 especies válidas.

Orden Odonata - González-Callejas (2007) mencionó que en Guatemala los estudios relacionados con Odonata datan desde finales del siglo antepasado, cuando en 1879, el estadounidense G.C. Champion colectó por primera vez. Después de éste, otros odonatólogos le siguieron, específicamente Williamson (1915) y González-Callejas (2007). Con base en estas recolectas que se realizaron en toda Centro América, fue Philip P. Calvert quien inició el ver-

dadero estudio de los Odonata en Guatemala y el resto de América Central. Esto dio lugar a una gran suma de publicaciones por su parte y de hecho la mayor realizada por alguien acerca del tema, en el Neotrópico (Calvert 1901-1908). Kormondy (1959) reportó que los primeros estudios del Orden Odonata fueron desarrollados por Calvert en los años 1901 a 1908 y 1919, la mayoría de los especímenes de estas primeras recolectas provinieron de las cercanías de los parques nacionales Tikal y Poptún pertenecientes a Petén, Guatemala, las cuales constituyeron las primeras de la región; continúa mencionando Kormondy (1959) que posteriormente fue hasta 1956 cuando se realizaron recolectas por Theodore H. Hubbell y otros investigadores, como parte del equipo de investigación de de la Universidad de Michigan. Los especímenes recolectados en esta expedición fueron reportados para Petén y otras regiones como en Cobán (Alta Verapaz), Finca la Paz en San Marcos, Panajachel (Sololá), Puerto Barrios (Izabal) y Tiquisate (Escuintla), los cuales se encuentran depositados en el Museo de Zoología de la Universidad de Michigan, Estados Unidos (Kormondy 1959). Los años siguientes varios entomólogos continuaron con estudios de Odonata y no fue sino hasta las décadas de 1960 y 1970 y principios de la década de 1980 cuando el estadounidense T.W. Donnelly, entre otros, realizó recolectas esporádicas en el territorio nacional encontrando varias especies nuevas como también nuevos registros para Guatemala (González-Callejas 2007). Estos y otros biólogos han contribuido al realizar estudios y colectas en la región incluyendo países vecinos (Donnelly 1967, 1979, 1981, 1984, 1989, Belle 1980, Bick y Bick 1990, Boomsma y Dunkle 1996, Borror 1942, Esquivel 1990, 1993, Förster 1999, Garrison 1986, 1990, 1999, González-Soriano 1991, González-Soriano y Verdugo-Garza 1984, González-Soriano y Novelo-Gutiérrez 1992, Kennedy 1993, Kormondy 1959, May 1980, 1998, Needham 1940, 1944, Novelo-Gutiérrez 1990, Paulson 1984a, 1984b, 1994 a, 1994 b, 2003, Westfall 1964, Williams 1937, Williamson 1915, 1923, Williamson y Williamson 1930). González-Callejas (2006) reportó 213 especies de odonatos para el país, distribuidos en 15 familias. Dentro de estas existen dos especies reportadas solamente para Guatemala de Gomphidae (Anisoptera) y Megapodagrionidae (Zygoptera). Se incluyó una lista en la que se señaló la distribución general y los hábitats más frecuentes de las especies y concluyó con el efecto que tienen la contaminación de los cuerpos de agua y la destrucción de los bosques para las poblaciones de odonatos en Guatemala. En el documento publicado por González-Callejas (*Op cit*) se citaron 57 publicaciones que tratan directamente con material recolectado en Guatemala o que simplemente mencionan al país. En publicaciones más recientes como en Ramírez (2010) se mencionó que existen 353 especies de Odonata conocidas en Guatemala, de las cuales en su mayoría se encuentran desde el sur de Estados Unidos hasta Chile y Argentina, mientras que 14 de estas especies son exclusivas de Guatemala.

Orden Orthoptera - No se cuenta con información sobre especies acuáticas para este grupo en Guatemala.

Orden Plecoptera - Needham y Broughton (1927) fueron los primeros en reconocer seis especies de *Anacroneuria* en Guatemala. Luego Jewett (1958) publicó la primera revisión

del género *Anacroneuria* en la región en la cual incluyó 15 especies para México, Guatemala y Belice, de las cuales diez fueron descritas como nuevas. El género *Anacroneuria* tiene 332 especies descritas (Froehlich 2010) muchas de las cuales se han reportado desde el sur de los Estados Unidos hasta el norte de Argentina, Bolivia y Brasil; siendo muy probable que algunas de las mismas se encuentren en Guatemala. Stark (2014) reportó un listado de las especies del género *Anacroneuria* para Mesoamérica de las cuales 17 se encuentran distribuidas en Guatemala (*Anacroneuria acutipennis, A. annulicauda, A. flavolineata, A. flavominuta, A. lineata, A. naomi A. pallida, A. perplexa, A. planicollis, A. Naomi, A. pallida, A. perplexa, A. planicollis, A. quadriloba, A. senahu, A. wellsi* y *A. zaculeu*).

Orden Blattodea - No se encontró información sobre especies acuáticas de este grupo para Guatemala, sin embargo, algunos organismos de este orden han sido recolectados en diferentes estudios en ríos (García 2008, García *et al.* 2010).

Orden Hemiptera - Las primeras recolectas se realizaron por G.C. Champion durante los años 1873 a 1879, quien reportó 72 especies para el territorio guatemalteco (De la Torre 1908a, b). Posteriormente Hine (1905), contribuyó al estudio de los hemípteros con recolectas realizadas en los departamentos de Izabal, Zacapa, Guatemala y Sololá. La mayoría de especímenes recolectados en los primeros estudios realizados se encuentran distribuidos en distintas colecciones fuera del país principalmente en los Estados Unidos de América (Osborn 1909, Osborn y Drake 1915, Solórzano 2001). Drake y Chapman (1958) reportaron la especie *Lipopomphus leucostictus* (Hebridae) para Guatemala. En su revisión de la familia Gerridae, Pacheco-Chaves (2012), mencionó dos especies para Guatemala (*Bachymetra albinervis, Eurygerris flavolineatus*), además de otras 11 (de los géneros *Eurygerris, Halobates, Limnogonus, Potamobates, Tachygerris, Telmatometra* y *Trepobates*), con un ámbito de distribución que incluye Guatemala. Herrera (2013) registró para Guatemala 14 especies y cuatro subespecies, en cuatro géneros (*Ambrysus, Cataractocoris, Limnocoris, Pelocoris*) de la familia Naucoridae. Para la familia Belostomatidae, Moreira (2014), en su base de datos de distribución de hemípteros acuáticos en América Latina, registró a la especie *Lethocerus annulipes* como reportada para Guatemala.

Orden Coleoptera – Gutiérrez-Fonseca (2010) indicó que para El Salvador se han reportado 17 familias, las cuales es muy probable que también se encuentren presentes en Guatemala debido a la cercanía de los dos países, principalmente relacionados a través de la vertiente del pacífico. Spangler y Santiago-Fragoso (1992) en su publicación describieron cinco géneros de la familia Elmidae, subfamilia Larainae (*Disersus, Hexanchorus, Phanocerus* y *Pseudodisersus*), de los cuales cuatro de ellos se encuentran distribuidos en Guatemala. Según la revisión de la familia Elmidae para el Neotrópico realizada por Ottoboni-Segura *et al.* (2013), en Guatemala se han registrado un total de 20 especies de 11 géneros. La literatura relacionada con los coleópteros acuáticos fue escaza y dispersa, debido a que es un grupo muy grande que incluye muchas familias. No obstante, alrededor de 18 familias han sido recolectadas en diversos es-

tudios realizados en el país (*e.g.*, Herrera *et al.* 2000, Van Tuylen *et al.* 2006, García 2008, García *et al.* 2009, García *et al.* 2010, Reyes 2012)

Orden Neuroptera - De la única familia acuática de este orden, Sisyridae, hay 14 especies descritas del Nuevo Mundo en los géneros *Sisyra* y *Climacia* (Cover y Resh, 2008), las cuales viven asociadas a esponjas de agua dulce. Sin embargo, para Guatemala, no se encontró información sobre especies acuáticas de este grupo, ni reportes de recolectas.

Orden Megaloptera - Glorioso y Flint (1984) y Contreras-Ramos (1995, 1999b) realizaron descripciones de especies de Megaloptera que fueron recolectadas en Mesoamérica y en Guatemala. Contreras-Ramos (1995) describió una nueva especie para Guatemala. Asimismo Contreras-Ramos (1999a) presentó un listado de 63 especies para el Neotrópico en el cual se cita a Guatemala y de las cuales diez (*Chloronia mexicana, C. mirifica, C. Zacapa, Corydalus flavicornis, C. luteus, C. magnus, C. peruvianus, C. texanus, Platyneuromus honduranus, P. reflexus*) se encuentran distribuidas en Guatemala.

Orden Trichoptera - El catálogo neotropical de Trichoptera (Flint *et al.* 1999) incluye registros de 97 especies de 12 familias y 34 géneros para diferentes regiones de Guatemala. Todos estos géneros se encuentran ampliamente distribuidos en América Central, con excepción de *Mejicanotrichia* (Hydroptilidae) y *Mexipsyche* (Hydropsychidae), ambos restringidos en su distribución a México y Guatemala. El género *Diplectrona* (Hydropsychidae) proviene del hemisferio norte y en Mesoamérica se encuentra únicamente en ríos de zonas altas en México y Guatemala. Posterior a la publicación del catálogo neotropical, Holzenthal y Andersen (2004) describieron para Guatemala una especie nueva de *Triaenodes* (Leptoceridae), género que no estaba registrado anteriormente para el país. En su revisión del género *Phylloicus* (Calamoceratidae), Prather (2003), registró tres especies para Guatemala, lo cual era el primer registro de la familia para el país. Asimismo, la descripción de una nueva especie de *Marilia* (Bueno-Soria y Rojas-Ascencio 2004) constituyó el primer registro de la familia Odontoceridae para Guatamala. Según Morse (2014), para Guatemala se han descrito un total de 30 nuevas especies de Trichoptera, de las siguientes familias: Ecnomidae (1 sp.), Glossosomatidae (3 spp.), Hydrobiosidae (1sp.), Hydropsychidae (4 spp.), Hydroptilidae (11 spp.), Lepidostomatidae (1 sp.), Leptoceridae (1 sp.), Limnephilidae (1 sp.), Odontoceridae (1 sp.), Philopotamidae (2 spp.), Polycentropodidae (2 spp.), Xiphocentronidae (2 spp.). En conjunto, estos registros elevan la lista total de especies de tricópteros registrados para Guatemala a 14 familias, 36 géneros y un poco más de 100 especies. Sin lugar a dudas, con un mayor esfuerzo de muestreo aún se podrá aumentar significativamente la lista de especies de este orden.

Orden Lepidoptera - El orden de los lepidópteros (mariposas y polillas) es principalmente terrestre, pero hay algunas especies con larvas acuáticas. La mayoría de las polillas verdaderamente acuáticas habitan sobre la vegetación sumergida y se encuentran en la familia Crambidae (antes Pyralidae) (Bouchard 2004). No se encontró información sobre especies acuáticas de este grupo en Guatemala, sin

embargo, especímenes de este orden han sido recolectados en diversos estudios y han sido reportados a nivel de familia o género (*Petrophila sp.*) (*e.g.*, Herrera *et al.* 2000, Van Tuylen *et al.* 2006, García 2008, García *et al.* 2009, García *et al.* 2010, Reyes 2012, entre otros).

Orden Díptera - En Guatemala han sido reportados en algunos proyectos de investigación (*e.g.*, Herrera *et al.* 2000, Van Tuylen *et al.* 2006, García 2008, García *et al.* 2009, 2010, Reyes 2012) varias familias de dípteros acuáticos (Blephariceridae, Psychodidae, Ptychopteridae, Dixidae, Corethrellidae, Chaoboridae, Thaumaleidae, Ceratopogonidae, Stratiomyidae, Empididae, Syrphidae, Sciomyzidae, Ephydridae, Muscidae, Simuliidae, Culicidae, Chironomidae, Tipulidae y Tabanidae). Sin embargo, la información taxonómica sobre este orden es escasa y dispersa. Brown *et al.* (2009) en el manual "Díptera de América Central" describió la biología, clasificación, diagnosis, identificación y la distribución geográfica de las especies de 42 familias del orden Díptera dentro de las cuáles se incluyen algunas familias acuáticas. La distribución de las familias en el manual de díptera de Centro América es muy amplia, pues indica que las especies se encuentran distribuidas desde México hasta Panamá, no obstante, en algunas especies se específica su distribución y recolecta en Guatemala (*e.g. Isostomyia* y *Runchomyia* (Culicidae); *Simulium* (Simuliidae); *Apedilum, Endotribelos, Hudsonimyia, Meropelopia, Micropsectra, Limnophyes, Onconeura, Paramerina, Paramatriocnemus, Paraphaenocladius* (Chironomidae) (Brown *et al.* 2009).

Filo Mollusca – Thompson (2008) enlistó 1,789 especies de moluscos que se distribuyen desde México hasta Panamá. Dentro de este listado, 252 son especies acuáticas nativas (168 operculados y 84 pulmonados), de las especies acuáticas algunas fueron reportadas para Guatemala. No obstante, la información fue escasa sobre moluscos de agua dulce del país, no se encontró literatura sobre descripciones taxonómicas, ni listados. Algunos estudios han reportado la recolecta de algunos especímenes de moluscos acuáticos, sin embargo, solo han sido reportados a nivel de familias debido a la falta de guías de identificación para la región.

Colecciones taxonómicas

Actualmente para Guatemala no existe un sistema nacional de colecciones biológicas que incluya un componente importante de macroinvertebrados acuáticos. Las colecciones biológicas debidamente autorizadas por la autoridad competente (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, CONAP) son solamente dos, la de la Universidad del Valle de Guatemala y la del Museo de Historia Natural de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Los especímenes depositados en estas colecciones han sido principalmente producto de proyectos de graduación (tesis), y algunos proyectos financiados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de Guatemala (CONCYT). Todo el material recolectado durante el proyecto "Evaluación de los efectos del cambio del uso de la tierra, sobre la calidad del agua y los patrones de diversidad de Macroinvertebrados bentónicos en la Ecorregión Lachuá, Cobán Alta Verapaz" (García *et al.* 2010), y del proyecto "Distribución de los insectos acuáticos en cuerpos lénticos de la biosfera maya: Indicadores biológicos de la calidad del agua" (García *et al.* 2009), fueron depositados en la colección de artrópodos del Museo Nacio-

nal de Historia (MUSHNAT) de la Universidad San Carlos de Guatemala.

La mayoría de recolectas de macroinvertebrados acuáticos en Guatemala son realizadas por empresas consultoras o consultores independientes para cumplir con los requerimientos de estudios de impacto ambiental, y los especímenes productos de estas recolectas en su mayoría no son ingresados a alguna de las colecciones autorizadas. Existen colecciones privadas en algunas empresas consultoras que cuentan con más de 100,000 especímenes y que hasta ahora no han sido inscritas ante el CONAP.

6.3.2. Estudios ecológicos

Entre los estudios realizados en ambientes dulceacuícolas se encuentran varias investigaciones en diferentes regiones del país, tanto en ecosistemas lóticos como lénticos. Brezonik y Fox (1974) realizaron un estudio de limnología en 14 lagos de Guatemala, en el cual efectuaron una caracterización fisicoquímica y biológica de siete lagunas en las tierras bajas de Petén (Eckixil, Juleque, Macanché, Paxcaman, Petén Itzá, Peténxil y Sal Petén) y el resto en el sur del país. El estudio determinó que en la mayoría de los lagos hay un agotamiento del oxígeno en el hipolimnion y que en general las especies inferiores (fitoplancton y macroinvertebrados acuáticos) son tolerantes a la contaminación. Dentro de los taxones de insectos acuáticos reportados en el estudio se encuentran organismos de Baetidae, Ceratopogonidae, Oligochaeta y Gastropoda.

García *et al.* (2009) realizaron un estudio sobre la composición y distribución de los insectos acuáticos en cuerpos lénticos de la Biosfera Maya, en el cual se evaluó el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos, su relación con los cambios en el uso de la tierra y el estado de conservación, con la finalidad de contribuir a la implementación del uso de insectos acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua en Guatemala. En el estudio obtuvieron que la diversidad de especies es alta en sitios donde no hay una influencia antropogénica y tiende a decrecer a medida que empieza a haber cierto grado de perturbación humana. Así mismo obtuvieron que la distribución de los macroinvertebrados acuáticos está influenciada por el tipo de sustrato y las variaciones fisicoquímicas.

García (2008) y García *et al.* (2010) efectuaron un estudio en el Parque Nacional Laguna Lachuá, en el cual el objetivo principal fue evaluar cuáles características fisicoquímicas se encuentran correlacionadas con la distribución de los macroinvertebrados acuáticos y cuáles de ellas explican su distribución en los ríos. Se obtuvo que la distribución de los macroinvertebrados acuáticos es un reflejo de las condiciones fisicoquímicas de los cuerpos de agua, confirmando que el uso de los insectos acuáticos como indicadores del estado de conservación de los sistemas acuáticos de la Ecorregión Lachuá es viable.

Guevara *et al.* (2000) realizaron un estudio entomológico con individuos adultos en la región semiárida nororiental de Guatemala en tres asociaciones vegetales (ribera del río Motagua, quebradas secas y bosque alterado). Uno de los resultados que se obtuvo de este estudio fue la recolecta de 22,690 insectos, distribuidos en 146 familias y 15 órdenes. Algunos de los especímenes recolectados fueron individuos adultos de macroinvertebrados acuáti-

cos, la identificación del material se realizó a nivel de familia por lo que no se puede mencionar cuantos géneros fueron recolectados. Además, dentro del estudio no hubo recolectas de larvas ni ninfas de las familias de insectos acuáticos.

Herrera *et al.* (2000) trabajaron con insectos acuáticos asociados con Salvinia auriculata en el Parque Nacional Laguna del Tigre. En este estudio se reportaron 44 morfoespecies en 26 familias, principalmente de Coleoptera y Ephemeroptera.

Van Tuylen et al. (2006) realizaron un estudio de la distribución de macroinvertebrados acuáticos en la ecorregión Lachuá, en donde se registraron 79 taxa, 45 familias, 14 órdenes, seis clases y cuatro filos. La mayoría de los taxa fueron encontrados en sitios en donde había una mayor disponibilidad de sustrato. Este estudio fue la línea base para estudios subsiguientes en la región. Para el resto del país no se encontraron publicaciones de investigaciones, solamente recolectas aisladas publicadas en listados especializados, como el publicado por la Universidad de Perdue (Wiersema y McCafferty 2000).

6.3.3. Estado de conservación

Actualmente no existe en Guatemala una estrategia de conservación de los ecosistemas acuáticos que considere a los macroinvertebrados acuáticos. Las estrategias de conservación se han orientado hacia la preservación de otros recursos y otros grupos de organismos.

En la República de Guatemala existe el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), dentro del cual se encuentra el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP), siendo esta la forma de reunir al conjunto de todas las áreas protegidas del país y las entidades que las administran. Fue creado para lograr los objetivos de conservación, rehabilitación y protección de la diversidad biológica y los recursos naturales del país. Actualmente el SIGAP está conformado por 311 áreas protegidas localizadas en el territorio nacional (CONAP 2012a).

El Estado de Guatemala reconoce que la protección de los humedales es vital para el desarrollo del país, por lo cual ratificó su adhesión a la "Convención sobre los Humedales" el 26 de enero de 1988, a través del Decreto Legislativo Número 4-88 del Congreso de la República. Reconoce a los humedales como sistemas cuyas características están determinadas por la presencia de agua, ya sea dulce, salobre o salada; es decir, ríos, arroyos, manantiales, lagos, lagunas, pantanos, cuevas (sistemas hídricos subterráneos), sistemas costeros, arrecifes coralinos, estuarios y manglares. De los 710 sistemas lacustres o lagos que hay en el país, el 68 % se localiza dentro del SIGAP, es decir 481 cuerpos de agua, incluidos siete humedales, considerados de importancia mundial por la Convención Internacional sobre humedales, el más grande está ubicado en el Parque Nacional laguna del Tigre, zona núcleo de la Reserva de la Biósfera Maya en el Petén (CONAP 2012a). El área de protección especial del lago de Güija, Jutiapa, es un sitio que está siendo propuesto como sitio Ramsar con la finalidad de conservar los ecosistema acuáticos y así promover el desarrollo sustentable de estas áreas (CONAP 2005, Ramsar 2013).

Guatemala cuenta con siete humedales nombrados sitios Ramsar. Éstos son reconocidos por su importancia para la conservación de la diversidad biológica mundial y para el susten-

to de la vida humana a través del mantenimiento de los componentes, procesos y beneficios/servicios de sus ecosistemas (Cuadro 1).

6.4. Empleo de los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en Guatemala

Actualmente, el uso de macroinvertebrados de aguas continentales superficiales como indicadores de la calidad de agua, no se encuentra extendido en Guatemala. Tradicionalmente la calidad de los cuerpos de agua ha sido evaluada únicamente mediante parámetros físico-químicos (oxígeno disuelto, pH, conductividad, sólidos disueltos totales, nutrientes, entre otros). Pocos son los proyectos que incluyen el uso de bioindicadores como complemento a estos parámetros y son menos aun los que utilizan macroinvertebrados acuáticos.

Algunas empresas consultoras han utilizado macroinvertebrados como indicadores de la calidad de agua para estudios de impacto ambiental. Los impactos de algunas actividades como la industria minera (principalmente oro, plata y níquel) e hidroeléctricas son evaluados usualmente con macroinvertebrados acuáticos. Estos estudios son parte de los requisitos que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) solicita. Generalmente, han abarcado un muestreo intensivo por lo menos de dos años antes de iniciar operaciones y se han mantenido durante la operación de los proyectos. Estas empresas han generado información principalmente en los departamentos de Izabal, San Marcos, Sacatepéquez, Escuintla y Jutiapa, Baja Verapaz. Los informes finales de estos estudios se encuentran almacenados en el MARN y el acceso a la información es restringido al público en general.

Las empresas consultoras y los consultores conservan el material y los resultados de todas estas investigaciones que generalmen-

Cuadro 1. Listado de sitios Ramsar, Guatemala (Ramsar 2013).

Sitio Ramsar	*Departamento*	*Fecha de adhesión*	*Área (ha)*
Parque Nacional Laguna del Tigre	Petén	26 de junio de 1990	335,080
Manchón-Guamuchal	San Marcos	25 de abril de 1995	13,500
Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic	Izabal	20 de marzo de 1996	21,227
Punta de Manabique	Izabal	28 de enero de 2000	132,900
Reserva de Usos Múltiples Río Sarstún	Izabal	22 de marzo de 2005	35,202
Parque Nacional Yaxhá-Nakum-Naranjo	Petén	02 de febrero de 2006	37,160
Ecorregión Lachuá	Alta Verapaz	24 de mayo de 2006	53,523

te no son difundidos adecuadamente, por lo que no constituyen un aporte real al estado del conocimiento de los macroinvertebrados acuáticos del país. Aun cuando los muestreos para estos proyectos han sido intensivos en la mayoría de los casos, el análisis de los datos se ha quedado generalmente a un nivel de identificación taxonómica de familia y a nivel de género solamente en pocas ocasiones. Los datos que han aportado no constituyen un avance considerable al conocimiento de los macroinvertebrados del país ya que la información es muy limitada y generalmente no se publica. Estos estudios se han desarrollado principalmente en los departamentos de Izabal, Petén, San Marcos, Jutiapa, Jalapa, Huehuetenango, Quiche, Sacatepéquez y corresponden a estudios tanto de línea base y no propiamente de investigación, como de monitoreo biológico para industrias mineras, hidroeléctricas, petroleras y de infraestructura hidráulica. Estas investigaciones han sido efectuadas generalmente en zonas que de otra manera no hubieran sido tomadas en cuenta para un estudio de diversidad de macroinvertebrados, ya que responden a criterios de interés para cada industria y no a criterios biológicos o de regiones prioritarias de conservación.

La importancia de estos muestreos radica en el potencial que como fuente de información pudieran constituir, ya que las colecciones generadas por estos, cuentan con un gran número de individuos en buenas condiciones que pudieran ser analizados posteriormente. El número de especímenes recolectados por estos estudios superan por mucho a los recolectados por otros tipos de investigaciones realizadas por instituciones académicas (proyectos de investigación y tesis). El principal problema para acceder a estos organismos es que generalmente no son depositados en colecciones de referencia autorizadas y se mantienen en colecciones privadas que son de difícil acceso para los investigadores interesados. Los resultados de estos estudios no han sido divulgados en publicaciones científicas reconocidas y solamente se encuentran en los informes que se han presentado al MARN, como parte de los compromisos ambientales que las empresas adquieren para iniciar operaciones. Para acceder a ellos se requiere de procedimientos administrativos que limitan su consulta.

A nivel gubernamental se inició un proyecto en el año 2010 que involucra el uso de macroinvertebrados como indicadores de la calidad de agua. Este proyecto se lleva a cabo en la cuenca del lago de Amatitlán, en la región central de Guatemala. Esta cuenca es de suma importancia para Guatemala, ya que entre otros aspectos es la más poblada del país (cuenta con más de 2 millones de habitantes) y abarca gran parte de la capital y 13 municipios adyacentes. El proyecto es ejecutado por la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y el Lago de Amatitlán (AMSA), que es una entidad estatal. En la cuenca del lago de Atitlán también se ha iniciado con el monitoreo por parte de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno (AMSCLAE).

Reyes (2012) y Reyes *et al.* (2012) determinaron la composición y estructura de comunidades de macroinvertebrados bentónicos y su relación con factores ambientales en condiciones naturales y alteradas a lo largo de la cuenca del lago de Atitlán. Además se calcularon varios índices bióticos, Índice Biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party) adaptado para Costa

Rica (BMWP-CR) y para Colombia (BMWP-Col), Índice Biótico a nivel de Familias de El Salvador (IBF-SV), con el fin de determinar qué índice se ajustaba mejor a la cuenca. Se seleccionó como mejor índice el BMWP, el cual se adaptó y validó, estableciendo así el nuevo Índice BMWP/Atitlán, basado en el BMWP-CR.

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

En la actualidad, no existe una normativa aprobada que reglamente los estudios de calidad de agua basados en macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores. En otros países del istmo centroamericano sí existe este tipo de normativa.

La constitución de la República de Guatemala, promulgada en 1985, la Ley de Protección del Medio Ambiente establecida en 1986 y la Ley de Áreas Protegidas aprobada en 1998, son las únicas leyes que tienen criterio legal del uso sostenido de los recursos naturales. Dentro de éstas se incorporan políticas públicas para superar criterios anteriores de la distribución y uso eficiente de los mismos.

El artículo 62, incisos a, d y e del Decreto Legislativo 4-89 de la Ley de Áreas Protegidas y sus reformas, establece dentro de los fines de la Comisión Nacional de Áreas Protegidas, el fomento de la conservación y mejoramiento del patrimonio natural de la República de Guatemala (CONAP 2012b). Asimismo, se establece dentro de su competencia, coordinar la administración de los recursos flora y fauna silvestre, la diversidad biológica, la planificación y coordinación de la aplicación de las disposiciones en materia de conservación de la biodiversidad, contenidos en los instrumentos internacionales ratificados por Guatemala (Ariano *et al*. 2009).

La relevancia de la conservación del medio ambiente y los recursos naturales del país están enmarcados dentro de la constitución política de la República de Guatemala en el Artículo 64: Se declara de urgencia y necesidad nacional la conservación y el mejoramiento del patrimonio natural de la nación y en el Artículo 97 el estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional, están obligados a proporcionar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico (Ariano *et al*. 2009).

Otros instrumentos de importancia legal con relación a los recursos naturales, aunque no propiamente con los macroinvertebrados pero que propician el estudio de los mismos son: decreto No. 68-86, ley de protección y mejoramiento del medio ambiente. Decreto 4-89, ley de protección de áreas protegidas. Decreto No. 90-2000, ley de creación del ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Decreto 5-95, Convenio sobre diversidad biológica. Todos estos instrumentos legales enmarcan la gestión de biodiversidad y recursos naturales en Guatemala y por lo cual afectan de forma indirecta a los macroinvertebrados. A pesar de ello en éstas no se evidencia la relevancia de la conservación de los mismos.

Respecto a la estandarización y normalización de los estudios de la calidad de agua,

por iniciativa de la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) adscrita al Ministerio de Economía (MEM), se ha estado trabajando en la normalización de los muestreos de calidad de agua mediante macroinvertebrados acuáticos con base en las normas propuestas por la ISO, referentes al uso de macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua de cuerpos de agua superficial.

En el año 2010 se logró la aprobación de dos normas, la norma COGUANOR NTG/ISO 8689-1 (Parte 1: Guía para la interpretación de los datos relativos a la calidad biológica a partir de estudios de macroinvertebrados bénticos), y la norma COGUANOR NTG/ISO 8689-2 (Parte 2: Guía para la presentación de los datos relativos a la calidad biológica a partir de estudios de macroinvertebrados bénticos). En el año 2013 se presentó la norma COGUANOR NTG/ISO 10870 (Calidad del agua. Lineamientos para la selección de métodos y dispositivos de muestreo para macroinvertebrados bénticos en aguas superficiales continentales) y se espera la pronta aprobación de otras normas relacionadas a los estudios con macroinvertebrados como bioindicadores. La aprobación de todas estas normativas por parte de la COGUANOR, hará que se constituyan las normas guías para la realización de estudios que utilicen macroinvertebrados para determinar la calidad de los cuerpos de agua.

6.6. Perspectivas futuras

Debido al creciente interés por la utilización de macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua en distintas regiones del país, se espera que se produzca un aumento considerable en la intensidad de muestreos y un aumento en las investigaciones ecológicas y taxonómicas de este grupo. Sin embargo, hasta ahora son muy pocas las investigaciones publicadas al respecto y el trabajo se ha desarrollado solamente para sitios con algún interés particular o con muestreos eventuales. No existen políticas públicas orientadas hacia la investigación o utilización de los macroinvertebrados acuáticos específicamente. Las políticas públicas orientadas hacia el manejo de los recursos hídricos y su conservación no son aplicadas adecuadamente y no existe continuidad.

En el país no existe una estrategia específica orientada hacia la conservación o investigación de este grupo en particular, aunque si existen normativas y estrategias relacionadas con el recurso hídrico, que incidirán directamente en el estado de conservación de los mismos. Hasta ahora el conocimiento ha sido desarrollado principalmente por instituciones académicas (principalmente la Universidad de San Carlos de Guatemala, Universidad Rafael Landívar y Universidad del Valle de Guatemala), grupos de investigadores nacionales e internacionales, consultores independientes y empresas consultoras. La mayoría de proyectos de investigación desarrollados, utilizan los índices de calidad de agua que requieren que la identificación de los organismos solamente sea llevada a nivel taxonómico de familia, por lo que no se profundiza adecuadamente en el conocimiento de cada taxón en particular.

Los entes rectores (el MARN y el CONAP) deberían establecer una estrategia que propicie la investigación y así aumentar el estado del conocimiento de los macroinvertebrados acuáticos. De la misma manera deberían diseñar el

mecanismo para que las distintas colecciones generadas con los trabajos, sean depositados en colecciones de referencia debidamente acreditadas. Estas colecciones deben estar abiertas tanto para investigadores nacionales como internacionales, algo que no pasa actualmente.

6.7. Conclusiones

El estado actual del conocimiento de los macroinvertebrados acuáticos de aguas superficiales de Guatemala es aún escaso, a pesar de que existen investigaciones importantes, estas se encuentra limitadas a ciertas regiones. La mayor cantidad de muestreos que se llevan a cabo en el país, se realizan principalmente para estudios de impacto ambiental que no han sido publicados, por lo que el acceso a esta información es difícil.

En la mayoría de estudios se realiza una identificación taxonómica a nivel de familia, por lo que falta trabajo taxonómico para identificar adecuadamente los organismos a nivel de género y especie. No existen suficientes especialistas ni claves taxonómicas especializadas propias del país que permitan profundizar adecuadamente en este aspecto.

Es importante generar una política pública que propicie la efectiva profundización del conocimiento de estos organismos en el país. Esto es principalmente prioritario para áreas de importancia ecología y que hasta ahora no han sido investigadas adecuadamente.

Es necesario promover desde las entidades estatales relacionadas con la conservación de los recursos naturales (principalmente MARN y CONAP) la implementación de una regulación apropiada. Ésta debe obligar la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua y la divulgación efectiva de la información generada de las investigaciones.

6.8. Agradecimientos

A investigadores, colegas, empresas, estudiantes, amigos y amigas que han apoyado brindando su tiempo e información. A la Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela de Biología y el Centro del Estudios del mar (CEMA-USAC), y a la Universidad Rafael Landívar Facultad de Ciencias Ambientales, por el tiempo y apoyo brindado.

6.9. Literatura citada

Ariano, D., E. Secaira, B. García y Flores, M. 2009. CONAP-ZOOTROPIC-CDC-TNC. 2009. Plan de Conservación de las Regiones Secas de Guatemala. Guatemala, Guatemala.

Belle, J. 1980. A new species of *Epigomphus* from Guatemala (Odonata: Gomphidae). *Entomologische Berichten* 40: 136-138.

Bick, G.H. y Bick, J.C. 1990. A revision of the Neotropical genus *Cora* Selys, 1853 (Zygoptera Polythoridae). *Odonatologica* 19 (2): 117-143.

Böttger, K. 1980a. Qualitative und quantitative Benthonstudien an Bergbächen in Guatemala (Zentralamerika) unter besonderer Berücksichtigung der Hydrachnellae (Acari). *Archiv für Hydrobiologie* 88(1): 96-119.

Böttger, K. 1980b. Zur Parasitologie und postparasitischen Entwicklung der neotropischen Wassermilbe von Arrenurus valencius (Hydrachnellae, Acari), nebst einigen faunistischen Angaben zum See "Laguna Chichoj" in Guatemala. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 15: 155 - 166.

Böttger, K. 1984. Einige ökologische Beobachtungen am Nekton und Benthon guatemaltekischer Bergbäche (Mittelamerika), unter besonderer Berücksichtigung des temporären Río Cuxjá. *Amazoniana* 8(4): 475-496.

Boomsma, T. y Dunkle, S.W. 1996. Odonata of Belize. *Odonatologica* 25: 17 – 29.

Borror, D.J. 1942. A revisión of the libelluline genus *Erythrodiplax* (Odonata). Ohio State University, Columbus, USA.

Bouchard, R.W. 2004. Guide to aquatic macroinvertebrates of the Upper Midwest. Water Resources Center, University of Minnesota, St. Paul, Minnesota, USA.

Brehm, V. 1932. Notizen zur Süßwasserfauna Guatemalas und Mexikos. Zoologischer Anzeiger, 91: 63-66.

Brehm, V. 1939. La fauna microscópica del Lago Petén, Guatemala. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas,* 1: 173-204.

Brezonik, P. y Fox, J. 1974. The Limnology of Selected Guatemalan Lakes. *Hydrobiologia* 45(4): 467-487.

Brown, B.V., Borkent, A., Cumming, J.M., Wood, D.M., Woodley, N.E. y Zumbado, M.A. 2009. Manual of Central American Diptera. Volume 1. NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada.

Calvert, P.P. 1901-1908. Odonata. Pp. 17-420. En: Goldman, F.D. (Ed.), Biologia Centrali-Americana. Vol. 50, Insecta, Neuroptera.

CONAP. (Consejo Nacional de Áreas Protegidas) 2005. Política Nacional de Humedales de Guatemala. Consejo Nacional de Áreas Protegidas. Guatemala, Guatemala.

CONAP. 2012a. Portal del Consejo Nacional de Áreas Protegidas de Guatemala. Disponible en: http://www.conap.gob.gt/news/reconocimiento-del-derecho-humano. (Obtenido el 20 de agosto de 2012).

CONAP. 2012b. Consejo Nacional de Áreas Protegidas –CONAP- creado en 1989, dependencia de la Presidencia de la República, establecido en la Ley de Áreas Protegidas (Decreto Legislativo 4-8). Disponible en: http://www.conap.gob.gt/news/reconocimiento-del-derecho-humano. (Obtenido el 20 de agosto de 2012).

Contreras - Ramos, A. 1995. New species of *Chloronia* from Ecuador and Guatemala, with a key to the species of the genus (Megaloptera: Corydalidae). *Journal of the North American Benthological Society* 14 (1): 108-114.

Contreras - Ramos, A. 1999a. List of species of neotropical Megaloptera (Neuropterida). *Proceedings of the Biological Society of Washington* 101: 272-284

Contreras-Ramos, A. 1999b. Mating behavior of *Platyneuromus* (Megaloptera: Corydalidae), with life history notes on dobsonflies from Mexico and Costa Rica. *Entomological News* 110(2): 125-135.

Cover, M. y Resh, V.H. 2008. Global diversity of dobsonflies, fishflies, and alderflies (Megaloptera; Insecta) and spongillaflies, nevrorthids, and osmylids (Neuroptera; Insecta) in freshwater. *Freshwater Animal Diversity Assessment Developments in Hydrobiology* 198: 409-417.

Deharveng, L., D'Haese, C.A. y Bedos, A. 2008. Global diversity of springtails (Collembola; Hexapoda) in freshwater. *Hydrobiologia* 595:329-338.

De la Torre, J.R. 1908a. Kirkaldy´s catalogue of the Hemiptera a preliminary note. *The Canadian Entomologist* 40 (9): 334-336.

De la Torre, J.R. 1908b. On the aquatic and semi-aquatic Hemiptera collected by Prof James S. Hine in Guatemala. *The Ohio Naturalist* 8 (8): 370-382.

Donnelly, T.W. 1967. The discovery of *Chrysobasis* in Central America, with the description of a new species (Odonata: Coenagrionidae). *The Florida Entomologist* 50(1): 47-52.

Donnelly, T.W. 1979. The genus *Phyllogomphoides* in Middle America (Anisoptera: Gomphidae). *Odonatologica* 8: 245-265.

Donnelly, T.W. 1981. A new species of *Ischnura* from Guatemala, with revisionary notes on related North and Central American damselflies (Odonata: Coenagrionidae) *The Florida Entomologist* 48(1): 57-63.

Donnelly, T.W. 1984. A new species of *Macrothemis* from Central America with notes on the distinction between *Brechmorhoga* and *Macrothemis* (Odonata: Libellulidae). *The Florida Entomologist* 67:169-174.

Donnelly, T.W. 1989. Three new species of *Epigomphus* from Belize and Mexico (Odonata: Gomphidae). *The Florida Entomologist* 72(3): 428-435.

Drake, C.J. y Chapman, H.C. 1958. New Neotropical Hebridae, including a catalogue of the American species (Hemiptera). *Journal of the Washington Academy of Sciences* 48(10): 317-326.

Esquivel, C. 1990. Las Libélulas de Costa Rica. Serie Aportes al desarrollo sostenible, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica

Esquivel, C. 1993. *Psaironeura selvatica* sp. nov. (Odonata: Protoneuridae), a new damselfly from Costa Rica. *Revista Biología Tropical* 41(3): 703-707.

Eaton, A.E. 1871. A monograph on the Ephemeridae. *Transactions of the Entomological Society of London* 1 (1-6): 1-164.

Bueno-Soria, J. y Rojas-Ascencio, A. 2004. New species and distribution of the genus *Marilia* Müller (Trichoptera: Odontoceridae) in Mexico and Central America. *Proceedings of Entomological Society of Washington* 106: 679–696.

Flint, O.S. Jr., R.W. Holzenthal y Harris, S.C. 1999. Catalog of the Neotropical caddisflies (Insecta: Trichoptera). Ohio Biological Survey, Special Publication.

Förster, S. 1999. The dragonflies of Central America exclusive of Mexico and Odonatological Monographs 2. Gunnar Rehfeldt. Braunschweig. Alemania.

Froehlich, C.G. 2010. Catalogue of neotropical Plecoptera. *Illiesia* 6: 118-205.

García, P.E. 2008. Análisis de la distribución de macroinvertebrados acuáticos a escala detallada en la ecorregión Lachuá, Cobán, Alta Verapaz. Tesis de Licenciatura, Universidad de San Carlos, Guatemala.

Garrison, R.W. 1986. The genus *Aphylla* in Mexico and Central America, with a description of a new species. *Aphylla angustigolia* (Odonata: Gonphidae). *Annals of the Entomological Society of America* 79: 983-944.

Garrison, R.W. 1990. A synopsis of the Genus *Hetaerina* with description of four new species (Odonata: Calopterygidae). *Transactions of The American Entomological Society* 116(1): 175-259.

Garrison, R.W. 1999. The genus *Neoneura*, with keys and description of a new species, *Neoneura jurzitzai* Spec. Nov. (Zygoptera: Protoneuridae). *Odonatologica* 28(4): 343-375.

García, P., Reyes, F., Oliva, B., Armas, G. y Valladares, B. 2009. Distribución de los insectos acuáticos en cuerpos lénticos de la Biosfera Maya: Indicadores biológicos de la calidad del agua. Dirección General de Investigación -DIGI- Informe final de investigación.

García, P., S. Van Tuylen, F. Reyes, C. Montenegro y Bracamonte, M.F. 2010. Evaluación de los Efectos del Cambio del Uso de la Tierra sobre la Calidad del Agua y los patrones de Diversidad de Macroinvertebrados bentónicos en la Ecorregión Lachuá, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala.Informe final de investigación-Instituto Nacional de Bosques- INAB- Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología-SENACYT.

Glorioso, M.J. y Flint, O.S. 1984. A review of the genus Platyneuromus (Insecta: Neuroptera: Corydalidae). *Proceedings of the Biological Society of Washington* 97(3): 601-614.

González-Callejas, B.R. 2006. Las libélulas y agujas del diablo (Odonata) de Guatemala. Pp. 319-335. En: Cano, E.B. (Ed.). Biodiversidad de Guatemala 1. Universidad del Valle, Guatemala, Guatemala.

González-Callejas, B.R. 2007. Los Odonata (Insecta) del Río San Pedro, Parque Nacional Laguna del Tigre (San Andrés, Petén): Taxonomía, Diversidad e Historia. Tesis de licenciatura en Biología, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

González-Soriano, E. 1991. A new species of *Amphiterix* Selys, 1853 from Oaxaca, México (Zygoptera: Amphipterygidae) *Odonatologica* 20(4): 465- 470.

González-Soriano, E. y Novelo-Gutiérrez, R. 1992. *Protoneura rojiza* spec. nov., a new damselfly from Mexico (Zygoptera: Protoneuridae). *Odonatologica* 21(4): 489-493.

González-Soriano, E. y Verdugo-Garza, M. 1984. Estudios en Odonatos Neotropicales II: Notas sobre el comportamiento reproductivo de Cora Marina. *Folia Entomológica Mexicana* 62: 3-15.

Guevara, F., Marroquín, R.N., López, A. y Bor, S. 2000. Primer inventario de la biodiversidad entomológica relacionado a las asociaciones vegetales en la región semiárida del nororiente de Guatemala. Informe final de investigación, Dirección General de Investigación -DIGI- Universidad de San Carlos de Guatemala-USAC.

Gutiérrez-Fonseca, P.E. 2010. Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del Orden Coleóptera en El Salvador. En: Springer, M. y Sermeño Chicas J.M. (eds.).Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES) – Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador.

Gutiérrez-Fonseca, P.E. y Springer, M. 2010. Description of the final instar nymphs of seven species from *Anacroneuria Klapalék*, 1909 (Plecoptera: Perlidae) in Costa Rica, and first record for an additional genus in Central America. *Zootaxa* 2965: 16-38

Harman, W.J. 1982b. The aquatic Oligochaeta (Aeolosomatidae, Opistocystidae, Naididae) of Central America. *Southwestern Naturalist* 27(3): 287-298.

Herrera, F. 2013. Hemiptera: State of the Art and Catalog of the Naucoridae (Insecta: Heteroptera) in Central America. *Dugesiana* 20(2): 221-232

Herrera, K., Bailey, A.C., Callisto, M. y Ordoñez, J. 2000. The aquatic habitats of Laguna del Tigre National Park, Petén, Guatemala: water quality, phytoplankton populations, and insects associated with the plant *Salvinia auriculata. RAP Bulletin of Biological Assessment Sixteen.* Washington D.C. 1(16): 26 - 34.

Hine, J.S. 1905. Notes on Guatemalan Hemiptera with descriptions of few new species. *The Biological Club of the Ohio State University* 9(5): 457-466.

Hobbs, H.H., Ir. 1984. On the distribution of the crawfish genus *Procambarus* (Decapada: Cambaridae). Journal of Crustacean Biology, 41: 12-24.

Holzenthal, R.W. y Andersen, T. 2004. The caddisfly genus Triaenodes in the Neotropics (Trichoptera: Leptoceridae). *Zootaxa* 511: 1-80.

Hulbert, S.H. y Villalobos, A. (eds) 1982. Aquatic Biota of Mexico, Central America and the West Indies. San Diego State University, San Diego California, USA.

Jewett, S.G. 1958. Stoneflies of the genus *Anacroneuria* from Mexico and Central America (Plecoptera). *American Midland Naturalist* 60: 159-175.

Kennedy, C.H. 1993. The phylogeny and the distribution of the genus *Erythemis* (Odonata). *Miscellaneous Publications Museum of Zoology University of Michigan* 11: 19-22.

Kormondy, E. 1959. *Lestes tikalus*, n.sp. and other Odonata from Guatemala. *The Ohio Journal of Science* 59(5): 107-114.

Lugo-Ortiz, C.R. y McCafferty, W.P. 1993. Genera of Baetidae (Ephemeroptera) from Central America *Entomological News* 104: 193-197

May, M.L. 1980. Temporal activity patterns of *Micrathyria* in Central America (Anisoptera: Libellulidae). *Odonatologica* 9:57-74.

May, M.L. 1998. *Macrothemis fallax*, a new species of dragonfly from Central America (Anisoptera: Libellulidae), with a key to male *Macrothemis. International Journal of Odonatology*, 1:137-153.

McCafferty, W.P. y Baumgardner, D.E. 2003. *Lugoiops maya*, a new genus and species of Ephemeroptera (Baetidae) from Central America. *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, 105 (2): 397-406.

McCafferty, W.P., D.E. Baumgardner y Guenther, J.L. 2004. The Ephemeroptera of Central America. Part 1, Guatemala. *Transactions of the American Entomological Society* 130: 201-219.

Meek, E. y Cory C. (Eds.). 1908. The Zoölogy of lakes Amatitlán and Atitlán, Guatemala, with special reference to ichthyology. *Field Columbian Museum* 127: 158-206.

Moore, P. 1908. The leeches of Lake Amatitlán. Pp.199-201. En: Meek, E. y Cory C. (Eds.). The Zoölogy of lakes Amatitlán and Atitlán, Guatemala, with special reference to ichthyology. *Field Columbian Museum* 127: 158-206.

Moreira, F.F. 2014. Water bugs distributional database. Disponible en: https://sites.google.com/site/distributionaldatabase/. (Obtenido el 10 de octubre de 2014).

Morse, J.C. (ed.) 2014. Trichoptera World Checklist. Disponible en: http://entweb.clemson.edu/database/trichopt/index.htm (Obtenido el 5 de octubre de 2014).

Needham, J.G. y Broughton, E. 1927. Central American stoneflies, with descriptions of new species (Plecoptera). *New York Entomologist Society* 35(1): 109-120.

Needham, J.G. 1940. Studies on Neotropical gomphine dragonflies (Odonata). *Transactions of the American Entomological Society* 65: 363-394.

Needham, J.G. 1944. Further studies on Neotropical gomphine dragonflies (Odonata). *Transactions of the American Entomological Society* 69:171-224.

Novelo- Gutiérrez, R. 1990. Los Odonatos de la Reserva de Sian Ka'an. Quintana Roo, México (Insecta: Odonata). Pp.257-274. En: Navarro, D. y Robinson, J.G. (Eds.). Diversidad biológica en la Reserva de la biosfera Sian Ka'an Quintana Roo, México.

Osborn, H. 1909. Notes on Guatemalan Hemiptera and descriptions of a few new species. *The Ohio Naturalist*: 9: 457-465.

Osborn, H. y Drake, C. 1915. Guatemalan Hemiptera-Heteroptera. *The Ohio Naturalist* 15: 529-541.

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. 2012. Diversidad taxonómica y distribución de los chinches patinadores (Hemiptera: Gerridae) en Costa Rica. Tesis de licenciatura en Biología, Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica.

Paulson, D. R. 1984 a. Additional records of Odonata from El Salvador. *Notula Odonatologica*. 2: 51-52.

Paulson, D.R. 1984 b. Odonata from the Yucatan Peninsula, Mexico. *Notula. Odonatologica*. 2: 33-38.

Paulson, D.R. 1994a. Two new species of *Coryphaeschna* from middle America, and a discussion of the red species of the genus (Anisoptera: Aeshnidae). *Odonatologica* 23: 379 -398.

Paulson, D. R. 1994b. Two new species of Coryphaeschna from Middle America, and a discussion of the red species of the genus. Odonatologica 23: 379-398.

Paulson, D.R. 2003b. Comments on the *Erythrodiplax connata* (Burmeister, 1839) group, with the elevation of *E. fusca* (Rambur, 1842), *E. minuscule* (Rambur, 1842), and *E. basifusca* (Calvert, 1985) to full species (Anisoptera: Libellulidae). *Bulletin of American Odonatology* 6(4):1 01-110.

Pérez, L., Lorencha, J., Brenner, M., Scharf, B. y Schwalb, A. 2010. Extrant freshwater ostracodes. (Crustacea: Ostracoda) from Lago Petén Itzá, Guatemala. *Revista de Biología Tropical* 58(3): 871-895.

Prather, A.L. 2003. Revision of the Neotropical caddisfly genus *Phylloicus* (Trichoptera: Calamoceratidae). *Zootaxa* 275: 1-214.

Purdue University. 2013. Mayfly Central: Species List - Central America. Disponible en: http://www.entm.purdue.edu/mayfly/ca-species-list.php. (Obtenido el 21 agosto de 2013)

Quintana, Y. 2004. Riqueza de macroinvertebrados dulceacuícolas en río Hondo, Zacapa. Informe investigación Ejercicio Docente en la Comunidad- EDC-. Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala-USAC-.

Ramírez, A. 2010. Odonata. *Revista Biología Tropical* 58 (4): 97-136.

Ramsar. 2013. The Ramsar Convention of Wetlands. The Annotated Ramsar List: Guatemala. Disponible en: http://www.ramsar.org/cda/en/ramsar-documents-rams-annotated-ramsar-6375/main/ramsar/1-31-112%5E16375_4000_0. (Obtenido el 20 de agosto de 2012).

Reddell, J. R. 1981. A Review of the Cavernicole Fauna of Mexico, Guatemala, and Belize. Texas Memorial Museum Bulletin, No. 27. 327 pp.

Reyes, F. 2012. Uso de macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos de la calidad del agua en la cuenca del Lago Atitlán, Guatemala. Tesis de Maestría Académica en Biología. Escuela de Biología. Universidad de Costa Rica.

Reyes, F., M. Springer y G. Umaña. 2012. Valoración de índices bióticos mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos en la cuenca del Lago de Atitlán, Sololá, Guatemala. I Congreso Latinoamericano de Macroinvertebrados. San José, Costa Rica.

Rodríguez, G. 1982. Les crabes d'eau douce d'Amérique. Familie des Pseudothelphusidae. Faune Tropicale 22. ORSTOM, Paris.

Rodríguez, Gilberto. 1986: Centers of radiation of freshwater crabs in the Neotropics. Pp. 51-67. En: Gore, R. H. & K. L. Heck (eds.). Biogeography of the Crustacea. Crustacean Issues, 3. A. A. Balkema, Rótterdam, Netherlands.

Rodríguez, G. 1992. The freshwater crabs of America. Family Trichodactylidae and Supplement to the Family Pseudothelphusidae. Faune Tropicale 31. ORSTOM, Paris.

Schmidt-Rhaesa, A. y Menzel, L. 2005. Central American and Caribean species of horsehair worms (Nematomorpha), with the description of three new species. Journal of Natural History 39(7): 515-529.

Solórzano, E. 2001. Water quality evaluation of Laguna del Tigre National Park using a correlation analysis of 16 physical/chemical parameters and marine species population (Diptera and Hemiptera) estimation during the dry season of 2000. Pro-PETEN. El Petén, Guatemala.

Spangler, P.J. y Santiago-Fragoso, S. 1992. The aquatic beetle subfamily Larainae (Coleoptera: Elmidae) in Mexico, Central America, and the West Indies. *Smithsonian Contributions to Zoology* 528: 1-84.

Stark, B.P. 2014. Records of Mesoamerican *Anacroneuria* (Plecoptera: Perlidae), with descriptions of four new species. *Illiesia* 10(02): 6-16.

Stoll, O. 1886–1893. Biologia Centrali-Americana. Arachnida, Acaridea. Taylor & Francis, Londres, Inglaterra.

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.

URL, IARNA e IIA (Universidad Rafael Landívar, Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente e Instituto de Incidencia Ambiental). 2010. Perfil Ambiental de Guatemala: Informe sobre el estado del ambiente y bases para su evaluación sistemática. Guatemala.

URL, IARNA e IIA (Universidad Rafael Landivar, Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente e Instituto de Incidencia Ambiental). 2006. Perfil Ambiental de Guatemala: Informe sobre el estado del ambiente y bases para su evaluación sistemática. Guatemala.

Van Tuylen, S., García, P. y González, B. 2006. Evaluación de un método alternativo para medir la calidad del agua con indicadores biológicos y fisicoquímicos en el Parque Nacional Laguna Lachuá (PNLL) y su Zona de Influencia, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala. UICN.

Villalobos, A. 1982. Decapoda. Pp.215-239. En: Hurlbert y Villalobos, A. (Eds.). Aquatic Biota of Mexico, Central America and the West Indies. San Diego State University, San Diego California, USA.

Viets, K.O. 1975. Wassermilben (Hydrachnellae, Acari) aus Stillgewässern in Guatemala. *Studies on the Neotropical Fauna and Environment* 10: 57-76.

Viets, K.O. 1977. Rheophile Wassermilben (Acari, Hydrachnellae) aus Guatemala. *International Journal of Acarology* 3(2): 89-98.

Viets, K.O. 1977–78a. Neue und seltene Wassermilben aus Guatemala, Teil I. *Acarologia* 18(3): 519-544.

Viets, K.O. 1977–78b. Neue und seltene Wassermilben aus Guatemala, Teil II. *Acarologia* 18(4): 668-690.

Viets, K.O. 1977–78c. Neue und seltene Wassermilben aus Guatemala, Teil III. *Acarologia* 19(2): 272-297.

Viets, K.O. 1977-78d. Neue und seltene Wassermilben aus Guatemala, Teil IV. *Acarologia* 19(3): 463-483.

Wehrtmann, I., C. Magalhães y Orozco, M. 2014. Freshwater crabs in lake Atitlán, Guatemala: Not a single-species fishery. *Journal of Crustacean Biology* 34: 123-125.

Westfall, M.J., Jr. 1964. A new damselfly from the West Indies (Odonata: Protoneuridae). *Quarterly journal of the Florida Academy of Sciences* 27: 111-119.

Wiersema, N. y McCafferty, W. 2000. Generic Revision of the North and Central American Leptohyphidae (Ephemeroptera: Pannota). *Transactions of the American Entomological Society* 126 (3-4): 337-371.

Williams, F.X. 1937. Notes on the biology of *Gynacantha nervosa* Rambur (Aeschninae). A crepuscular dragonfly in Guatemala. *The Pan-Pacific Entomologist* 13(1-2): 1-8.

Williamson, E.B. 1915. Notes on neotropical dragonflies or Odonata. *Proceedings of the United States National Museum* 48: 601-638.

Williamson, E.B. 1923. Notes on American species of *Triacanthagyna* and *Gynacantha*. *Occasional Papers of the Museum of Zoology, University of Michigan* 9: 1-80.

Williamson, E.B. y Williamson, J.H. 1930. Two new neotropical Aeshnides (Odonata). *Occasional Papers of the Museum of Zoology, University of Michigan* 218: 1-15.

Adulto de Gelastocoridae, Hemiptera

Autor de fotografía: Kenji Nishida

Honduras

Lucía Isabel López[1] y José Manuel Mora[1, 2]

[1]Consultor independiente. luciaisa2@gmail.com., [2]Departamento de Ambiente y Desarrollo, Universidad Zamorano, Honduras.,[2]Dirección actual: Instituto Internacional en Manejo y Conservación de Vida Silvestre, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. josemora07@gmail.com

7.1. Resumen

Honduras como país tropical y de grandes contrastes geomorfológicos y climáticos, cuenta con una alta biodiversidad. Desafortunadamente el conocimiento de algunos grupos taxonómicos es limitado. Dentro de estos grupos están los macroinvertebrados acuáticos debido a los pocos estudios realizados enfocados en estos animales. La literatura en el tema es escasa o es de disponibilidad limitada debido a la naturaleza de los informes o los sitios de almacenamiento y publicación. Además, aparentemente los datos de algunos estudios no han sido publicados, por lo que esta información no está disponible. En Honduras se utilizan las variables físico-químicas para establecer la calidad del agua. La alternativa del uso de bioindicadores tales como los macroinvertebrados se encuentra en sus fases iniciales en el país. Aunque el método fue utilizado en algún momento en Honduras y se le ha dado nuevo impulso, aún no se le considera para la evaluación de la calidad del agua. En los últimos años algunas instituciones del país han impulsado el trabajo con macroinvertebrados por medio de diferentes estudios y en diferentes zonas del país. El Instituto de Conservación Forestal (ICF) ha incluido dentro de sus objetos de monitoreo en paisajes productivos a los macroinvertebrados para la evaluación de la calidad del agua. En Honduras existe una alta heterogeneidad de ecosistemas y macrohábitats, por lo que se podría esperar que exista una alta diversidad de macroinvertebrados acuáticos. Por lo tanto, la investigación en este tema debe exten-

derse a distintas zonas del país, con el objetivo de conocer esta alta biodiversidad y su posible utilización. Una línea prioritaria de investigación es la caracterización de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos de los diferentes ecosistemas, ecorregiones o tan específico como sea posible. Para esto es fundamental avanzar en el conocimiento taxonómico de los macroinvertebrados por medio de recolectas, capacitaciones y colecciones formales en los museos adecuados. Se deben levantar listados de las especies de los macroinvertebrados que existen en Honduras para contribuir al conocimiento de la biodiversidad del país y ayudar así a cumplir con los acuerdos incluidos tanto en el Convenio sobre Diversidad Biológica como en otros tratados internacionales. La coordinación entre las instituciones es primordial para poder impulsar la investigación en este campo de estudio.

7.1. Abstract

Honduras is a tropical country with large geomorphological and climatic contrasts, and therefore great biodiversity. Unfortunately, knowledge about some of the taxonomic groups is limited, including aquatic macroinvertebrates since few studies have focused on these animals. The literature on the subject is scarce or its availability is limited due to the nature of the reports or the storage and publication sites. In addition, data from some studies have apparently not been published and, therefore, that information is not available. In Honduras, physiochemical variables are used to establish water quality. The alternative use of bioindicators , such as macroinvertebrates, is in its initial stages in the country. Although this method was used at some point in Honduras and it has gained new interest, it is not yet included as part of the evaluation of water quality. Over recent years, some institutions have encouraged investigations of macroinvertebrates, with different studies in different regions of the country. The Forest Conservation Institute (FCI) has used macroinvertebrates in its monitoring to evaluate the quality of water in productive lands. A high degree of ecosystem heterogeneity and macrohabitats exist in Honduras, and therefore the existence of a large diversity of aquatic macroinvertebrates can be expected. Therefore, investigations of this topic should

be extended to different regions of the country in order to identify this high biodiversity and its possible utilization. A priority line of investigation is to characterize aquatic macroinvertebrate communities in different ecosystems and ecoregions, or as specifically as possible. To this end, it is crucial to increase taxonomic knowledge about macroinvertebrates through sampling and formal training and collection at the appropriate museums. Lists need to be generated of the macroinvertebrate species that exist in Honduras in order to contribute to the knowledge of the biodiversity of the country and thereby help to comply with the accords included in the Convention on Biological Diversity as well as other international treaties. Coordination among institutions is key to furthering research in this field of study.

7.2. Introducción

Honduras se encuentra en el corazón de Centro América por lo que su posición geográfica es privilegiada al ser el centro del puente que une a las dos grandes masas continentales que conforman las Américas. Además, al igual que la mayoría de los países de la región cuenta con costas tanto en el mar Caribe como en el océano Pacífico. La historia geológica de la región así como la condición ístmica señalada ha producido una alta variedad de hábitats que contienen un gran número de organismos terrestres, marinos, aéreos, edáficos y dulceacuícolas en múltiples grupos taxonómicos (López 2009).

La región de Centro América nuclear en donde se encuentra Honduras, se caracteriza por montañas centrales extensas y tierras costeras en los flancos. La masa montañosa central de Honduras es compleja y contiene cordilleras separadas por valles por donde fluyen los principales ríos del país. Por esa razón existen en Honduras tres regiones bien diferenciadas, las tierras bajas del Caribe, las tierras bajas del Pacífico y las montañas interiores o región de la serranía. Esta última es por mucho la más extensa de las tres regiones ya que ocupa el 82% del territorio hondureño. Esta región hace que Honduras sea un país montañoso con tierras de pendientes moderadas y fuertes con una altura máxima de 2,849 msnm. Las tierras bajas del Pacífico ocupan solamente el 2%, mientras que las del Caribe representan el 16% de la superficie del país. Esta región está compuesta por planicies aluviales cercanas a la costa que se inundan constantemente, con extensiones al interior de la región montañosa por las depresiones entre las cordilleras.

La sección oriental del país es conocida como La Moskitia, una zona de grandes extensiones de bosque latifoliado, bosques inundados, sabanas de pino, ríos extensos y caudalosos y grandes lagunas costeras. La mayor extensión de área protegida de Honduras se encuentra en La Moskitia en donde sobresalen las tres áreas protegidas más grandes del país: la Reserva del Hombre y la Biosfera del Río Plátano, el Parque Nacional Patuca y la Reserva de la Biosfera Tawahka-Asangni (figura 1).

Los contrastes geográficos así como la cercanía a dos océanos y sus influencias en el cli-

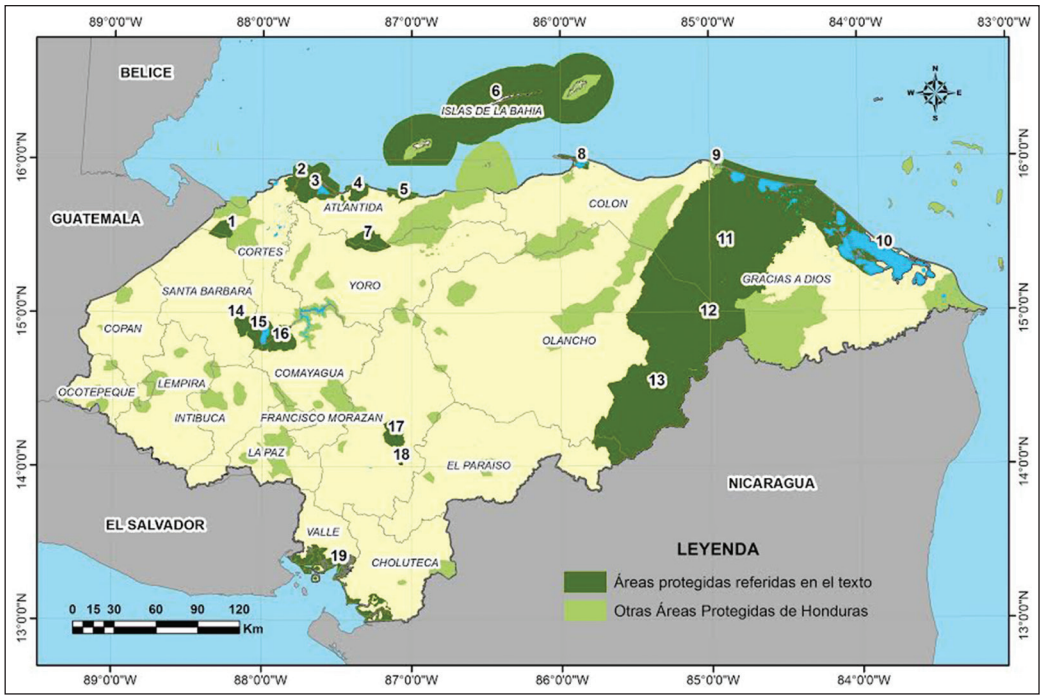


Figura 1. Áreas de interés, referidas en el texto, relacionadas a los macroinvertebrados en Honduras. Cada departamento del país está demarcado y señalizado con su nombre. Elaborado por Luis Herrera, Panthera (Honduras), 2014.

No.	Área	No.	Área
1	PN Cusuco	11	RHB Río Plátano
2	Delta del río Ulúa	12	RBf Tawahka-Asangni
3	PN Jeannette Kawas	13	PN Patuca
4	RVS Punta Izopo	14	PN Montaña de Santa Bárbara
5	RVS Barras de Cuero y Salado	15	AUM Lago de Yohoa
6	PNM Islas de la Bahía	16	PN Cerro Azul Meámbar
7	RVS Texiguat	17	PN La Tigra
8	Laguna de Guaymoreto	18	RB Uyuca
9	Laguna de Bacalar	19	Humedales de la zona sur (siete áreas de manejo de hábitat)
10	RB Laguna de Catarasca		

* AUM = área de uso múltiple, PN = parque nacional, PNM = parque nacional marino, RB = reserva biológica, RBf = reserva de la biosfera, RHB = reserva del hombre y la biosfera, RVS = refugio de vida silvestre.

ma del país han producido una alta variedad de ecosistemas en Honduras. Estos van desde valles muy secos o áridos hasta bosques lluviosos con hasta 3,600 mm de lluvia anual en La Moskitia. El "Mapa de los Ecosistemas de Honduras" contiene 70 ecosistemas, los cuales incluyen bosques, tierras arbustivas, sabanas y tierras húmedas, así como unos cuantos tipos de uso de tierras productivas (Vreugdenhil *et al.* 2002).

La diversidad de los grupos mejor estudiados tales como las plantas, las aves, los anfibios y los reptiles es alta y comparable a otros países de la región. Es esperable que esa alta biodiversidad sea el denominador común para el resto de los taxa, particularmente terrestres. Sin embargo, el conocimiento de la mayoría del resto de los taxa es más limitado, incluidos los insectos (Portillo 2007) y varios grupos acuáticos. Aunque de igual manera se esperaría una alta diversidad de los invertebrados presentes en los sistemas dulceacuícolas, su documentación es muy limitada. En Honduras se han identificado 2,500 especies de insectos, según el estudio más reciente sobre la diversidad biológica nacional (SERNA/DIBIO 2010). No obstante, se estima que podrían existir entre 30,000 y 50,000 especies de insectos en el país (House *et al.* 2002). En todo caso, no existe en Honduras un listado o catálogo de las especies de insectos descritas para el país.

En el caso de los macroinvertebrados dulceacuícolas de Honduras, cuyo componente principal son los insectos, existe una situación similar a la antes descrita. El conocimiento de este grupo en Honduras es limitado ya que se han realizado pocas investigaciones y los trabajos efectuados tienen un enfoque sobre todo descriptivo (Fenoglio 2005). Dichas investigaciones, al menos aquellas cuyos resultados están disponibles en publicaciones de algún tipo, representan una primera aproximación al estudio de los macroinvertebrados acuáticos y su relación con la calidad de las aguas. De hecho, el uso de los organismos acuáticos, como los macroinvertebrados, en la evaluación de la calidad del agua es poco conocida y utilizada en Honduras. Lo anterior, refleja la necesidad de realizar estudios a fondo sobre la distribución y caracterización de la fauna acuática representativa de los hábitats de agua dulce del país.

La situación actual de degradación de los hábitats acuáticos en Honduras agrava el problema planteado. Se han dado importantes alteraciones con relación a la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos que ponen en riesgo de extinción a sus poblaciones naturales. Con una tasa de crecimiento de la población humana de casi el 3%, el número de habitantes de Honduras pasó de cinco punto ocho millones en 1998 a alrededor de los ocho millones en 2014. Esta población demanda servicios e impone fuertes presiones en los ecosistemas del país, incluidos por supuesto los ecosistemas acuáticos y en la calidad del agua. Para la solución de los problemas ambientales y el uso sostenible de los recursos, es necesario contar con una línea base y por lo tanto se necesita la investigación en temas relacionados con la ecología y la taxonomía de las comunidades acuáticas (Correa 2000).

De acuerdo a su importancia en el monitoreo de la calidad del agua y a pesar de que existe una fuerte investigación y una serie de estudios sobre los macroinvertebrados en otros países centroamericanos (*e.g.* Astorga 1995, Springer 1998, Herrera *et al.* 2000, Fenoglio *et al.* 2002, Simmonds *et al.* 2002, Medianero y Samaniego 2004), la información en Honduras acerca de los grupos taxonómicos presentes en sus

hábitats acuáticos es prácticamente nula. De hecho, en Honduras los macroinvertebrados no son vistos como un grupo de importancia en el monitoreo de las aguas, contrario a otros países (Fenoglio 2005).

Desde el punto de vista de la información sobre la biodiversidad en Honduras y sus usos, se hace necesario conocer y disponer de listados de las especies existentes en los diferentes hábitats, ecosistemas o ecorregiones. El conocimiento biológico y ecológico de las especies existentes en Honduras es prioritario para mantener actualizados los listados de las especies de flora y fauna y las bases de datos de la biodiversidad. Este aspecto es fundamental para cumplir con diversos compromisos internacionales, particularmente el Convenio de Biodiversidad Biológica.

En 2001, Honduras cumplió con una condición importante contraída al ratificar la Convención sobre Diversidad Biológica: la formulación de una Estrategia Nacional de Biodiversidad y Plan de Acción – ENBRA (Vreugdenhil *et al.* 2002). Por lo tanto, es necesario conocer el número de especies, sus usos actuales y potenciales y el grado de amenaza en que se encuentran. Todo esto proporcionaría los insumos necesarios para un programa de conservación de los ecosistemas de agua dulce.

7.3. Estado del conocimiento sobre macroinvertebrados dulceacuícolas en Honduras

El número de trabajos sobre los macroinvertebrados acuáticos efectuados en Honduras, así como el número de publicaciones hechas en este tema, reflejan un conocimiento apenas elemental e incipiente de este grupo. Los estudios han sido esporádicos por parte de investigadores particulares, la Universidad Nacional Autónoma de Honduras, el Instituto de Conservación Forestal y el Centro Zamorano de Biodiversidad de la Escuela Agrícola Panamericana (en el periodo 2006-2013) y algunos otros grupos u organizaciones. Afortunadamente, un alto número de estudios regionales incluyen a Honduras como parte de sus análisis lo que ha contribuido a incrementar el conocimiento sobre los macroinvertebrados dulceacuícolas existentes en el país.

7.3.1. Estudios taxonómicos

Existen algunos elementos básicos de investigación para establecer la línea base de la diversidad, taxonomía y distribución de los macroinvertebrados acuáticos de Honduras. Algunos de los trabajos descriptivos con connotaciones taxonómicas son por ejemplo los de Vidal (1930), Packer (1966), Fenoglio (2005) y Jocqué *et al.* (2010). A través de estos estudios se han generado listados de las especies de macroinvertebrados dulceacuícolas. Dunkle (1988) publicó la lista de los odonatos de Honduras y Dunkle (1991) publicó nuevas adiciones a la lista preliminar de 1988.

Para la generalidad de los grupos de los macroinvertebrados dulceacuícolas existentes en Honduras, el presente análisis constituye una aproximación básica a lo que realmente existe. Esto debido a que a pesar de que se realizó una intensa labor de búsqueda de información para la elaboración de este capítulo, debe existir información que no fue posible obtener debido a su difícil acceso. La búsqueda de infor-

mación (fuentes literarias) se enfocó en las publicaciones posteriores a 1982 ya que Hurlbert y Villalobos-Figueroa (1982) realizaron una compilación de contribuciones al conocimiento de la biota dulceacuícola de Centro América hasta ese año. Sin embargo, durante la realización de este trabajo se encontraron documentos que no fueron incluidos por Hurlbert y Villalobos-Figueroa (1982), tal es el caso de Drake y Harris (1932) quienes describieron una nueva especie de gérrido (Hemiptera: Gerridae) de Honduras.

Debido a la importancia que han cobrado los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua, es necesario que toda la literatura relacionada al tema esté disponible y accesible. Lo anterior facilitará el trabajo de los profesionales o los estudiantes que recién empiezan el estudio de macroinvertebrados acuáticos. A pesar de que existe información e incluso listados de algunos órdenes de los macroinvertebrados acuáticos presentes en Honduras, se encontró poca o ninguna información sobre grupos tales como: Nematoda, Platyhelminthes, Amphipoda, Isopoda y los órdenes Orthoptera y Blattodea.

Filo Nematoda - Aunque con los nematodos se han realizado algunos estudios a nivel de especies (clases Adenophorea y Secernentea) cuyos individuos son parásitos (*e.g.* Moravec 2001, Maldonado *et al.* 2012), no son específicos para Honduras. Caballero (1982) señaló la existencia de 262 especies parásitas de nematodos en 485 vertebrados dulceacuícolas en Mesoamérica. Este último autor no especificó la distribución de estas especies por familia u orden.

Filo Nematomorpha – Existe una lista de las especies de Nematomorpha para Mesoamérica y el Caribe en donde se incluyó a *Chordodes aurantiacus* como existente en Honduras (Schmidt-Rhaesa y Menzel 2005). Es muy probable que se encuentren aún más especies de este filo en el país pero la falta de investigaciones tiene estancado este conocimiento.

Filo Platyhelminthes - En el caso de los platelmintos (clases Cestoda, Trematoda y Turbellaria), Ball (1971) realizó un estudio sistemático y biogeográfico de varias especies de *Dugesia* en Centro América. En el estudio de López *et al.* (2010) se recolectaron 212 individuos de la familia Planariidae (clase Turbellaria), no obstante, no fueron identificados a nivel de género.

Filo Annelida - Se encontraron pocas publicaciones taxonómicas para Annelida (clases Clitellata, Pogonophora y Polychaeta) pero Harman (1982a) incluyó 20 especies de oligoquetos (clase Clitellata, subclase Oligochaeta) para Honduras, Costa Rica, El Salvador, Guatemala y Nicaragua. La especie *Pristina longiseta* (Naididae: Clitellata,) fue citada específicamente como existente en Honduras (Harman 1982b, Righi y Hamoui 2002). Brinkhurst y Marchese (1989) publicaron un catálogo de los oligoquetos de agua dulce para Centro y Sur América, donde se incluyó a Honduras. Aunque es poca la información de los oligoquetos de agua dulce de Honduras, se ha informado de la presencia de miembros de este grupo en los tanques de las bromelias (Jocqué *et al.* 2010) y en los ríos (García 2003, Álvarez y Pérez 2007, Barinas 2008). En el caso de la subclase Hirudinea (clase Clitellata), existen 482 especies de agua dulce y 107 se encuentran en la región neotropical (Sket y Trontelj 2008). No obstante, solo se encontró una cita para Honduras de Ringuelet (1982), quién mencionó

a *Semiscolecides hondurensis* (Familia Erpobdellidae) de Amapala, Choluteca, en el sur del país. No se encontró en las bases electrónicas de las revistas revisadas ningún artículo reciente de estudios específicos de anélidos.

Filo Arthropoda

Subfilo Chelicerata

Clase Arachnida

Orden Trombidiformes (Hydrachnidia) – Los ácaros acuáticos incluyen más de 5,000 especies descritas (Di Sabatino *et al.* 2008). En Centroamérica y México existen aproximadamente 300 especies reportadas de ácaros acuáticos (Wiles 2005). En relación a las especies para Honduras, Cook (1982) citó a *Unionicola thompsoni* (Unionicolidae) y más recientemente Wiles (2005) realizó las primeras colecciones de especies de ácaros acuáticos de Honduras. Este último autor determinó 19 especies, seis de las cuales eran nuevas para la ciencia: *Hydrodroma moralesi* (Hydrodromidae), *Flabellifrontipoda triscutata* (Oxidae), *Monatractides angelae* (Torrenticolidae), *Pseudotorrenticola espinasseae* (Torrenticolidae), *Atractides jenniferae* (Hygrobatidae) y *Recifella cusucoensis* (Unionicolidae).

Subfilo Crustacea

Clase Ostracoda – En el mundo existen cerca de 2,000 especies en 200 géneros de ostrácodos no marinos, de los cuales en el área neotropical se encuentran 298 especies, la mayoría endémicas (Martens *et al.* 2008). Para Centro América y México la fauna ostrácoda de agua dulce es pobremente conocida (Cohuo-Durán *et al.* 2014). En un estudio reciente, Cohuo-Durán *et al.* (2014) describieron una nueva especie, *Limnocytherina axalapasco*, para México; este género es conocido de Norte América. Sin embargo, con la presencia de esta nueva especie y de *L. royi*, la distribución del género se amplió hasta Centro América (Cohuo-Durán *et al.* 2014). Para el caso específico de Honduras solo se encontró a *Elpidium merendonense* recientemente descrita de especímenes recolectados en bromelias en el bosque nuboso del parque nacional Cusuco (Pinto y Jocqué 2013).

Clase Malacostraca

Orden Amphipoda – Existe un estudio reciente de los anfípodos del mar Caribe, que incluye a Honduras (Marín *et al.* 2013). Sin embargo, no se encontró información de especies dulceacuícolas para el país.

Orden Isopoda - Existe un catálogo donde se mencionan varias especies de Isopoda que están presentes en Honduras. Sin embargo, ninguna de ellas se encuentra en los hábitats de agua dulce (Müller 1993).

Orden Decapoda - Este orden comprende más de 8,500 especies identificadas, en su mayoría restringidas a las áreas marinas (Brusca y Brusca 1990). Se encontraron algunas publicaciones de decápodos de ambientes marinos y menos estudios de decápodos de agua dulce. Villalobos (1982) incluyó a las siguientes especies de decápodos con distribución en Centro América (incluida Honduras): *Atya rivales* (Atyidae), *Palaemon pandaliformis* (Palaemonidae), *Macrobrachium acanthurus* (Palaemonidae), *M. heterochirus, M. olfersi, M. digueti, M. carcinus, M. americanum, M. tenellum y M. panamense.* Esta última especie está además citada para Hondu-

ras por Valencia y Campos (2007). La especie de camarón *Typhlatya utilaensis* (Atyidae) fue descrita recientemente (Álvarez *et al.* 2005) de la cueva de George Gaberel, Utila, una de las islas del departamento de Islas de la Bahía (figura 1).

En un estudio reciente se comparó el número de especies de los decápodos de Estados Unidos con aquellos de otros países (Belice, Canadá, Cuba, Guatemala, Honduras, México) y la Isla de Pinos. Según ese estudio hay 470 especies de decápodos en dichos lugares que también existen en Estados Unidos (Hobbs y Lodge 2010). Sin embargo, en el estudio no se contemplaron las especies que no tienen distribución en Estados Unidos. Por ejemplo, no se incluyó la familia Pseudothelphusidae, con 40 géneros y al menos 225 especies en la región neotropical (Rodríguez y Magalhaes 2005) y de la que se sabe que hay varias especies dulceacuícolas en Honduras, incluida *Potamocarcinus roatensis*, descrita de la isla de Roatán (Campos y Lemaitre 2002, Campos 2003, Rodríguez y López 2003) en el departamento de Islas de la Bahía (figura 1).

Según Cumberlidge *et al.* (2009) en Honduras existen seis especies de cangrejos de agua dulce que están en las listas de UICN. Estos últimos autores señalan que la fauna de los cangrejos dulceacuícolas en Honduras ha sido evaluada completamente. Otros estudios incluyen algunas especies de decápodos dulceacuícolas con distribución en Honduras (Hobbs y Hart 1982, Oliveira *et al.* 2008, Torati *et al.* 2011).

Subfilo Hexapoda

Clase Collembola

En general los colémbolos tienden a ser muy frecuentes en los muestreos de los hábitats dulceacuícolas (Domínguez y Fernández 2009). Con base en un estudio de 3,788 especies de colémbolos, la mitad de las especies existentes, se reconoció la existencia de 414 especies dulceacuícolas (Deharveng *et al.* 2008). De estos, en la región neotropical han sido reportadas 28 especies (Deharveng *et al.* 2008). En Honduras los colémbolos han sido recolectados en diferentes estudios en ríos (Barinas 2008, López 2008, Chen y Morales 2010, ENEE/CZB 2011, ICF/EAP 2013, PROLANSATE/ICF 2011) y bromelias (LeCraw y Jones 2005, Jocqué 2006, Alvarado y Barreno 2010, Nielsen 2011). Sin embargo, no se tiene información con respecto al número ni las especies existentes en el país.

Clase Insecta

Orden Ephemeroptera - Este orden contiene aproximadamente 3,000 especies en el mundo y 607 en el neotrópico (Barber-James *et al.* 2008). De éstas, 39 especies están presentes en Honduras (Purdue University 2012). Antes de 1966 no existía ningún registro de efemerópteros en Honduras, únicamente existían informes para Centro América que incluían a Honduras (Packer 1966). Packer (1966) realizó un estudio preliminar de los efemerópteros de Honduras y reportó la existencia de nueve familias y 17 géneros. A través de caracteres morfológicos, Packer (1966) diferenció aproximadamente 45 especies de efemerópteros para el país. Además de la lista publicada por Purdue University (2012), no existe otra lista actualizada de los efemerópteros en Honduras. Existen algunos trabajos con efemerópteros donde se incluye específicamente a Honduras (*e.g.* Lugo-Ortiz y McCafferty 1996a, Baumgardner y McCafferty 2000) o son investigaciones realizadas con

especímenes recolectados en el país (*e.g.* Domínguez *et al.* 1996, Lugo-Ortiz y McCafferty 1996b, McCafferty y Lugo-Ortiz 1996, Mariano *et al.* 2010). Sin embargo, debido a que este orden ha sido ampliamente estudiado en otros países de la región, existe una serie de publicaciones que incluyen a Honduras dentro de la distribución de las especies (e.g. Edmunds 1982, Kondratieff y Reese 1984, Flowers 1987, Flowers y Domínguez 1992, Lugo-Ortiz y McCafferty 1995a, b, 1996c, Wiersema y McCafferty 2000, Wiersema y McCafferty 2003, McCafferty *et al.* 2004, Baumgardner y Ávila 2006).

Orden Odonata - Uno de los órdenes de los que sí hay listados de especies para Honduras es Odonata, donde la primera lista publicada por Paulson (1982) incluye 94 especies. Posteriormente Dunkle (1988) publicó una lista de 145 especies y a partir de ahí se encuentra una serie de referencias bibliográficas donde se dan diferentes números de las especies de odonatos en el país: 161 (Machado 2001), 156 (Esquivel 2006), 162 (Paulson 2012). *Anax junius* (Aeshnidae: Anisoptera), según Landwer y Sittes (2010) y Paulson y Dunkle (2012), tiene una distribución que comprende desde Norte América hasta Honduras, no obstante, no se encuentra en ninguna de las listas citadas anteriormente. Adicional a las listas de las especies de odonatos, se encuentran una serie de publicaciones donde también se incluyó a Honduras en la distribución de las especies (e.g. Belle 1989, Ramírez y Gutiérrez 1994, Hedstrom y Sahlén 2001, Ellenrieder 2003, Ellenrieder y Garrison 2007, Tol 2009, Garrison y Ellenrieder 2010, Landwer y Sittes 2010, Palacino 2011). González-Soriano (2010) realizó un estudio con el género *Amphipteryx* (Amphipterygidae: Zygoptera) que incluyó el examen de especímenes de Honduras, así como una clave e ilustraciones de éstas y otras especies. De la misma manera existe literatura que informa de nuevas especies en Honduras (e.g. Donnelly 1989, Dunkle 1991). También se encontraron publicaciones relacionadas a especímenes de odonatos depositados en colecciones de museos. Entre estos están el museo de zoología de la Universidad de Michigan (Garrison *et al.* 2003) y el museo de la Universidad Texas Tech (Reece y McIntyre 2008). En relación a especímenes depositados en museos, se encontró un trabajo en donde se analizó la filogenia de *Argia* (Coenagrionidae: Zygoptera) con 38 especies, una de las cuales es *A. tezpi*, procedente del departamento de Francisco Morazán, Honduras (Caesar y Wenzel 2009).

Orden Orthoptera – No se cuenta con información sobre especies acuáticas de este grupo para Honduras.

Orden Plecoptera - Fochetti y Tierno 2008 señalaron que las "moscas de piedra" están representadas por 95 especies en Centroamérica, todas dentro del género *Anacroneuria* de la familia Perlidae (Baumann 1982). Sin embargo, Stark (2014) enlistó únicamente 45 especies para Mesoamérica. Adicionalmente, Gutiérrez-Fonseca y Springer (2011) reportaron un nuevo género (*Perlesta*) para Costa Rica. En Honduras, Stark y Boris (2004) registraron 12 especies de *Anacroneuria*, mientras que Froehlich (2010), mediante un estudio de especímenes depositados en museos, reportó 13 especies. La especie adicional que incluyó Froehlich (2010) es *A. magnirufa*. Esta última especie se encuentra en la lista de Stark (2014) en donde aparecen las 13 especies para Honduras.

Orden Blattodea – No se cuenta con información sobre especies acuáticas de este grupo para Honduras.

Orden Hemiptera - En este orden existen 4,656 especies descritas en el mundo que habitan en el agua dulce (Polhemus y Polhemus 2008), 636 de éstas están en Mesoamérica (Polhemus 1982). Se encontraron pocos trabajos realizados en el país que se refieren a los hemípteros. De hecho son pocos los trabajos a nivel mesoamericano que describan o incluyan a todas las especies de hemípteros para esta región (Polhemus 1982). Así y al igual que para otros órdenes, algunas de las publicaciones que se encontraron son acerca de la distribución de las especies y en ellas se incluye a Honduras (*e.g.* Davis 1986, Hebsgaard *et al.* 2004, Herrera 2013, Keffer 2004, Moreira *et al.* 2008, 2011, 2012, Moreira y Ribeiro 2009, Pacheco-Chaves 2010, Padilla-Gil 2011). Alguna de la literatura recopilada es de registros de nuevas especies en Honduras pero son antiguas y ya fueron compiladas por Polhemus (1982). Adicional a esto, hay literatura relacionada con la revisión de especímenes del país, tal es el caso de Estévez y Polhemus (2007) que hicieron una revisión del grupo *Belostoma plebejum* (Belostomatidae) e incluyeron en el estudio dos machos y una hembra recolectados en la región central de Honduras. Está también la revisión de Naucoridae para Centroamérica por Herrera (2013) en donde el autor señala la existencia de cuatro especies en Honduras, más una subespecie adicional de *Ambrysus circumcinctus, A. c. extremus*. No obstante, en Honduras existe al menos un naucórido adicional, reportado como *Heleocoris* sp. por Álvarez y Pérez (2007) y que Herrera (2013) considera debe tratarse de una especie del género *Interocoris*. En su revisión de la familia Gerridae, Pacheco-Chaves (2010), registró la especie *Bachymetra albinervis* para el país. Este autor presentó un listado de las especies registradas para Centro América que incluye 11 especies de siete géneros (*Potamobates, Eurygerris, Limnogonus, Tachygerris, Halobates, Telmatometra, Trepobates*), con un ámbito de distribución que incluye Honduras.

Orden Coleoptera - Este orden contiene una gran diversidad de formas y hábitos de vida que incluye 18,000 especies estrictamente acuáticas de las cuales 2,510 se encuentran en la región neotropical (Jäch y Balke 2007). En Honduras existe una serie de publicaciones y listas de especies de coleópteros terrestres (*e.g.* Turnbow *et al.* 2003). Sin embargo, la literatura relacionada con los Coleoptera acuáticos fue más escaza, aunque no inexistente. Alguna de ésta está relacionada con la distribución de las especies de coleópteros en el país (*e.g.* Spangler 1982, Spangler y Santiago-Fragoso 1992, Benetti *et al.* 2003, Arce-Pérez y Morón 2010, Balke *et al.* 2002, Fernández *et al.* 2010, Torres *et al.* 2012). Peck (2005) publicó listas de los coleópteros de Cuba, incluidos los acuáticos, de los cuales hay varias especies con distribución en Honduras. Al igual existen varios catálogos de algunas familias de coleópteros del mundo que tienen especies acuáticas que incluyen especies que están en Honduras (*e.g.* Nilsson 2011). Por otro lado, existen algunas familias de coleópteros cuyos representantes son principalmente terrestres, pero al igual, pueden contener especies acuáticas o semiacuáticas, tal es el caso de Curculionidae (picudos). De esta familia existe poca información con lo que respecta a las especies de hábitos acuáticos o semiacuáticos

de Honduras e incluso de Centro América. Sin embargo, Morrone y O'Brien (1999) estudiaron los curculiónidos acuáticos de Argentina que incluyen especies con distribución en Honduras.

Orden Neuroptera - Este es un orden conformado por 16 familias, de las cuales tres están asociadas a los cuerpos de agua, Nevrorthidae, Osmylidae y Sisyridae (López *et al.* 2010b). En general, se ha dedicado poca atención en los estudios de estas y otras pequeñas familias (Monserrat 2005). Sisyridae en América está representada por dos géneros, *Sisyra* con nueve especies descritas y *Climacia* con 21 especies (Flint 2012). Para Honduras, Penny (1982) citó la especie *Climacia tenebra*. Monserrat (2005) mencionó la especie *Sisyra apicalis* como probable para Honduras, ya que fue encontrada en el interior de un avión procedente del país. Además, Monserrat (2005) mencionó el caso particular de *Sisyra nocturna*, cuyo posible origen sea Honduras. Lo anterior, debido a que ha existido confusión de la localidad de donde procede el espécimen. En todo caso, Monserrat (2005) lo asoció sin cuestionamiento a *Sysira apicalis*, especie que sí es probable que esté presente en Honduras.

Orden Megaloptera - El orden Megaloptera contiene a las familias Corydalidae y Sialidae, representadas aproximadamente por 120 y 70 especies, respectivamente (Costa *et al.* 2006). Ambas familias están presentes en Honduras donde el género más diversificado en el país (y Centro América) es *Corydalus* de Corydalidae (Penny 1982). De las especies conocidas de Corydalus se citan a *C. flavicornis* y *C. luteus* para para Honduras (Contreras-Ramos 2011). *Platyneuromus*, endémico de México y Centroamérica, es otro género de Corydalidae y contiene tres especies conocidas (Contreras-Ramos 2000). Dos de las tres especies de *Platyneuromus* existen en Honduras, *P. soror* y *P. honduranus* (Contreras-Ramos 2000). Un espécimen de *P. honduranus* se encuentra enlistado en el museo de Historia Natural del Instituto Smithsoniano (Flint 2002). El género *Chloronia* (Corydalidae) y la familia Sialidae también han sido reportados para Centro América (Penny y Flint 1982, Contreras-Ramos 2000). No obstante, durante la revisión de la literatura para el presente capítulo no se encontró información para Honduras sobre estos megalópteros.

Orden Trichoptera – Se han descrito alrededor de 2,100 especies de tricópteros en la región neotropical (Moor y Ivanov 2008). A pesar de que este grupo ha sido ampliamente estudiado en otros países centroamericanos (Springer 2010), la fauna de tricópteros en Honduras es poco conocida. Durante la revisión de la literatura para este trabajo solo se localizó a *Hydroptila curvata* (Hydroptilidae), descrita para Honduras en 1984 (Bueno-Soria 1984); ahora se sabe que la especie tiene una distribución más amplia. Sin embargo, existe una amplia gama de referencias que incluyen a Honduras en la distribución de varias especies, géneros y familias de Trichoptera (*e.g.* Bueno y Santiago 1982, Holzenthal 1988, Flint *et al.* 1987, Flint 1998, Flint 1991, Harris *et al.* 2002a, b, Flint y Englund 2003, Wichard *et al.* 2006, Robertson y Holzenthal 2008, Dumas *et al.* 2009, Bueno-Soria 2010, Springer 2010). Se encontraron catálogos de familias y de especies de tricópteros que incluyen especies con distribución en Honduras (*e.g.* Holzenthal s.f., Harris y Holzenthal 1999, Holzenthal y Harris 1999, Dumas y Nessimian

2012). Existe un listado de las especies de Trichoptera del mundo donde se incluyen 14 especies presentes en el país (Morse *et al.* 2011), incluido un paratipo, *Polyplectropus zamoranoensis*. No obstante, en dicho listado faltan algunas especies citadas para Honduras por otros autores, tal es el caso de *Macrostemum ulmeri* (Hydropsychidae) (Nogueira y Cabette 2011). Según Morse (2014), para Honduras se han descrito seis nuevas especies de Trichoptera de las familias Ecnomidae (1 sp.), Glossosomatidae (2 spp.), Hydropsychidae (1 sp.), Hydroptilidae (1 sp.), Polycentropodidae (1sp.).

En una revisión del género *Ochrotrichia* (Hydroptilidae) en Centro América, se incluyen especímenes recolectados en Honduras de las especies *O. stylata* y *O. tenanga* (Bueno-Soria 2009). Al igual ocurre con la revisión de las especies de *Mortoniella* (Glossosomatidae) (Blahnik y Holzenthal 2008), *Leptonema* (Hydropsychidae) (Flint *et al.* 1987), *Chimarra* (Philopotamidae) (Flint 1998), *Culoptila* (Glossosomatidae) (Blahnik y Holzenthal 2006) y *Polyplectropus* (Polycentropodidae) (Chamorro y Holzenthal 2010) donde se revisó material procedente de Honduras. En este último estudio se describió a *Polyplectropus zamoranoensis* recolectado en 1966 en Honduras.

Orden Lepidoptera - La superfamilia Pyraloidea, que comprende las familias Pyralidae y Crambidae, incluye uno de los más grandes linajes de los lepidópteros en los cuales la mayoría de los estados inmaduros están adaptados a los hábitats acuáticos (Regier *et al.* 2012). Al igual, algunos miembros de las familias Arctiidae, Nepticulidae, Cosmopterygidae, Noctuidae y Tortricidae tienen representantes acuáticos o semiacuáticos (Mey y Speidel 2008, Serrano y Zepeda 2010). En el neotrópico se han registrado 216 especies de lepidópteros con larvas acuáticas (Mey y Speidel 2008). Existe una serie de trabajos y listados de especies de diversas familias de lepidópteros en Honduras (*e.g.* Samayoa y Cave 2008, Vanhove *et al.* 2012). En el estudio más reciente de Miller *et al.* (2012) se citaron 2,302 especies distribuidas en las superfamilias Papilionoidea (550), Hesperioidea (311) y 1,441 especies de polillas (principalmente Pyraloidea y Noctuoidea). La lista incluye algunas de las especies de lepidópteros con larvas acuáticas de la familia Crambidae. En ese estudio se reconocieron 27 morfoespecies, 11 fueron determinadas y 11 que posiblemente constituyen nuevas especies para Honduras (Miller *et al.* 2012).

Orden Diptera - Los dípteros acuáticos incluyen especies de varias familias (Blephariceridae, Deuterophlebiidae, Nymphomyiidae, Psychodidae, Scatopsidae, Tanyderidae, Ptychopteridae, Dixidae, Corethrellidae, Chaoboridae, Thaumaleidae, Ceratopogonidae, Stratiomyidae, Empididae, Lonchopteridae, Syrphidae, Sciomyzidae, Ephydridae, Muscidae, Simuliidae, Culicidae, Chironomidae, Tipulidae y Tabanidae), cuyos estadios larvales están asociados a los ambientes acuáticos (Wirth 1982a, Wagner *et al.* 2008). En Honduras algunas familias de Diptera han sido más estudiadas que otras, debido a sus implicaciones en la salud. Entre estas familias esta Culicidae, de la cual existe un listado de 91 especies reportadas para el país (Chaverri 2005). Sin embargo, *Culex fluviatilis* y *Aedes atropalpus* incluidas en un estudio de filogenia por Reinert *et al.* (2006), no fueron incluidas en el listado de Chaverri (2005). Ward (1982) citó varias de las investigaciones realizadas en el país con culícidos como vectores de la

fiebre amarilla y la malaria. En esta misma temática también se encontraron publicaciones más recientes (*e.g.* Turell *et al.* 2003, Alencar *et al.* 2010). En el catálogo de los culícidos de Nicaragua se incluyen varias especies con distribución en Honduras (Maes y Rivera 1990). Además, se encontró información acerca de otras familias de Diptera que incluyen Honduras en la distribución de algunas de sus especies, por ejemplo Dixidae (Novell 1982), Ceratopogonidae (Spinelli *et al.* 2009, Ronderos *et al.* 2011), Culicidae (Strickman y Darsie 1988, Strickman y Pratt 1989, Harbach y Petersen 1992, Ortega 2010, Beltrán-Aguilar *et al.* 2011), Ephydridae (Mathis y Zatwarnicki 2001, Mathis y Marinoni 2011), Sciomyzidae (Freidberg *et al.* 1991), Simuliidae (Shelley *et al.* 2002) y Tabanidae (Pechuman *et al.* 1983, Turcatel *et al.* 2010). También está la descripción de nuevas especies para Honduras como *Culex yojoae* (Culicidae) (Strickman 1989), *Culicoides hayesi* (Wirth 1982b), *C. hondurensis* (Ceratopogonidae) (Spinelli y Borkent 2004) y más recientemente (Mendes *et al.* 2011) la descripción de una nueva especie de la familia Chironomidae (*Polypedilum panacu*) de la bromelia *Tillandsia guatemalensis* (Bromeliaceae) en el Parque Nacional Cusuco. En el catálogo de los Simuliidae neotropicales se incluyen tres especies de Honduras (Coscorán *et al.* 2008). Adler y Crosskey (2012), presentaron un inventario de Simuliidae donde se revisó la taxonomía y la distribución geográfica de las especies de esta familia. En este inventario se citan seis especies para el país. Además, Fairchild (1982) citó 12 especies de Tabanidae para Honduras.

Filo Mollusca – Los moluscos son un filo extraordinariamente variado con un estimado de 80,000 a 100,000 especies descritas (Strong *et al.* 2008). Los moluscos de agua dulce de Mesoamérica al igual son muy variados y diversificados. Hasta 1982 la fauna de moluscos de agua dulce de esta región era poco conocida (Thompson y Hanley 1982). Durante los siguientes años, en algunos países en el área se han hecho grandes avances en el estudio de los moluscos continentales, tal es el caso de Costa Rica con 50 especies descritas de agua dulce (Barrientos 2003) y Nicaragua con 227 especies continentales descritas entre terrestres y de agua dulce (Pérez *et al.* 2003). En el caso de Honduras, no se encontró para la presente revisión un listado de moluscos del país. Sin embargo, existe un listado de los moluscos continentales y dulceacuícolas de Centro América y México donde se citan 72 especies de moluscos de estos hábitos para Honduras (Thompson 2008).

Consideraciones finales sobre los estudios taxonómicos

Desafortunadamente no todos los estudios realizados en el país referente a los macroinvertebrados acuáticos terminan en una publicación accesible. Algunas de las publicaciones son generadas por estudiantes o investigadores extranjeros que publican en revistas que no son de dominio público o son poco conocidas en el país. En relación a los estudios efectuados por los investigadores nacionales, algunos no llegan a ser publicados o constituyen literatura gris almacenada en instituciones gubernamentales o universidades.

El Centro Zamorano de Biodiversidad (CZB) de la Escuela Agrícola Panamericana (Zamorano), también llevó a cabo estudios de investigación y tesis en varios sitios del país con

macroinvertebrados acuáticos entre el 2007 y el 2013 (Barinas 2008, Alvarado y Barreno 2010, ENEE/CZB 2011, Nielsen 2011, PROLANZATE/ICF 2011). El CZB a la vez ha impulsó y promovió la presentación de los resultados de estas investigaciones en diversos foros.

Hay varias instituciones que cuentan con colecciones entomológicas en el país como Zamorano, el museo de mariposas e insectos en La Ceiba, la Escuela de Ciencias Forestales de Honduras (ESNACIFOR), el Centro Universitario del Litoral Atlántico (CURLA) y el Museo de Entomología de la Carrera de Biología en la Universidad Nacional de Honduras. Esta última colección cuenta con aproximadamente 200,000 especímenes (SERNA/DIBIO 2010).

El objetivo de mantener colecciones de insectos en las diferentes instituciones de Honduras es dar a conocer los aspectos más importantes acerca de este grupo, su beneficio al ser humano, así como su relación como plagas o vectores de enfermedades. No obstante, estas colecciones son de insectos en su mayoría terrestres y ninguna institución cuenta con una colección formal de macroinvertebrados acuáticos. Deben existir especímenes de insectos de Honduras, incluidas las formas larvales, en otros países. No obstante, no hicimos ninguna búsqueda de este tipo de información.

7.3.2. Estudios ecológicos

Dentro de la Estrategia Nacional de Biodiversidad, Honduras ha venido implementando las recomendaciones derivadas del Convenio sobre Diversidad Biológica. Entre las principales recomendaciones están la elaboración del Estudio de País, el cual contempla un diagnóstico del estado actual de la biodiversidad en siete áreas temáticas: agrícola, forestal, turismo, biología marina y ecología de agua dulce, flora y fauna terrestre, planificación y desarrollo económico y derecho y legislación ambiental. En este sentido los grupos más estudiados en Honduras son las aves y los mamíferos, seguido por los reptiles y los anfibios (SERNA/DIBIO 2010). La flora de Honduras también ocupa un lugar importante en la investigación (DIBIO 2001).

A pesar, de que dentro del grupo de los insectos se descubren especies cada año, la investigación con respecto a este tema es escasa en Honduras. Aunado a ello, se ha encontrado un gran vacío sobre la información de los ecosistemas de agua dulce, tanto en términos de la ecología como de la taxonomía de los peces y los macroinvertebrados (Paaby y Flórez 2009). Por otro lado, la actualización de las listas de las especies de consideración especial, incluidas las especies amenazadas, ha sido un tema prioritario en los últimos años en Honduras (SERNA 2008).

El conocimiento actual de la ecología de los macroinvertebrados acuáticos de Honduras, aunque básico, ha comenzado a despegar. Los estudios sobre la ecología de los macroinvertebrados acuáticos en los ecosistemas de agua dulce realizados en el país son pocos, al menos los que fue posible consultar para la elaboración del presente capítulo. Varios de los estudios disponibles se enfocaron en la importancia de algunos grupos o especies de macroinvertebrados acuáticos como vectores de enfermedades, tal es el caso de algunas especies de la familia Culicidae (Diptera). Estos estudios (*e.g.* Turell *et al.* 2003) se enfocaron en los individuos adultos.

Existe alguna información relacionada a los aspectos de la alimentación, la estructura de la comunidad y los hábitats que utilizan los ma-

croinvertebrados acuáticos. Por ejemplo Fenoglio *et al.* (2008) estudió la dieta, la preferencia de microhábitat y algunos aspectos morfológicos de *Euthyplocia hecuba* (Euthyplociidae: Ephemeroptera) en el río El Padre de la vertiente Caribe. Dicho autor determinó que la especie en cuestión ingiere gran cantidad de partículas finas y tiene adaptaciones morfológicas particulares para la vida en su microhábitat.

La composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en Honduras es variable pero no existe información suficiente para comenzar a visualizar sus patrones con relación a los diferentes ecosistemas o ecorregiones. No obstante, algunos estudios han revelado algunas diferencias relacionadas a factores tales como la cobertura boscosa. López *et al.* (2010a) determinaron la composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en el río Santa Inés, en la cuenca del río Choluteca. En dicho estudio se recolectaron 3,525 individuos (en 55 familias) y Ephemeroptera fue el orden más abundante (López *et al.* 2010a).

Mora *et al.* (2008) realizaron un estudio comparativo de los macroinvertebrados acuáticos en tres zonas con diferente cobertura boscosa en la subcuenca del río Yeguare en la cuenca del río Choluteca. El objetivo fue determinar el efecto de la cobertura vegetal sobre las comunidades de macroinvertebrados acuáticos. La diferencia determinada en cuanto al número de géneros y los índices bióticos en las zonas estudiadas estuvo principalmente relacionada con las características físico-químicas de esos sitios. En las estaciones en las tierras sin bosque se determinaron valores bajos, tanto de pH como de conductividad eléctrica. Así mismo, en estas estaciones la presencia de materia orgánica fue menor que en las zonas de bosque y consecuentemente la presencia de los grupos que utilizan este tipo de sustrato para su existencia se vio afectada.

En la microcuenca El Carrizal del Parque Nacional La Tigra (figura 1) se hizo un estudio con el objetivo de determinar la estructura de la comunidad de los macroinvertebrados acuáticos (Barinas 2008). Se encontró que la estructura trófica de la microcuenca estaba constituida de 63% de macroinvertebrados depredadores, 16% de colectores-depredadores, 9% de raspadores-colectores, 5% de desmenuzadores-raspadores, 4% de desmenuzadores y 3% de colectores (clasificación de Roldán y Ramírez 2008).

Chen y Morales (2010) estudiaron los macroinvertebrados acuáticos mediante tres métodos de recolección (colador, red D y "surber") en un área de interconexión entre dos áreas protegidas en el departamento de El Paraíso. Estas autoras no encontraron diferencias estadísticas en sus resultados según el método de recolección. En su estudio el orden más frecuente fue Ephemeroptera (23%). Además los órdenes Plecoptera y Trichoptera fueron comunes debido a que las estaciones de muestreo se localizaron en áreas montañosas de tierras altas.

En el refugio de vida silvestre Texiguat (RVST, figura 1) se hizo un estudio en ríos y arroyos entre los 108 y los 1,624 msnm en sitios con vegetación de bosques de galería poco intervenidos, algunos mezclados con zonas de pastoreo y cultivos de café (PROLANSATE/ICF 2011). Factores como el oxígeno disuelto (OD), la disponibilidad del alimento y el contenido de materia orgánica en el sedimento son los que determinan la estructura de la comunidad

de los macroinvertebrados acuáticos (Roldán 1992). Consecuentemente en el RVST también Ephemeroptera fue el orden más abundante (28% de los individuos). Este orden junto con Trichoptera estuvieron representados por seis familias cada uno.

Bass (1993) estudió la composición y la estructura de los macroinvertebrados de la Isla de Guanaja (departamento de Islas de la Bahía; figura 1). El estudio se realizó solo durante agosto y se documentó la existencia de 18 taxa. Aunque Bass (1993) realizó algunos hallazgos llamativos y comparó los macroinvertebrados de Guanaja con los de otras islas del Caribe, recomendó un estudio de todo un año para mejores comparaciones y una información más concluyente. De igual manera son deseables estudios similares en otras islas del departamento de Islas de la Bahía para efectos comparativos y avanzar en el conocimiento de la biodiversidad y la ecología de los macroinvertebrados en estos hábitats insulares.

Adicionalmente, existen organizaciones que han estado implementando el estudio de los macroinvertebrados en distintas áreas protegidas del país, tal es el caso de la Operación Wallacea (OW). La OW desarrolla programas de conservación de la biodiversidad y la gestión de la investigación a través de estudiantes de grado y posgrado, principalmente de universidades extranjeras. En Honduras, la OW lleva a cabo un programa de monitoreo de la biodiversidad en grupos seleccionados en el Parque Nacional Cusuco (figura 1). Dentro de los grupos seleccionados están los invertebrados acuáticos asociados a las bromelias (*e.g.* Garsden 2004, Lam 2005, LeCraw y Jones 2005, Simcock 2005, Brady 2006, Jocqué 2006, Kernahan y Nobes 2006, Willans 2006, Field y Long 2007) y los macroinvertebrados bentónicos (*e.g.* Chamberlain 2004, 2005). De estos estudios se han generado diferentes publicaciones científicas relacionadas a la taxonomía (*e.g.* Wiles 2005) y a la aplicación de diferentes índices de la calidad del agua basados en los macroinvertebrados acuáticos (O'Callaghan y Kelly-Quinn 2013). Sin embargo, la mayoría de estos estudios están dirigidos al conocimiento de la estructura y la composición de los macroinvertebrados tanto en las bromelias como en los ríos del Parque Nacional Cusuco (figura 1).

Referente a las comunidades de macroinvertebrados que habitan los fitotelmata, Alvarado y Barreno (2010) determinaron la estructura y la composición de los macroinvertebrados acuáticos en bromelias (*Catopsis hahnii, C. morreniana, Catopsis* sp. y *Tillandsia cryptopoda*) en un bosque de altura en el departamento de El Paraíso. Se recolectaron 1,327 individuos de macroinvertebrados acuáticos correspondientes a 32 taxa (14 órdenes y siete clases). Insecta fue la clase más abundante con 68% de los individuos. Seis de las clases de los macroinvertebrados recolectados pertenecen al filo Arthropoda y una al filo Mollusca. El orden Diptera fue el más abundante con 60% del total de los individuos. Los análisis se basaron en la comparación a través de cinco índices de diversidad. Además se analizó los grupos funcionales de la comunidad de cada una de las especies de bromelia. Factores como la morfología y el número de muestras por especie de bromelia influenciaron los resultados, así como la época de muestreo que fue transitoria entre seca y lluviosa.

Nielsen (2011) estudió la composición de los macroinvertebrados acuáticos asociados a los depósitos de agua de bromelias entre 1,609 y 1,732 msnm en la Reserva Biológica Uyuca (fi-

gura 1) en el departamento de Francisco Morazán. Se recolectaron 1,930 macroinvertebrados acuáticos correspondientes a 39 taxa en 14 órdenes y siete clases. Seis de las clases de los macroinvertebrados recolectados pertenecen al filo Arthropoda y una a Platyhelminthes. Insecta fue la clase más abundante con 73% de los individuos (64% del total de individuos eran dípteros). Hydrachnidia fue el segundo grupo más abundantes (20% de los individuos). En el bosque mixto se encontró el mayor número de taxa pero en el bosque de pino bajo se encontró el mayor número de individuos y la mayor diversidad. En el bosque de pino alto se determinó una diversidad similar a la del bosque de pino bajo.

A pesar de todo lo anterior y que otros estudios han generado publicaciones de diferente índole tanto digitales como impresas, la consecución de éstas es muy limitada o imposible debido a que las entidades correspondientes no las hacen disponibles o las publicaciones se han hecho en revistas especializadas de distribución restringida o de difícil acceso. En relación a los estudios efectuados por los investigadores nacionales, algunos resultados no se han publicado o son informes técnicos privados o de circulación restringida.

7.3.3. Estado de conservación

El rápido crecimiento poblacional y su consecuente desarrollo conllevan el aumento de las presiones sobre los ecosistemas incluidos los dulceacuícolas. En este escenario el agua sigue siendo el elemento fundamental, no solo del desarrollo sino de la conservación de la biodiversidad. En este sentido, es prioritaria la conservación de los ecosistemas dulceacuícolas, sobre todo debido a la mayor demanda del recurso hídrico para usos múltiples. Aunado a ello, la expansión de la frontera agrícola, la deforestación, la minería, las represas, la industrialización y el desarrollo humano aumentan no solo la presión sino la contaminación del agua (Bucher *et al.* 1997).

En la actualidad las amenazas a los ecosistemas de agua dulce de Honduras las constituyen principalmente los monocultivos (*e.g.* palma africana), la ganadería extensiva, la siembra de granos básicos (SERNA/DIBIO 2010), las hidroeléctricas y la falta de tratamiento de las aguas de desecho doméstico e industrial. El uso intensivo del agua por parte del ser humano afecta la calidad de ésta y conlleva a una alta degradación a todo nivel incluida la salud pública. Es por eso que las especies de plantas y animales que habitan en el agua dulce y están en peligro de extinción por las actividades humanas, corren más riesgo de extinguirse que cualquier otra especie (Baron *et al.* 2003).

En Honduras se han identificado 397 cuerpos de agua dulce, que comprenden lagos, lagunas y "lagunetas". De estos, seis fueron considerados para una propuesta de conservación a nivel de la región mesoamericana. Con respecto a los sistemas lóticos, la ecorregión del Caribe hondureño (Honduras Caribbean), que engloba casi la totalidad del país, es muy variada (SERNA/DIBIO 2010). Esta ecorregión incluye hábitats diversos tales como ríos profundos y grandes, ríos menores tributarios, pequeños arroyos, cataratas, rápidos, lagos, lagunas, pantanos y otros humedales sujetos a inundación (TNC 2009). La ecorregión del Caribe hondureño es de gran potencial para mantener una alta biodiversidad acuática, ya que contiene 457 diferentes tipos de macrohábitats dentro

de los sistemas lóticos (SERNA/DIBIO 2010). Es claro que la presencia de una alta cantidad de macrohábitats diferentes por tipo de sistema ecológico es un indicador importante sobre la capacidad del sistema para mantener una alta biodiversidad acuática (TNC 2009).

Una segunda ecorregión, con menor extensión en Honduras, es la Tehuantepec-Golfo de Fonseca. El problema es que la porción de esta ecorregión dentro del país, es una de las más pobladas y más degradadas ambientalmente. Esta alta ocupación humana genera una significativa contaminación industrial y urbana (aguas negras y desechos sólidos). Además, en esta ecorregión, la dinámica de los ecosistemas de agua dulce está influenciada negativamente por las actividades mineras y agrícolas. No obstante, aún existen en la zona una alta variedad de macrohábitats que ya han sido identificados, algunos de los cuales han sido propuestos para conservación (TNC 2009).

Las ecorregiones en cuestión han sido definidas con base en las especies de peces, anfibios, reptiles y las especies endémicas. No obstante, en la mayoría de los casos la macrofauna de invertebrados que habita estos ambientes no ha sido evaluada. En el caso específico de Honduras el conocimiento de las especies de invertebrados que habitan los ecosistemas de agua dulce es prácticamente desconocido (Paaby y Flórez 2009).

En estudios anteriores, ya se había mencionado la necesidad de proteger ecorregiones, como la del Caribe hondureño (Bucher *et al.* 1997). Adicionalmente, durante 2009 se definieron para Honduras 46 áreas clave para la conservación de la biodiversidad, 26 de las cuales se encuentran dentro de las áreas silvestres protegidas (López 2009). La identificación de estas áreas se hizo con base en las especies endémicas y amenazadas de Honduras. Estas áreas albergan una alta biodiversidad de especies de vertebrados. De igual manera se esperaría que se encuentre una alta diversidad de macroinvertebrados en los ecosistemas dulceacuícolas inmersos en dichas áreas. Debido a lo anterior, estas áreas junto con las ecorregiones mencionadas anteriormente, constituyen sitios prioritarios de estudio para grupos como los macroinvertebrados. La conservación de los ecosistemas de agua dulce es de gran importancia para el mantenimiento de los procesos ecológicos, la dinámica y la biodiversidad que se encuentra en ellos (Bucher *et al.* 1997).

Debido a los aspectos anteriormente expuestos, no existe la información disponible para poder medir el estado de la conservación de los macroinvertebrados acuáticos de Honduras. No obstante, es claro que existe una alta cantidad de factores que se constituyen en amenazas, tales como las mencionadas anteriormente, a la conservación de este importante componente de la biodiversidad del país. A pesar de ello no existen acciones concretas para contrarrestar estas amenazas. La información disponible sobre las comunidades de los cuerpos de agua del país es limitada por lo que se hace difícil sacar conclusiones referentes a su estado y al estado de la diversidad de los macroinvertebrados. La principal estrategia de conservación de la biodiversidad en el país es el Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Honduras (SINAPH) a cargo del Instituto de Conservación Forestal (ICF).

En Honduras existen 75 áreas protegidas legalmente establecidas y cerca de 30 áreas propuestas (Vreugdenhil *et al.* 2002). De éstas 75 áreas, 61 tienen un territorio legalmente es-

tablecido para una superficie de 2, 121,326 ha lo que equivale al 18% del territorio nacional (Vreugdenhil *et al.* 2002). Este sistema tiene a sus componentes principales en las bajuras de La Moskitia (figura 2) y sus montañas asociadas con varias áreas protegidas de tamaño considerable tales como la Reserva del Hombre y la Biosfera del Río Plátano (la más grande) y el Parque Nacional Patuca (la segunda más grande). Éstas, junto con la Reserva Biológica Tawahka-Asangni, cubren un área de 1, 000,000 ha (figura 2). Así, la mitad de las áreas naturales que todavía sobreviven se encuentran en La Moskitia, lo que significa que las áreas naturales en el interior de Honduras son cada vez más fragmentadas y aisladas (Vreugdenhil *et al.* 2002).

El otro componente clave son los bosques nublados, debidos a que el decreto 87-87 establece la protección de las montañas arriba de los 1,800 msnm. Este decreto ha permitido mediante la redefinición de límites, tanto de las áreas núcleo como de las zonas de amortiguamiento, la existencia de varias áreas protegidas en funcionamiento actual. Bajo esta perspectiva se esperaría que todos los cuerpos de agua asociados a estas áreas estén protegidos. Esto es cierto particularmente para las áreas protegidas de las tierras altas debido a que es ahí precisamente en donde nacen los diferentes afluentes de los ríos del país.

La situación es menos favorable para los cuerpos de agua de las áreas protegidas existentes a elevaciones medias y las de tierras bajas debido a los factores externos de amenaza que se suman a lo largo de los causes. Así el río Patuca, la cuenca más grande del país, al entrar al límite del Parque Nacional Patuca en la Moskitia (figura 2) ha recibido todos los impactos propios de las actividades agropecuarias y humanas en general que se dan en todo el Valle del Guayape-Guayambre. Estos dos ríos a su vez, aunque tienen varios de sus nacientes en áreas protegidas, en las tierras más bajas del valle sus aguas son impactadas por diversos factores humanos. Poco después de la unión de esos dos ríos para formar el Patuca, el río está teniendo un nuevo impacto ya que ahí se está ejecutando el proyecto hidroeléctrico Patuca 3. El principal problema para medir el estado de conservación de los macroinvertebrados de la cuenca del río Patuca, al igual que el resto de cuencas del país, es que no se conoce la fauna de macroinvertebrados acuáticos que ahí existe.

Un problema adicional para la conservación es que las áreas silvestres protegidas de Honduras no están exentas a la deforestación producto de la expansión de la frontera agrícola y ganadera debido a la falta de aplicación de las leyes. En la Moskitia hay ganadería en las áreas culturales y zonas de uso múltiple de los parques nacionales y las reservas de la biosfera (Mora *et al.* 2014). Además del aumento de la ganadería en el río Coco/Segovia, algunas áreas protegidas están siendo fuertemente presionadas por los ganaderos (Mora *et al.* 2014).

Si bien durante la creación del SINAPH no se incluyeron todos los ecosistemas, el sistema contiene 58 de los 59 ecosistemas naturales revisados por Vreugdenhil *et al.* (2002). Es de notar que 21 de dichos ecosistemas tienen más del 90% de su área total protegida dentro del SINAPH y otros 20 ecosistemas tienen entre el 50% y 90% de sus áreas totales protegidas. De hecho, sólo cinco ecosistemas tienen menos del 12% de su área total protegida (Vreugdenhil *et al.* 2002).

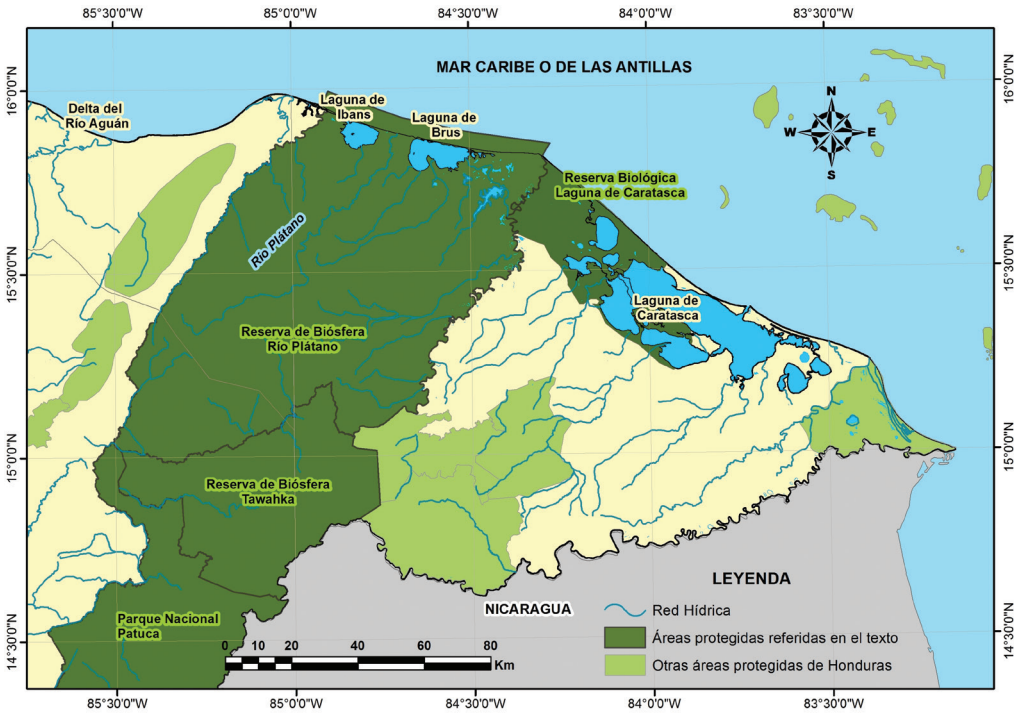


Figura 2. Áreas protegidas y otras áreas de interés referidas en el texto dentro de la región de La Moskitia en Honduras. Elaborado por Luis Herrera, Panthera (Honduras), 2014.

El Arbustal Submontano Deciduo, limitado a los valles secos más grandes del centro de Honduras, es el único ecosistema que no tiene protección legal o propuesta (Vreugdenhil *et al.* 2002). El Arbustal Submontano Deciduo es un ecosistema que contiene un número significativo de especies endémicas de plantas y reptiles y según Vreugdenhil *et al.* (2002) ha sido descrito como en estado de urgente necesidad de conservación (House 2001). Por lo tanto, las fuentes de agua presentes en este ecosistema y su fauna acuática asociada no están protegidas.

El otro problema es que un número importante de ecosistemas, incluidos los acuáticos asociados, se encuentran únicamente en áreas protegidas propuestas y por lo tanto no cuentan con protección legal (Vreugdenhil *et al.* 2002).Entre estos sobresale el Arbustal Ári-

do Deciduo, que se encuentra principalmente en el Valle del Aguán, la región más seca de Honduras (Vreugdenhil *et al.* 2002). Además del Arbustal Árido Deciduo, la Sabana de Pino, que se encuentra a lo largo de la frontera con Nicaragua y las galerías del Bosque Semideciduo se encuentran también exclusivamente en las áreas protegidas propuestas (Vreugdenhil *et al.* 2002). Las sabanas son más ondulantes y mejor drenadas que las sabanas de la parte occidental de La Moskitia (Vreugdenhil *et al.* 2002). En estos sitios existen lagunas con sus respectivas faunas acuáticas que no están protegidas.

A pesar de la existencia del SINAPH, los ecosistemas naturales del país han sufrido un severo proceso de destrucción y fragmentación en las últimas décadas. En la actualidad los ecosistemas de bosque de Honduras se centran en los componentes del SINAPH aunque existen varios remanentes, incluso áreas grandes, que no están protegidos (Mora *et al.* 2014). Según los datos presentados por Vreugdenhil *et al.* (2002), el 49% del país todavía está cubierto con hábitats más o menos naturales lo que incluye los cuerpos de agua. Estos ecosistemas albergan una alta biodiversidad pero destaca el alto número de especies endémicas. Se considera que existen 134 especies endémicas de plantas (de unas 7,500 especies descritas para el país), 27 especies de reptiles (de 200 especies) y 38 especies de anfibios (de 116 descritas).

Si bien las especies acuáticas tienen preferencias ecológicas específicas, un alto número de las poblaciones de estas especies cubren áreas más grandes que los ecosistemas mismos donde se encuentran (Vreugdenhil *et al.* 2002). Debido a estos factores, es difícil predecir la biodiversidad de los macroinvertebrados acuáticos o el número de especies endémicas. Si bien es cierto que los procesos en los sistemas acuáticos no siempre responden a los procesos de evolución de los ecosistemas terrestres, ya que la variable que dictamina en mucho estos procesos son los patrones hidrológicos, se debe recordar que por lo general donde un grupo taxonómico es muy diversificado, otros grupos también lo son (Primack *et al.* 2001).

Sitios Ramsar de Honduras

Los humedales alcanzan una extensión de 40,000 km^2 o el 7.6% de la superficie de Centro América de la cual al menos 6,860 km^2 se encuentran en Honduras, lo que representa el 6.0% del área del país (Mostacedo 2008). Sin embargo, ésta última autora determinó que al menos 7,752 km^2 (6.85%) del país está cubierto por humedales. La localización de los mismos se da en áreas con una gran diversidad biológica y para protegerla se establecieron varias áreas protegidas que son muy importantes por su conectividad (Mostacedo 2008). Existen seis sitios Ramsar en el país y ocho humedales de importancia internacional denominados por la North American Wetlands Conservation Council (NAWCC) en 1986 (Mostacedo 2008).

Los humedales denominados como sitios Ramsar de Honduras se encuentran sobre todo en las zonas norte y sur del país y en el lago de Yojoa (Mostacedo 2008). Algunos de estos son zonas de marismas y sistemas salobres que no son de interés para los objetivos de este trabajo. Se enlistan a continuación los humedales Ramsar con hábitats dulceacuícolas.

1. Refugio de Vida Silvestre Barras de Cuero y Salado

El Refugio Nacional de Vida Silvestre Barras de los ríos Cuero y Salado (RVSCS, figura 1) fue designado como sitio Ramsar el 26 de marzo de 1993. Éste se encuentra a 33 km de la ciudad de La Ceiba (La Atlántida). El RVSCS tiene un área de 132.25 km² y está ubicado en el triángulo formado por la desembocadura de los ríos Cuero y Salado pero recibe unos 15 ríos más. El RVSCS está compuesto por una gran cantidad de canales terrestres y fluviales.

2. Laguna de Bacalar

La laguna de Bacalar (figura 1) fue designada como sitio Ramsar el tres de febrero de 2003. Ésta se encuentra localizada en el departamento Gracias a Dios a la entrada de La Moskitia hondureña. Tiene un área de 73.94 km² y en la actualidad se está en el proceso de declaratoria como área protegida. Esta laguna contiene una extensa red hídrica que se conecta a las bocas estuarinas de Palacios, la sierra del río Tinto y la barra de Batalla, actualmente cerrada. La laguna de Bacalar se comunica con el río Tinto a través de los arroyos Tamagás y Siblabla. Está conectada a la laguna de Ibans por el canal la Criba. Hacia el oeste mantiene una comunicación laminar constante, principalmente en la época de lluvias. En esta época los caudales retoman los causes antiguos y los meandros abandonados para conectarse con las lagunas de Tocamacho, Caldera, río Sangrelaya y el arroyo la Lagarta.

3. Parque Nacional Jeannette Kawas

El Parque Nacional Jeannette Kawas (PNJK; figura 1) fue designado como sitio Ramsar el 28 de marzo de 1995. El PNJK se encuentra localizado en la bahía de Tela (Atlántida). Comienza a unos 3.5 km al oeste de la ciudad de Tela y se extiende por 35 km de costa y 20 km de ancho aproximadamente su extensión es de 781.50 km².

El sistema hidrológico del PNJK es extenso en superficie, comprende al menos diez cuerpos de agua permanentes, localizados en el extremo noreste del valle de Sula. Dos ríos principales, un canal artificial y cuatro ríos menores drenan sus aguas hacia las cinco lagunas costeras existentes en el parque. Estos accidentes geográficos forman una vasta extensión de humedales costeros de considerable importancia en términos de la biodiversidad. Los cuerpos de agua en cuestión son: el río Chamelecón, el río Ulúa, el canal Martínez, el río Agua Blanca, el río San Alejo y el río La Esperanza.

Las lagunas que se encuentran en el interior del PNJK son Tisnachi, río Tinto, El Diamante, los Micos y Quemada. La mayor área de humedales boscosos de agua dulce se encuentra al sur de la laguna de los Micos cerca de la desembocadura del río La Esperanza en la laguna y entre el cauce antiguo del río Chamelecón y el cauce natural del río Ulúa. Existen unos 90 km² cubiertos por este tipo de ecosistema.

4. Refugio de Vida Silvestre Punta Izopo

El Refugio de Vida Silvestre Punta Izopo (RVSPI; figura 1) fue designado como sitio Ramsar el 20 de marzo de 1996. Está localizado en el departamento La Atlántida y tiene una extensión de 112 km².

El área de RVSPI depende hidrológicamente de los ríos Hicaque y Plátano que nacen en la cordillera Nombre de Dios al oeste del río Lean. Una vez que estos ríos llegan a las partes bajas se extienden, se unen e inun-

dan totalmente en una red de pantanos, pequeñas lagunas y canales intercomunicados en la zona núcleo del RVSPI. Los principales ríos del refugio, ubicados en la cuenca del río Lean, son siete subcuencas: río Hicaque, río Plátano, río Mezapa, río Texiguat, río Nueva Florida, río Santa María, río Arizona y el propio río Lean. Dentro de la zona núcleo del RVSPI existen humedales boscosos de agua dulce, que son bosques inundables que cubren aproximadamente 2,500 ha continuas y la laguna Hicaque que es costera de agua dulce.

5. Sistema de humedales de la zona sur de Honduras

   El sistema de humedales de la zona sur de Honduras (figura 1) fue designado como sitio Ramsar el 10 de julio de 1999. Se encuentra localizado entre la frontera de los departamentos de Valle y Choluteca y limita al sur con el golfo de Fonseca. Tiene una extensión de 749.62 km^2 distribuidos de la siguiente forma: bahía de Chismuyo 316.16 km^2, bahía de San Lorenzo 153.05 km^2, Los Delgaditos 18.16 km^2, Las Iguanas 41.69 km^2, El Jicarito 68.97 km^2, San Bernardo 94.58 km^2 y La Berbería 57.01 km^2.

   El sistema de humedales de la zona sur de Honduras (figura 1) tiene un sistema hidrográfico que desemboca en el golfo de Fonseca y está compuesto por cuatro ríos principales: el río Choluteca que es el más largo en el Pacífico de Centro América (con un área estimada de su cuenca de 7,580 km^2), el río Nacaome (cuenca de 2,577 km^2), el río Goascorán que es límite entre Honduras y El Salvador (cuenca de 1,500 km^2 en Honduras) y el río Negro, cuya cuenca es compartida entre Honduras y Nicaragua (área de 2,553 km^2). En el sistema de humedales de la zona sur existen una serie de bosques inundados o inundables mareales de agua dulce.

6. Subcuenca del lago de Yojoa

   La subcuenca del lago de Yojoa (figura 1) se designó como sitio Ramsar el 5 de junio de 2005. Se encuentra entre los departamentos de Cortés, Santa Bárbara y Comayagua. Su extensión es de 436.41 km2 que incluye 349.40 km^2 de área de drenaje natural y 87 km^2 de área con flujo alterado que drena al lago.

Humedales de importancia internacional denominados por la"North American Wetlands Conservation Council (NAWCC)".

Los humedales de importancia internacional denominados por la NAWCC se encuentran sobre todo en las zonas norte y sur del país y en el lago de Yojoa (Mostacedo 2008). A continuación se enlistan aquellos humedales que contienen hábitats de agua dulce.

1. Laguna de los Micos y delta del río Ulúa

   La laguna de los Micos (dentro del Parque Nacional Jeannette Kawas) se encuentra localizada en el departamento de Atlántida, mientras que el delta del río Ulúa (figura 1) se encuentra entre los departamentos de Atlántida y Cortés. La extensión conjunta de estos dos humedales es de 550 km^2.

2. Laguna de Guaymoreto y delta del río Aguán

   Ambos se encuentran localizados al norte del departamento de Colón. Su extensión

en conjunto es de 340 km². La laguna de Guaymoreto (figura 1) mide 49.65 km².

3. Laguna de Ibans, laguna de Brus y río Plátano

   Estos cuerpos de agua se encuentran localizados en el departamento de Gracias a Dios (figura 2). Su extensión en conjunto es de 1,100 km². La laguna de Ibans tiene una extensión de 64 km² y la de Brus 116 km².

4. Laguna de Caratasca y lagunas aledañas

   La Laguna de Caratasca (figura 2) se encuentra en el departamento de Gracias a Dios. Su extensión alcanza los 3,700 km².

5. Lago de Yojoa

   El lago de Yojoa (figura 1) se encuentra en el occidente de Honduras, entre los departamentos de Comayagua, Santa Bárbara y Cortés. Su localización se da en el centro del corredor de mayor crecimiento socioeconómico de Honduras, además del corredor biológico natural formado al este por el Parque Nacional Cerro Azul Meámbar y al oeste por el Parque Nacional Montaña Santa Bárbara (figura 1). Su extensión es de 80 km².

6. Barras de Cuero y Salado

   Las barras de los ríos Cuero y Salado (figura 1) se encuentran en el departamento de Atlántida. Sus características generales están descritas en la sección anterior sobre los humedales Ramsar de Honduras.

7. Islas de la Bahía

   Islas de la Bahía (figura 1) es el departamento de Honduras que incluye tres islas – Roatán (133 km²), Utila (42 km²) y Guanaja (57 km²) – cuya vegetación está conformada básicamente por humedales de manglar.

7.4. Empleo de los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en Honduras

El uso de los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores es reciente en Honduras por lo que apenas existen unos pocos estudios encaminados en este sentido (*e.g.* Arcos *et al.* 2005). En los últimos años se han realizado esfuerzos, a nivel institucional, para dar a conocer el uso de los macroinvertebrados en la evaluación de la calidad del agua.

Es de notar que desde la década de 1980 se emplearon a los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores en Honduras aunque de forma esporádica, como parte de los estudios de impacto ambiental. Estos estudios se han llevado a cabo en áreas protegidas y en diferentes ríos tales como el río Chiquito (Borjas 1984), el río Choluteca (Cruz 1987) y el Área Protegida Trinacional de Montecristo (Komar *et al.* 2006). Lamentablemente en la mayoría de los casos, estos estudios no están disponibles para su consulta. Es claro que esa información pudo haber contribuido en la actualización y el levantamiento de las bases de datos de los macroinvertebrados acuáticos de Honduras, su conservación y su uso como bioindicadores. Así, la evaluación de la calidad del agua a través de los macroinvertebrados sigue siendo un campo nuevo en el país.

En el 2005, el proyecto Manejo Integrado de Recursos Ambientales (MIRA) de la Agencia

de Desarrollo de los Estados Unidos (USAID por sus siglas en inglés) divulgó el uso de los indicadores biológicos para supervisar la calidad del agua en Honduras. Se realizaron dos capacitaciones para profesores y estudiantes de biología y miembros de institutos del gobierno y de grupos ambientalistas. La capacitación se llevó a cabo en las cuencas de los ríos Choluteca y Cangrejal con el objetivo de generar capacidad local para la realización de estudios de macroinvertebrados acuáticos (USAID/MIRA 2005). Sin embargo, el uso de los macroinvertebrados en la determinación de la calidad del agua no trascendió.

El uso de los macroinvertebrados en la determinación de la calidad del agua en Honduras ha sido también desarrollado como tema de proyectos especiales de graduación o en tesis en diferentes instituciones tales como la Escuela Agrícola Panamericana (EAP), la Universidad Nacional de Honduras (UNAH), la Universidad de Costa Rica (UCR) y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), (*e.g.* García 2003, Vega 2004, Arcos 2005, Álvarez y Pérez 2007, López 2008, Chen y Morales 2010). Estos estudios han sido realizados en diferentes partes del país tales como la microcuenca del río Sesesmiles en el departamento de Copán (Arcos 2005) y en la subcuenca del río Yeguare (Vega 2004, Álvarez y Pérez 2007). Adicionalmente, para este último río se realizó el análisis y la valoración de varios índices bióticos mediante la utilización de los macroinvertebrados acuáticos (López 2008).

El Centro Zamorano de Biodiversidad impulsó la incorporación del uso de los macroinvertebrados como bioindicadores en proyectos de investigación, tesis y estudios de evaluación ambiental. De 2010 a 2012 se trabajó en conjunto con el proyecto ECOSISTEMAS del Instituto de Conservación Forestal (ICF) en varias iniciativas que incluyó el diseño y la socialización de un protocolo para el monitoreo de la calidad del agua mediante bioindicadores, específicamente los macroinvertebrados acuáticos (ICF 2011). Lo anterior, constituye un gran avance debido a que, aunque el proyecto era local, el protocolo es una herramienta oficial del gobierno hondureño.

Algunos estudios recientes de la OW en el Parque Nacional Cusuco (figura 1) han resultado en la evaluación de diferentes índices para determinar la calidad del agua mediante el uso de los macroinvertebrados acuáticos. Por ejemplo O'Callaghan y Kelly-Quinn (2013) determinaron que el índice ASPT Costa Rica fue el que tuvo menor variación. Estos autores sugieren el uso de los índices existentes con los ajustes necesarios para adaptarlos a las situaciones particulares del país.

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

Debido a la situación socioeconómica, la población de Honduras es de condiciones de pobreza crítica y por tanto tiene serias limitaciones para el acceso a los servicios de agua y saneamiento (Ardón 2005). El país cuenta con su legislación respecto a la regulación de la calidad del agua para uso potable la cual se ejerce por medio de la Secretaría de Salud, mientras que la pres-

tación del servicio se lleva a cabo a través del Servicio Autónomo de Acueductos y Alcantarillados (SANAA). No obstante, desde hace ya varios años se han formado las juntas municipales de agua, que asumen de forma descentralizada la prestación del servicio de suministro para algunas cabeceras municipales. En las últimas décadas, la prestación del servicio de suministro del agua a nivel de poblados, aldeas y caseríos viene siendo asumida bajo la responsabilidad de las juntas comunitarias de agua (Ardón 2005). En la década de 1990 se dio la promulgación y la reglamentación de una serie de leyes sobre los recursos naturales y el ambiente, que vinieron a modernizar parcialmente la gestión del agua y los recursos del entorno. Sin embargo, este proceso se vio estancado por varios años (Ardón 2005).

La Ley General de Aguas establece los principios y las regulaciones aplicables al manejo, la protección, la conservación y el aprovechamiento de los recursos hídricos. En el marco general de esta ley se contempla la protección de los ecosistemas acuáticos y su biodiversidad (La Gaceta 2009). Actualmente, se está trabajando en el Reglamento Nacional de Descarga y Reutilización de Aguas Residuales, cuyo objetivo se basa en la protección y restauración de la calidad de las aguas naturales y los cuerpos receptores, mediante la regulación de las descargas de aguas residuales y demás contaminantes capaces de alterarlas. Además, existe la Norma Técnica Nacional para Regular los usos de los Cuerpos Naturales de Agua. En esta última norma se contempla el uso, la cantidad y calidad básica del agua que mantiene la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres, sin causar alteraciones sensibles en ellos (Secretaría de Salud 2010).

La calidad del agua en Honduras se evalúa a través de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos. Por otro lado, en lo referente a la protección de las cuencas hidrográficas según lo dispuesto en los Artículos 103, 106 y 354, párrafo segundo de la Constitución de la República y las disposiciones aplicables de la Ley Marco del Sector Agua y Saneamiento, se deben delimitar aquellas cuencas abastecedoras de agua a las comunidades. Adicionalmente, la Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (Decreto No. 156-2007) en su Capítulo IV contempla la protección, el manejo, la conservación y la recuperación de las cuencas hidrográficas con énfasis en su conservación (La Gaceta 2008). No existe ninguna ley donde se considere el empleo de los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua (ICF 2011). Esto es posible de lograr ya que en Costa Rica, un país de la misma región, el uso de los macroinvertebrados acuáticos debe hacerse por ley (MINAE-S 2007).

7.6. Perspectivas futuras

De acuerdo a lo mostrado y discutido en este capítulo, existen múltiples vacíos en todo lo referente a los macroinvertebrados acuáticos y su utilización en Honduras. Las perspectivas de los trabajos y la investigación futura en el campo de los macroinvertebrados se deben orientar en varias direcciones.

Una línea prioritaria de investigación es la caracterización de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos de los diferentes ecosistemas, las ecorregiones o tan específico como sea posible (áreas protegidas, cuencas

prioritarias o cualquier otro criterio). Para esto es fundamental avanzar en el conocimiento taxonómico de los macroinvertebrados por medio de recolectas, capacitaciones y colecciones formales en los museos adecuados. Se deben levantar listados de las especies de los macroinvertebrados que existen en Honduras para contribuir al conocimiento de la biodiversidad del país y ayudar así a cumplir con los acuerdos incluidos tanto en el Convenio sobre Diversidad Biológica como en otros tratados internacionales.

Una segunda línea clave acerca del conocimiento de los macroinvertebrados de los ambientes dulceacuícolas de Honduras es la investigación sobre la ecología de los diferentes componentes de estos grupos de animales. El conocimiento de la ecología y la biodiversidad misma de los ecosistemas dulceacuícolas todavía está en sus fases iniciales. Debido a la riqueza potencial de los macroinvertebrados y la gran riqueza comprobada de los ambientes de agua dulce en el país, las perspectivas de estudio son inmensas. Sin duda el conocimiento que se genere contribuirá enormemente a la conservación de los sistemas dulceacuícolas y del agua en sí como un bien ecosistémico primordial para la población humana del país. Otro tema de estudio y no de menor importancia es la caracterización de los ecosistemas asociados a los ambientes acuáticos, ya que estos influyen directamente en los procesos ecológicos y las comunidades bentónicas.

El avance de este campo de la ciencia tendrá mejor futuro si se logra la cooperación interinstitucional de las diferentes instancias involucradas. Estas incluyen principalmente a las universidades, los centros de investigación y las diversas instancias del gobierno. Esto es necesario para estimular un desarrollo más amplio de la investigación y el estudio en el campo de los macroinvertebrados acuáticos. Adicionalmente, la cooperación interinstitucional podría aportar los recursos humanos necesarios y fomentar la consecución de los fondos económicos ante este nuevo escenario. La infraestructura y el equipo ya existente para la investigación se harían disponibles para trabajar como equipo en las diferentes instituciones.

7.7. Conclusiones

En Honduras la investigación con los macroinvertebrados acuáticos no es reciente, pero aparentemente no ha sido un tema prioritario en ninguna agenda de investigación. La información generada no se ha publicado o se ha hecho solo como literatura gris o se ha publicado en medios de poca accesibilidad en el país. La riqueza de los ecosistemas sugiere una alta diversidad de los macroinvertebrados acuáticos y un campo muy fértil de investigación científica. No obstante, se necesita una capacitación acorde pues el conocimiento de la taxonomía de este grupo es prácticamente nulo en el país.

El estado del conocimiento de los macroinvertebrados en Honduras ha progresado desde el 2006 con el apoyo institucional, particularmente el ICF que ha impulsado los estudios de investigación en tesis, proyectos y consultorías. El apoyo del proyecto ECOSISTEMAS/ICF fue fundamental para realizar algunos estudios, pero sobre todo para involucrar al estado de Honduras y lograr que se cuente con un protocolo de monitoreo de reconocimiento y aplicación oficial por parte del gobierno hondureño.

Es claro que aún queda mucho por hacer no solo en términos de investigación si no en términos de la coordinación y del apoyo interinstitucional. La coordinación institucional es imprescindible para fortalecer, enriquecer y ampliar la investigación para el conocimiento de la biodiversidad de los macroinvertebrados en Honduras. Además, esta información es necesaria para la aplicación de los métodos de biomonitoreo de la calidad del agua. El empleo de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua es una opción muy prometedora en el país. El trabajo interinstitucional en conjunto es necesario para dar a conocer que el uso de macroinvertebrados acuáticos constituye una herramienta ideal para la caracterización biológica e integral de la calidad de agua.

7.8. Agradecimientos

Agradecemos a los estudiantes del Departamento de Ambiente y Desarrollo de la Escuela Agrícola Panamericana (Zamorano) que colaboraron con nosotros en los diversos estudios de macroinvertebrados acuáticos, sus contribuciones están incluidas en la bibliografía de este capítulo. De igual manera agradecemos al Centro Zamorano de Biodiversidad (CZB) por el apoyo y por proveernos del equipo para nuestros estudios. Un agradecimiento especial a Nelson Ulloa, director del proyecto ECOSISTEMAS por todo su apoyo económico, logístico y moral para el trabajo con macroinvertebrados acuáticos así como por impulsar el desarrollo del protocolo de la calidad del agua basado en macroinvertebrados y el trabajo con la calidad del agua en general. El apoyo financiero de ECOSISTEMAS y del CZB nos permitió presentar nuestras experiencias en diferentes foros. De manera similar agradecemos a José Antonio Galdámez, viceministro del ICF y actual ministro de la Secretaría de Recursos Naturales, Ambiente y Minas (MiAmbiente) por su apoyo desinteresado al trabajo con los macroinvertebrados en Honduras. Agradecemos profundamente el apoyo y la amistad de todos los colegas de la Red MADMESO por su apoyo en múltiples aspectos. En este sentido agradecemos a la Red por impulsar la realización de este capítulo y del libro en general y facilitar la participación como país en la Reunión de Macroinvertebrados Dulceacuícolas en Mesoamérica desarrollado en la Universidad de Costa Rica, Costa Rica en 2011 (segunda reunión anual) y en la Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México en 2012 (tercera reunión anual). Un agradecimiento muy especial a Perla Alonso y a Monika Springer... ¡por todo!

7.9. Literatura citada

Adler, P.H. y Crosskey, R.W. 2012. World blackflies (Diptera: Simuliidae): a comprehensive revision of the taxonomic and geographical inventory. 119 p. Disponible en: http://www.clemson.edu/cafls/departments/esps/biomia/pdfs/blackflyinventory.pdf. (Obtenido el 20 de enero de 2013).

Alencar, J., Serra-Friere, N.M., Brisola, C., Santos, J., Fagundes, F. y Guimaraes, A.E. 2010. Influence of climatic factors on the population dynamics of *Haemagogus janthinomys* (Diptera: Culicidae), a vector of sylvatic yellow fever. *Entomological News* 121(1): 42-52.

Alvarado, Z.K. y Barreno, H.V. 2010. Composición de macroinvertebrados acuáticos en bromelias de un bosque de altura, El Paraíso, Honduras. Tesis de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.

Álvarez, F., Iliffe, T.M. y Villalobos, J.L. 2005. New species of the genus *Typhlatya* (Decapoda: Atyidae) from Anchialine Caves in Mexico, The Bahamas, and Honduras. *Journal of Crustacean Biology* 25(1): 81-94.

Álvarez, S. y Pérez, L. 2007. *Evaluación de la calidad de agua mediante la utilización de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del Yeguare, Honduras.* Tesis de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.

Arce-Pérez, R. y Morón, M.A. 2010. Lista anotada y clave para los géneros de la familia Limnichidae (Coleoptera: Byrrhoidea) de México. *Dugesiana* 17(1): 1-8.

Arcos, I. 2005. Efecto del ancho de banda de los ecosistemas riparios en la conservación de la calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca del Río Sesesmiles, Copán, Honduras. Tesis de Magister Scientiae en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas, CATIE, Costa Rica.

Arcos, I., Jiménez, J., Harvey, C., Campos, J.J., Casanoves, F. y León, J.A. 2005. Efecto del ancho del bosque ribereño en la calidad del agua en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras. Uso de comunidades de macroinvertebrados bentónicos como organismos indicadores. *Recursos Naturales y Ambiente* 48: 29-34.

Ardón, M. 2005. El agua como derecho humano y efectos de la privatización en Honduras. Brot für die welt. Managua, Nicaragua.

Astorga, Y. 1995. Desarrollo de un índice biológico de contaminación acuático para Centroamérica. Informe Proyecto de Investigación Florica N-2. CICA, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Balke, M., Roughley, R., Sondermann, W. y Spangler, P. 2002. Diving beetles of the genus *Rhantus* in Costa Rica: taxonomy and biogeography, with notes on South American species (Coleoptera: Dytiscidae). *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 37(3): 263-271.

Ball, I.R. 1971. Systematic and biogeographical relationships of some *Dugesia* species (Trichladida, Paludicola) from Central and South America.*American Museum of Natural History Novitates* 2472: 1-25.

Barber-James, H.M., Gattolliat, J.L., Sartori, M. y Hubbard, M.D. 2008.Global diversity of mayflies (Ephemeroptera, Insecta) in freshwater.*Hydrobiologia* 595: 339-350.

Barinas, M. 2008. Caracterización de las comunidades de macro invertebrados acuáticos de la microcuenca El Carrizal, Parque Nacional La Tigra, Honduras. Tesis de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.

Baron, J.S., Poff, N.L., Angermeier, P.L., Dahm, C.N., Gleick, P.H., Hairston, N.G., Jackson, R.B., Johnston, C.A., Richter, B.D. y Steinman, A.D. 2003. Sustaining Healthy freshwater Ecosystems. *Issues in Ecology* 10: 1-18.

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.

Bass, D. 1993. A preliminary survey of stream invertebrates from Guanaja Island, Bay Islands, Honduras. *Brenesia* 39-40: 175-178.

Bass, D. 2003. A comparison of freshwater macroinvertebrate communities on small Caribbean Islands.*BioScience* 53(11): 1094-1100.

Baumann, R.W. 1982. Plecoptera. Pp. 278-279. En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa,A. (Eds.).Aquatic Biota of Mexico, Central America and the West Indies.San Diego State University, San Diego, California, USA.

Baumgardner, D.E. y Ávila, S. 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.

Baumgardner, D.E. y McCafferty, W.P. 2000.*Leptohyphes zalope* (Ephemeroptera: Leptohyphidae): a polytypic North and Central American species. *Entomological News* 111(1): 49-59.

Belle, J. 1989. A revision of the New World genus *Neuraeschna* Hagen, 1867 (Odonata: Aeshnidae). *Tijdschrift voor entomologie 133: 27-30.*

Beltrán-Aguilar, A., Ibánez-Bernal, S., Mendoza-Palmero, F., Sandoval-Ruiz, C.A. y Hernádez-Xoliot, R.A. 2011. Taxonomía y distribución de los anofelinos en el Estado de Veracruz, México (Diptera: Culicidae, Anophelinae). *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 27(3): 601-755.

Benetti, C.J., Régil, J.A. y Garrido, J. 2003. Estudio faunístico de *Hydradephaga* (Coleoptera: Dytiscidae, Gyrinidae, Haliplidae, Noteridae) en el Municipio de Gramado, sur de Brasil. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*32: 37-44.

Blahnik, R.J. y Holzenthal, R.W. 2006. Revision of the genus *Culoptila* (Trichoptera: Glossosomatidae). *Zootaxa* 1233: 1-52.

Blahnik, R.J. y Holzenthal, R.W. 2008. Revision of the Mexican and Central American species of *Mortoniella* (Trichoptera: Glossosomatidae: Protoptilinae). *Zootaxa* 1711: 1-72.

Borjas, G. 1984. Macroinvertebrados como indicadores biológicos de contaminación en el Río Chiquito, Tegucigalpa, Honduras. Monografía, UNAH, Honduras.

Brady, D. 2006. The diversity of epiphytic bromeliads along altitudinal and topographic gradients. Pp. 33. En: Field report: University of Nottingham / Operation Wallacea forest projects, Honduras.

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.

Brusca, R.C. y Brusca, G.J. 1990. Invertebrates. Sinauer Associates, Sunderland, Massachussets, USA.

Bucher, E., Castro, G. y Floris, V. 1997. Conservación de ecosistemas de agua dulce: hacia una estrategia de manejo integrado de recursos hídricos. BID/WWF, Washington D.C., USA.

Bueno, J. y Santiago, S. 1982. Trichoptera. Pp. 398-400.En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.). Aquatic Biota of Mexico, Central America and the West Indies.San Diego State University, San Diego, California, USA.

Bueno-Soria, J. 1983. Estudios en insectos acuáticos. II. Revisión para México y Centro América del género *Hydroptila* Dalman, 1818 Trichoptera: Hydroptilidae. *Folia Entomológica Mexicana* 59: 79-138.

Bueno-Soria, J. 2009. A review of the genus *Ochrotrichia* Mosely (Trichoptera: Hydroptilidae) from Mexico and Central America. *Transactions of the American Entomological Society* 135(1-2): 59-160.

Bueno-Soria, J. 2010.Some new Trichoptera (Glossosomatidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae and Polycentropodidae) from Mexico. *Proceedings of the Entomological Society of Washington* 112(1): 22-31.

Caballero, G. 1982. Nematoda. Pp. 101-120. En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.).Aquatic Biota of Mexico, Central America and the West Indies.San Diego State University, San Diego, California, USA.

Caesar, R.M. y Wenzel, J.W. 2009. A phylogenetic test of classical species groups in *Argia* (Odonata: Coenagrionidae). *Entomologica Americana* 115(2): 97-108.

Campos, M.R. 2003. A review of the freshwater crabs of the genus *Hypolobocera* Ortmann, 1897 (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Pseudothelphusidae), from Colombia. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 116(3): 754-802.

Campos, M.R. y Lemaitre, R. 2002. A new species of freshwater crab of the genus *Potamocarcinus* H. Milne Edwards, 1853 (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Pseudothelphusidae) from Panama. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 115(3): 600-604.

Chamberlain, G. 2004. An initial assessment of Hydrachnidia of the El Paraiso Valley and Cusuco National Park. Pp. 86-90. En: Final report: University of Nottingham / Operation Wallacea forest projects, Honduras.

Chamberlain, G. 2005. Benthic invertebrate survey of Cusuco National Park, Honduras. Pp. 143-146. En: Final report: University of Nottingham / Operation Wallacea forest projects, Honduras.

Chamorro, M.L. y Holzenthal, R.W. 2010. Taxonomy and phylogeny of New World *Polyplectropus* Ulmer, 1905 (Trichoptera: Psychomyioidea: Polycentropodidae) with the description of 39 new species. *Zootaxa* 2582: 1-252.

Chaverri, G. 2005. Lista de especies de zancudos (Diptera: Culicidae) presentes en México, Centroamérica y Panamá: Honduras. Disponible en: http://www.inbio.ac.cr/papers/lista_culicidae_mexico_centroamerica_panama/especies_honduras.html. (Obtenido el 15 de noviembre de 2012).

Chen, E. y Morales, E. 2010. Evaluación de la calidad del agua y el efecto de la técnica de colecta de macro-invertebrados acuáticos, en el "Corredor Biológico de Uso Múltiple Texiguat", El Paraíso, Honduras. Tesis de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras.

Cohuo-Durán, S., Pérez, L. y Karanovic, I. 2014. On Limnocytherina axalapasco, a new freshwater ostracod (Podocopida: Limnocytheridae) from Mexican crater lakes. *Revista Biología Tropical* 62(1): 15-32.

Contreras-Ramos, A. 2000. Megaloptera (Insecta: Neuropterida) de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología, Informe Final SNIB-CONABIO proyecto No. K022, México, D.F.

Contreras-Ramos, A. 2011. Phylogenetic review of dobsonflies of the subfamily Corydalinae and the genus *Corydalus* Latreille (Megaloptera: Corydalidae). *Zootaxa* 2862: 1-38.

Cook, D.R. 1982. Acari.Pp. 473-476.En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa,A. (Eds.).Aquatic Biota of Mexico, Central America and the West Indies. San Diego State University, San Diego, California, USA.

Correa, I. 2000. Desarrollo de un índice biótico para evaluar la calidad ecológica del agua en los ríos de la cuenca alta del Río Chama utilizando macroinvertebrados bénticos. Tesis de Licenciado en Biología, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Venezuela.

Coscorán, S., Coscorán, C.L. y Papavero, N. 2008. Catalogue of neotropical Diptera. Simuliidae. *Neotropical Diptera* 2: 1-90.

Costa, C., Ide, S. y Simonka, C.E. 2006. Megaloptera. Pp. 87-92.En: Costa, C., Ide, S. y Simonka C.E. (Eds.). Insectos inmaduros. Metamorfosis e identificación. Monografías 3er Milenio. Vol. 5. S.E.A., CYTED & RIBES, Zaragoza, España.

Cruz, M.E. 1987. Análisis de macroinvertebrados bénticos en el Río Choluteca y dos de sus principales afluentes. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Honduras.

Cumberlidge, N., Ng, P.K.L., Yeo, D.C.J., Magalhães, C., Campos, M.R., Alvarez, F., Naruse, T., Daniels, S.R., Esser, L.J., Attipoe, F.Y.K., Clotilde-Ba, F.L., Darwall, W., McIvor, A., Baillie, J.E.M., Collen, B. y. Ram, M. 2009. Freshwater crabs and the biodiversity crisis: Importance, threats, status, and conservation challenges. *Biological Conservation* 142(8): 1665-1673.

Davis, J.R. 1986. Distributional records of Naucoridae (Hemiptera) from the United States and Mexico, with morphological and taxonomic notes. *The Southwestern Naturalist* 31(4): 535-539.

Deharveng, L., D'Haese, C.A. y Bedos, A. 2008. Global diversity of springtails (Collembola; Hexapoda) in freshwater.*Hydrobiologia* 595:329-338.

Di Sabatino, A., Smit, H., Gerecke, R., Goldshmidt, T., Matsumoto, N. y Cicolani, B. 2008. Global diversity of water mites (Acari: Hydrachnidia: Arachnida) in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 303-315.

DIBIO (Dirección General de Biodiversidad, Secretaría de Energía, Recursos Naturales, Ambiente y Minas). 2001. Estrategia Nacional de Biodiversidad y Plan de Acción. Multiprint S. de R.L. de C.V., Honduras. 70 p.

Domínguez, E. y Fernández, H.R. 2009. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: sistemática y biología. Tucumán: Fund. Miguel Lillo. Argentina.

Domínguez, E., Molineri, C. y Peters, W.L. 1996. Ephemeroptera from Central and South America: new species of the *Farrodes bimaculatus* group with a key for the males. *Fauna and Environment* 31(2): 87-101.

Donnelly, T.W. 1989. A new species of *Philogenia* from Honduras (Odonata: Megapodagrionidae). *The Florida Entomologist* 72(3): 425-428.

Drake, C.J. y Harris, H.M. 1932. An undescribed water-strider from Honduras (Hemiptera, Gerridae). *Pan-Pacific Entomologist* 8(4): 157-158.

Dumas, L.L., Jardim, G.A., Santos, A.P.M. y Nessimian, J.L. 2009. Tricópteros (Insecta: Trichoptera) do Estado do Rio de Janeiro: lista de espécies e novos registros. *Arquivos do Museu Nacional, Rio de Janeiro* 67(3-4): 355-376.

Dumas, L.L. y Nessimian, J.L. 2012. Faunistic catalog of the caddisflies (Insecta: Trichoptera) of Parque Nacional do Itatiaia and its surroundings in Southeastern Brazil. *Journal of Insect Science* 12(25): 1-40.

Dunkle, S.W. 1988. A list of the Odonata of Honduras. *Ceiba* 29(1): 41-49.

Dunkle, S.W. 1991. Additional Odonata records from Honduras. *Notulae Odonatologicae* 3: 132-133.

Edmunds, G.F. Jr. 1982. Ephemeroptera. Pp. 242-248. En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa,A. (Eds.). Aquatic Biota of Mexico, Central America and the West Indies.San Diego State University, San Diego, California, USA.

Ellenrieder, V.N. 2003.A Synopsis of the Neotropical species of '*Aeshna*' Fabricius: the genus *Rhionaeschna Förster (Odonata: Aeshnidae). Tijdschrift Voor Entomologie* 146(1): 67-207.

Ellenrieder, V.N. y Garrison, R.W. 2007. Untangling some taxonomic riddles on damselfly genera (Zygoptera) from the Neotropical region. IDF-Report 11: 1-34.

ENEE/CZB. 2011. Diagnóstico para la identificación, protección y conservación de la biodiversidad de la zona forestal protegida del Embalse El Cajón. Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE), Honduras.

Esquivel, C. 2006. Libélulas de Mesoamérica y el Caribe. Editorial INBio, Santo Domingo de Heredia, Costa Rica.

Estévez, A.L. y Polhemus, J.T. 2007. The small species of *Belostoma* (Heteroptera: Belostomatidae): revision of the*plebejum* group. *Revista de Biología Tropical* 55(1): 147-155.

Fairchild, G.B. 1982. Tabanidae.Pp. 452-460.En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.). Aquatic Biota of Mexico, Central America and the West Indies.San Diego State University, San Diego, California, USA.

Fenoglio, S. 2005. Macroinvertebrati bentonici e monitoraggio biologico nel Neotropico: un esperienza in Honduras. Atti del XV congresso S.It.E., Torino.

Fenoglio, S., Badino, G. y Bona, F. 2002. Benthic macroinvertebrate communities as indicators of river environment quality: an experience in Nicaragua. *Revista de Biología Tropical* 50 (3-4): 1125-1131.

Fenoglio, S., Bo, T., Czekaj, A. y Rosciszewska, E.2008. Feeding habits, fine structure and microhabitat preference of *Euthyplocia hecuba* (Hagen, 1861) (Ephemeroptera: Euthyplociidae) nymphs from Honduras. *Folia Biologica (Kraków)* 56(1-2): 43-49.

Fernández, L.A., Torres, P.L.M., Michat, M.C., Fischer, S., Oliva, A. y Bachmann, A.O. 2010. Coleópteros acuáticos y semiacuáticos del Parque Provincial Ernesto Tornquist (Provincia de Buenos Aires, Argentina). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina* 69(3-4): 189-199.

Field, R. y Long, P. 2007. Cusuco National Park, Honduras. Ecology of a Meso-American cloud forest. Field Report, University of Nottingham, Operation Wallacea, Honduras.

Flint, O.S. Jr. 1998. Studies of Neotropical Caddisflies, LIII: A Taxonomic Revision of the Subgenus

Curgia of the Genus *Chimarra* (Trichoptera: Philopotamidae). *Smithsonian Contributions to Zoology*, Washington D.C., USA, Nº 594.

Flint, O.S. Jr. 1991. Studies of Neotropical caddisflies, XLV: the taxonomy, phenology, and faunistics of the Trichoptera of Antioquia, Colombia. *Smithsonian Contributions to Zoology*, Washington D.C., USA, Nº 520.

Flint, O.S. Jr. 2002. List of the name-bearing Neuropterida types in the collection of the National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, USA. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 48(2): 89-98.

Flint, O.S. Jr. 2012.New species, records, and a synonymy of African Sisyridae (Neuroptera). *Insecta Mundi* 0223: 1-6.

Flint, O.S. Jr. y Englund, R.A. 2003. A reassessment and new state records of Trichoptera occurring in Hawai'i with discussion on origins and potential ecological impacts. *Museum Occasional Papers* 73: 31-40.

Flint, O.S. Jr., McAlpine, J.F. y Ross, H.H. 1987. A Revision of the Genus *Leptonema* Guerin (Trichoptera: Hydropsychidae: Macronematinae). *Smithsonian Contributions to Zoology*, Washington D.C., USA, Nº 450.

Flowers, R.W. 1987. The adult stage of three Central American Baetodes (Ephemeroptera: Baetidae) with notes on the genus. *Aquatic Insects* 9(1): 1-10.

Flowers, R.W. y Domínguez, E. 1992. New genus of Leptophlebiidae (Ephemeroptera) from Central and South America. *Annals of the Entomological Society of America* 85(6): 655-661.

Fochetti, R. y Tierno, J.M. 2008. Global diversity of stoneflies (Plecoptera: Insecta) in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 365–377.

Freidberg, A. Knutson, L. y Abercrombie, J. 1991. A Revision of *Sepedonea*, a Neotropical genus of snail-killing Flies (Diptera: Sciomyzidae). *Smithsonian Contributions to Zoology*, Washington D.C., USA, Nº 506.

Froehlich, C.G. 2010. Catalogue of neotropical Plecoptera. [Versión electrónica], *Illiesia* 6(12): 118-205. Disponible en: http://www2.pms-lj.si/illiesia/Illiesia06-12.pdf. (Obtenido el 22 de febrero de 2013).

García, L. 2003. Indicadores técnicos y evaluación de la influencia del uso de la tierra en la calidad del agua, Subcuenca del Río Tascalapa, Yoro, Honduras. Tesis de Maestria, CATIE, Costa Rica.

Garrison, R.W. y Ellenrieder, N.V. 2010. Redefinition of *Leptobasis* Selys with the synonymy of *Chrysobasis Rácenis and description of L. mauffrayi* sp. nov. from Peru (Odonata: Coenagrionidae). *Zootaxa* 2438: 1-36.

Garrison, R.W., Ellenrieder, N.V. y O'Brien, M.F. 2003. An annotated list of the name-bearing types of species-group names in Odonata preserved in the University of Michigan Museum of Zoology. *Occasional Papers of the Museum of Zoology University of Michigan* 736: 1-16.

Garsden, J. 2004. Does bromeliad size affect the abundance and diversity of the macroinvertebrate communities living within it? Pp. 84-85 En: Final report: University of Nottingham / Operation Wallacea forest projects, Honduras.

González-Soriano, E. 2010. A synopsis of the genus *Amphipteryx* Selys 1853 (Odonata: Amphipterygidae). *Zootaxa* 2531: 15-28.

Gutiérrez-Fonseca, P.E. y Springer, M. 2011.Description of the final instar nymphs of seven species from *Anacroneuria* Klapálek (Plecoptera: Perlidae) in Costa Rica, and first record for an additional genus in Central America. *Zootaxa* 2965: 16-38.

Harbach, R.E. y Petersen, J.L. 1992. Two species previously confused under the concept of *Sabethes tarsopus* in Central America (Diptera: Culicidae). *Mosquito Sytematics* 24(2): 102-124.

Harman, W.J. 1982a. Oligochaeta. Pp. 162-165. En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A.(Eds.). Aquatic Biota of Mexico, Central America and the West Indies. San Diego State University, San Diego, California, USA.

Harman, W.J. 1982b. The aquatic Oligochaeta (Aeolosomatidae, Opistocystidae, Naididae) of Central America. *Southwestern Naturalist* 27(3): 287-298.

Harris, S.C. y Holzenthal, R.W. 1999. Hydroptilidae (Trichoptera) of Costa Rica: The genus *Hydroptila* Dalman. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 34(1):16-51.

Harris, S.C., Flint, O.S. Jr. y Holzenthal, R.W. 2002a. Review of the Neotropical genus *Flintiella* (Trichoptera: Hydroptilidae: Stactobiini). *Journal of the New York Entomological Society* 110(1): 65-90.

Harris, S.C., Flint, O.S. Jr. y Holzenthal, R.W. 2002b. Two new genera of Hydroptilidae from the Neotropics (Trichoptera: Hydroptilidae: Stactobiini). *Journal of the New York Entomological Society* 110(1): 49-64.

Hebsgaard, M.B., Andersen, N.M. y Damgaard, J. 2004. Phylogeny of the true water bugs (Nepomorpha: Hemiptera–Heteroptera) based on 16S and 28S rDNA and morphology. *Systematic Entomology* 29(4): 488-508.

Hedstrom, I. y Sahlén, G. 2001.A key to the adult Costa Rican "helicopter" damselflies (Odonata: Pseudostigmatidae) with notes on their phenology and life zone preferences. *Revista Biología Tropical* 49(3-4): 1037-1056.

Herrera, K., Bailey, A.C., Callisto, M. y Ordoñéz, J. 2000. Los hábitats acuáticos del parque nacional Laguna del Tigre, Petén, Guatemala: calidad del agua, poblaciones de fitoplancton e insectos asociados con la planta Salvinia auriculata. *Boletín Rap de Evaluación Biológica* 16: 118-127.

Herrera, F. 2013. Estado del conocimiento y catálogo de la familia Naucoridae (Insecta: Heteroptera) en Centroamérica. State of the Art and Catalog of the Naucoridae (Insecta: Heteroptera) in Central America. *Dugesiana* 20(2): 221-232.

Hobbs, H.H. y Hart, C.W. Jr. 1982. The shrimp genus *Atya* (Decapoda: Atyidae). *Smithsonian Contributions to Zoology*, Washington D.C., USA, N°364.

Hobbs, H.H. y Lodge, D.M. 2010. Decapoda. Pp. 901-967. En: Thorp, J.H. y Covich, A.P. (Eds.). Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates. Elsevier Inc., San Diego, California, USA.

Holzenthal, R.W. 1988. Systematics of neotropical *Triplectides* (Trichoptera: Leptoceridae). *Annals of the Entomological Society of America* 81(2): 187-208.

Holzenthal, R.W. s.f. Catalog and bibliography of the species of *Nectopsyche* (Trichoptera: Leptoceridae). Department of Entomology, University of Minnesota.

Holzenthal, R.W. y Harris, S.C. 1999. Checklist of the Trichoptera of Brazil.7 p. Disponible en: http://www.entomology.umn.edu/museum/projects/Brazil/checklist.pdf. (Obtenido el 15 de noviembre de 2012).

House, P. 2001. Mapa de Plantas Endemicas de Honduras. En: Memorias de la XIII semana Cientifica. Universisdad Nacional Autonoma de Honduras.

House, P., Cerrato, C. y Vreugdenhil, D. 2002. Racionalización del Sistema Nacional de las Áreas Protegidas de Honduras Volumen II: Biodiversidad de Honduras. PPROBAP/World Bank/UNDP/GEF. World Institute for Conservation and Environment, WICE. Honduras.

Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.). 1982. Aquatic Biota of Mexico, Central America and the West Indies. San Diego State University, San Diego, California, USA.

ICF. 2011. Protocolo de monitoreo de la calidad del agua mediante macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores. Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF), Departamento de Vida Silvestre, Honduras.

ICF/EAP. 2013. Reserva Biológica Uyuca: Plan de Manejo 2013-2018. ICF-Departamento de Áreas Protegidas (DAP)/Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras.

Jäch, M.A. y Balke, M. 2007. Global diversity of water beetles (Coleoptera) in freshwater.*Hydrobiologia* 595: 419-442.

Jocqué, M. 2006. Aquatic invertebrate communities in bromeliads. Pp. 96-99.En: Final report: University of Nottingham / Operation Wallacea forest projects, Honduras.

Jocqué, M., Kernahan, A., Nobes, A., Willians, C. y Field, R. 2010. How effective are non-destructive sampling methods to assess aquatic invertebrate diversity in bromeliads? *Hydrobiologia* 649: 293-300.

Keffer, S.L. 2004. Morphology and evolution of waterscorpion male genitalia (Heteroptera: Nepidae). *Systematic Entomology* 29(2): 142–172.

Kernahan, A. y Nobes, A. 2006. Does non-destructive sampling of bromeliads in Cusuco National Park provide an accurate estimate of their invertebrate communities? Pp. 100-101.En: Final report: University of Nottingham / Operation Wallacea forest projects, Honduras.

Komar, O., Borjas, G., Cruz, G.A., Eisermann, K., Herrera, N., Linares, J.L., Escobar, C.E.y Girón, L.E. 2006. Evaluación ecológica rápida en el área protegida trinacional Montecristo en territorio Guatemalteco y Hondureño. Informe de Consultoría para el Banco Interamericano de Desarrollo, San Salvador: SalvaNATURA Programa de Ciencias para la Conservación.

Kondratieff, B.C. y Reese, J. Jr. 1984. The North and Central American species of *Isonychia* (Ephemeroptera: Oligoneuriidae). *Transactions of the American Entomological Society* 110: 129-244.

La Gaceta. 2008. La Ley Forestal, *Áreas Protegidas y Vida Silvestre. Diario Oficial de la República de Honduras.*

La Gaceta. 2009. Ley General de Aguas. Diario Oficial de la República de Honduras.

Lam, C. 2005. A comparison between the invertebrate communities in two different species of bromeliads: *Vreisea* and *Catopsis*. Pp. 153-156. En: Final report: University of Nottingham / Operation Wallacea forest projects, Honduras.

Landwer, B.H.P. y Sittes, R.W. 2010. The larval Odonata of ponds in the prairie region of Missouri. *Transactions of the American Entomological Society* 136(1-2): 1-105.

LeCraw, R. y Jones, E. 2005. The diversity of invertebrate communities in epiphytic bromeliads in primary and secondary forest types. Pp. 147-152. En: Final report: University of Nottingham / Operation Wallacea forest projects, Honduras.

López, L.I. 2008. Análisis y valoración de varios índices bióticos mediante la utilización de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del Yeguare, Honduras. Tesis de Maestría, Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, Costa Rica.

López, L.I. 2009. Establecimiento de una línea base para especies y áreas claves de biodiversidad en Honduras. Centro Zamorano de Biodiversidad/Conservación Internacional.

López, L.I., Gutiérrez, P. y Mora, J.M. 2010a. Macrofauna acuática de la Quebrada Santa Inés, Subcuenca del Río Yeguare, Honduras. *Ceiba* 51(1): 17-28.

López, R.E., Sermeño, J.M. y Pérez, D. 2010b. Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros de los órdenes Megaloptera y Neuroptera en El Salvador. En: Springer, M. (Ed.). Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES) - Organización de los Estados Americanos (OEA), Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador.

Lugo-Ortiz, C.R. y McCafferty, W.P. 1995a. New species, stage description, and records of *Baetodes* (Ephemeroptera: Baetidae) from Mexico and Central America. *Entomological News* 106(2): 81-86.

Lugo-Ortiz, C.R. y McCafferty, W.P. 1995b. Taxonomy of the North and Central American species of *Camelobaetidius* (Ephemeroptera: Baetidae). *Entomological News* 106(4): 178-192.

Lugo-Ortiz, C.R. y McCafferty, W.P. 1996a. Central American *Tortopus* (Ephemeroptera: Polymitarcyidae): a unique new species and new country records. *Entomological News* 107(1): 23-27.

Lugo-Ortiz, C.R. y McCafferty, W.P. 1996b. New Central American and Mexican records of Ephemeroptera species. *Entomological News* 107(5): 303-310.

Lugo-Ortiz, C.R. y McCafferty, W.P. 1996c. Contribution to the taxonomy of *Callibaetis* (Ephemeroptera, Baetidae) in southwestern North America and Middle America. *Aquatic Insects* 18(1): 1-9.

Machado, J.E. 2001. Inventario y estudio comparativo de la fauna de Odonata en tres áreas de Honduras. Tesis de Licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.

Maes, J.M. y Rivera, P. 1990. Catálogo de los Diptera de Nicaragua. 4. Culicidae (Nematocera). *Revista Nicaragüense de Entomología* 14: 19-39.

Maldonado, A. Jr., Simões, R. y Thiengo, S. 2012. *Angiostrongyliasis* in the Americas. Pp. 303-320. En: Lorenzo-Morales, J. (Ed.). Tech Zoonosis, ISBN: 978-953-51-0479-7. Disponible en: http://www.intechopen.com/books/zoonosis/angiostrongyliasis-in-the-americas. (Obtenido el 12 enero de 2013).

Mariano, R., Flowers, W. y Peters, J. 2010. Description of the imago of *Traverella longifrons* Lugo-Ortiz & McCafferty, 1996 (Ephemeroptera: Leptophlebiidae). *Aquatic Insects: International Journal of Freshwater Entomology* 32(3): 191-194.

Martens, K., Schön, I., Meisch, C. y Horne, D.J. 2008. Global diversity of ostracods (Ostracoda, Crustacea) in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 185–193.

Mathis, W.N. y Marinoni, L. 2011. A review of *Parydra* (Diptera: Ephydridae) from Brazil. *Zoología* 28 (4): 505–512.

Mathis, W.N. y Zatwarnicki, T. 2001. A Phylogenetic Study of the Tribe Dryxini Zatwarnicki (Diptera: Ephydridae). *Smithsonian Contributions to Zoology*, Washington D.C., USA, N° 617.

McCafferty, W.P. y Lugo-Ortiz, C.R. 1996. Los efemerópteros (Ephemeroptera) de América Central. *Revista Nicaragüense de Entomologia* 35: 19-28.

McCafferty, W.P., Baumgardner, D.E. y Guenther, J.L. 2004.The Ephemeroptera of Central America. Part 1: Guatemala. *Transactions of the American Entomological Society* 130(2-3): 201-219.

Medianero, E. y Samaniego, M. 2004. Comunidad de insectos acuáticos asociados a condiciones de contaminación en el Río Curundú, Panamá. *Folia Entomológica Mexicana* 43(3): 279-294.

Mendes, H.F., Andersen, T. y Jocqué, M. 2011. A new species of *Polypedilum* Kieffer from bromeliads in Parque Nacional Cusuco, Honduras (Chironomidae: Chironominae). *Zootaxa* 3062: 46-54.

Mey, W. y Speidel, W. 2008. Global diversity of butterflies (Lepidotera) in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 521-528.

Miller, J.Y., Matthews, D.L., Warren, A.D., Solis, M.A., Harvey, D.J., Gentili-Poole, P., Lehman, R., Emmel, T.C. y Covell, C.V. 2012. An annotated list of the Lepidoptera of Honduras. Insecta Mundi. Paper 725.

MINAE-S. 2007. Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales. Decreto, No. 33903, La Gaceta No. 178. San José, Costa Rica.

Monserrat, V.T. 2005. Nuevos datos sobre algunas pequeñas familias de neurópteros (Insecta: Neuroptera: Nevrorthidae, Osmylidae, Sisyridae, Dilaridae). *Heteropterus Revista de Entomología* 5: 1-26.

Moor, F.C. y Ivanov, V.D. 2008. Global diversity of caddisflies (Trichoptera: Insecta) in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 393-407.

Mora, J.M., López, L.I. y Gutiérrez, P. 2008. Las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en bosques de pino-encino alterados y no alterados del Valle del Yeguare, Honduras. XII Congreso de la Sociedad Mesoamericana para la Biología de la Conservación. San Salvador, El Salvador. *Mesoamericana* 12(3): 134-135.

Mora, J.M., Polisar, J., Portillo, H. y Castañeda, F.E. 2014. Estado de conservación del jaguar (*Panthera onca*) en Honduras. En: Medellín, R., Chávez, C., de la Torre, A., Zarza, H. y Ceballos, G. (Eds.). El Jaguar en el Siglo XXI: La Perspectiva Continental. Fondo de Cultura Económica, México, México. En prensa.

Moravec, F. 2001. Some helminth parasites from Morelet's crocodile, *Crocodylus moreletii*, from Yucatan, Mexico. *Folia Parasitologica* 48: 47-62.

Moreira, F.F.F. y Ribeiro, J.R.I. 2009. Two new *Rhagovelia* (Heteroptera: Veliidae) and new records for twelve species in southeastern Brazil. *Aquatic Insects: International Journal of Freshwater Entomology* 31(1): 45-61.

Moreira, F.F.F., Ribeiro, J.R.I. y Nessimian, J.L. 2008. A synopsis of the species of *Mesovelia* (Insecta: Heteroptera: Mesoveliidae) occurring in the floodplain of the Amazon River, Brazil, with re-descriptions of *Mesovelia mulsanti* White and *M. zeteki* Harris & Drake. *Acta Amazonica* 38(3): 539-550.

Moreira, F.F.F., Nessimian, J.L., Rúdio, J.R. y Salles, F.F. 2012. New species and new records of Veliidae from Espírito Santo State and adjacent Minas Gerais State, Brazil, with notes on nomenclature (Insecta: Heteroptera: Gerromorpha). *Journal of Natural History* 44(45-46): 2761-2801.

Moreira, F.F.F., Ribeiro, J.R.I., Nessimian, J.L., Itoyama, M.M., Castanhole, M.M.U. y Pereira, L.L.V. 2011. New records and distribution expansions for neotropical water-striders (Insecta: Heteroptera: Gerromorpha). *Check List* 7(3): 303-309.

Morrone, J.J. y O'Brien, C.W. 1999. The aquatic and semiaquatic weevils (Coleoptera: Curculionoidea: Curculionidae, Dryophthoridae and Erirhinidae) of Argentina, with indication of their host plants. *Physis* 57(132-133): 25-37.

Morse, J.C. (ed.). 2014. Trichoptera World Checklist. Disponible en: http://entweb.clemson.edu/database/trichopt/index.htm. (Obtenido el 5 de octubre de 2014).

Morse, J.C., Barnard, P.C., Holzenthal, R.W., Huisman, J., Ivanov, V.D., de Moor, F.C., Tanida, K., Wells, A. y Wichard, W. 2011. Insecta-Trichoptera checklist. 893 p. Disponible en: http://fada.biodiversity.be/group/show/39. (Obtenido el 15 de noviembre de 2012).

Mostacedo, S.J. 2008. Caracterización del estado actual de los humedales de importancia internacional de Honduras. Tesis de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.

Müller, H.G. 1993. World catalogue of the Anthuridean isopods. Wissenschaftlicher Verlag, Laboratory for Tropical Ecosystems, Alemania.

Nielsen, W.P. 2011. Composición de macroinvertebrados acuáticos en bromelias (*Catopsis* spp.) de la Reserva Biológica Uyuca, Honduras. Tesis de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.

Nilsson, A.N. 2011.A world catalogue of the family Noteridae, or the burrowing water beetles (Coleoptera, Adephaga), Version 16.VIII.2011.University of Umeå, Suiza.

Nogueira, D.S. y Cabette, H.S.R. 2011. Novos registros e notas sobre distribuição geográfica de Trichoptera Kirby, 1813 (Insecta) do estado de Mato Grosso, Brasil. *Biota Neotropical* 11(2): 347-355.

Novell, W.R. 1982. Dixidae. Pp. 429-432. En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.). Aquatic Biota of Mexico, Central America and the West Indies. San Diego State University, San Diego, California, USA.

O'Callaghan, P. y Kelly-Quinn M. 2013. Performance of selected macroinvertebrate-based biotic indices for rivers draining the Merendon Mountains region of Honduras.*Cuadernos de Investigación UNED* 5(1): 45-54

Oliveira, A., Alves, P., Rocha, J., Tiago, J., dos Santos, A. y Ribeiro, N. 2008. Decapod crustaceans in fresh waters of southeastern Bahia, Brazil.*Revista BiologíaTropical* 56(3): 1225-1254.

Ortega, A.I. 2010. Los mosquitos del Noreste de México (Díptera: Culicidae). Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas con Especialidad en Entomología Médica. Universidad Autónoma de Nuevo León.

Paaby, P. y Florez, E. 2009. Tropical forestry and biodiversity (FAA 118 and 119) analyses USAID - Honduras Report.

Pacheco-Chaves, B. 2010. Diversidad taxonómica y distribución de los chinches patinadores (Hemiptera: Gerridae) en Costa Rica. Tesis de licenciatura en Biología, Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica.

Packer, J.S. 1966.A preliminary study of the mayflies of Honduras.*Ceiba* 12(1): 1-10.

Padilla-Gil, D.N. 2011. Ten new species of *Rhagovelia* in the *R. angustipes* complex from Colombia (Heteroptera: Veliidae). *Aquatic Insects: International Journal of Freshwater Entomology* 33(3): 203-231.

Palacino, F. 2011. Taxonomía y filogenia del género Erythemis Hagen, 1861 (Odonata: Libellulidae). Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia.

Paulson, D.R. 1982. Odonata. Pp. 249-277. En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.). Aquatic Biota of Mexico, Central America and the West Indies.San Diego State University, San Diego, California, USA.

Paulson, D.R. 2012. Middle American Odonata: by country. Slater Museum of Natural History, University of Puget Sound, Tacoma.Recuperado el 19 de septiembre de 2012, de http://www.pugetsound.edu/academics/academic-resources/slater-museum/biodiversity-resources/dragonflies/ middle-american-odonata/.

Paulson, D.R. y Dunkle, S.W. 2012. Checklist of North American Odonata: including English name, etymology, type locality, and distribution. Originally published as *Occasional Paper No. 56, Slater Museum of Natural History*, University of Puget Sound, June 1999; completely revised March 2009; updated February 2011 and February 2012. Jim Johnson. Seattle.

Pechuman, L.L., Webb, D.W. y Teskey, H.J. 1983. The Diptera, or True Flies, of Illinois: I. Tabanidae. *Illinois Natural History Survey Bulletin* 33(1): 1-122.

Peck, S.B. 2005. A checklist of the beetles of Cuba with data on distributions and bionomics (Insecta: Coleoptera). Arthropods of Florida and Neighboring Land Areas, Vol. 18, Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Gainesville, Florida, USA.

Penny, N.D. 1982. Neuroptera. Pp. 280-282. En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa,A. (Eds.). Aquatic Biota of Mexico, Central America and the West Indies. San Diego State University, San Diego, California, USA.

Penny, N.D. y Flint, O.S. Jr. 1982. A revision of the genus *Chloronia* (Neuroptera: Corydalidae). *Smithsonian Contributions to Zoology*, Washington D.C., USA, N°348.

Pérez, A., López, A., Urcuyo, S.J. y Sotelo, M. 2003. Sinopsis cuantitativa de la malacofauna de Nicaragua. *Revista de Biología Tropical* 51(3): 401-404.

Pinto, R.L. y Jocqué, M. 2013. A new species of *Elpidium* (Crustacea, Ostracoda) from bromeliads in Cusuco National Park, Honduras. *ZooKeys* 313: 45–59.

Polhemus, J.T. 1982. Hemiptera. Pp. 288-327. En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.). Aquatic Biota of Mexico, Central America and the West Indies.San Diego State University, San Diego, California, USA.

Polhemus, J.T. y Polhemus, D.A.2008. Global diversity of true bugs (Heteroptera: Insecta) in freshwater. *Hydrobiologia* 595(1): 379-391.

Portillo, H.O. 2007. Recopilación de la información sobre la biodiversidad de Honduras. Informe Final de Consultoría, Tegucigalpa: INBIO-DIBIO.

Primack, R., Rozzi, R., Feisinger, P., Dirzo, R. y Massardo, F. 2001. Fundamentos de conservación biológica. Perspectivas latinoamericanas. México, MX, Fondo de Cultura Económica.

PROLANSATE/ICF. 2011. Diagnóstico ecosistémico: base para la redefinición de límites específicos y zonificación del Área Protegida del Refugio de Vida Silvestre Texiguat. PROCORREDOR/PROLANSATE, La Ceiba, Honduras.

Purdue University. 2012. Mayfly Central: Species List - Central America. Disponible en: http://www.entm.purdue.edu/mayfly/ca-species-list.php. (Obtenido el 26 agosto de 2012).

Ramírez, A. y Gutiérrez, R. 1994. Megapodagrionidae (Odonata: Zygoptera) de México y Centroamérica I. Las nayades de *Philogenia cabbrillica*, *P. peacocki* y *P. terraba*. *Acta Zoológica Mexicana* 63: 61-73.

Reece, B.A. y McIntyre, N.E. 2008. Dragonfly (Odonata: Anisoptera) holdings of the Museum of Texas Tech University. *Occasional Papers, Museum of Texas Tech University* 279: 1-16.

Regier, J., Mitter, C., Solis, M.A., Hayden, J.E., Landry, B., Nuss, M., Simonsen, T.J., Yen, S.H., Zwick, A. y Cumming, M.P. 2012. A molecular phylogeny for the pyraloid moths (Lepidoptera: Pyraloidea) and its implications for higher-level classification. *Systematic Entomology* 37(4): 635-656.

Reinert, J.F., Harbach, R.E. y Kitching, I.J. 2006. Phylogeny and classification of *Finlaya* and allied taxa (Diptera: Culicidae: Aedini) based on morphological data from all life stages. *Zoological Journal of the Linnean Society* 148(1): 1-101.

Righi, G. y Hamoui, V. 2002. Oligochaeta, Naididae of the West Indies and adjacent regions. *Papéis Avulsos de Zoologia, Sao Paulo* 42(6): 119-167.

Ringuelet, R.A. 1982. Hirudinea. Pp. 166-171. En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.). Aquatic Biota of Mexico, Central America and the West Indies.San Diego State University, San Diego, California, USA.

Robertson, D.R. y Holzenthal, R.W. 2008. Two new species and a new record of *Protoptila* from Bolivia (Trichoptera: Glossosomatidae: Protoptilinae). *Annals of the Entomological Society of America* 101(3): 465-473.

Rodríguez, G. y López, B. 2003. Insular species of Neotropical freshwater crabs (Crustacea: Brachyura). *Journal of Natural History* 37(21): 2599-2614.

Rodríguez, G. y Magalhaes, C. 2005. Recent advances in the biology of the Neotropical freshwater crab family Pseudothelphusidae (Crustacea, Decapoda, Brachyura). *Revista Brasileira de Zoología* 22(2): 354-365.

Roldán, G. 1992. Fundamentos de limnología neotropical. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

Roldán, G. y Ramírez, J.J. 2008. Fundamentos de limnología neotropical. Segunda edición. Editorial Universidad de Antioquia. Medellin, Colombia.

Ronderos, M.M., Marino, P.I., Díaz, F. y Estévez, A.L. 2011. Biting midges (Diptera: Ceratopogonidae) from Martín García Island, Argentina. *Revista de Biología Tropical* 59(3): 1183-1194.

Samayoa, A.C. y Cave, R.D. 2008. Catálogo de las especies de Sphingidae (Lepidoptera) en Honduras. *Ceiba* 49(1): 103-117.

Schmidt-Rhaesa, A. y Menzel, L. 2005. Central American and Carribean species of horsehair worms (Nematomorpha), with the description of three new species. *Journal of Natural History* 39(7): 515-529.

Secretaría de Salud. 2010. Norma Técnica Nacional para Regular los Usos de los Cuerpos Naturales de Agua. CESCCO y Comité Técnico Nacional de Calidad del Agua. Honduras.

SERNA (Secretaria de Recursos Naturales y Ambiente). 2008. Especies de Preocupación Especial en Honduras. Tegucigalpa, Honduras.

SERNA/DIBIO. 2010. IV Informe de país: Convención sobre Diversidad Biológica. Presidencia de la República. Honduras.

Serrano, L. y Zepeda, A. 2010. Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del órden Lepidoptera en El Salvador. En: Springer, M. y Sermeño Chicas, J.M. (Eds.). Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos en El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES) - Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, S.A. de C.V., San Salvador, El Salvador.

Shelley, A.J., Hernández, L.M. y Penn, M. 2002. A biosystematic revision of the blackflies (Diptera: Simuliidae) of Belize, Central America. *Bulletin of the Natural History Museum London* (Entomology) 71(2): 135–271.

Simcock, J.C. 2005. Invertebrate communities. Do edge effects exist in bromeliad fauna at natural and anthropogenic boundaries of cloud montane forest in Cusuco National Park, and if so are they significantly different in nature? Pp. 157-160.En: Final Report for the University of Nottingham, Operation Wallacea, Honduras.

Simmonds, J.A., Gómez, J.A. y Villalaz, J. 2002. Parámetros físico-químicos y biológicos en aguas circundantes al canal de Panamá. *Tecnociencia* 4(1): 47-69.

Sket, B. y Trontelj, P. 2008. Global diversity of leeches (Hirudinea) in freshwater. *Hydrobiologia* 595:129-137.

Spangler, P.J. 1982. Coleoptera. Pp. 328-397. En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.). Aquatic Biota of Mexico, Central America and the West Indies. San Diego State University, San Diego, California, USA.

Spangler, P.J. y Santiago-Fragoso, S. 1992. The aquatic beetle subfamily Larainae (Coleoptera: Elmidae) in Mexico, Central America, and the West Indies. *Smithsonian Contributions to Zoology*, Washington D.C., USA, No. 528: 1-84.

Spinelli, G.R. y Borkent, A. 2004. New species of Central American *Culicoides* Latreille (Diptera: Ceratoponidae) with a synopsis of species from Costa Rica. *Proceedings of the Entomological Society of Washington* 106(2): 361-395.

Spinelli, G.R., Santamaría, E., Cabrera, O.L., Ronderos, M.M. y Suárez, M.F. 2009. Five new species of Culicoides Latreille described from Colombia, yielding a new species list and country records (Diptera: Ceratopogonidae).*Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 104(1): 81-92.

Springer, M. 1998.Genera of aquatic insects from Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 46(6): 137-141.

Springer, M. 2010. Trichoptera. En: Springer, M., Ramírez, A. y Hanson, P. (Eds.) Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I. *Revista de Biología Tropical* 58(4): 151-198.

Stark, B.P. 2014. Records of Mesoamerican *Anacroneuria* (Plecoptera: Perlidae), with Descriptions of Four New Species. *Illiesia* 10(02):6-16.

Stark, B.P. y Boris, B.C. 2004. *Anacroneuria* from Mexico and upper Mesoamerica (Plecoptera: Perlidae). *Monographs of the Western North American Naturalist* 2: 1-64.

Strickman, D. 1989. *Culex pseudostigmatosoma*, *Cx. yojoae*, and *Cx. aquarius*: New Central American species in the subgenus *Culex* (Diptera: Culicidae). *Mosquito Systematics* 21(3): 143-177.

Strickman, D. y Darsie, R.F. Jr. 1988. The Previously Undetected Presence of *Culex restuans* (Diptera: Culicidae) in Central America, with Notes on Identification. *Mosquito Systematics* 20(1): 21-27.

Strickman, D. y Pratt, J. 1989. Redescription of *Cx. corniger* Theobald and elevation of *Culex* (*Culex*) *lactator* Dyar and Knab from synonymy based on specimens from Central America (Diptera: Culicidae). *Proceedings of the Entomological Society of Washington* 91(4): 551-574.

Strong, E.E., Gargominy, O., Ponder, W.F. y Bouchet, P. 2008. Global diversity of gastropods (Gastropoda:Mollusca) in freshwater. *Hydrobiologia* 595:149-166.

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.

Thompson, F.G. y Hanley, R.W. 1982. Mollusca. Pp. 477-485.En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.).Aquatic Biota of Mexico, Central America and the West Indies. San Diego State University, San Diego, California, USA.

TNC. 2009. Evaluación de ecorregiones de agua dulce en Mesoamérica, sitios prioritarios para la conservación en las ecorregiones de Chiapas a Darién. Programa de Ciencias Regional, Región de Mesoamérica y El Caribe. The Nature Conservancy, San José, Costa Rica.

Tol, J. Van. 2009. Phylogeny and biogeography of the Platystictidae (Odonata). Tesis de Doctorado, University of Leiden, Holanda.

Torati, L.S., De Grave, S., Page, T.J. y Anker, A.2011. Atyidae and Palaemonidae (Crustacea: Decapoda: Caridea) of Bocas del Toro, Panama. *Check List* 7(6): 798-805.

Torres, P.L.M., Michat, M.C., Libonatti, M.L., Fernández, L.A., Oliva, A. y Bachmann, A.O. 2012. Aquatic Coleoptera from Mburucuyá National Park (Corrientes Province, Argentina). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina* 71(1-2): 57-71.

Turcatel, M., Barros de Carvalho, C.J. y Rafael, J.A. 2010. A taxonomic revision of *Stibasoma* Schiner, 1867 (Diptera: Tabanidae). *Zootaxa* 2368: 1–39.

Turnbow, R.H. Jr., Cave, R.D. y Kingsolver, J.M. 2003.An annotated checklist of the Bruchidae of Honduras.*Ceiba* 44(2): 269-278.

Turell, M.J., O'Guinn, M.L., Navarro, R., Romero, G. y Estrada-Franco, J.G. 2003. Vector competence of Mexican and Honduran mosquitoes (Diptera: Culicidae) for enzootic (IE) and epizootic (IC) strains of Venezuelan Equine Encephalomyelitis virus. *Journal of Medical Entomology* 40(3): 306-310.

USAID/MIRA. 2005. Proyecto Manejo Integrado de Recursos Ambientales: se fortalece capacidad local de monitoreo de la calidad del agua. USAID Honduras. Boletín mensual.

Valencia, D.M. y Campos, M.R. 2007. Freshwater prawns of the genus *Macrobrachium* Bate, 1868 (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae) of Colombia. *Zootaxa* 1456: 1-44.

Vanhove, M.P.M., Jocque, M., Mann, D.J., Waters, S., Creedy, T.J., Núñez-Miño, J.M., Samayoa, A.C., Vaglia, T. y Casteels, J. 2012. Small simple, substantial contribution: additions to the Honduran hawkmoth (Lepidoptera: Sphingidae) fauna based on collections from a mountainous protected area (Cusuco National Park). *Journal of Insect Conservation* 16: 629-633.

Vega, S.J. 2004. Evaluación de la calidad de agua del Río Yeguare mediante el uso de macroinvertebrados como indicadores biológicos. Tesis de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.

Vidal, A. 1930. Zancudos *Anopheles* de Honduras. *Revista de Medicina Hondureña* 1(112): 439.

Villalobos, A. 1982. Decapoda. Pp. 215-239.En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.).Aquatic Biota of Mexico, Central America and the West Indies.San Diego State University, San Diego, California, USA.

Vreugdenhil, D., House, P.R., Cerrato, C.A., Martínez, R.A. y Pereira, A.C.2002. Racionalización del sistema nacional de las Áreas Protegidas de Honduras. Volumen 1: Estudio Principal. PPROBAP/Banco Mundial/UNDP/GEF.

Wagner, R., Barták, M., Borkent, A., Courtney, G., Goddeeris, B., Haenni, J.P., Knutson, L., Pont, A., Rotheray, G.E., Rozkosný, R., Sinclair, B., Woodley, N., Zatwarnicki, T. y Zwick, P. 2008. Global diversity of dipteran families (Insecta: Diptera) in freshwater (excluding Simulidae, Culicidae, Chironomidae, Tipulidae and Tabanidae). *Hydrobiologia* 595: 489-519.

Ward, R.A. 1982. Culicidae. Pp. 417-429. En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa,A. (Eds.). Aquatic Biota of Mexico, Central America and the West Indies.San Diego State University, San Diego, California, USA.

Wichard, W., Solórzano, M.M. y Luer, C. 2006. First caddisfly species from Mexican amber (Insecta: Trichoptera). *Zootaxa* 1378: 37-48.

Wiersema, N.A. y McCafferty, W.P. 2000. Generic revision of the North and Central American Leptohyphidae (Ephemeroptera: Pannota). *Transactions of the American Entomological Society* 126(3-4): 337-371.

Wiersema, N.A. y McCafferty, W.P. 2003.*Ableptemetes*: A new genus of Tricorythodinae (Ephemeroptera: Leptohyphidae) from Mexico and Central America. *Entomological News* 114(1): 37-40.

Wiles, P.R. 2005. First collections of water mites (Acari: Hydrachnidia) from Honduras: descriptions of six new species.*Journal of Natural History* 39(24): 253-263.

Willans, C. 2006. An investigation into nested populations of aquatic invertebrate communities in bromeliad species (*Tillandsia guatamalensis*). Pp. 102-103. En: Final report: University of Nottingham / Operation Wallacea forest projects, Honduras.

Wirth, W.W. 1982a. Diptera: General Introduction. Pp. 406-407. En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A.(Eds.). Aquatic Biota of Mexico, Central America and the West Indies.San Diego State University, San Diego, California, USA.

Wirth, W.W. 1982b. Ceratopogonidae. Pp. 438-442. En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.). Aquatic Biota of Mexico, Central America and the West Indies.San Diego State University, San Diego, California, USA.

Cenote Garrobo - México

Autor de fotografía: Perla Alonso E.

Adultos de Protoneuridae, Odonata

Autor de fotografía: Perla Alonso E.

México

Perla Alonso-EguíaLis[1], Raúl Pineda-López[2] y Ricardo Pérez-Munguía[3]

[1]Subcoordinación de Hidrobiología y Evaluación Ambiental, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos, México., pteroestigma@gmail.com. [2]Universidad Autónoma de Querétaro. rufuspinedal@gmail.com., [3]Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. pmunguiaricardo@gmail.com

8.1. Resumen

México posee una extensión territorial considerable en comparación con los países centroamericanos y cuenta con una alta variabilidad climática y geomorfológica; biogeográficamente es el área transicional entre las regiones Neártica y Neotropical. Todo lo anterior hace de México un país megadiverso. Sin embargo, distamos en mucho de tener un conocimiento taxonómico y ecológico robusto de su fauna macroinvertebrada dulceacuícola. El conocimiento actual de los ecosistemas acuáticos de México está fundamentado en una tradición limnológica que surgió durante la década de los años 1950, basada principalmente en descripciones de ambientes lénticos. Los estudios sobre los sistemas lóticos y su fauna dieron inicio en los años 1970, con grupos como Odonata, Trichoptera, Megaloptera y Diptera, este último especialmente por su importancia médica. En el orden Coleoptera se han tenido grandes avances, aunque debido a que el grupo es tan grande, aún hay mucho por desarrollar. Lo mismo ha sucedido con los crustáceos, en donde el interés principal fue durante muchos años por los organismos marinos, sin embargo, en la actualidad el avance en su conocimiento es importante, particularmente para el orden Decapoda. Para grupos como Hydrachnidia, Collembola, Ephemeroptera y Plecoptera, así como Mollusca existe un conocimiento parcial, mientras que los representantes acuáticos de los órdenes Hemíptera, Lepidoptera, Blattodea, Orthoptera y Neuroptera permanecen casi inexplorados en México. Los estudios ecológicos surgieron con

la implementación de leyes regulatorias a través de las llamadas manifestaciones de impacto ambiental y obligaron a abordar más allá de los listados faunísticos, al análisis de las alteraciones al ecosistema. Las áreas naturales protegidas así como las declaratorias de sitios Ramsar, no han sido la solución a la conservación de los sistemas dulceacuícolas del país. Se pretende que este trabajo permita visualizar el estado del conocimiento, además de ser una base de análisis de la situación hidroecológica, la gestión y del riesgo ambiental cuya importancia es fundamental para la conservación de los sistemas dulceacuícolas de México y su fauna macroinvertebrada.

8.1. Abstract

The size of Mexico's territory is considerably larger than Central American countries. Its climatic and geomorphological variability are also high. Biogeographically, it is the transitional area between the Neartic and Neotropical regions. All of these characteristics make Mexico a megadiverse country. Nevertheless, we are far from having robust taxonomic and ecological knowledge about its freshwater macroinvertebrate fauna. Current knowledge about aquatic ecosystems in Mexico is based on a limnological tradition which arose during the 1950s, and which is primarily related to descriptions of lentic environments. Studies of lotic systems and their fauna began in the 1970s with groups such as Odonata, Trichoptera, Megaloptera and Diptera, the latter particularly because of its medical importance. Large advances have been made with the order Coleoptera, although since this group is so large there is still much to be developed. The same is true for Crustacea, for which the main interest over many years has been in marine organisms. Nevertheless, significant advances in knowledge about crustaceans are currently being made, particularly for the order Decapodas. Partial knowledge exists for groups such as Hydrachnidia, Collembola, Ephemeroptera and Plecoptera, as well as Mollusca, while Hemiptera, Lepidoptera, Blattodea, Orthoptera and Neuroptera have been virtually unexplored in Mexico. Ecological studies emerged with the implementation of regulatory laws related to environmental impact statements, requiring an analysis well

beyond faunal lists, to one of alterations in ecosystems. Protected nature reserves and declared Ramsar sites have not provided the solution to the conservation of freshwater systems in the country. This work is intended to show the state of knowledge, as well as to serve as a basis of analysis for the hydro-ecological situation, management and environmental risk, the importance of which is key to conserving Mexico's freshwater ecosystems and macroinvertebrate fauna.

8.2. Introducción

México con 1, 972,544 km^2 de extensión territorial, es el décimo cuarto país más grande del mundo y ocupa el cuarto lugar en diversidad biológica (Mittermeier 1988). Por su ubicación geográfica, la porción sur de México se encuentra en la zona intertropical, en tanto que la porción norte se localiza en la zona templada. Condiciones como su variado relieve, variedad climática y confluencia de las regiones Neártica y Neotropical, han promovido que en el territorio mexicano existan 11 provincias bióticas (cinco Neárticas, cinco de Transición y una Neotropical) (Morrone 2001, 2005), lo que ha generado una gran biodiversidad así como un alto número de endemismos (Ramamoorthy *et al.* 1993, Anderson y O'Brien 1996, McCafferty 1998). Hidrológicamente, dos terceras partes del territorio mexicano son consideradas áridas o semiáridas, con precipitaciones anuales menores a los 500 mm, mientras que el sureste del país es húmedo, con precipitaciones promedio que superan los 2,000 mm por año. En la mayor parte del territorio, el periodo de lluvia es entre junio y septiembre. El territorio mexicano cuenta con 1,471 cuencas hidrográficas (Cotler 2010, CONAGUA 2011) de las cuales, para la región sur de México, cuatro se comparten con Guatemala (Grijalva-Usumacinta, Suchiate, Coatán y Candelaria) y una con Belice y Guatemala (Río Hondo) (figura 1).

La fuente principal de abastecimiento de agua en México es la lluvia; la precipitación anual promedio es de 777 mm, que equivale a una precipitación total de 1,570 km^3 al año. Se estima que 1,120 km^3 (71.34%), se pierde por evapotranspiración (Aguilar 2003). Este volumen hídrico no se distribuye homogéneamente, sino que se concentra con 65% en tan sólo siete ríos: el Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Pánuco, Coatzacoalcos, Balsas, Santiago y Tonalá. Estos ríos se localizan en el centro y sureste del país, regiones en las que se concentra también la mayor parte de la población. De acuerdo a CONAGUA (2008), el grado de presión sobre el agua en esta porción del territorio es superior a 40% y llega a alcanzar hasta el 155% en la llamada cuenca de México. Los ríos y arroyos del país constituyen una red hidrográfica de 633,000 km de longitud, en la que destacan 50 ríos principales por los que fluye el 87% del escurrimiento superficial y cuyas cuencas cubren el 65% de la superficie territorial continental del país. El estudio de las cuencas mexicanas representa un verdadero reto, si se considera que las de mayor tamaño perte-

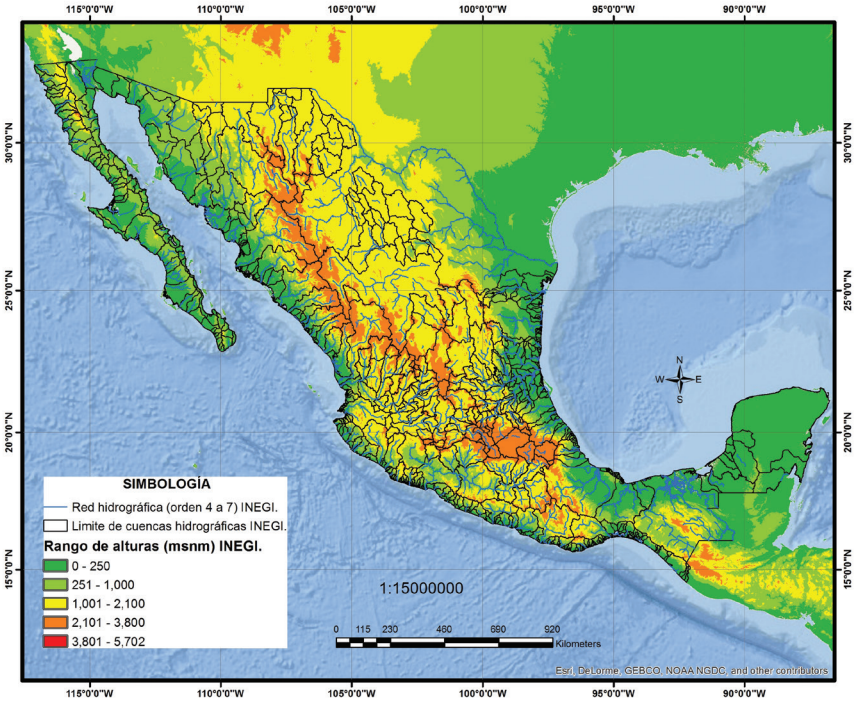


Figura 1. Cuencas y Red hidrográfica de México.

necientes a la llamada región mesoamericana, son inclusive más grandes en área que algunos países centroamericanos (Cuadro 1).

En cuanto a los sistemas lénticos, México cuenta con alrededor de 70 lagos de diversos tamaños, que en conjunto, cubren una superficie cercana a las 371,000 ha. El mayor número de lagos en el país se localiza en la zona del Eje Volcánico Transversal, asociados principalmente al sistema Lerma-Santiago. La zona centro-

Cuadro 1. Área de las cuencas de mayor tamaño en México pertenecientes a la región mesoamericana y su tamaño comparativo con el área de los países centroamericanos.

Cuencas México-Mesoamericanas	*Área (km²)*	*País*	*Área (km²)*
Balsas	117,406	Nicaragua	129,494
Pánuco	84,956	Honduras	112,492
Grijalva-Usumacinta	83,553	Guatemala	108,889
Santiago	76,416	Panamá	75,517
Papaloapan	46,517	Costa Rica	51,100
		Belice	22,000
		El Salvador	21,041

occidente (que incluye los estados de Jalisco y Michoacán) es la más importante, ya que alberga los lagos más grandes: Chapala, Cuitzeo y Pátzcuaro. Algunos de los ambientes más particulares de México son los cenotes, los cuales son pozos naturales creados por la erosión de la piedra caliza por el agua de lluvia, ubicados principalmente en la Península de Yucatán, en el estado de Quintana Roo y algunos muy particulares en Tamaulipas. Los oasis, localizados en la Península de Baja California, son otro de los ecosistemas acuáticos de gran importancia biológica. A éstos se les considera relictos de hábitats de importancia biogeográfica y evolutiva, donde viven plantas y animales de afinidad mésica. Los embalses artificiales también son notables, ya que las más de 4,462 presas y bordos que existen actualmente, cubren una superficie mayor a la de los embalses naturales. Los embalses artificiales más grandes del país son las presas La Amistad, Falcón, Vicente Guerrero, Álvaro Obregón, Infiernillo, Cerro del Oro, Temascal, Caracol, Requena y Venustiano Carranza. La capacidad de almacenamiento de las presas del país es de aproximadamente 150 mil millones de m^3 (CONAGUA 2008).

Garrido-Pérez *et al.* (2010) llevaron a cabo un análisis multicriterio, basado en el impacto potencial en la red fluvial y en las zonas ribereñas de las cuencas hidrográficas del país. Según estos autores, hay siete sistemas dulceacuícolas de México cuya situación ecohidrológica tiene un nivel crítico de alteración. Estos comprenden a los sistemas fluviales de las cuencas de México, del río Balsas, del lago de Cuitzeo, el río Bravo, el río Santiago, el río Pánuco y el río de San Luis Potosí, que significan 31% de la longitud total de la red hidrográfica del país y un área de 26% del territorio nacional. En el caso contrario, del conjunto de cuencas que se distinguen por tener un nivel de alteración muy bajo, resalta un número significativo que se ubica en la Península de Baja California (noreste de México), así como algunas otras que drenan a la vertiente del Pacífico norte, centro y sur, al igual que algunas que vierten hacia el Golfo de México (CONAGUA 2011).

8.3. Estado del conocimiento sobre macroinvertebrados dulceacuícolas en México

México es considerado uno de los países megadiversos del mundo (Mittermeier *et al.* 1997., Groombridge y Jenkins 2002). Sin embargo, los esfuerzos por conocer la biota de sus cuerpos de agua epicontinentales se han enfocado principalmente al conocimiento de los peces (Miller *et al.* 2005) y en menor medida la vegetación acuática (Lot *et al.* 1998). A pesar que la tradición limnológica ha sido muy importante, el conocimiento aún es fragmentario y existen regiones del país de total desconocimiento biológico. Los principales trabajos que abordan la información de la fauna dulceacuícola en México, son "Aquatic Biota of México, Central America and the West Indies" de Hurlbert y Villalobos-Figueroa (1982), quienes realizaron una compilación de la bibliografía taxonómica de la flora y la fauna dulceacuícola hasta entonces conocida y que incluye a algunos grupos de macroinvertebrados. A continuación se presenta una recopilación de la información de la fauna macroinvertebrada conocida hasta ahora en México

8.3.1. Estudios taxonómicos

Como antecedente fundamental de los estudios relativos a la fauna macroinvertebrada en México, se encuentra la obra "Taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento" coordinado por Llorente-Bousquets y colaboradores y producida durante los años 1996 a 2004. La obra está conformada por cuatro volúmenes y tuvo como meta explorar y promover la evaluación del conocimiento de la diversidad de artrópodos en México y representó, sin lugar a dudas, una enorme contribución para el conocimiento de la biodiversidad del país. Sin embargo, mientras que algunos de los grupos como Odonata, Megaloptera, Trichoptera, Ephemeroptera y Plecoptera y las principales familias de Diptera, fueron documentados, de otros grupos como Hydrachnidia y Collembola, se hizo escasa referencia a sus representantes acuáticos, mientras que Hemiptera, Orthoptera, y Lepidoptera no son referidos o mencionados, por mencionar algunos ejemplos. En esta sección se presenta una recopilación de la información publicada y de los proyectos de investigación relativos a la taxonomía de los macroinvertebrados dulceacuícolas de México.

Filo Nematoda - No se cuenta con información sobre especies acuáticas de este grupo para México.

Filo Nematomorpha - Estos organismos también conocidos como gordiáceos y llamados comúnmente gusanos-pelo por su forma y grosor, son ecológica y morfológicamente cercanos a los nemátodos (Chapman 2009). Schmidt-Rhaesa y Menzel (2005) reportaron 26 especies para Centroamérica y El Caribe, de las cuáles 13 especies en seis géneros de la familia Gordioidea se registraron para México.

Filo Platyhelminthes - De acuerdo a Schockaert *et al.* (2008) en la región Neotropical se tienen registrados 33 géneros y 150 especies. El estudio de los turbelarios (planarias) en México aún es pobre y conformado por recolectas aisladas. Existen hasta ahora reportadas dos familias (Dugesidae y Dimarcusidae), con seis géneros y 11 especies (*Opisthobursa josefinae, O. mexicana, Dimarcus villalobosi, Girardia typhlomexicana, G. barbara, G. mckenziei, G. guatemalensis, Temnocephala mexicana, Dugesia tigrina, D. dorotocephalas y D. azteca*) (Lamothe 1968, Mitchell y Kawakatsu 1972, Bennazi y Giannini 1971, Benazzi 1975, Kenk 1974, 1989, Kawakatsu y Mitchel 1981, 1984). En el Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) se cuenta con la colección nacional de helmintos más importante del país.

Filo Annelida - Se considera que alrededor de 1,700 especies de oligoquetos son conocidos en el mundo, de estos, cerca de 1,100 son de agua dulce (Martin *et al.* 2008). De acuerdo a Brinkhurst y Marchese (1989) y Timm (1999) en México se han registrado 25 especies de oligoquetos acuáticos continentales, consecuencia de lo poco que se han estudiado. Los trabajos con información de este grupo con registros en aguas dulces mexicanas incluye Rybka (1898), Cernosvitov (1936), Cook (1974) y Harman y Loden (1978), con información en el norte del país y a lo largo de la costa del Golfo de México. Peralta *et al.* (2002) estudiaron la composición de oligoquetos en la zona de lito-

ral en seis lagos salinos de cráter de la porción sureste de México.

Filo Arthropoda

Subfilo Chelicerata

Clase Arachnida

Orden Trombidiformes (Hydrachnidia) – En el mundo se han descrito alrededor de 6,000 especies de 57 familias, 81 subfamilias y más de 400 géneros, mientras que en la región Neotropical se cuenta con 1,305 especies (Di Sabatino *et al.* 2008). En México, los trabajos realizados sobre ácaros acuáticos son muy pocos, esto probablemente se deba a la complejidad de su estudio, es decir, se invierte mucho esfuerzo en su recolecta, separación, proceso de montaje e identificación (Rivas y Hoffmann, 2000, Pérez *et al.* 2014). Entre los autores que han descrito ácaros acuáticos para México podemos mencionar a Cook (1980) quien en su publicación sobre ácaros acuáticos neotropicales registró 177 especies de la familia Arrenuridae, de las cuales 139 fueron nuevas para la ciencia. Posteriormente, Costero (1986) hizo un análisis de los ácaros de las marismas de Michoacán y Colima, y reportó 28 especies de las cuales 11 eran nuevas. Otero (1986) describió los ácaros de un arroyo en el Estado de México. Cramer y Cook (1992a, b, 1996), Cramer y Letechipia (1996) y Rivas y Cramer (1998) hicieron la descripción de nuevas especies de Arrenuridae e Hygrobatidae. Ramírez (1994) llevó a cabo un análisis de la taxonomía y distribución de ácaros acuáticos en el estado de Nuevo León. Cramer (2000) describió nuevas especies de la familia Torrenticolidae y Aturidae de montaña fría. De acuerdo a Marín y Cramer (2009), hasta ese momento se habían identificado 36 especies de cinco subgéneros del género Piona (Pionidae) que es el más común para la zona lacustre de Xochimilco (Distrito Federal), Campeche, Nuevo León, Oaxaca, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz (Cook 1980). Hasta el año 2000, se habían registrado un total de 317 especies de ácaros dulceacuícolas para México, incluidas en 73 géneros y 27 familias, distribuidas en 21 estados del país (Rivas y Hoffmann 2000).

Subfilo Crustacea

Clase Ostracoda - El grupo de los ostrácodos, también llamados camarón almeja, son de amplia distribución y de gran abundancia particularmente en lagos (Holmes 2001 y Martens *et al.* 2008). Para la región Neotropical se tienen registradas nueve de las 13 familias existentes (Martens *et al.* 2008). Dos de ellas, Cyprididae (1,000 spp.) y Candonidae (c. 550 spp.) representan más del 75% de la diversidad de ostrácodos existentes en el mundo. En México, los ostracodos han sido mencionados en pocos trabajos de sistemas de agua dulce y, por tanto, son prácticamente desconocidos (Carreño, 1990). Forester (1985) describió de sedimentos recientes del lago de Pátzcuaro (Michoacán) una especie nueva, *Limnocythere bradburyi*, Alonso-Eguía-Lis *et al.* (2011) reportaron la familia Candonidae para el mismo lago. Otros reportes incluyen la laguna de Alchichica con dos especies *Limnocythere inopinata* (Cytherideidae) y *Candona sp.* (Candonidae) (Hernández *et al.* 2010). Más recientemente Rodríguez-Almaraz *et al.* (2012) reconocieron a *Eulimnadia texana* (Limnadiidae) para el Norte de México y estado de Morelos.

Clase Malacostraca

En México el esfuerzo por conocer la fauna carcinológica dulceacuícola ha sido relevan-

te, pero en comparación con las especies de afinidad marina o salobre, aún es limitado. Los crustáceos mexicanos integran un grupo heterogéneo derivado de la confluencia de las regiones Neártica y Neotropical de América (Villalobos–Figueroa *et al.* 1982, Villalobos–Hiriart *et al.* 1993). El conocimiento actual para México ha sido dirigido hacia estudios taxonómicos (Bowman 1981, Álvarez y Villalobos 2008, Rocha-Ramírez *et al.* 2009). Los macrocrustáceos de agua dulce incluyen una variedad de grupos taxonómicos, como los grandes branquiópodos (camarón duende, camarón renacuajo y camarón almeja), los peracaridos (isópodos y anfípodos) y los decápodos (langostinos, acociles y cangrejos) (Rodriguez-Almaráz 2002). El superorden Peracarida (isópodos, anfípodos y misidáceos) de agua dulce de México son conocidos por las numerosas especies descritas en distintos ambientes subterráneos o cavernícolas (*e.g.* Bowman 1975, Redell 1981, Contreras-Balderas y Purata-Velarde 1982, Rodríguez-Almaraz y Bowman 1995, García-Garza *et al.* 1996).

Orden Amphipoda - De acuerdo a Ortiz *et al.* (2007) en el atlántico occidental tropical se cuenta con 475 especies de anfípodos gamarideos, distribuidos en 51 familias y 198 géneros de las cuales, 389 son netamente marinas (81.89 %), 24 troglobias (5.05 %), 18 semiterrestres (3.79 %), 22 anquialinas (4.63 %), 12 dulceacuícolas (2.53 %) y 10 estuarinas (2.11 %). En las aguas epicontinentales del país se han registrado las familias Bogidiellidae (6 gen., 11 spp.), Hadziidae (8 gen., 12 spp.), Hyalellidae (3 gen., 5 spp.) y Melitidae (1 gen., 1 sp.) (Rocha-Ramírez *et al.* 2008).

Orden Isopoda - Se han registrado en aguas continentales mexicanas representantes de cuatro subórdenes: Microcerbidea con la familia Microcerberidae, Cymothoida con las familias Anthuridae y Cirolanidae que son habitantes exclusivos de manantiales, cuevas o cenotes. Asellotea con las familias Asellidae y Stenasellidae y Sphaeromatidea representado por la familia Sphaeromatidae. La familia que tiene una mayor representatividad en México es Cirolanidae con 10 géneros y 20 especies, Speocirolana, el género más diversificado con 12 especies (Bowman 1975, 1981, Álvarez y Villalobos 2008, Rocha-Ramírez *et al.* 2008,2009, Rocha-Ramírez y Peñaloza-Daniel 2011). Hasta ahora, se han descrito 50 especies para México aunque aun quedan grandes áreas por explorar, como la vertiente del Pacífico y seguramente algunos grupos por reconocer (Rocha-Ramírez *et al.* 2012). Del total de especies registradas, 45 son endémicas de México, 29 son registros únicos de la localidad tipo, 14 se han registrado en menos de cinco localidades y sólo seis pueden considerarse de amplia distribución (Rocha-Ramírez *et al.* 2009).

Orden Decapoda - Los crustáceos decápodos de agua dulce de México están representados por siete familias (Alpheidae, Atyidae, Cambaridae, Glyptograpsidae, Palaemonidae, Pseudothelphusidae y Trichodactylidae). El 80% son endémicos resultado de las variaciones en topografía, clima y complejidad geológica del país (Villalobos-Hiriart *et al.* 1993, Villalobos-Hiriart y Álvarez 2008). Esta endemicidad se presenta de manera particular en el sureste del país, en lo que se conoce como Núcleo Centroamericano (Flores y Gerez, 1994). La familia

Alpheidae conforma el grupo con mayor número de especies de decápodos de México con 132, principalmente marinas, y con una especie dulceacuícola, *Potamalpheops stygicola* y una especie anquiahalina, *Yagerocaris cozumel* (Álvarez *et al.* 2014). Las principales obras que han tratado sobre el conocimiento taxonómico y biogeográfico de los camarones de México (Palaemonidae) también conocidos como acociles (acocil proviene de "acuitzilli" palabra de la lengua náhuatl, donde "atl" significa agua, y "cuitzilli" se retuerce) son las de Villalobos-Figueroa (1983) y Hobbs (1974,1989). Los palemónidos en del territorio mexicano cuentan con tres familias, 10 géneros y 98 especies (Rodríguez-Almaraz *et al.* 1997, Álvarez y Villalobos 1998, Román *et al.* 2000, Álvarez *et al.* 2002, De Grave *et al.* 2009) 36 de ellas dulceacuícolas (Álvarez *et al.* 2014). Para la región Neotropical mexicana, se cuenta con *Macrobrachium acanthurus, M. acherontium, M. carcinus, M. Heterochirus, M. hobbsi y M. olfersii*. Los atidos de México están conformados por dos géneros y tres especies (*Atya scabra, Potimirim mexicana y P. glabra*). Cambaridae cuenta con 56 especies de tres géneros, de las cuales 55 son endémicas de México (Hobbs Jr. 1989, Villalobos-Figueroa 1955, 1982, Villalobos-Hiriart *et al.* 1993, Rodríguez-Almaraz y Mendoza-Alfaro 1999, Álvarez *et al.* 2014). La familia Glyptograpsidae en México se encuentra representada por dos géneros y dos especies de las tres registradas a nivel mundial (Ahyong *et al.* 2011).

Por su parte la familia Pseudothelphusidae o cangrejos de agua dulce, constituyen una parte muy importante e interesante de la fauna macroinvertebrada de México, ya que sigue una estricta distribución Neotropical con una riqueza muy especial para la región del Istmo de Tehuantepec. Se conocen 57 especies de la familia, una subfamilia (Pseudothelphusinae), tres tribus (Hypolobocerini, Potamocarcinini y Pseudothelphusini) y 13 géneros. Destaca la tribu Potamocarcinini por contener siete géneros y 19 especies, mientras que la tribu Pseudothelphusini es la de mayor diversidad específica, con tres géneros y 34 especies (Álvarez y Villalobos 1994, 1996, 1997, 1998, Villalobos-Hiriart y Álvarez 1999,2003, Rodríguez y Magalhães 2005, Villalobos-Hiriart y Álvarez 2008). Los Trichodactylidae cuentan con un género *Trichodactylus* y cuatro especies (Villalobos-Figueroa 1955, 1983, Villalobos-Hiriart *et al.* 1993, Magalhães y Türkay 2012). Para el 2010 los registros de los decápodas dulceacuícolas de México estaban conformados por cerca de 160 especies de 28 géneros que se distribuyen hasta altitudes mayores de los 3,000 msnm (Villalobos-Hiriart *et al.* 2010).

Debido a que en México aún hay regiones pobremente muestreadas o grupos de crustáceos poco estudiados, se considera que el número de especies aumentará. Esta tendencia se observa ya en los cangrejos de agua dulce de Pseudothelphusidae, que sólo en las últimas dos décadas han sido revisados con intensidad (Villalobos-Hiriart 2005, Villalobos y Álvarez 2008, Villalobos-Hiriart *et al.* 2010). Por ello es importante mencionar los estudios para conocimiento regional, y en donde el estado de Chiapas ha sido ampliamente estudiado por Álvarez *et al.* (2011). Estos autores indicaron que la carcinofauna dulceacuícola de esta región está representada por 81 especies acuáticas, 42 géneros y 17 familias. Además, el 50 % de los géneros son endémicos. Para el estado de Ta-

basco, Álvarez *et al.* (2005) indicaron que la carcinofauna está compuesta por 72 especies de 45 géneros, 31 familias, nueve órdenes, cuatro subclases y cuatro clases. Se considera que el número de especies es aún bajo ya que en la región hay aún muchas zonas carentes de investigación. Además, la mayoría de los estudios se han efectuado con especies de importancia comercial (Sánchez y Barba 2005)

Para la región de Veracruz, Álvarez *et al.* (1999) mencionaron a 38 especies de decápodos dulceacuícolas correspondientes al 28.8% de las especies reconocidas en México. Para los cuerpos de agua epicontinentales del estado de Oaxaca, Villalobos-Hiriart *et al.* (2010) mencionaron que se conocen 36 especies de decápodos que pertenecen a las familias Alpheidae (1 sp.), Atyidae (7 spp.), Cambaridae (5 spp.), Palaemonidae (12 spp.), Pseudothelphusidae (9 spp.) y Trichodatylidae (2 spp.), lo que destaca al estado como el tercero en diversidad después de Chiapas y Veracruz. Entre otros factores, esta riqueza se debe a que en Oaxaca se distribuyen especies de ambas vertientes del país y varias de ambientes cavernícolas.

Subfilo Hexapoda

Clase Collembola - Los Collembola de acuerdo a Deharveng *et al.* (2008) son de las comunidades de mayor abundancia en los humedales, aunque con un número muy reducido de especies asociadas a la superficie del agua. Se reconocen 8,468 especies de colémbolos en el mundo en 831 géneros, 30 familias y cuatro órdenes (Janssens, 2014): Poduromorpha, Entomobryiomorpha, Neelipleona y Symphypleona (Regier y Shultz 2011, Bellinger *et al.* 2012).Este grupo presenta amplia distribución, ya que tienen gran capacidad para ocupar diversos hábitats; sin embargo, la cantidad de especies aquí reportadas, sólo representa una proporción muy baja del número de especies que deben existir en realidad, ya que aún faltan muchas por describir. En el Neotrópico se reconocen 555 especies, de estas, 17 son netamente epigeas hidrófilas (Deharveng *et al.* 2008). En México se han registrado únicamente 20 especies hidrófilas del género *Sminthurides* (Sminthuridae) (Palacios-Vargas 2013), ya que el mayor esfuerzo en la taxonomía de este grupo se ha enfocado a las especies terrestres.

Orden Ephemeroptera - Las primeras contribuciones de información de especies de efemerópteros de México fueron dadas por Traver (1958, 1960). El primer listado de la fauna de efemerópteros de México fue publicado por McCafferty y Lugo-Ortiz (1996), a partir de la recopilación y el análisis de trabajos relevantes como Allen (1973, 1977,1978, 1985,1987), Allen y Cohen (1977), Brusca y Allen (1973) Allen y Brusca (1978), Allen y Murvosh (1983,1987a, b, c, d), Cohen y Allen (1978), Lugo-Ortiz y McCafferty (1994a, b, 1995a, b, 1996 a, b, c, 1998), Waltz y McCafferty (1987, 1999), Lugo-Ortiz *et al.* (1994) y cuya integración dio como resultado 116 especies hasta entonces conocidas en el país. A partir de esta fecha, el conocimiento sobre la fauna de efemerópteros de México se vio enriquecida con los trabajos de Domínguez *et al.* (1996), Wiersema (1998), Domínguez (1999), Wiersema y Baumgardner (2000), Baumgardner y McCafferty (2000), McCafferty y Randolph (1998, 2000), y Randolph y McCafferty (2000) y Nieto y Domínguez (2001), que contribuyeron a nuevos registros de especies y aclararon algunas sinonimias. De acuerdo a Randolph y McCafferty (2000), el

número de registros aumentó a 138 especies y subespecies, ubicadas en 38 géneros y 11 familias, lo que representa 4.6% de las 3,000 especies descritas a nivel mundial (Barber-James *et al.* 2008). Los análisis de la biogeografía de los efemerópteros de México fueron dirigidos por McCafferty *et al.* (1992) y McCafferty (1998). McCafferty *et al.* (1997) proporcionaron una clave taxonómica ilustrada en español para la identificación de todas las familias mexicanas.

Orden Odonata - Este grupo, junto con Trichoptera y Megaloptera son los insectos acuáticos mejor conocidos de México. El primer análisis de la historia de la odonatología en México fue referido por González-Soriano (1993). Tres años después, González-Soriano y Novelo-Gutiérrez (1996) presentaron un compendio de los odonatos de México, donde hicieron referencia a la riqueza entonces conocida de 327 especies en 82 géneros y 15 familias; su distribución por entidad federativa y la actualización hasta ese entonces de los estadios inmaduros, casi todos descritos por Novelo-Gutiérrez. Una década después se habían sumado a la lista 19 nuevas especies (González-Soriano y Novelo-Gutiérrez 2007), principalmente de los géneros Argia y Erpetogomphus y se reportaron 49 especies endémicas de México, incrementándose a 349 especies, de las cuales, 239 contaban con información de descripción de las náyades. Novelo-Gutiérrez (2007) presentó un análisis completo de la situación de los odonatos en México, e indicó que el estudio de esta fauna ha sido abordada tradicionalmente en México desde tres aspectos: taxonómico, faunístico y de comportamiento.

A la fecha, y de acuerdo al listado registrado por Paulson y González-Soriano (2012), y Gonzáles-Soriano y Novelo-Gutiérrez (2014), en México se cuenta con 355 especies de un estimado de 357 especies (González y Novelo-Gutiérrez 1996), que corresponden al 6.2% de las especies hasta ahora conocidas a nivel mundial (Kalkman *et al.* 2008). El suborden Zygoptera representado con diez familias (Amphipterygidae [2], Coenagrionidae [96], Megapodagrionidae [7], Platystictidae [8], Protoneuridae [9], Calopterygidae [10], Lestidae [11], Perilestidae [1], Plythoridae [1], Pseudoestigmatidae [5]); y el suborden Anisoptera con cuatro familias (Aeshnidae [30], Gomphidae [65], Cordulegastridae [3] y Libellulidae [107]). Se han descrito alrededor de 70% de las formas inmaduras de las especies conocidas de México. Novelo-Gutiérrez (2007) hizo referencia a 62 especies de larvas descritas por autores mexicanos y da una lista de las referencias bibliográficas que cuentan con las descripciones. De acuerdo a González-Soriano y Novelo-Gutiérrez (2014) en los últimos seis años, se han descrito las larvas de 14 especies de odonatos que se distribuyen en México, pertenecientes a cinco familias y 11 géneros. La familia con más géneros descritos en este período fue Libellulidae con cinco (*Brechmorhoga* [1], *Cannaphila* [1], *Erythrodiplax* [2], *Libellula* [1] y *Tauriphila* [1]), Le sigue Coenagrionidae con tres géneros y cinco especies (*Acanthagrion* [1], *Apanisagrion* [1] y *Argia* [3]) y las restantes tres familias con un género y una especie cada una: Aeshnidae (*Aeshna*), Megapodagrionidae (*Paraphlebia*) y Gomphidae (*Progomphus*).

Orden Orthoptera - Los representantes acuáticos de este orden son muy escasos y muchas veces no son considerados parte de los insectos acuáticos. Están representados por el suborden Acridomopha, con representan-

tes acuáticos de las superfamilias Acridoidea y Tertigidea. Para este grupo se ha registrado individuos del género *Ellipes* (familia Tridactylidae) en el lago de Pátzcuaro (Alonso-EguíaLis *et al.* 2011) y en el Río Verde (Oaxaca) (Alonso-EguíaLis *et al.* 2009). Para las cuencas del Soconusco en la costa de Chiapas, se ha registrado a *Ellipes*, así como a la familia Tetrigidae con el género *Paratettix* (Alonso-EguíaLis y Ramírez-Melchor 2013a).

Orden Plecoptera - El estudio de este grupo en México inició en la década de 1990 (Sargent *et al.* 1991). Para entonces, las únicas referencias conocidas eran Ricker (1950, 1952, 1963), Baumann y Gaufin (1972), Stewart *et al.* (1974) y Baumann (1976, 1982). Baumann y Kondratieff (1996) reportaron 47 especies, 12 géneros y siete familias para México, de las cuales Capniidae, Leuctridae, Nemouridae, Chloroperlidae, Perlodidae y Pteronarcyidae son de afinidad netamente Neártica (Bradley *et al.* 1991). Si se compara con las 578 especies reportadas para Norte América, se hace notorio la falta de conocimiento de este orden en México. Los plecópteros del género *Anacroneuria* (Perlidae) en Norte América y la región mesoamericana están representados por 40 especies, de las cuales 30 existen en México y 17 son exclusivas (Baumann y Kondratieff 1996, Starky Kondratieff 2004, Stark 2014). En el mundo se han descrito 3,497 especies (Fochetti y Tierno de Figueroa 2008).

Orden Blattodea – No se cuenta con información taxonómica sobre especies acuáticas de este grupo en México. Sin embargo, se le ha recolectado recientemente en el río Atoyac en Oaxaca (Alonso-EguíaLis 2013 b).

Orden Hemiptera - Este grupo no ha sido estudiado en México de forma sistemática y aun no se cuenta con un catálogo que permita conocer el número total de especies en el país. De acuerdo a Polhemus y Polhemus (2008) hay 4,656 especies en el mundo, de las cuales 732 existen en la región Neotropical, comprendidas en 14 familias. Herrera (2013) presentó un análisis de Naucoridae y su distribución en Centroamérica, e indicó que para México se cuenta con al menos 22 especies en siete géneros. La mayoría de los trabajos de hemípteros acuáticos para México son de tipo de inventarios regionales (Quiroz *et al.* 2001, Jones-Scheunemann 2002, Contreras *et al.* 2001, 2005,2009, Lino *et al.* 2007)

Orden Coleoptera - El estudio de los coleópteros acuáticos en México se da de manera inicial por Silvia Santiago Fragoso y sus trabajos derivados de la línea de investigación de los coleópteros acuáticos en Veracruz, Hidalgo, Estado de México y Morelos, así como el estudio de la familia Elmidae en México, Centroamérica y el Caribe. Posteriormente, Arce-Pérez en colaboración con distintos investigadores, hicieron aportaciones muy importantes al conocimiento de este grupo en el país. Los primeros reportes para este grupo estuvieron enfocados a listas de especies, así como una importante contribución para la subfamilia Larainea (Elmidae) con la elaboración de claves taxonómicas para las larvas y los adultos distribuidos en México y Centroamérica (Spangler y Santiago-Fragoso 1992). El primer registro de *Lepicerus bufo* (Coleoptera: Lepiceridae), especie endémica de México (Arce-Pérez 1977), fue registrado por Arce-Pérez y Novelo-Gutiérrez (1988) para el estado de Morelos. Arce Pérez y

Roughley (1999) desarrollaron una clave para los Hydradephaga de México, e indicaron que para la familia Dytiscidae se cuenta con 27 géneros y 179 especies, Noteridae cuatro géneros y 16 especies, Haliplidae dos géneros y nueve especies, Gyrinidae tres géneros y 25 especies.

Una sinopsis de la familia Psephenidae fue escrita por Arce-Pérez y Shepard (2001), a partir de esta se desprendieron los trabajos de la subfamilia Psepheninae (Arce-Pérez 2004 a, Arce-Pérez y Novelo-Gutiérrez 200,2001, Arce-Pérez y Shepard 2001, Arce-Pérez *et al.* 2012), en donde se registraron siete géneros y 31 especies. La subfamilia Eubriinae cuenta con tres géneros y diez especies en el Neotrópico, para México y Guatemala solo se registra a Dicranopselaphus (Shepard y Barr 2014). En el 2004, se hizo el primer registro del género *Suphis* (Noteridae) para México (Arce-Pérez 2004 b); en este mismo año se publicó una sinopsis de la familia Hydraenidae de México (Arce-Pérez y Jäch, 2004), donde se registraron cuatro géneros con 71 especies, 36 exclusivas de México. De igual manera para la familia Limnichidae reportaron tres subfamilias 12 géneros y 42 especies (Arce-Pérez y Morón 2010). Arce-Pérez y Morón (2011) hicieron una revisión de la superfamilia Hydrophiloidea de México, en la que indicaron la existencia de seis familias, nueve tribus, 36 géneros, 181 especies y seis subespecies, e incluyeron claves para géneros y su distribución en México. Otro grupo estudiado es la superfamilia Staphylinoidea en donde se registró la familia Hydraenidae representada por 71 especies, Agyrtidae con tres especies, Silphidae con 11 especies y Staphylinidae con 1,522 especies (Navarrete-Heredia 1992, Santiago-Fragoso y Mejorada-Gómez 1995, Navarrete-Heredia y Zaragoza-Caballero 2006). Navarrete-Heredia *et al.* (2002) elaboraron una guía ilustrada para la identificación de las subfamilias, aunque no restringidas a los ambientes acuáticos o semiacuáticos.

Entre los trabajos que abordan estudios regionales, se cuenta principalmente para el estado de Morelos. El río Amacuzac ha tenido especial atención, en éste se han registardo un total de 93 especies, 45 géneros y 16 familias de coleópteros acuáticos (Santiago-Fragoso y Vázquez-Navarrete 1989, Sandoval-Manrique *et al.* 2001), y se elaboraron claves de identificación para la fauna de esta misma región (Santiago-Fragoso y Vázquez-Navarrete 1990). Santiago-Fragoso y Sandoval-Manrique (2001) indicaron para la cuenca del río Cuautla en Morelos la presencia de tres familias, diez géneros y 14 especies. Navarrete Heredia (1992) registró para Morelos la especie *Cymbiodyta brevipalpis pygmaea* la cual solo se había registrado en la localidad tipo, en Oaxaca. Arce-Pérez (1995) registró para el estado de Morelos 54 géneros y 110 especies y Santiago-Fragoso y Spangler (2000), reportaron un total de 24 especies de la familia Elmidae para el estado de Morelos. Finalmente, García (2011), en la presa "Lorenzo Vázquez" en la localidad de Huautla, registró tres subórdenes, ocho familias y 22 géneros, reportándose por primera vez para el estado de Morelos a *Celina, Crenitis, Epimetopus, Georissus, Laccobius, Laccodytes y Suphisellus*. De la misma manera se cuenta con el registro de la fauna de coleópteros acuáticos del lago de Xochimilco (Santiago-Fragoso y Mejorada-Gómez 1999) y en la reserva de la biosfera "la Michilia", Durango, Arce-Pérez y Novelo- Gutiérrez (1991) reportaron siete familias con 29 géneros y 41 especies. También se cuenta con trabajos para la Huasteca Mexicana (Pérez-Munguía 2004) Veracruz y

Chiapas (Mejorada 1989) y la zona de influencia de la presa Zimapán Hidalgo (Arce-Pérez *et al.* 2002, 2010) y de la cuenca Xichú, Guanajuato (Torres-García 2012).

Orden Neuroptera – Este es un pequeño orden de insectos con aproximadamente 6,000 especies descritas, de las cuales solamente 4,000 especies se consideran válidas (Aspöck *et al.* 1980). De acuerdo a Oswald *et al.* (2002) no se cuenta con un análisis amplio de los Neuroptera de México. Los únicos representantes acuáticos de los Neuroptera son los pertenecientes a las familias Sisyridae y Nevrothidae (ésta última solo conocida en el viejo mundo) ya que sus larvas se encuentran completamente asociadas al agua, donde se alimentan de esponjas dulceacuícolas. Sisyridae posee 60 especies descritas en el mundo (Oswald *et al.*, 2002), de las cuales 3 especies en 2 géneros (*Climacia* y *Sisyra*) se distribuyen en México (Bowles, 2006; Flint, 2006), lo cual representa el 5% de la fauna mundial. Hasta ahora no se han registrado especies endémicas para México (Contreras-Ramos y Rosas 2014). *Climacia* ha sido colectado en la región Norte del país, pero se sabe de su presencia en Centro América, razón por la cual es muy probable se encuentre distribuido en todo el país. Por su parte *Sisyra apicalis* ha sido colectada en la península de Yucatán. *S. nocturna* ha sido registrada en Belize y Honduras, por lo que es muy posible se encuentre en México (Oswald *et al.* 2002).

Orden Megaloptera – Este orden ha sido ampliamente abordado desde la perspectiva sistemática y taxonómica por el Dr. Atilano Contreras-Ramos en diversas publicaciones. Este autor hizo un análisis de los Megaloptera de México en donde discutió sobre su distribución, historia natural, filogenia, biogeografía y evolución de manera puntual. Contreras-Ramos (2007) indicó que existen 13 especies registradas para México, en cinco géneros de dos familias y presentó su distribución por estados federativos. De acuerdo a este mismo autor, para la región Neotropical, la familia Corydalinae es la de mayor representación con los géneros *Chloronia, Corydalus* y *Platyneuromus*. Como aportación de gran importancia, Contreras-Ramos y Harris (1998) elaboraron una clave taxonómica para la identificación de los géneros de la familia Corydalidae, además presentaron los listados sobre la distribución del grupo en el país y la historia natural del género *Platyneuromus*. A pesar de que se conoce ampliamente la fauna de Megaloptera en México, aún se cuenta con pocos registros para algunas especies.

Orden Trichoptera - El estudio de este grupo se inició en México con los trabajos realizados por Flint (1967, 1972, 1974). Poco después, Bueno-Soria y Flint (1978) publicaron el primer catálogo sistemático de los tricópteros de México. Se cuenta con diversos trabajos con análisis regionales como el de los tricópteros de la sierra Tarahumara y la zona conocida como Desierto de los Leones en el Distrito Federal (Bueno-Soria y Steven 1993, Bueno-Soria 2004, Bueno-Soria *et al.* 2007) Recientemente se publicó el trabajo "Guía de identificación ilustrada de los géneros de las larvas de insectos del orden Trichoptera de México" (Bueno-Soria 2011) que recopiló todos estos años de trabajo, con una clave ilustrada de 18 familias y 70 géneros con información de la distribución para México y Centroamérica. En este trabajo también se

mencionó la falta de conocimiento taxonómico de grandes regiones de México, particularmente de la región noreste y centro (Bueno-Soria 2004, Bueno-Soria *et al.* 2007). En el mundo se tienen reportados 12,627 especies, 610 géneros y 46 familias (De Moor e Ivanov 2008).

Orden Lepidoptera - A pesar que este grupo es muy conocido por sus representantes terrestres en México (Solis 1996, Michán *et al.* 2004) no se encontró información publicada de taxonomía, sistemática o distribución de sus representantes acuáticos. De acuerdo a Mey y Speidel (2008) es muy poco lo que se conoce a nivel mundial de este grupo y se cuenta con poca información taxonómica o sistemática para las larvas de este orden. Las familias con representantes acuáticos son Crambidae (Pyraloidea) con las subfamilias Acentropinae y Pyrasustinae y Arctiidae (Noctuidoidea), subfamilia Arctiinae. En la región Neotropical se cuenta con 18 géneros y 216 especies de Acentropinae (Mey y Speidel, 2008). Los trabajos mexicanos en donde se ha reportado a *Petrophila sp* (Pyralidae) son: río Amacuzac, Morelos (Alonso-EguíaLis *et al.* 2007), lago de Pátzcuaro, Michoacán (Alonso-EguíaLis *et al.* 2011) región de Soconusco, Chiapas (Alonso-EguíaLis *et al.* 2013) y Río Verde, Oaxaca (Alonso-EguíaLis *et al.* 2013). Pérez-Munguía (2007) registró además a Noctuidae (siguiendo a Merrit *et al.* 2008) para varios ríos del estado de Michoacán.

Orden Diptera - Este es un grupo de insectos catalogado como de los de mayor diversidad en el planeta con alrededor de 153,000 especies (Brown *et al.* 2009). Se estima que este orden puede alcanzar en México alrededor de 20,000 especies (Morón y Valenzuela, 1993), al considerar que México posee aproximadamente el 10% de la biodiversidad mundial. Según trabajos taxonómicos, entre los que destacan monografías, catálogos, listados, revisiones y artículos taxonómicos aislados, se sabe que el orden Diptera está representado en México por al menos 83 de las 140 familias reconocidas en el mundo, pertenecientes a los dos subórdenes: Nematocera y Brachycera (Ibañez-Bernal *et al.*2006). Actualmente en México el conocimiento acerca de este grupo se encuentra en diferentes áreas de aplicación tanto de las revisiones taxonómicas, la salud pública y el uso como indicadores de calidad del agua. Por ser un orden tan extenso y difícil taxonómicamente, las revisiones han sido abordadas a partir del nivel taxonómico de familia, como se muestra a continuación.

Ceratopogonidae conocidos en México como jejenes o chaquistes cuenta con 198 especies válidas repartidas en 27 géneros, distribuidas en 6 tribus y cuatro subfamilias de las cuales 23 son endémicas de México (Ibáñez-Bernalet al.2006). Simuliidae, de acuerdo al inventario de Adler y Crosskey (2014), consta de 2151 especies en 26 géneros y 49 subgéneros. De éstas se conocen 83 especies válidas agrupadas en 10 subgéneros, cuatro géneros y dos subfamilias en México (Ibañez-Bernal *et al.* 2006). Para Psychodidae, se registran más de 2,000 especies en el mundo en dos subfamilias, Phlebotominae y Sycoracinae, de las cuales, solo la primera se registra para México con 45 especies; muy probablemente porque se le ha puesto mayor atención debido a su importancia médica como portadora de Leishmaniasis (Ibañez-Bernal 2000, 2004, 2008). Dixidae es una familia muy poco estudiada en México en donde solo existe el registro de una especie en Baja California (Ibañez-

Bernal *et al.* 2006). Blephariiceridae tiene tres especies pertenecientes a tres géneros de dos tribus de la subfamilia Blephariceriinae en México (Hogue, 1992).

Por su importancia en la salud, los estudios sobre el género *Anopheles* (Anophelinae) de la familia Culicidae iniciaron en México entre los años 1923 y 1932. Martini (1935) publicó el trabajo "Los Mosquitos de México" en colaboración con el Departamento de Salud Pública de México. Por su parte Carlos C. Hoffman de 1926 a 1939, determinó a las especies vectores de plasmodios causantes de la malaria humana en México y en 1929 realizó un estudio sobre los *Anopheles* del estado de Veracruz (Hoffmann 1931, 1938, 1939, Martínez-Palacios y Pletsch 1963, Ibáñez-Bernal *et al.* 1996, Ibáñez-Bernal 1988). Beltran-Aguilar *et al.* (2011) generaron la diagnosis ilustrada de la larva, la pupa y los adultos de ambos sexos de las especies de anofelinos del estado de Veracruz, así como las claves taxonómicas que permiten su reconocimiento. Conocidos en México como moyotes, el grupo Culicidae cuenta con 247 especies de 20 géneros (Ibáñez-Bernal *et al.*, 2006). Los Tipuliidea reconocidos como posiblemente el grupo más primitivo del orden, es la de mayor riqueza con 15, 270 especies. Para el Noetropico se han descrito 3,547 especies en cuatro familias (De Jong *et al.*, 2008). En México se han reportado 324 especies en 68 géneros, todos descritos sobre los estadíos adultos (Contreras-Ramos y Gelhaus, 2002).

Chironomidae, es igualmente reconocida como de gran riqueza específica en el mundo. Spies y Reiss (1996) registraron para México y el Neotropico 709 especies en 155 géneros y 10 subfamilias. Andersen *et al.* (2000) estimaron que en México deben haber alrededor de 1,000 especies, Andersen y Mendes (2002), Kyerematen y Andersen 2002, Ibáñez-Bernal *et al.*, 2006 registraron 61 especies, posteriormente Vinogradova y Riss (2007) reportaron 86 especies de 48 géneros de Chironomidae solamente para el estado de Yucatán. Los Dolichopodidae han sido ampliamente abordados por Pollet *et al.* (2004). En este trabajo se señaló que México cuenta con 41 especies de nueve subfamilias endémicas y 25 especies incluidas en seis subfamilias compartidas con la región Neotropical.

Filo Mollusca - El trabajo que se puede considerar como la primera revisión de los moluscos de México y Centroamérica fue de von Martens (1890-1901). Las familias de gasterópodos presentes en México, de acuerdo a la literatura consultada (Burch 1982, Rangel-Ruiz 1995, Rangel-Ruiz y Gamboa-Aguilar 2001, Naranjo-García 2003, Cózatl-Manzano y Naranjo-García 2007, Thompson 2008, Dinger *et al.* 2005, Strong *et al.* 2008) son hasta el momento: Ampullariidae, Viviparidae, Hydrobiidae, Assimineidae, Pleuroceridae, Pachychilidae, Valvatidae, Lymnaeidae, Ancylidae, Planorbidae, Physidae y Thiaridae. Estas familias contienen 46 géneros y 144 especies, de las cuales tres son exóticas y altamente invasivas (Contreras-Arquieta *et al.* 1995). Los estudios encontrados de gasterópodos dulceacuícolas no son uniformes a lo largo del territorio. Éstos se encuentran principalmente en los estados fronterizos con los Estados Unidos de Norteamérica, en el sur y sureste como Chiapas, Tabasco y Veracruz, y otros pocos registros hacia el centro del país. Particularmente para el estado de Tabasco, considerado con el de mayor extensión de humedales del país, se cuenta con el trabajo de Rangel-Ruiz y Gamboa-Aguilar (2005), quienes,

Cuadro 2. Colecciones científicas con información de macroinvertebrados de México registradas ante la Comisión Nacional de Biodiversidad (CONABIO).

Tipo de colección	*Sede*	*Taxón(es) de Interés/Áreas Geográficas*
Colección Entomológica	Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León	Insectos Acuáticos/ Norte de México
Colección Malacológica	Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León	s/d
Colección Nacional de Crustáceos	Instituto de Biología, UNAM	Crustacea: Cirripedia: Rhizocephala, Decapoda (Astacidea): Cambaridae, Decapoda (Caridea): Palaemonidae, Alpheidae, Decapoda: Pseudothelphusidae, Trichodactylidae
Colección Nacional de Moluscos	Instituto de Biología, UNAM	s/d
Colección Nacional de Insectos	Instituto de Biología, UNAM	s/d
Colección de Trichoptera	Instituto de Biología, UNAM	Sureste de México y Centroamérica
Colección Coleoptera Acuáticos	Instituto de Biología, UNAM	Elmidae/ México, Centroamérica y el Caribe
Colección de Odonata	Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz	Territorio Mexicano
Colección Entomológica	Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz	s/d
Colección Entomológica de Chiapas	El Colegio de la Frontera Sur	Coleoptera: Cerambycidae, Culicidae, Curculionidae, Melolonthidae, Passalidae, Scarabaeidae, Simuliidae y Sphingidae (Lepidoptera) del Estado de Chiapas, México

s/d sin determinar. UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México)

a través de una revisión de la literatura, indicaron que para el estado se reportan 175 especies de moluscos gasterópodos de 95 géneros, incluidos los terrestres, dulceacuícolas, marinos y de aguas salobres. Por otro lado para la clase Bivalvia (antes Pelecypoda) están reportadas las siguientes familias y géneros: Unionidae (*Anodonta, Cyrtonaias, Disconaias, Popenaias, Pyganodon, Tritogonia, Utterbackia, Lampsilis, Potamilus, Megalonaias*), Corbiculidae (*Polymesoda, Corvicula*), Mactridae (*Rangia*), Sphaeriidae (*Sphaerium,Musculium*), Dreissenidae (*Mytilopsis*) y Mycetopodidae (*Anodontites*) (Marshall 1922, 1926,Rangel-Ruiz y Gamboa-Aguilar 2001, 2005,Naranjo- García 2003,Bogan 2008,Cótzal-Manzano y Naranjo-García 2007, Ortiz-Lezama *et al.* 2012). Cabe destacar que dentro de la revisión de la literatura para los moluscos mexicanos se observó una discrepancia en la nomenclatura taxonómica.

Colecciones taxonómicas

Los esfuerzos por conocer y conservar, también se pueden evaluar y reconocer a través de las colecciones científicas. En México las colecciones científicas referenetes a macroinvertebrados bentónicos dulceacuícolas con las que el país cuenta, y que han sido apoyadas por los fondos de la Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO) en México, se muestran en el cuadro 2.

8.3.2. Estudios ecológicos

Los estudios de tipo ecológico para los macroinvertebrados acuáticos en México, surgen a partir de la década de 1980. Para los estudios de tipo autoecológico se pueden citar los que abordan la dinámica poblacional y sobrevivencia de especies de Odonata (Garrison y González-Soriano 1988, Córdoba-Aguilar 1993, 1994). Los estudios del comportamiento de este grupo, estuvieron enfocados al tópico reproductivo y de territorialidad con datos cualitativos principalmente hasta la década de los 1990, ya que el avance experimental y cualitativo marcó una nueva línea de investigación liderada en México por Córdoba-Aguilar, quién trabaja con temas como competencia espermática, selección sexual y evolución de comportamiento reproductivo (Novelo-Gutiérrez 2007).

Otros estudios poblacionales fueron sobre del acocil *Cambarellus montezumae* en Xochimilco y de aspectos reproductivos en condiciones controladas (Álvarez y Rangel 2007; Arredondo-Figueroa *et al.* 2011), del camarón Potimirin mexicana para análisis de hermafroditismo secuencial (Alonso-Reyes *et al.* 2010), así como de aspectos reproductivos y del desarrollo larval de *P. mexicanus* y *P. hobbsi* (Rodríguez-Amaráz *et al.* 2010). Además de el análisis poblacional del molusco acuático *Tarebai granifera* en ríos de Veracruz (Oliveros-Jiménez *et al.* 2008, Tapia-Vega *et al.* 2008). Entre los trabajos relativos a interacciones ecológicas se cuenta con el estudio de larvas en la relación tamaño presa-depredador (Córdoba-Aguilar y Lee 1994), entre ácaros acuáticos y dípteros (Esteva *et al.* 2006) y relacionados a parasitismo y depredación (Esteva *et al.* 2007). Bond *et al.* (2006) hicieron un análisis de la relación entre la población de *Anopheles* (Diptera: Culicidae) con la diversidad de Odonata, en consecuencia a la manipulación del hábitat para el control de especies vectores de enfermedades.

Los estudios de tipo sinecológico han cobrado mayor impulso en los últimos años, derivado principalmente de la necesidad de comprender los efectos provocados por afectaciones ambientales. Tal es el caso de los trabajos en donde se describe la estructura de la comunidad de odonatos, en dos arroyos previos al área de impacto de la hidroeléctrica Fernando Hiriart (Zimapán) en el estado de Hidalgo (Novelo-Gutiérrez *et al.* 2002). Alonso-EguíaLis (2004) desarrolló un estudio similar, pero consideró a las larvas y a los adultos, en un análisis posterior a la construcción de la presa. Este trabajo abordó el análisis de la estructura de la comunidad bajo un enfoque espacio-temporal, en las tres microcuencas afectadas por la represa, así como el voltinismo, las diversidades alfa, beta y gamma y discutió el posible efecto que la fauna íctica generó sobre la asociación de odonatos. Barba *et al.* (2010) y Villalobos-Hiriart *et al.* (2010) abordaron la distribución y abundancia de los crustáceos y los factores ambientales asociados, de los humedales de

Tabasco y cuencas del Copalita, Zimatán y Coyula en Oaxaca.

Entre los trabajos que analizan los factores que determinan la estructura y distribución de la comunidad macrobéntica en general, se cuenta el de Hurtado *et al.* (2005), quienes realizaron un análisis de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca del Moctezuma, con la finalidad de evaluar el impacto sobre el río Tecozaulta causado por alteraciones hidráulicas y de contaminación. Estos autores observaron la dominancia de los anfípodos (*Hyallela azteca*) y los dípteros en los sitios altamente impactados, mientras que en la localidad de menor impacto se observó una estructura de comunidad diversa y de alta riqueza. Campbell *et al.* (2008) llevaron a cabo una evaluación de la afectación por la represa Fernando Hiriart (Zimapán) a través del índice de distintividad taxonómica (un índice de diversidad filogenético). Cuevas-Yañez (2007) igualmente hizo un análisis del impacto de la represa hidroeléctrica de Patla sobre el río Tepactlán en Puebla.

Los estudios de la diversidad alfa, beta y gamma, fueron abordados por Novelo-Gutiérrez y Gómez-Anaya (2009), en un análisis del gradiente altitudinal en Michoacán y propusieron áreas de conservación. Además estos autores propusieron un análisis mucho más enfocado a las variaciones ambientales y biofísicas del sistema en el río Tepalcatepec, Michoacán (Novelo-Gutiérrez y Gómez-Anaya 2009). Estrada-Carbajal (2009) llevó a cabo un análisis de la respuesta de la comunidad bentónica a la oferta dada por los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la periferia del lago de Pátzcuaro. Sus resultados demostraron la eficiencia del humedal en la depuración del agua, ya que encontró una riqueza mayor en estos sistemas que en sitios referencia dentro del lago. Campbell *et al.* (2010) mencionaron la importancia de la dirección de los vientos sobre la distribución de los odonatos y su conservación, además del efecto de la pendiente, la geología y el suelo y con ello la estructura de la vegetación, entre otros. Rico-Sánchez *et al.* (2014) hicieron un análisis de la variación espacio-temporal de los macroinvertebrados en la laguna de Tecocomulco, Hidalgo y los factores fisicoquímicos asociados.

Rocha-Mendoza y Alonso-EguíaLis (2010) analizaron el efecto de los larvicidas químicos y biológicos que se usan para el control de los dípteros en México, sobre la fauna macroinvertebrada de los sistemas lóticos naturales. Estos autores identificaron una falta total de mecanismos discriminatorios y efectos adversos a toda la comunidad macrobéntica. Es importante mencionar de igual manera, el trabajo llevado a cabo por Bueno-Soria *et al.* (2005) en el estado de Tabasco, ya que es el primer trabajo que integra la entomofauna dulceacuícola de la región comprendida por los ríos Grijalva, González y Tonalá, impactados por las actividades petroleras y antropogénicas en general. En este trabajo se incluyeron los listados de las especies encontradas y cálculos de índices de diversidad por cada río, además de indicar diferencias a nivel de cuenca. Derivados de los aspectos toxicológicos, los macroinvertebrados son utilizados como organismo "blanco" o receptores de los tóxicos que ingresan en los ecosistemas acuáticos y eventualmente son bioacumuladores. Tal es el caso de las especies: *Hyalella azteca* (Amphipoda: Hyalellidae), *Limnodrilus hoffmeisteri* (Oligochaeta: Tubificidae) y *Stagnicola attenuata* (Basommatophora: Lymnaeidae) sobre

los cuales se midió la acumulación de Zn (Galar-Martínez *et al.* 2006).Los trabajos relativos al análisis de las especies de macroinvertebrados dulceacuícolas introducidos y su problemática, son aún escasos. López-López *et al.* (2009) analizaron los patrones espacio-temporales de distribución de moluscos nativos e introducidos en la región de Veracruz y determinaron los parámetros fisicoquímicos asociados.

8.3.3. Estado de conservación

Para hablar del estado de conservación de los macroinvertebrados dulceacuícolas es necesario remitirse a las condiciones del estado de salud y conservación de los ríos y lagos en México. La Red Nacional de Monitoreo (RNM), a cargo de la Comisión Nacional del Agua, cuenta con 1,627 sitios distribuidos a lo largo y ancho del país (CONAGUA 2012) de los cuales 226 son de la red primaria (estaciones permanentes de los cuerpos de agua superficiales más importantes del país), 235 de la red secundaria (componente flexible de la RNM, asociado con fuentes específicas de impacto), 466 estudios especiales (componente puntual de la RNM, bajo el cual quedan integradas todas las actividades generadoras de información de la calidad del agua) y 85 del llamado "Red de referencia de aguas subterráneas".

Originalmente el grado de contaminación se evaluaba a partir de un promedio ponderado de los índices de calidad de 18 parámetros que conformaban el ICA (Índice de Calidad del

Cuadro 3. Clasificación de la calidad del agua en México con base en DBO5.

DBO_5 mg/l	Calidad	Porcentaje
$DBO_5 \leq 3$	Excelente	42.3
$3 > DBO_5 \leq 6$	Buena calidad	27.5
$6 > < DBO_5 \leq 30$	Aceptable	18.9
$30 > < DBO_5 \leq 120$	Contaminada	7.5
> 120	Fuertemente contaminada	3.8

Fuente: CONAGUA (2010)

Cuadro 4. Clasificación de los ríos según su estado de la calidad del agua en México a partir de Demanda Química de Oxígeno (DQO).

DQO mg/l	Calidad	Porcentaje
DQO≤ 10	Excelente	29.2
10<DQO≤ 20	Buena calidad	23.6
20<DQO ≤ 40	Aceptable	21.2
40<DQO ≤ 200	Contaminada	20.4
> 120 mg	Fuertemente contaminada	5.6

Fuente: CONAGUA (2010)

Agua). Actualmente la evaluación de la calidad del agua se lleva a cabo mediante tres indicadores: la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO5), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST).

A partir del 2005, se implementó el monitoreo biológico en algunas regiones del país y se inició con el empleo del Índice Secuencial de Comparación (Cairns y Dickson 1971). En el 2010, se creó el Centro de Referencia Especializado en Bioindicadores (CREBIO) de la Comisión Nacional del Agua en México y actualmente se está en proceso de implementar valoraciones multimétricas y análisis ecológicos de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, particularmente en la cuenca del río Balsas.
Para el 2010 la medición de la calidad del agua a partir de los valores de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) del país (N=725) indicaron que 11.3% se encontraba entre contaminada y fuertemente contaminada, mientras que 42.3% está categorizada como excelente (Cuadro 3).

De acuerdo a la medición de la demanda química de oxígeno (DQO) de agua superficial nacional (N=725) los resultados indicaron que 26% de los ríos de México se encuentran entre contaminados y fuertemente contaminados, mientras que 29.2% son clasificados como de excelente calidad (Cuadro 4).

En México, como en otros países, existen diversos esquemas encaminados hacia la protección de la biodiversidad acuática continental y marina. Algunos de ellos se enfocan directamente hacia la protección de la integridad de los ecosistemas como las áreas naturales protegidas (ANP o AP) o los humedales Ramsar, mientras que otros actúan a través de la regulación del aprovechamiento de una especie o un conjunto de ellas (por ejemplo, las normas o vedas pesqueras), que pueden tener efectos en la estructura de estos ecosistemas y, por tanto, en su biodiversidad.

La creación de las ANP ha sido la estrategia de conservación más utilizada en México y el mundo. La función principal de las AP es la protección y la conservación de los recursos naturales de importancia especial, ya sean especies de fauna o flora o bien de ecosistemas representativos local, regional o internacionalmente. Con respecto a los ecosistemas acuáticos continentales, en total 81 ríos y 3,295 km de sus cauces están incluidos total o parcialmente dentro de las AP federales del país. Sin embargo, como menciona Alonso-EguíaLis (2007), esta estrategia de conservación es poco efectiva si consideramos a los ambientes lóticos y su proceso de interconexión longitudinal, lateral y vertical, y en donde el principio de cuenca no está considerado como la unidad funcional básica. Paralelamente al esquema de las AP, existen otras estrategias de conservación como los sitios Ramsar y el Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH), implementado en 2003, mediante el cual se retribuye con dinero gubernamental a los propietarios de terrenos que cuenten con bosques y selvas en buen estado por los beneficios públicos que implica su conservación para la recarga de mantos acuíferos. En México, el tipo de humedal predominante es el marino, del cual sobresalen los estuarios y las lagunas costeras, seguidos por los humedales continentales y en menor proporción se encuentran los humedales de tipo artificial representados por reservorios, diques, presas y estanques artificiales.

México cuenta con 130 sitios Ramsar con una superficie de casi nueve millones de hectáreas (CONANP 2012), de los cuales 55 son princi-

palmente de agua dulce, y el resto presentan cierta salinidad por ser zonas zonas de incursión al mar. Para México en 1997, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) dio inicio al programa de localización de las regiones hidrológicas prioritarias en México. Como resultado se establecieron 110 regiones de las cuales 30 son desconocidas científicamente y 78 se clasificaban desde entonces como regiones amenazadas (Arriaga *et al.* 2000). En las fichas informativas generadas para cada una de estas regiones, se observa que la fauna acuática registrada, hace mención a los peces, los anfibios y los crustáceos, pero la información relativa a la entomofauna acuática quedó reducida a información tangencial y limitada a sólo cinco de las 110 regiones hidrológicas prioritarias (Alonso-EguíaLis 2007). Actualmente la CONABIO está por concretar el proyecto denominado "Vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad acuática epicontinental de México: ríos, cuerpos de agua y humedales". El resultado será un conjunto de sitios prioritarios para la conservación, acotados a los ambientes acuáticos epicontinentales que abarcan 598,875 km^2 (28.8% de la superficie del país), de los cuales 15.8% están representados en las áreas protegidas y 21.7% son sitios de extrema prioridad.

Según la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestres en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial, existen 394 vertebrados (169 peces, 197 anfibios y 28 reptiles) y únicamente reporta nueve macroinvertebrados bajo algún estado de conservación, todos ellos crustáceos decápodos, los cuales son, de la familia Atyidae: *Typhlatya campechea*, Cambaridae: *Procambarus regiomontanus*, Palaemonidae: *Creaseria morleyi*, *Macrobrachium acherontium*, *M. villalobosi*, *Neopalaemon nahuatlus*, *Troglomexicanus perezfarfanteae* y Pseudothelphusidae: *Pseudothelphusa dugesi* y *Typhlopseudothelphusa mocinoi*.

Entre las mayores amenazas que enfrentan los ecosistemas acuáticos están las especies introducidas. En México los moluscos dulceacuícolas registrados como invasores son dos Prosobranchia, Melanoides tuberculata y *Tarebia granifera* y un Bivalvia, *Corbicula fluminea*, en general provenientes del Oriente y una especie nativa, *Pomacea flagellata*, que fue translocada de la vertiente del golfo de México a la vertiente del Pacífico mexicano (Naranjo-García y Olivera-Carrasco 2014). Los crustáceos introducidos invasores son *Macrobrachium rosenbergii* (Palemonidae), de origen asiático; *Orconectes virilis* y *Procambarus clarkii* (Astacidae) ambos nativos de la parte norte-centro de Estados Unidos, y *Cherax quadricarinatus*, nativo de los ríos del noroeste de Queensland y del Territorio Norte Australiano (Rodríguez-Almaraz y García-Madrigal 2014).

8.4. Empleo de los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en México

Los trabajos relacionados al uso de macroinvertebrados como bioindicadores en México presentan dos líneas. La primera desarrolla los conceptos teóricos que aplican metodologías

basadas en conceptos de índices de biodiversidad y los derivados del concepto de saprobicidad desarrolladas en Europa (De la Lanza *et al.* 2000, Vázquez-Silva *et al.* 2006, Quiroz-Martínez y Rodríguez-Castro 2006) y por otro lado el uso de índices con principios de integridad biótica que emplean métricas basadas en la estructura de la comunidad y condiciones de hábitat. Dentro de los primeros, se presentan los trabajos pioneros de la década de los años 1970, con Bueno-Soria y López (1975) y Bueno-Soria *et al.* (1981), quienes realizaron estudios relacionados al impacto causado por la contaminación en el río Lerma. Márquez *et al.* (1997), en un proyecto binacional con los Estados Unidos, realizaron el estudio "Indicadores biológicos y toxicológicos en el río Bravo" en el cual seleccionaron a las especies indicadoras de macroinvertebrados mediante un análisis de clases de abundancia y proponiéndolo para su uso en programas permanentes de biomonitoreo en ríos. Saldaña *et al.*, (1998), llevaron a cabo el proyecto "Estudio de indicadores biológicos en el río Los Pescados, Veracruz", en el que analizaron a los invertebrados acuáticos mediante el índice secuencial de comparación (ISC), el índice de macroinvertebrados bénticos (IMB) y el índice de diversidad de Margalef y recomendaron el uso de dichos índices en la evaluación de la calidad del agua en conjunto con indicadores bacteriológicos y fisicoquímicos. Finalmente, Maldonado-Cruz *et al.* (2000), estudiaron a los insectos acuáticos como indicadores de contaminación del río San Martín en el estado de Nuevo León. Dichos autores aplicaron para su análisis el índice de Shannon-Wiener. Particularmente para el estado de Morelos, la Universidad Autónoma de Morelos ha desarrollado una fuerte tradición en el estudio de macroinvertebrados dulceacuícolas como bioindicadores, los cuales han empleado desde los índices de diversidad, Índice Secuencial de Comparación, el índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), hasta los grupos funcionales alimenticios como criterios de evaluación (Mundo 1985, Márquez 1986, Huerto 1988, García 1996, Rio 2002; López-Hernández *et al.* 2002, Montes 2003, Sánchez 2005, Sandoval *et al.*, 2012, Flores- Armillas 2013).

La segunda vertiente, se inició con el desarrollo de índices de integridad biótica (IIB) para los ecosistemas acuáticos (Lyons *et al.* 1995) basados en las comunidades de peces para promover la conservación de los arroyos y los ríos en el oeste-central de México. Es a partir de esta propuesta que se han desarrollado otros IIB o bien se han establecido las bases para su utilización en el monitoreo ambiental de los ecosistemas acuáticos. Lyons *et al.* (2000) desarrollaron otro IIB basado en las comunidades ícticas para evaluar la condición de los lagos en el centro de México y es a la vez, basado en datos históricos, uno de los primeros para evaluar los ecosistemas lénticos. Una reevaluación del índice propuesto por Lyons *et al.* (op. cit.) confirmó sus resultados, pero puso en evidencia una limitante para utilizar estas herramientas en México. Ésta, es la falta de modelos contra los cuales se puedan validar estos índices y se planteó la necesidad de desarrollar o aplicar modelos que permitan hacer análisis comparativos, a fin de lograr certidumbre en el uso de estos índices (Mercado *et al.* 2002). En otra aproximación en la misma región geográfica, Weigel *et al.* (2002) desarrollaron un índice integrado basado en insectos acuáticos para evaluar los ríos, se empleó como modelo comparativo el IBF desarrollado por Hilsenhoff.

(Martínez y Orozco 2006). Rodríguez-Castro *et al.* (2004) llevaron a cabo un análisis de la fauna de dípteros en el río Pesquerías en Nuevo León para buscar la relación entre el grado de contaminación, la dipterofauna y los riesgos de salud asociados. Reportaron diez familias presentes de las cuales Chironomidae y Culicidae fueron las dominantes.

Pérez-Munguía (2004) propuso un IIB basado en las asociaciones de los coleópteros acuáticos (IIBACA) para evaluar la integridad biótica de los manantiales cársticos de la región Huasteca. Éste es el primer índice diseñado para manantiales a nivel mundial. Otro IIB fue diseñado con base en las asociaciones de los macroinvertebrados acuáticos (IIBAMA) para los ríos y los arroyos del centro del país. Este índice ha mostrado ser robusto para el monitoreo ambiental. En diversos sitios donde se ha utilizado, se obtuvo una alta correlación entre la calidad ambiental (Barbour *et al.* 1999) y la integridad biótica. De la Lanza *et al.* (2000) publicaron el primer libro que aborda el uso de los insectos acuáticos como indicadores de la contaminación. Posteriormente Quiroz-Martínez y Rodríguez-Castro (2006), publicaron el libro "Bioindicadores de contaminación en sistemas acuáticos (insectos acuáticos)".

Pérez-Munguía y Pineda-López (2005) y Pérez-Munguía *et al.* (2007) desarrollaron una propuesta para evaluar los ríos y los arroyos, mediante la combinación de las metodologías del estado más probable de Rosgen (1996), calidad ambiental visual de Barbour *et al.* (1999) y los IIB desarrollados para México por Lyons *et al.* (2000). En ese mismo año, durante el primer Simposio Internacional de Entomología Acuática Mexicana (Novelo-Gutiérrez y Alonso-EguíaLis 2007) se presentaron ocho estudios que pusieron de manifiesto la importancia de utilizar a los macroinvertebrados acuáticos con fines de biomonitoreo. Entre éstos, el de Campbell (2007) con un estudio de caso en el Río Pixquiac en Veracruz, mostró el valor de entrenar a los habitantes locales en el uso de herramientas novedosas de fácil aplicación para el monitoreo de los ríos. De igual forma el estudio de Clark (2007) señaló que el mayor reto de los investigadores latinoamericanos es el de encontrar las condiciones y sitios de referencia, en especial en los grandes ríos mexicanos. Por su parte Alonso-EguíaLis (2007) señaló la falta de sustentos legales para que en México sean utilizados los macroinvertebrados como evaluadores de calidad del agua e integrados al manejo y gestión de los recursos hídricos, e hizo hincapié en el atraso que tenemos como país en este tipo de investigaciones.

En otra investigación, Peralta-Peláez *et al.* (2007) presentó el IIB para los lagos interdunarios de la región costera central del estado de Veracruz. Éste está basado en la composición y la estructura de las comunidades de insectos acuáticos y concluye que ésta herramienta es útil tanto para el monitoreo ambiental, como para la conservación de la biodiversidad de estos ecosistemas acuáticos. Alonso-EguíaLis *et al.* (2007) llevaron a cabo un análisis de las condiciones de la salud y la integridad ecológica en seis localidades de la cuenca del río Balsas, a través de la aplicación del Índice Biótico de Hilsenhoff y Alonso-EguíaLis *et al.* (2011) hicieron uso del análisis de la estructura de la comunidad de los macroinvertebrados bentónicos asociado a los parámetros fisicoquímicos para conocer el estado de salud y la integridad ecológica del lago de Pátzcuaro en Michoacán. Se determinó la calidad del agua a través del

Índice Biótico de Hilsenhoff (1988), la diversidad alfa y los grupos funcionales alimenticios. Se observó una clara dominancia de *Hyallela azteca*, pero se reconoció una riqueza de 72 taxa incluidos efemerópteros y tricópteros, a pesar de ser un lago eutrófico. Se identificaron sitios con posibilidad de recuperación ecológica dentro del lago basado en la macrofauna bentónica. Gómez-Anaya (2008) hizo una evaluación del ensamblaje de odonatos y su potencialidad como bioindicadores y propuso al género *Argia* como un taxón sensible.

Cabe mencionar los trabajos que la autoridad del agua está llevando a cabo en México. En la década de los años 1970, se implementó el uso de un índice de calidad del agua (ICA) basado en 18 parámetros fisicoquímicos. A partir del 2005, se dio inició a la implementación de monitoreos biológicos de la calidad del agua en algunas regiones del país. Por otro lado y de conjunta el Organismo de Cuenca Balsas y la Gerencia de Calidad del Agua, de la Comisión Nacional del Agua, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y la Facultad de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, están colaborando en la creación de un centro de referencia especializado en bioindicadores, donde se trabaja en la propuesta de un protocolo de biomonitoreo e integridad biótica, que podrá ser utilizado en las cuencas del país. Por su parte el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) desde 2008, cuenta con el procedimiento denominado "Evaluación de la calidad del agua a través de macroinvertebrados (índices de diversidad e índice biótico)" acreditado ante la EMA (Entidad Mexicana de Acreditación) y brinda con ello un servicio apegado a normas de calidad.

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

El marco legislativo que da garantías a la salud y la integridad de nuestros sistemas acuáticos, inició con del artículo 27 de la Constitución Política de México, en donde se menciona que el recurso agua es propiedad de la Federación y que en consecuencia dictará las medidas necesarias para ordenarlos, así como establecer adecuadas provisiones para preservar y restaurar el equilibrio ecológico. Para reglamentar este artículo constitucional se creó La Ley de Aguas Nacionales promulgada en 1992 y reformada en 2004, cuyo principal objetivo, de acuerdo a lo establecido en su primer artículo, es la regulación, explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable, y cuyo marco de ejecución recae directamente sobre la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

La CONAGUA junto con el Instituto Nacional de Ecología (INE, ahora Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático INECC) creó tres Normas Oficiales Mexicanas (NOM) de observancia obligatoria, las cuales establecen la calidad de las descargas de agua por tipo y uso de cuerpo receptor (NOM-001-ECOL-1996), límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales; NOM-002-ECOL-1996, que

establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal y NOM-003-ECOL-1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Con ello parecería que el monitoreo de la calidad del agua en México, con base en las características físicas y químicas de tipo inorgánico que se estipulan en las leyes y normas, es relativamente completo. Sin embargo, los límites de contaminantes permitidos para descargas directas a ríos (NOM-001-ECOL-1966), no se rige por los requerimientos fisiológicos ambientales de los organismos acuáticos estructuradores de estabilidad, por ello sus valores muchas veces carecen de validez para la conservación de la integridad ecológica de estos sistemas.

En el 2003 surge la NOM-022-SEMARNAT-2003 - preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales. Determina que la conservación de un humedal costero depende del control de las actividades que más lo afectan, como son la canalización, la utilización del agua de escurrimiento, el dragado, la tala o quema de la vegetación y el pastoreo, así como mantener el equilibrio de la función hidrológica y de la calidad del agua. Además, establece que el campo de aplicación de esta norma es obligatoria para todo usuario en la cuenca hidrológica, dentro del plan global de manejo de la cuenca hidrológica costera en zonas de manglar. Específicamente en el punto 4.37 menciona: "Se deberá favorecer y propiciar la regeneración natural de la unidad hidrológica, comunidades vegetales y animales mediante el restablecimiento de la dinámica hidrológica y flujos hídricos continentales (ríos de superficie y subterráneos, arroyos permanentes y temporales, escurrimientos terrestres laminares, aportes del manto freático), la eliminación de vertimientos de aguas residuales y sin tratamiento protegiendo las áreas que presenten potencial para ello".

Actualmente se cuenta con la entrada en vigor de la norma NMX-AA-159-SCFI-2012 que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas. Esta norma está basada en la consideración de que el caudal ecológico, es un instrumento de la gestión del agua, fundamentado en el principio ecológico del régimen natural y el gradiente de la condición biológica, que busca mantener y conservar a los ecosistemas, los usos del agua y las necesidades de almacenamiento a lo largo del año. Esta norma señala las metodologías correspondientes para la determinación del caudal ecológico, como una medida de regulación de la explotación, uso y conservación del agua para proteger los ecosistemas relacionados, con la finalidad de propiciar un desarrollo sustentable en las cuencas hidrológicas.

8.6. Perspectivas futuras

La acelerada destrucción y desaparición de los sistemas dulceacuícolas del país nos debe orientar hacia un cambio de visión de la investigación en México, en donde el esfuerzo por conocer vaya de la mano del esfuerzo por conservar. Si bien es cierto y fundamental que no se puede hacer conservación sin entender los procesos de la complejidad de los patrones ecológicos, también es cierto que no hay tiem-

po para trabajar con la visión de un naturalista, sino más bien hay que trabajar con la pasión de un conservacionista, sin perder de vista la rigurosa visión de la ciencia.

La visión espacio-temporal de análisis a través de la unidad funcional de la cuenca mediante el llamado "Modelo 5-S" (Verdonschot *et al.* 1998) es una propuesta que conviene contemplar. Esta idea comprende abordar la conservación desde el análisis de los siguientes puntos: a) condición del sistema (supracuenca), análisis del clima, la geomorfología y la geología; b) hidrología del sistema, que abarca el análisis de los procesos a nivel de cuenca, como son las mediciones y balances de agua superficial y subterránea, comportamiento de los caudales y sus cinco variables de evaluación que de acuerdo a Poff *et al.* (1997) son la "llave maestra" de la conservación de los ríos; c) estructura del cauce definida por los procesos hidráulicos y sus patrones, que determinan además el tipo de sustrato dominante y con ello los tipos y disponibilidad de hábitat; d) sustancias- que comprende los componentes disueltos determinantes en la ecofisiología de la fauna acuática como son el oxígeno disuelto, los nutrientes, la materia orgánica disuelta, los iones y cualquier tipo de contaminantes, además de los tradicionales parámetros físicoquímicos que se miden para hacer la evaluación de la calidad del agua; y e) especies - todos los factores mencionados previamente determinarán el tipo y estructura de la comunidad de macroinvertebrados, sobre los cuales se puede hacer la evaluación y con ello la integración de respuestas del sistema ante algún tipo de alteración.

Dado que el país es tan grande y el conocimiento tan escaso, es necesario generar una visión de red de investigación nacional, que de manera coordinada considere medir todas aquellas variables que permitan entender la estructura, función e interacciones de los ecosistemas dulceacuícolas. También se debe promover la visión de la caracterización por biorregiones, que considere el uso de sitios tanto de referencia como aquellos de menor impacto, así como la generación de información a partir de sitios que sean representativos a cada bioregión y al tipo de cuenca. La estandarización en el método de recolecta como en el trabajo de laboratorio, son fundamentales para poder hacer que el esfuerzo en el conocimiento de la macrofauna béntica mexicana tenga un avance continuo y con bases firmes. Para ello se debe trabajar con metodologías probadas como es el caso de los análisis establecidos en el laboratorio de indicadores bióticos del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), la cual también ha sido propuesta para ser utilizada dentro de la red mesoamericana de macroinvertebrados.

8.7. Conclusiones

Se concluye que México es un país en donde los estudios sobre la fauna macroinvertebrada dulceacuícola aún son escasos y falta mucho por hacer. Sin embargo, hay algunos grupos con avances importantes en el conocimiento de su taxonomía y diversidad como en el caso de Odonata, Crustacea, Trichoptera y Megaloptera. A pesar de que aún y cuando el agua es un recurso de gran importancia, para consolidar el modelo económico de desarrollo actual, el ritmo acelerado de desaparición de hábitats y los altos valores de contaminación, obligan a

hacer un cambio en la forma de ver y estudiar nuestros sistemas dulceacuícolas. México es clasificado como un país megadiverso y con una variación muy importante en las regiones ecohidrológicas, que lo divide en una región norte de tipo semidesértica, el centro con un régimen hidrológico estacional y el sur con un régimen de precipitación mucho mayor que en las regiones anteriores, presenta un rezago muy importante en los estudios ecológicos y de conservación de sus ecosistemas dulceacuícolas. Por otra parte, las herramientas normativas con que se cuenta para medir y determinar límites de contaminación no consideran los requerimientos mínimos de sus comunidades biológicas.

El panorama de tendencias de uso de los recursos hídricos en México, como en Centroamérica, va al incremento acelerado, con la finalidad de cubrir no nada más los requerimientos de uso potable y riego, sino con fines de producción energética. A la fecha aún existe una desvinculación muy fuerte entre la investigación básica y la taxonómica con la visión de conservación y el análisis ecológico. Esta situación debe ser superada de manera rápida si es que queremos conservar algo de nuestros sistemas de agua dulce.

Las ciencias llamadas "ciencias complejas" (Osterkamp y Hupp 1996) consistentes en análisis multidisciplinarios, es la tendencia que debemos implementar en nuestros planes académicos. El desarrollo de la ecohidrología como ciencia compleja es el tema a desarrollar en nuestros planes curriculares universitarios además de nuevas líneas de investigación. Los análisis de escala espacio-temporal concernientes a la unidad funcional de la cuenca, deben ser la línea base para entender los procesos y dirigir las investigaciones. A su vez esta información debe permear hacia los tomadores de decisiones como a la sociedad en general, de tal manera que la brecha entre uso desmedido y conciencia ecológica lleven una relación inversa.

El uso de los bioindicadores es un tema aún pendiente en México a pesar de que su avance ha sido muy significativo en algunos países de Centroamérica, como es el caso de Costa Rica y El Salvador. A la fecha no contamos con instrumentos legales que regulen el uso de los bioindicadores y mucho menos el uso de los macroinvertebrados para este fin. En el futuro próximo y ante la urgente necesidad de monitorear nuestros ecosistemas, se hace imperante el desarrollo de modelos científicamente válidos, pero de fácil acceso a la sociedad, que permitan intensificar el monitoreo para la toma de decisiones dirigidas hacia la rehabilitación de los ecosistemas y la mitigación de los impactos. Al mismo tiempo, resultará muy importante la participación y compromiso de los legisladores y las autoridades de los tres niveles de gobierno, para crear las condiciones que permitan elevar al nivel de normas oficiales estos procedimientos, para atender desde una línea de base científica y con principios de integridad biótica, el manejo y la conservación del patrimonio de los ecosistemas de agua dulce de México.

8.8. Agradecimientos

Este capítulo no hubiera sido posible sin la valiosa colaboración en la búsqueda de material bibliográfico de los compañeros y amigos M. en C. Ulises Torres, Biol. Jareth Román Heracleo, Biol. Vania Ramírez-Melchor, Biol. Miguel Piñón y M. en C. Patricio Maya. También agradecemos la colaboración de la M. en C. Marcia

Ramírez Sánchez por su revisión y aportación a la información de ácaros de acuáticos de México y al Biol. Eleuterio Vara por la elaboración del mapa de cuencas de México este capítulo.

8.9. Literatura Citada

Aguilar, V. 2003. Aguas continentales y diversidad biológica de México: un recuento actual. *Biodiversitas* 8(48): 1-15.

Alcocer-Durand, J. y Bernal-Brooks, F.W. 2010. Limnology in Mexico. *Hydrobiologia* 644: 15-68.

Alcocer-Durand, J. y Escobar-Briones, E 1991. Freshwaterbiological research in Mexico: a brief historical review. *Freshwater Forum* 1: 109–114.

Adler, P H. y Crosskey R. W. 2014. World blackflies (Diptera: Simuliidae): a comprehensive revision of the taxonomic and geographical inventory [Online] Disponible en http://entweb. clemson. edu/biomia/pdfs/blackflyinventory.pdf . Recuperado el 5 de mayo de 2014

Ahyong, S. T., Lowry, J. K., Alonso, M., Bamber, R. N., Boxshall, G. A., Castro, P., Gerken, S., Karaman, G. S., Goy, J. W., Jones, D. S., Meland, K., Rogers D. C., y Svavarsson, J. 2011. Subphylum Crustacea Brünnich, 1772. Pp 165:193. En: Zhang, Z.-Q. (Ed.) Animal Biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness Zootaxa (3148) Magnolia Press. Auckland, New Zeland.

Allen, R.K. 1973. Generic revisions of mayfly nymphs. 1. *Traverella* in North and Central America (Leptophlebiidae). *Annals of the Entomological Society of America* 66(6): 1287-1295.

Allen, R.K. 1977. A new species of *Tricorythodes* with notes (Ephemeroptera: Tricorythidae). *Journal of the Kansas Entomological Society* 50: 431-445.

Allen, R.K. 1978. The nymphs of North and Central American *Leptohyphes* (Ephemeroptera: Tricorythidae). *Annals of the Entomological Society of America* 71: 537-558.

Allen, R.K. 1985. Mexican mayflies: new species, descriptions and records (Ephemeroptera). *Pan-Pacific Entomologist* 61: 332-333.

Allen, R.K. 1987. New Baetidae from the southwestern United States and northern México (Ephemeroptera: Insect), with notes. *The Canadian Entomologist* 119: 1095-1099.

Allen, R.K. y Brusca, S.D. 1978. Generic revisions of mayfly nymphs. II. *Thraulodes* in North and Central America (Leptophlebiidae). *Canadian Entomologist* 110: 413-433.

Allen, R.K. y Cohen, S.D. 1977. Mayflies (Ephemeroptera) of Mexico and Central America: new species, descriptions, and records. *Canadian Entomologist* 109: 399-414.

Allen, R.K. y Murvosh, C.M. 1983. Taxonomy and zoogeography of the mayflies (Ephemeroptera: Insecta) of Baja California. *Annals of the Entomological Society of America* 76: 425-433.

Allen, R.K. y Murvosh, C.M. 1987a. Mayflies (Ephemeroptera: Tricorythidae) of the southwestern United States and northern Mexico. *Annals of the Entomological Society of America* 80: 35-40.

Allen, R.K. y Murvosh, C.M. 1987b. Leptophlebiidae of the southwestern United States and northwestern Mexico (Insecta: Ephemeroptera). *Great Basin Naturalist* 47: 283-286.

Allen, R.K. y Murvosh, C.M. 1987c. New Baetidae from the southwestern United States and northern Mexico (Ephemeroptera: Insecta), with notes. *Canadian Entomologist* 119: 1095-1099.

Allen, R.K. y Murvosh, C.M. 1987d. Mayflies (Ephemeroptera: Tricorythidae) of the southwestern United States and northern Mexico. *Annals of the Entomological Society of America* 80: 35-40.

Alonso-EguíaLis, P. 2004. Ecología de las asociaciones de Odonata en el área de influencia de las cuencas afectadas por la presa Zimapán, Querétaro-Hidalgo. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, México.

Alonso-EguíaLis, P. 2007. Importancia del estudio de la entomofauna acuática para la conservación y manejo sustentable de sistemas dulceacuícolas de México. Pp. 51-62, En: Novelo-Gutiérrez, R. y Alonso-EguíaLis, P. (Eds.). Simposio Internacional Entomología Acuática Mexicana: Estado Actual de Conocimiento y Aplicación. IMTA-SME, México.

Alonso-EguíaLis, P., Maya Vilchis, P., Brug, B. y Huerto, R. 2007. Análisis de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y aplicación del índice biótico de Hilsenhoff para la evaluación de la calidad del agua en el río Balsas. *Entomología Mexicana* 6: 360-365.

Alonso-EguíaLis, P. González-Valencia, L., Estrada-Carbajal, C. y Rocha-Mendoza, A. 2011. La fauna de macroinvertebrados bentónicos del Lago de Pátzcuaro y su uso como indicadores del estado de salud e integridad del hidrosistema. Pp. 157-190.En: Huerto-Delgadillo, R., Vargas, S. y Ortíz-Paniagua, C. (Eds.). Estudio ecosistémico del Lago de Pátzcuaro: aportes en gestión ambiental para el fomento del desarrollo sustentable. México, IMTA-UAEM-UMICH. México.

Alonso-EguíaLis, P. y Ramírez-Melchor, V. 2013a. Calidad del Agua y Biomonitoreo. Pp. 281-285. En: Alonso-EguíaLis, P., Brena, J., Castillo, C., Martínez., y Sánchez-Camacho, E. Inventario y programa de manejo integral para la conservación de los humedales del Soconusco a través de su delimitación, caracterización ecológica, hidrológica, social y grado de riesgo.Informe Final proyecto FONSEC 148109 CONAGUA-CONACyT.

Alonso-Eguía Lis P. y Ramírez-Melchor V. 2013b. Análisis Ecológico y Calidad del Agua a través de Bioindicadores de la cuenca Alta del Atoyac. Pp 319-356. En: Izurieta D. J., Alonso-Eguía-Lis P., Pica, G. Y., Rivera, R. P., Mantilla, M.G., Ramírez-González, A. Hernández-López, R. y Ramírez-Melchor, V. (Eds.). Estudio para la detección de fuentes contaminantes por descargas de agua residual al río Atoyac entre la ciudad de Oaxaca y el sitio de la presa Paso Ancho. Informe Final Convenio IMTA-CONAGUA. SGAPDS-OCPS-OAX-13-TT-003-RF-CC

Alonso-Reyes, M., Bortolini-Rosales, J. L., y Álvarez, F. 2010. Análisis discriminante aplicado a los grupos sexuales de *Potimirim mexicana*, camarón hermafrodita protándrico. *Revista mexicana de biodiversidad* 81, 187-192.

Álvarez, F. y Rangel R. 2007. Estudio poblacional del acocil *Cambarellus montezumae* (Crustacea: Decapoda: Cambaridae) en Xochimilco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 78: 431- 437.

Álvarez, F. y Villalobos, J.L. 1994.Two new species and one new combination of freshwater crabs from Mexico (Crustacea: Brachyura: Pseudothelphusidae). *Proceedings of the biological Society of Washington, Lawrence* 107(4): 729-737

Álvarez, F. y Villalobos, J.L. 1996. Especie nueva de cangrejo de agua dulce del género *Pseudothelphusa* (Brachyura: Pseudothelphusidae) de Guerrero, México. *Anales del Instituto de Biología* 67 (2): 297-302

Álvarez, F. y Villalobos, J.L. 1997. *Pseudothelphusa ayutlaensis*, a new species of freshwater crab (Crustacea: Brachyura: Pseudothelphusidae) from Mexico. *Proceedings of the biological Society of Washington, Lawrence* 110 (83): 388-393

Álvarez, F. y Villalobos, J.L. 1998. Six new species of freshwater crabs (Brachyura: Pseudothelphusidae) from Chiapas, Mexico. *Journal of Crustacean Biology* 18(1): 187-198.

Álvarez, F. y Villalobos, J.L. 2008. A new species of freshwater cave dwelling *Speocirolana* (Isopoda, Cirolanidae) from San Luis Potosi, Mexico. *Crustaceana* 81(6): 653-662

Álvarez, F., Villalobos, J.L. y Robles, R. 2002. Abbreviated larval development of *Macrobrachium tuxtlaense* Villalobos y Alvarez, 1999, reared in the laboratory. *Crustaceana* 75(5): 717-730.

Álvarez, F., Villalobos, J.L., Rojas, Y. y Robles, R. 1999. Listas y comentarios sobre los crustáceos decápodos de Veracruz, México. *Anales del Instituto de Biología*, 70(1): 1-27.

Álvarez, F., Villalobos, J. L., y Robles, R. 2005. *Crustáceos*. Pp. 177-194. En: Bueno, J., Álvarez, F., y Santiago-Fragoso, S. (Eds.) Biodiversidad del estado de Tabasco. Universidad Nacional Autónoma de México.México D.F.

Álvarez, F., Villalobos, J. L., Elías, M., y Rivera, G. 2011. *Crustáceos dulceacuícolas y terrestres de Chiapas*.Pp.209-297.En. Álvarez F (Ed) Chiapas, estudios sobre su diversidad biológica. Universidad Nacional Autónoma de México, DF.

Álvarez, F., Villalobos, J. L., Hendrickx, M.E., Escobar-Briones, E., Rodríguez-Almaraz, G. y Campos, E. 2014. Biodiversidad de crustáceos decápodos (Crustacea: Decapoda) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* Supl. 85: S208-S219.

Andersen, T., Contreras-Ramos, A., y Spies, M. 2000. *Chironomidae*. Pp.581-591 En: Llórente-Bousquets, J., Garcia-Aldrete, A.N. y González-Soriano, E. (Eds.): Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento. Vol 2. Universidad Nacional Autónoma de México, México

Andersen, T. y Mendes, H.F. 2002. Neotropical and Mexican *Mesosmittia Brundin,* with the description of four new species. *Spixiana* 25: 55-69.

Anderson, R.S. y O'Brien, C.W. 1996. *Curculionidae (Coleóptera)*. Pp. 329-349, En: Llórente-Bousquets, J., Garcia-Aldrete, A.N. y González-Soriano, E. (Eds.), Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

Arce Pérez, R. 1995. Lista preliminar de Coleópteros acuáticos del estado de Morelos, México. *Acta Zoológica Mexicana* 65:43-53

Arce-Pérez, R. 1997. Sinopsis del suborden Myxophaga (Coleoptera) de México. *Duguesiana* 4(2):41-50

Arce-Pérez, R. 2001. A new genus and species of Psepheninae (Coleoptera: Dryopoidea: Psephenidae) for Mexico. *Proceedings of the Entomological Society of Washington* 103(2): 389-395.

Arce-Pérez, R. 2004 a. *Psephenopalpus browni*, a new genus and species of Psepheninae (Coleoptera: Byrrhoidea: Psephenidae) from Mexico. *Proceedings of the Entomological Society of Washington* 106 (1), 90–96.

Arce-Pérez, R. 2004 b. Primer registro del género *Suphis* Aube, 1836 (Coleoptera: Noteridae) para México. *Folia Entomología Mexicana* 43(3): 321-322.

Arce-Pérez, R. y Jäch M. A. 2004. Sinopsis de la familia Hydraenidae (Coleoptera: Staphylinoidea) de México. *Folia Entomológica Mexicana* 43 (2). 237-247

Arce-Pérez, R. y Morón M.A. 2010. Lista anotada y clave para los géneros de la familia Limnchidae (Coleoptera: Byrrhoidea) de México. *Dugesiana* 17(1): 1-8.

Arce-Pérez, R. y Morón M.A. 2011. Sinopsis de los Hydropiloidea de México (Coleoptera: Hydrophilidae, Helophoridae, Epimetopidae, Georissidae e Hydrochidae), con una clave para la identificación de los géneros. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82: 491-514.

Arce-Pérez, R y Novelo-Gutiérrez, R. 1988. Primer registro de *Lepicerus bufo* (Hinton, 1934) (Coleoptera: Lepiceridae) para el estado de Morelos, México. *Folia Entomología Mexicana* 75: 156-158.

Arce-Pérez, R. y Novelo-Gutiérrez, R. 1991. Coleópteros acuáticos de la reserva de la Biosfera de La Michilia, Durango, México. *Folia Entomología Mexicana* 16(3): 1-554.

Arce-Pérez, R. y Novelo-Gutiérrez, R. 2000. First record of the genus Psephenops (Coleoptera: Psephenidae) from Mexico, with a description of a new species. *Entomological News* 111 (3), 196–200.

Arce-Pérez, R. y Novelo-Gutiérrez, R. 2001. A new genus and species of Psepheninae (Coleoptera: Dryopoidea: Psephenidae) from Mexico. *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, 103 (2), 389–395.

Arce-Pérez., R. y Roughley, R.E. 1999. Lista anotada y claves para los Hydradephaga (Coleoptera: Adephaga: Dytiscidae, Noteridae, Haliplidae, Gyrinidae) de México. *Dugesiana* 6 (2): 69-104.

Arce-Pérez, R., y Shepard, W.D. 2001. Sinopsis de la familia Psephenidae (Coleoptera: Dryopoidea) de Norte y Centroamérica. Synopsis of the Psephenidae family (Coleoptera: Dryopoidea) from North and Central America. *Folia Entomológica Mexicana* 40(3): 397-406.

Arce-Pérez, R., Gómez-Anaya, J.A. y Novelo-Gutiérrez, R. 2010. Coleópteros acuáticos de la zona de influencia de la central hidroeléctrica "Ing. Fernando Hiriart Balderrama" (C.H. Zimapan), Hidalgo, México. II. Coleoptera: Polyphaga y Myxophaga. *Acta Zoológica Mexicana* 26 (3): 639-667.

Arce-Pérez, R., Novelo–Gutiérrez R. y Gómez–Anaya, J.A. 2002. Coleópteros acuáticos de la zona de influencia de la Central Hidroeléctrica "Ing. Fernando Hiriart Balderrama" (PH. Zimapán), Hidalgo, México I. (Coleoptera: Adephaga: Dytiscidae, Haliplidae, Gyrinidae). *Folia Entomológica Mexicana* 41(2):229–248.

Arce-Pérez, R., Shepard, W.D. y Morón, M.A. 2012 *Belicinus rhomboideus*, a new genus and species of Psepheninae (Coleoptera: Byrrhoidea: Psephenidae) from Belize. *Zootaxa* 3157, 31–40

Arriaga, L., V. Aguilar y J. Alcocer. 2000. *Aguas continentales y diversidad biológica de México*. CONABIO, México.

Arredondo-Figueroa, J. L., Vásquez-González, A., Núñez-García, L. G., Barriga-Sosa, I. D. L. Á., y Ponce-Palafox, J. T. 2011. Aspectos reproductivos del acocil *Cambarellus (Cambarellus) montezumae* (Crustacea: Decápoda: Cambaridae) en condiciones controladas. *Revista mexicana de biodiversidad* 82(1), 169-178.

Aspöck, H., Aspöck, U. y Hölzel, H. 1980. Die Neuropteren Europas. 2 vols. Goecke and Evers, Krefeld, Germany.

Barber-James, H.M., Gattolliat, J.L., Sartori, M. y Hubbard, M.D. 2008. Global diversity of mayflies (Ephemeroptera: Insecta) in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 339-350.

Barba, E., Juárez-Flores, J., y Estrada-Loreto, F. 2010. Distribución y abundancia de crustáceos en humedales de Tabasco, México. *Revista mexicana de biodiversidad* 81, 153-163.

Barbour, M.T., Gerritsen, J., Zinder, B.D. y Stribling, J.B. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish. EPA 841–B41-99-002, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C.

Baumann, R.W. 1976. *Amphinemura reinerti*, a new stonefly from northern Mexico (Plecoptera: Nemouridae). *Southwestern Naturalist* 20: 517-521.

Baumann, R.W. 1982. *Plecoptera.* Pp. 278-279, En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.), Aquatic biota of Mexico, Central America and the West Indies. San Diego State University, San Diego, California, USA.

Baumann, R.W. y Gaufin, A.R. 1972. The *Amphinemura venusta* complex of western North America (Plecoptera: Nemouridae). *Natural History Museum of Los Angeles County Contributions to Science* 226: 1-16.

Baumann, R.W. y Kondratieff, B.C. 1996. *Plecoptera*. Pp. 169-174, En: Llorente Bousquets, J.E., García-Aldrete, A.N. y González-Soriano, E. (Eds.). Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

Baumgardner, D.E. y McCafferty, W.P. 2000. *Leptohyphes zalope* (Ephemeroptera: Leptohyphidae): a polytypic North and Central American species. *Entomological News* 111: 49-59.

Beltrán-Aguilar, A., Ibáñez-Bernal, S., Mendoza-Palmero, F., Sandoval-Ruiz, C. A., y Hernández-Xoliot, R. A. (2011). Taxonomía y distribución de los anófelinos en el estado de Veracruz, México (Diptera: Culicidae, Anophelinae). *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)* 27(3), 601-755.

Benazzi, M. 1975. *Opisthobursa josephinae*, a new troglobitic planarian from Chiapas, Mexico. *Rend Accademia Nazionale dei Lince* Ser VIII 59: 533-538.

Benazzi, M. y Giannini, E. 1971. *Cura azteca*, nuova specie di planaria del Messico. *Rend Accademia Nazionale dei Lince* VIII 50: 477-481.

Bogan, A.E. 2008. Global diversity of freshwater mussels (Mollusca: Bivalvia) in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 139-147.

Bond, J.G., Novelo-Gutiérrez, R., Ulloa, A., Rojas, J.C., Quiroz-Martínez, H. y Williams, T. 2006. Diversity, abundance, and disturbance response of Odonata associated with breeding sites of *Anopheles pseudopunctipennis* (Diptera: Culicidae) in southern Mexico. *Environmental Entomology* 35(6): 1561-1568.

Bowman, T.E. 1975. A new genus and species of troglobitic cirolanid isopod from San Luis Potosi, Mexico. *Museum of Texas Tech University* 27: 1-7.

Bowman, T.E 1981. *Thermosphaeroma milleri* and *T. smithi*, new sphaeromatid isopod crustaceans from hot springs in Chihuahua, Mexico, with a review of the genus. *Crustacean Biology* 1(1): 105-122.

Bradley, J.S., Baumann, R.W. y Kondratieff, B.C. 1991. Zoogeographic affinities of the Nearctic stonefly (Plecoptera) fauna of Mexico. *The Southwestern Naturalist* 36(3): 323-331.

Brinkhurst, R.O. y Marchese, M.R. 1989. Guide to the freshwater aquatic Oligochaeta of South and Central America. Colección CLIMAX 6, Asociación Ciencias Naturales del Litoral, Argentina.

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.

Brusca, C.R. y Allen, R.K. 1973. A new species of *Choroterpes* from Mexico (Ephemeroptera: Leptophlebiidae). *Journal of the Kansas Entomological Society* 46(2): 137-139.

Bueno-Soria, J. 2004. Insectos del orden Trichoptera de la Sierra Tarahumara, Chihuahua, México. CONABIO proyecto No. X007, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

Bueno-Soria, J. 2011. Guía de identificación ilustrada de los géneros de larvas de insectos del orden Trichoptera de México. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

Bueno-Soria. J. y López, A. J. B. 1975. Evaluación de la calidad del agua en dos corrientes en México mediante el uso de la fórmula de diversidad de Whilm y Dorris. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 36:147-156.

Bueno-Soria, J., López A. J. B y Márquez, M. C. 1981. Consideraciones preliminares sobre la ecología de los insectos acuáticos del río Lerma. *Anales del. Instituto .de Ciencias del Mar y Limnología* 8(1):175-182.

Bueno-Soria, J. y Flint, O.S. Jr. 1978. Catálogo sistemático de los tricópteros de México (Insecta: Trichoptera), con algunos registros del Norte, Centro y Sudamérica. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología* 49: 189-218.

Bueno-Soria, J., Razo-González, M., y Barba-Álvarez, R. 2007 Tricópteros (Insecta: Trichoptera) del desierto de los leones, DF. Pp. 31-38. En: Novelo-Gutiérrez, R. y Alonso-EguíaLis, P. (Eds.), Simposio Internacional Entomología Acuática Mexicana: Estado Actual de Conocimiento y Aplicación. IMTA-SME, México.

Bueno-Soria, J., Santiago-Fragoso, S., y Barba-Álvarez, R. (2005). Insectos acuáticos. Cap. 9: 195-224. En Bueno-Soria, J., F. Álvarez y S. Santiago-Fragoso. Biodiversidad del Estado de Tabasco 386 pp. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México-CONABIO, México.

Burch, J.B. 1982. Freshwater snails (Mollusca: Gastropoda) of North America. Environmental Protection Agency, USA.

Cairns, J. y Dickson, K.L. 1971. A simple method for the biological assessment of the effects of water discharges on aquatic bottom-dwelling organisms. *Journal of the Water Pollution Control Federation* 43(5): 755-772.

Campbell, W.B. 2007. Innovation in evaluating freshwater macroinvertebrates in Mexico: community-based volunteers and water quality monitoring. Pp. 91-104, En: Novelo-Gutiérrez, R. y Alonso-Eguía Lis, P. (Eds.), Simposio Internacional Entomología Acuática Mexicana: Estado Actual de Conocimiento y Aplicación. IMTA-SME, México.

Campbell, W.B. y Novelo-Gutiérrez, R. 2007. Reduction in odonate phylogenetic diversity associated with dam impoundment is revealed using taxonomic distinctness. *Fundamental and Applied Limnology/ Archiv fur Hydrobiology* 168: 83-92.

Campbell, W.B., Arce-Pérez, R. y Gómez-Anaya, J.A. 2008. Taxonomic distinctness and aquatic Coleoptera: comparing a perennial and intermittent stream with differing geomorphologies in Hidalgo, México. *Aquatic Ecology* 42: 103-113.

Campbell, W.B., Novelo-Gutiérrez, R. y Gómez-Anaya, J.A. 2010. Distributions of Odonata richness and diversity with elevation depend on windward or leeward aspect: implications for research and conservation planning. *Insect Conservation and Diversity* 3: 302-312.

Campos-González, E. 1982. Distribución geográfica, ciclo de vida y hábitos de *Procambarus simulans regiomontanus* Villalobos, en elestado de Nuevo León, México. Tesis licenciatura, Facultad de CienciasBiológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Campos-González, E. y RodríguezAlmaraz, G.A. 1992. Distribution of *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) (Decapoda: Cambaridae) in Mexico: an update. *Crustacean Biology* 12(4): 627630.

Chapman, A. D., 2009. Numbers of Living Species in Australia and the World, 2nd edition. Australian Biodiversity Information Services Disponible en: http://www.environment.gov.au/node/13868#otherinvertebrates. Recuperado el 3 de mayo de 2014

Cernosvitov, L. 1936. Resultats zoologiques de voyage de Mr Le Dr. J. Storkan au Mexico. *Cekoslovenska Spolecnost Zoologicka Prague Vestnik V* 3: 80-83.

Clark, W.H. 2007. The use of macroinvertebrates in assessing biotic integrity and aquatic conditions in North America and potential for use in Latin America. Pp. 79-90, En: Novelo-Gutiérrez, R. y Alonso-EguíaLis, P. (Eds.), Simposio Internacional Entomología Acuática Mexicana: Estado Actual de Conocimiento y Aplicación. IMTA-SME, México.

Cohen, S.D. y Allen, R.K. 1978. Generic revisions of mayfly nymphs in *Baetodes* from North and Central America (Baetidae). *Journal of the Kansas Entomological Society* 51: 253-269.

CONAGUA. 2008. Estadísticas del agua en México. SEMARNAT.

CONAGUA 2010.Estadísticas del Agua en México. SEMARNAT.

CONAGUA 2012. Atlas del Agua en México. SEMARNAT.

CONAMP 2012. Humedales de México. Disponible en: http://ramsar.conanp.gob.mx/la_conanp_y_los_humedales.php . Recuperado el 16 de febrero del 2013

Contreras-Arquieta, A., Guajardo-Martínez, G. y Contreras-Balderas, S. 1995. *Thiara* (*Melanoides*) *tuberculata* (Müller, 1774) (Gastropoda: Thiaridae), su probable impacto ecológico en México. *Publicaciones Biológicas*, Facultad de Ciencias Biológicas/Universidad Nacional Autónoma de Nuevo León. México, 8(1 y 2): 17-24.

Contreras, G., Camarillo, G., Navarrete, N.A. y Fernández, G.E. 2005. Corixidae (Hemiptera: Heteroptera) en el lago urbano del Parque Tezozomoc, Azcapotzalco, México, D.F. *Revista Chapingo Serie Ciencias, Forestales y del Ambiente* 11(2): 93-97.

Contreras, G., Navarrete, N.A., Fernández, G.E. y Rojas, M.L. 2001. Aspectos ecológicos de los Corixidae (Hemiptera: Heteroptera) en el estanque piscícola "GL" de Soyaniquilpan de Juárez, Estado de México. *Hidrobiológica* 11(1): 53-60.

Contreras, G., Ramos, J.S., Navarrete, N.A. y Cuellar, N.A. 2009. Coríxidos (Hemiptera) del embalse de La Goleta, Estado de México y su relación con algunos parámetros ambientales. *Revista Chapingo Serie Ciencias, Forestales y del Ambiente* 15(2): 121-125.

Contreras-Balderas, S. y Purata-Velarde, D. 1982. *Speocirolana guerrai* sp. nov., cirolánido troglobio anoptalmo de la cuevade la Chorrera, Linares, Nuevo León, México (Crustacea: Isopoda). *Association for Mexican Cave Studies Bulletin* 8: 1-12.

Contreras-Balderas, S., Lozano-Vilano, M.L. y García-Ramírez, M.I. 2005. Historical changes in the Index of Biological Integrity for the lower Río Nazas, Durango, México. *American Fisheries Society Symposium* 45: 225-237.

Contreras-Ramos, A. 2007. *Los Megalóptera de México: un grupo pequeño en un país megadiverso*. Pp. 25-30. En: Novelo-Gutiérrez, R. y Alonso-EguíaLis, P. (Eds.). Simposio Internacional Entomología Acuática Mexicana: Estado Actual de Conocimiento y Aplicación. IMTA-SME, México

Contreras-Ramos, A. y Andersen, T. 1999. A survey of the Chironomidae (Diptera) of Calakmul Biospere Reserve, Mexico. *Chironomus* 12: 3-4.

Contreras-Ramos, A. y Harris, S.C. 1998. The immature stages of *Platyneuromus* (Corydalidae), with a key to the genera of larval Megaloptera of Mexico. *Journal of the North American Benthological Society* 17(4): 489-517.

Contreras-Ramos, A. y Gelhaus, J., 2002. Tipulidae (Diptera). 583-595 Pp. En Llorente B.J. y Morrone, .J J. (Eds) Biodiversidad, taxonomía y biogeografía **de artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento,** Volumen 3, Facultad de ciencias. UNAM, México.

Contreras-Ramos, A. yRosas, M. V. 2014. Biodiversidad de Neuroptera en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 264-270.

Cook, D.G. 1974. The systematics and distribution of marine Tubificidae (Annelida: Oligochaeta) in the Bahia de San Quintin, Baja California, Mexico, with description of five new species. *Bulletin of the Southern California Academy of Science* 73: 126-140.

Cook, D.R. 1980. Studies on Neotropical water mites. *Memories of the American Entomological Institute* 31: 1-645.

Córdoba-Aguilar, A. 1993 Population structure in *Ischnura denticollis* (Burmeister) (Odonata: Coenagrionidae). *Odonatologica* 22(4): 455-464.

Córdoba-Aguilar, A. 1994. Adults survival and movements in male of damselfly *Hetaerina cruentata* (Rambur) (Odonata: Calopterygidae) *Florida Entomologist* 77:256-264.

Córdoba-Aguilar, A. y Lee, M.C. 1994. Prey selection by *Orthemis ferruginea* (Fabricius) larvae (Odonata: Libellulidae) over mosquito instars. *Folia Entomológica Mexicana* 91: 23-30.

Costero, A. 1986. Contribución al conocimiento de los ácaros acuáticos (Acarida: Prostigmata) de marismas de Michoacán y Colima. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Cotler, H. (Coord.) 2010. Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT - Fundación Gonzálo Río Arronte I.A.P., México, D.F.

Cózatl-Manzano, R. y Naranjo-García, E. 2007. Primeros registros dulceacuícolas de la Reserva Ecológica El Edén, Quintana Roo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 78: 303-310.

Cramer, C. 1988. Ácaros dulceacuícola (Acarida: Prostigmata) del Arroyo Peña Blanca en San Francisco, Oxtotilpan, México. Tesis Doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México.

Cramer, C. 1992. Estudios sobre hidracáridos Mexicanos, familia Torrenticolidae. I. Cinco especies nuevas de *Neotractides* y *Torrenticola* y primer registro de *Testudacarus* para México. *Anales del Instituto de Biología,* Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología 63(1): 13-27.

Cramer, C. 2000. New species of the water mite genus *Kongsbergia* (Acari: Hydrachnida: Aturidae) from Mexico. *International Journal of Acarology* 26(3): 271-278.

Cramer, C. y Cook, D. 1992a. New species of *Arrenurus* (*Dadayella*) (Acari: Arrenuridae) from México, with discussion of the later's relationships. *International Journal of Acaralogy* 18(3): 221-229.

Cramer, C. y Cook, D. 1992b. New species of *Arrenurus* (Acari: Arrenuridae) from Mexican lakes. *Acarología* 23(4): 349-366.

Cramer, C. y Cook, D. 1996. A new species of *Stygarrenurus* (Acari: Hungarohydracaridae) and a discussion of its systematic position. *International Journal of Acarology* 22(1): 29-32.

Cramer, C. y Letechipía, M.C. 1996. Especie nueva de ácaro acuático (Acari: Hydracarina) del género *Diamphidaxona*, de arroyos mexicanos. *Anales del Instituto de Biología,* Universidad Nacional Autónoma de México*, Serie Zoología* 67(2): 279-285.

Cuevas-Yañes, K. 2007. Los odonatos (Insecta: Odonata) de la Hidroeléctrica de Patla (El Pozo) y del Río Tecpatlán, Zihuateutla, Puebla, México. *Dugesiana,* 14(2), 83-91.

De Moor, F.C., e Ivanov, V.D. 2008. Global diversity of caddisflies (Trichoptera: Insecta) in freshwater. *Hydrobiologia* 595 (1):393-407

De Grave, S., Pentcheff, N., Ahyong, S.T., Chan, T.Y., Crandall, K.A., Dworschak, P.C., Felder, D.L., Feldmann, R.M., Fransen, C., Goulding, L., Lemaitre, R., Low, M., Martin, J., Schweitzer, C., Tan, S., Tshudy, D. y Wetzer, R. 2009. A Classification of living and fossil genera of Decapod Crustaceans. *Raffles Bulletin of Zoology Supplement* 21: 1–109.

Deharveng, L., D'Haese, C. A., and Bedos, A. (2008). Global diversity of springtails (Collembola; Hexapoda) in freshwater.*Hydrobiologia* 595(1), 329-338.

De Jong, H., Oosterbroek, P., Gelhaus, J., Reusch, H., and Young, C. (2008). Global diversity of craneflies (Insecta, Diptera: Tipulidea or Tipulidae *sensu lato*) in freshwater. *Hydrobiologia* 595(1), 457-467.

De la Lanza, G., Hernández-Pulido, S. y Carvajal-Pérez, J.L. 2000. Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación.Plaza y Valdés, México.

Di Sabatino, A., Smit, H., Gerecke, R., Goldschmidt, T., Matsumoto, N., y Cicolani, B. (2008). Global diversity of water mites (Acari, Hydrachnidia; Arachnida) in freshwater. *Hydrobiologia* 595(1), 303-315.

Dinger, E.C., Cohen, A.E., Hendrickson, D.A. y Marks, J.C. 2005. Aquatic invertebrates of Cuatro Ciénegas, Coahuila, México: natives and exotics. *The Southwestern Naturalist* 50: 237-246.

Domínguez, E. 1999. Systematics, cladistics and biogeography of the American genus *Farrodes* (Ephemeroptera: Leptophlebiidae: Atalophlebiinae). *Zoological Journal of the Linnaean Society* 126: 155-189.

Domínguez, E., Molineri, C. y Peters, W.L. 1996. Ephemeroptera from Central and South America: new species of the *Farrodes bimaculatus* group with a key for the males. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 31: 87-101.

Esteva, L., Rivas, G. y Yang, H.M. 2006. Mathematical models in interaction of water mites and mosquitoes. *Journal of Mathematical Biology* 59: 540-555.

Esteva, L., Rivas, G. y Yang, H.M. 2007. Assessing the effects of parasitism and depredation by water mites on the mosquitoes. *Tendencias em Matemática Aplicada e Computacional* 8(1): 63-72.

Estrada-Carbajal A.C. 2009 Evaluación de la respuesta ecológica de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos a las plantas de tratamiento de humedales artificiales en el lago de Pátzcuaro, Mich.Tesis de Licenciatura. Universidad de las Américas, Puébla, México.

Flint, O.S. Jr. 1967. Studies of Neotropical caddisflies, V: types of the species described by Banks and Hagen. *Proceedings of the United States National Museum* 123(3619): 1-37.

Flint, O.S. Jr. 1972. Studies of Neotropical caddisflies, XIII: the genus *Ochotrichia* from Mexico and Central America (Trichoptera: Hydroptilidae). *Smithsonian Contributions to Zoology* 118: 1-28.

Flint, O.S. Jr. 1974. Studies of the Neotropical caddisflies, XVII: the genus *Smicridea* from North and Central America (Trichoptera: Hydropsychidae). *Smithsonian Contributions to Zoology* 167: 1-65.

Flores-Armillas O. (2013) Las familias Elmidae, Dytiscidae e Hydrophilidae (Coleoptera) como indicadoras de la calidad del hábitat en el río Amacuzac, Morelos-Guerrero. Tesis de licenciatura Universidad Autónoma de Morelos.

Flores, V. y Gerez, P. 1994. Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo. 2ª edición. CONABIO-Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Fochetti, R. y Tierno de Figueroa, J.M. 2008. Global diversity of stoneflies (Plecoptera; Insecta) in freshwater. *Hydrobiologia* 595:365–377.

Galar Martínez, M., Martínez-Tabche, L., Sánchez-Hidalgo, E., y López López, E. (2006). Efecto de sedimentos naturales enriquecidos con zinc, en modelos aislados y en microcosmos, sobre tres especies de invertebrados bentónicos. *Revista de biología Tropical* 54(2), 451-460.

García, J. M. 1996. Utilización de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad del agua de los ríos Apatlaco y Yautepec, estado de Morelos. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

García, R. G. 2011. Diversidad de coleópteros acuáticos atraídos a trampas de luz en la presa "Lorenzo Vázquez", reserva de la biósfera Sierra de Huautla, Morelos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma del Estado de Morelos.

García-Garza, M.E., Rodríguez-Almaraz, G.A. y Bowman, T.E. 1996. *Spelaeomysis villalobosi*, a new species of mysidacean from northeastern México (Crustacea: Mysidacea). *Proceedings of the Biological Society of Washington* 109(1): 97-102.

Garrido-Pérez, A., Cuevas, M., Cotler, H., González, D. y Tharme, R. 2010. Evaluación del grado de alteración ecohidrológica de los ríos y corrientes superficiales de México. *Investigación Ambiental* 2(1): 24-46.

Garrison, R.W. y González-Soriano, E.1988. Population dynamics of two sibiling species of Neotropical damselflies, *Palaemnenma desiderata* Selys and *P. paulitoyaca* Calvert (Odonata: Platystictidae). *Folia Entomológica Mexicana* 76:5-24.

Gómez Anaya, J.A. 2008. Ecología de los ensamblajes de larvas de odonatos (Insecta) y su uso potencial como indicadores de calidad ecológica en la Sierra de Coalcomán, Michoacán, México. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.México.

González-Soriano, E. 1998. Odonata de Veracruz. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto No. A024. México, D.F.

González-Soriano, E. 1993. Odonata de México: situación actual y perspectivas de estudio. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 44: 290-302.

González-Soriano, E. y Novelo-Gutiérrez, R. 1996. Odonata. Pp. 147-167.En: Llorente-Bousquets, J., García-Alderete, A.N. y Gonzalez-Soriano, E. (Eds.). Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. Universidad NacionalAutónoma de México, D.F., México.

González-Soriano, E. y Novelo-Gutiérrez, R. 2007. Odonata of Mexico revisited. Pp. 105-136. En: Tyagi, B.K (Ed.). Odonata Biology of Dragonflies.Scientific Publishers, India.

González-Soriano, E. y Paulson, D.R. 2011. *Odonata de Chiapas*. Pp 299-314. En: Álvarez, F. (Ed.). Chiapas, estudios sobre su diversidad biológica. México. Universidad Nacional Autónoma de México, D.F., México.

González-Soriano, E. y Novelo-Gutiérrez, R. (2014). Biodiversidad de Odonata en México. Revista Mexicana de Biodiversidad, 85:243-251

Groombridge, B., y Jenkins, M. (2002). World atlas of biodiversity: earth's living resources in the 21st century. Univ of California Press.

Harman, W.J. y Loden, M.S. 1978. A re-evaluation of the Opistocystidae (Oligochaeta) with descriptions of two new species. *Procceedings of the Biological Society of Washington* 91: 453-462.

Hernández, M.C., Escobar, E. y Alcocer, J. 2010. Benthic crustacean assemblage in a tropical, saline lake. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81: 133-140.

Herrera, F.2013. Estado del conocimiento y catálogo de la familia Naucoridae (Insecta: Heteroptera) en Centroamérica. *Dugesiana* 20(2), 221-232.

Hinselhoff, W.L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *Journal of the North American Benthological Society* 7: 65-68.

Hobbs, H. Jr. 1974. Synopsis of the families and genera of crayfishes (Crustacea: Decapoda). *Smithsonian Contributions to Zoology* 164: 1-64.

Hobbs, H. Jr. 1989. An illustrated checklist of the American crayfish (Decapoda: Astacoidae: Cambaridae: Parastacidae) *Smithsonian Contributions to Zoology* 480: 1-236.

Hoffmann, C.C. 1931. *Anopheles pseudopunctipennis* y su relación con el paludismo en la República Mexicana. Traducción del trabajo presentado por invitación especial del "Nacional Malaria Comittee" de los Estados Unidos en su Sesión Anual celebrada en Nueva Orleans del 17 al 20 de noviembre de 1931. *Revista de Salubridad* 2: 179-187.

Hoffmann, C.C. 1938. La formación de razas en los *Anopheles mexicanos* II. *Anopheles albimanus* y sus variedades en la República Mexicana. *Anales del Instituto de Biología* 9: 167-180.

Hoffmann, C.C. 1939. La formación de razas de *Anopheles mexicanos* III. *Anopheles chiriquiensis* Komp en el interior del estado de Chiapas. *Anales del Instituto de Biología* 10: 347-352.

Hogue, C. L. 1992. A new genus and species of net-winged midge (Diptera: Blephariceridae) from Mexico, with a redescription of Paltostoma bellardii Bezzi. *Contributions in Science* 435: 1-12.

Holmes, J. A. Ostracoda. 2001. Pp. 125-151.En: Last y Smol (Eds). Tracking environmenta change using lake sediments. Springer, Netherlands.

Huerto, D. R., 1988. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad del agua del río Cuautla, estado de Morelos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.). 1982. Aquatic Biota of Mexico, Central America and the West Indies. San Diego State University, San Diego, California, USA

Hurtado, S., García-Trejo, F., y Gutiérrez-Yurrita, P. 2005.Importancia ecológica de los macroinvertebrados bentónicos de la subcuenca del río San Juan, Querétaro, México. *Folia Entomológica Mexicana* 44(3): 271-286.

Ibáñez-Bernal, S. 1988. Perspectivas de la investigación entomológica del paludismo en México. *Folia Entomologica Mexicana* 76: 249-264.

Ibáñez-Bernal, S. 2000. Psychodidae (Diptera). Pp 607–626. En: Llorente-Bousquets, J.E., González, E.y García-Aldrete, A.N. (Eds.). Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. Vol. 2.Universidad Nacional Autónoma de México-CONABIO. México, D.F.

Ibáñez-Bernal, S. 2004. A new species of the genus *Feuerborniella* Vaillant, from Mexico (Diptera: Psychodidae). *Zootaxa* 412:1–8.

Ibáñez-Bernal, S. 2008. New records and descriptions of Mexican moth flies (Diptera: Psychodidae, Psychodinae). *Transactions of the American Entomological Society* 134(1): 87-131.

Ibañez-Bernal, S. y Coscaron, S. 1996. Simuliidae (Diptera). En: Llorente-Bousquets, J., García-Aldrete, A.N. y Gonzáles-Soriano, E. (Eds.). Taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

Ibañez-Bernal, S., Strickman, D. y Martinez, C.C. 1996a. Culicidae (Diptera). *En*: Llorente-Bousquets, J., García-Aldrete, A.N. y Gonzáles-Soriano, E. (eds.), Taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

Ibañez-Bernal, S., Willis, W., Huerta, J.W.H. 1996b. Ceratopogonidae (Diptera). En: Llorente-Bousquets, J., García-Aldrete, A.N. y Gonzáles-Soriano, E. (Eds.). Taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

Ibáñez Bernal, S., Hernández Ortiz V. y Miranda Martín del Campo, L. 2006. Catálogo de autoridad taxonómica orden díptera (Insecta) en México. Parte 1. Suborden Nematocera. Instituto de Ecología AC. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. CS004. México. Disponible en http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfCS004%201.pdf (obtenido el 05 agosto 2013).

Janssens, F., 2014. Checklist of the Collembola: Taxonomical Speciation Rate. Disponible en: http://www.collembola.org/doc/history.htm. (obtenido el 05 de Agosto 2013)

Kalkman, V.J., Clausnitzer, V., Dijkstra, K.D.B., Orr, A.G., Paulson, D.R. y van Tol, J. 2008. Global diversity of dragonflies (Odonata) in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 351-363.

Kawakatsu, M. y Mitchell, R.W. 1981. Freshwater planarians from the southern United States and Mexico: *Dugesia dorotocephala* and *Dugesia* sp. (Turbellaria, Tricladida, Paludicola). *Applied Entomology and Zoology Japon* 54: 191-206.

Kawakatsu, M. y Mitchell, R.W. 1984. Redescription of *Dugesia azteca* (Benazzi et Giannini, 1971) based upon the material collected from the type locality in Mexico, with corrective remarks (Turbellaria, Tricladida, Paludicola). *Bulletin of the National Science Museum (Japan). Series A.* 10: 37-50.

Kenk, R. 1974. Index to the genera and species of the freshwater triclads (Turbellaria) of the world. *Smithsonian Contributions to Zoology* 183: 1-90.

Kenk, R. 1989. Revised list of the North American freshwater planarians (Platyhelminthes: Tricladida: Paludicola). *Smithsonian Contributions to Zoology* 476: 1-10.

Kyerematen, R.A. y Andersen, T. 2002. *Rheotanytarsus Thienemann* et Bause (Diptera: Chironomidae) from Central America and Mexico. – *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 37: 23- 51.

Lamothe, R. 1968. Redescripción de *Temnocephala mexicana* Vaysierre, 1898, ectocomensal de crustáceos mexicanos. *Anales del. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, Ser. Zoología* 39(1): 1-12.

Lino-González, J. F., Contreras-Rivero, G., Navarrete-Salgado, N. A., García-Herrera, V., Reyes-Trigos, V. Y., Guevara-Morales, S. T., y Pérez-Hernández, A. 2007. Análisis ecológico de los coríxidos (Hemiptera, Coríxidae) en el embalse San Miguel Arco, Soyaniquilpan, Estado de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 13(1): 53-57.

López-Hernández, M., Ramos-Espinosa, M.G. y Hernández-García, M. 2002. Biomonitoreo rápido para evaluar contaminación orgánica en el Río Lerma. Proyecto - Evaluación del manejo del agua como elemento integrador en la Cuenca Lerma-Chapala-Santiago, Número SEMARNAT2002C010249/A1.

López-López, E., Sedeño-Díaz, J. E., Vega, P. T., y Oliveros, E. (2009). Invasive mollusks *Tarebia granifera* Lamarck, 1822 and *Corbicula fluminea* Müller, 1774 in the Tuxpam and Tecolutla rivers, Mexico: spatial and seasonal distribution patterns. *Aquat Invasions* 4: 435-450.

Lot, A., Novelo, A. y Ramírez-García, P. 1998. Diversidad de la flora acuática mexicana. Pp. 563-578.En: Ramamoorthy T.P., Bye R., Lot, A. y Fa, J. (Eds.) Diversidad biológica de México: orígenes y distribución. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, D.F., México.

Lugo-Ortiz, C.R. y McCafferty, W.P. 1994a. New records of Ephemeroptera from Mexico. *Entomological News* 105: 17-26.

Lugo-Ortiz, C.R. y McCafferty, W.P. 1994b. The mayfly genus *Acerpenna* (Insecta: Ephemeroptera: Baetidae) in Latin America. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 29: 65-74.

Lugo-Ortiz, C.R. y McCafferty, W.P. 1995a. New species, stage description, and records of *Baetodes* (Ephemeroptera: Baetidae) from Mexico and Central America. *Entomological News* 106: 81-86.

Lugo-Ortiz, C.R. y McCafferty, W.P. 1995b. Taxonomy of the North and Central American species of *Camelobaetidius* (Ephemeroptera: Baetidae). *Entomological News* 106: 178-192.

Lugo-Ortiz, C.R. y McCafferty, W.P. 1996a. New Central American and Mexican records of Ephemeroptera species. *Entomological News* 107: 303-310.

Lugo-Ortiz, C.R. y McCafferty, W.P. 1996b. New species of Leptophlebiidae (Ephemeroptera) from Mexico and Central America. *Annals of Limnology* 32: 3-18.

Lugo-Ortiz, C.R. y McCafferty, W.P. 1996c. Contribution to the taxonomy of *Callibaetis* (Ephemeroptera: Baetidae) in southwestern North America and Middle America. *Aquatic Insects* 18: 1-9.

Lugo-Ortiz, C.R. y McCafferty, W.P. 1998. Five new genera of Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) from South America. *Annals of Limnology* 34: 57-73.

Lugo-Ortiz, C.R., McCafferty, W.P. y Waltz, R.D. 1994. Contribution to the taxonomy of the Panamerican genus *Fallceon* (Ephemeroptera: Baetidae). *Journal of the New York Entomological Society* 102: 460-475.

Lyons, J., Gutiérrez-Hernández, A., Díaz-Pardo, E., Soto-Galera, E., Medina-Nava, M. y Pineda-López, R. 2000. Development of a preliminary index of biotic integrity (IBI) based on fish assemblages to assess ecosystem condition in the lakes of central Mexico. *Hydrobiologia* 418: 57-72.

Lyons, J., Navarro-Pérez, S., Cochran, P. A., Santana, E. C., y Guzmán-Arroyo, M. 1995. Index of Biotic Integrity based on fish assemblages for the conservation of streams and rivers in west-central Mexico. *Conservation Biology* 9(3): 569-584.

Magalhães, C., y Türkay, M. 2012. Taxonomy of the Neotropical freshwater crab family Trichodactylidae. VI. The genera *Avotrichodactylus* and *Rodriguezia* (Decapoda: Brachyura: Trichodactylidae).*Nauplius* 20(1): 27-40.

Maldonado-Cruz, R., Garza, R. A, Rodríguez, C. V., González, J. F., Saavedra R. K. y Robledo, G. V. 2000. Insectos acuáticos como bioindicadores de contaminación en el río San Martín, Escobedo, Nuevo León. Pp. 165-169. En: Stanford, C. S., M. A. Morales, R. J. R. Padilla e Ibarra, G. M. P. (Eds.). Memorias del XXXV Congreso Nacional de Entomología. México.

Marín, C.H. y Cramer, C. 2009. Especie del género *Piona* (Acari: Hydrachnidia: Pionidae) de los canales de Xochimilco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 80: 51-54.

Marshall, W.B. 1922. Microscopic sculpture of pearly freshwater mussel shells. *Proceedings of the United States National Museum* 67: 1-18.

Marshall, W.B. 1926. New pearly freshwater mussels from Mexico and Uruguay. *Proceedings of the U.S. National Museum* 63: 1-8.

Márquez, B. L. 1986. Los organismos bentónicos como indicadores de la calidad del agua de los ríos Amacuzac y Balsas. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Márquez, L., Sandoval, J. C., Ordóñez, A., López R., Lerdo de Tejeda A. y Sandoval A. 1997. Selección de macroinvertebrados bentónicos como indicadores potenciales de calidad del agua. *Anuario del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*. 59-64

Martens, K., Schön, I., Meisch, C., and Horne, D. J. (2008). Global diversity of ostracods (Ostracoda, Crustacea) in freshwater.*Hydrobiologia* 595(1): 185-193.

Martin, P., Martinez-Ansemil, E., Pinder, A., Timm, T., and Wetzel, M. J. (2008). Global diversity of oligochaetous clitellates ("Oligochaeta"; Clitellata) in freshwater. *Hydrobiologia* 595(1), 117-127.

Martínez, M.C. y Orozco, H. 2006. Diversidad y distribución geográfica del género *Anopheles* en el sur de México. CONABIO, *Biodiversitas* 67: 12-15.

Martínez-Palacios, A. y Pletsch D. J. 1963. Highlights of mosquito investigation and control in Mexico: past, present and future. Pp. 72-80.*Proceedings of the fiftieth annual meeting of the New Jersey Mosquito Extermination Association*,

Martini, E. 1935. *Los mosquitos de México*. Departamento de Salud Pública. Boletines Técnicos, Serie A, No. 1. 65 pp.

McCafferty, W.P. 1998. Ephemeroptera and the great American interchange. *Journal of the North American Benthological Society* 17: 1-20.

McCafferty, W.P. y Lugo-Ortiz, C.R. 1996. Ephemeroptera. Pp. 1-29. En: Llorente-Bousquets, J., García-Aldrede, A.N. y Gonzáles-Soriano, E. (Eds.). Taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

McCafferty, W.P. y Randolph, R.P. 1998. Canada mayflies: a faunistic compendium. *Proceedings of the Entomological Society of Ontario* 129: 1-51.

McCafferty, W.P. y Randolph, R.P. 2000. Further contributions to the spatulate clawed Baetidae (Ephemeroptera). *Entomological News* 111: 259-264.

McCafferty, W.P., Flowers, R.W. y Waltz, R.D. 1992. The biogeography of Mesoamerican mayflies. Pp. 173-193, En: Darwin, S.P. y Weldon, A .L. (eds.) Biogeography of Mesoamerica: proceedings of a symposium. Tulane University Studies in Zoology and Botany, Supplement Publication 1.

McCafferty, W.P, Lugo-Ortiz, C.R., Provonsha, A.V. y Wang, T.-Q. 1997. Los efemeropteros de Mexico: I. Clasificación superior, diagnosis de familias y composición. *Dugesiana* 4: 1-29.

Mejorada, G. E. 1989. Contribución al estudio taxonómico de los coleópteros acuáticos y semiacuáticos (Insecta: Coleoptera) de los estados de Veracruz y Chiapas. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.

Mercado, S.N., Lyons, J.D., Salgado, M.G. y Medina, N.M. 2002. Validation of a fish-based index of biotic integrity for streams and rivers of central México. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 12: 179-191.

Mey, W., and Speidel, W. (2008). Global diversity of butterflies (Lepidotera) in freshwater. *Hydrobiologia* 595(1): 521-528.

Michán, L., Llorente, J., Luis, A., y Castro, D. J. 2004. Breve historia de la Taxonomía de Lepidoptera en México durante el siglo XX. Pp 101-132. En: Llorente J., Morrone J.J., Yañez O. y Vargas I (Eds) Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento. Volumen IV. Facultad de Ciencias, UNAM

Miller, R.R., Minckley, W.L. y Norris, S.M. 2005. Freshwater fishes of México. The University of Chicago Press, Chicago.

Mitchell, R.W. y Kawakatsu, M. 1972. A new family, genus, and species of cave-adapted planarian from Mexico (Turbellaria, Tricladida, Maricola). *Occasional Papers Museum Texas Tech University* 8: 1-16.

Mittermeier, R.A. 1988. Primate diversity and the tropical forest: case studies from Brazil and Madagascar and the importance of the megadiverse countries. Pp. 145-154. En: Wilson, E.O. (Ed.), Biodiversity. National Academy Press, Washington, D.C., USA.

Mittermeier, R.A., Mittermeier C.G. y Robles Gil, P. 1997. Megadiversidad, los países biológicamente más ricos del mundo. Cementosa de México (CEMEX), México.

Montes, M. E. 2003. Análisis de los grupos funcionales alimenticios de macroinvertebrados y especies indicadoras del río Amacuzac, Morelos, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México.

Morón, M. A. y J. Valenzuela. 1993. Estimación de la biodiversidad de insectos en México: análisis de un caso. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural., vol. Especial* 44: 303-312.

Morrone, J.J. 2001. Biogeografía de América Latina y el Caribe. M y T Manuales y Tesis SEA, Vol. 3, Zaragoza, España.

Morrone, J J. 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista mexicana de biodiversidad* 76(2), 207-252.

Muñoz, G., Jones–Scheunemann, R. 2002. Chinches acuáticas (Insecta: Hemiptera) del estado de Querétaro, México. Facultad de Ciencias Naturales Universidad Autónoma de Querétaro, México.

Mundo, O. T. 1985. Impacto ambiental en el ecosistema del río Apatlaco, tramo Zacatepec-Jojutla, Morelos, México. Ciclo 83-84. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México.

Naranjo-García, E. 2003. Moluscos continentales de México: dulceacuícolas. *Revista Biología Tropical* 51: 495-505.

Naranjo-García, E. y Olivera-Carrasco M.T. 2014. Moluscos dulceacu**ícolas introducidos e invasores. Pp** 337-345. En R. Mendoza y P. Koleff (coords.), Especies acuáticas invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

Navarrete-Heredia.J.L. 1992. Primer registro de *Cymbiodyta brevipalpis pygmaea* (Coleoptera: Hydrophilidae) para Morelos, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Series en Zoología* 63(2): 279-280

Navarrete-Heredia J.L. Newton, A.F. Thayer, M.K. Ashe, J.S. Chandler, D.S. 2002. *Guía ilustrada para los géneros de Staphylinidae (Coleoptera) de México*. Primera edición. Universidad de Guadalajara y CONABIO, México.

Navarrete-Heredia, J. L., y Zaragoza-Caballero, S. 2006. Diversidad de los Staphylinoidea de México: análisis de grupos selectos (Hydraenidae, Agyrtidae, Silphidae y Staphylinidae). *Dugesiana* 13(2): 53-65.

Navarrete, S.N.A., Fernández, E.G., Contreras, R.G. 2004. Abundancia de chironomidos (Diptera: Chironomidae) en el bordo "JC" del norte de Estado de México en el periodo de secas. *Hidrobiologica* 14(2): 157-160.

Nieto, C. y Domínguez, E. 2001. A new species of *Thraulodes* (Ephemeroptera: Leptophlebiidae) from Mexico. *Aquatic Insects* 23(1): 63-66.

Novelo-Gutiérrez, R. 2007. El estudio de los odonatos (Insecta: Odonata) en México. Enfoques y perspectivas. Pp. 9-23.En: Novelo-Gutiérrez, R. y Alonso-EguíaLis, P. (Eds.). Simposio Internacional Entomología Acuática Mexicana: Estado Actual de Conocimiento y Aplicación. IMTA-SME, México.

Novelo-Gutiérrez, R., Gómez-Anaya J.A. y Arce-Pérez, R. 2002. Community structure of Odonata larva in two streams in Zimapan, Mexico. *Odonatologica* 31(3):273-286.

Novelo-Gutiérrez, R. y Alonso-EguíaLis, P. (Eds.).2007. *Simposio Internacional Entomología Acuática Mexicana: Estado Actual de Conocimiento y Aplicación*. IMTA-SME, México.

Novelo-Gutiérrez, R., y Gómez-Anaya, J.A. 2009. A comparative study of Odonata (Insecta) assemblages along an altitudinal gradient in the Sierra de Coalcomán Mountains, Michoacán, Mexico.*Biodiversity and Conservation* 18(3): 679-698.

Oliveros-Jiménez, J.E., Tapia Vega, P., López-López E. y Sedeño Díaz J.E. 2008 Análisis morfométrico y comportamiento poblacional de *Tarebai granifera*, presente en los ríos Tecolula y Tuxpam, Veracruz. Pp 31-42. En: Salgado, A., Álvarez, C.A., Hernández-Lara C., Hernánez, M y Florido, R. (Comp) Memorias del XIX Congreso Nacional de Zoología Universidad Autónoma de Juárez, Tabasco, México

Ortega, A.I., Ávila, P., Elizondo, A., Harbach, E.R., Siller, K.Q. y Fernández, I. 2010. Los mosquitos del estado de Quintana Roo, México (Diptera: Culicidae). *Acta Zoológica Mexicana* 26(1): 33-46.

Ortíz, M., Martín, A. y Díaz, Y.J. 2007. Lista y referencias de los crustáceos anfípodos (Amphipoda: Gammaridea) del Atlántico occidental tropical. *Revista de Biología Tropical* 55(2): 479-498.

Ortiz-Lezama, O.M., Rangel-Ruiz, L.J. y Gamboa-Aguilar, J. 2012. Diversidad de moluscos bentónicos en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla. Disponible en: http://www.publicaciones.ujat.mx/publicaciones/kuxulkab/ediciones/28/04_Diversidad%20de%20moluscos%20bentonicos%20en%20la%20Reserva.pdf. Recuperado el 07 enero 2012.

Osterkamp, W.R. y Hupp, C.R. 1996. *The evolution of geomorphology, ecology, and other composite sciences.* Pp. 415-441.En: Rhoads, B.L. y Thorn, C.E. (Eds.). The scientific nature of geomorphology. Proceedings of the 27th Binghamton Symposium in Geomorphology.

Oswald, J. D., Contreras-Ramos, A., and Penny, N. D. (2002). Neuroptera (Neuropterida). Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. V3, 559-581.

Otero, G. 1986. *Contribución al conocimiento de los ácaro acuáticos (Prostigmata: Parasitengona) del sureste de México*. Tesis doctoral, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, México.

Palacios-Vargas, J. G. (2000). Los colémbolos en los ecosistemas mexicanos. *Biodiversitas* 5(29), 12-15.

Palacios-Vargas, J. 2014. Biodiversidad de Collembola (Hexapoda: Entognatha) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84. DOI: 10.7550/rmb.32713

Paulson, D. y González-Soriano, E. 2012. Mexican Odonata. Odonata of Mexico by State. del sitio Web del Puget Sound College Disponible en http://www.pugetsound.edu/academics/academic-resources/slater-museum/biodiversity-resources/dragonflies/mexican-odonata/. Recuperado el 02 de agosto del 2012.

Peralta, L., Escobar, E., Alcocer, J. y Lugo, A. 2002. Oligochaetes from six tropical crater lakes in Central Mexico: species composition, density and biomass. *Hydrobiologia* 467: 109-116.

Peralta-Peláez, L., Deloya, C. y Moreno-Casasola, P. 2007. Insectos acuáticos asociados con las lagunas interdunarias en la región central del estado de Veracruz. *Neotropical Entomology* 36(2): 342-355.

Pérez, T., Guzman-Cornejo, C.,Montiel-Parra, G.,Paredes-León, R. y Rivas, G. (2014). Biodiversidad de ácaros en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad.* 85:399-407

Pérez-Munguia R.M. 2004. Patrones y procesos determinantes para el establecimiento de las asociaciones de coleópteros acuáticos en manantiales cársticos de la huasteca Mexicana. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Querétaro, México.

Pérez-Munguia, R.M. 2007. Uso de los macroinvertebrados acuáticos en el monitoreo ambiental de ríos y arroyos. Pp. 63-77. En: Novelo-Gutiérrez, R. y Alonso-EguíaLis, P. (Eds.). Simposio Internacional Entomología Acuática Mexicana: Estado Actual de Conocimiento y Aplicación. IMTA-SME, México.

Pérez-Munguia, R.M. y Pineda-López, R. 2005. Diseño de un índice de integridad biótica para ríos y arroyos del centro de México, usando las asociaciones de macroinvertebrados. *Entomología Mexicana* 4: 241-245.

Pérez-Munguia, R., Pineda-López, R. y Medina-Nava, M. 2007. Integridad biótica de sistemas acuáticos. Pp. 1-56.En: ***Sánchez, O., Herzig, M., Peters, E., Márquez, R. y Zambran***o, L. (Eds.). Perspectivas sobre la conservación de ecosistemas acuáticos en México**.** SEMARNAT, INE, USFWS, Unidos para la Conservación A.C. y Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, México.

Poff, N., Allan, J.D., Bain, M.B., Karr, J.R., Prestegaard, K.L., Richter, B.D., Sparks, R.E. y Stromberg, J.C. 1997. The natural flow regime. *BioScience* 47(11): 769-784.

Polhemus, J.T. y Polhemus, D.A. 2008. Global diversity of true bugs (Heteroptera; Insecta) in freshwater. Pp. 379-391. En: Lévêque, C., Segers, H., y Martens, K. (Eds.). Freshwater Animal Diversity Assessment. Springer, Netherlands.

Pollet, M.A, Brooks, S.E. y Cumming, J.M. 2004. Catalog of the Dolichopodidae (Diptera) of America north of Mexico. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 283: 1-114.

Quiroz, H., Rodríguez, V., González-R., A., Solís, C. y Contreras, A. 2001. First records of the water scorpion *Curicta scorpio* (Hemiptera: Nepidae) in Nuevo León, Mexico. *Entomological News* 112(2): 124-134.

Quiroz-Martínez, H. y Rodríguez-Castro, V. 2006. *Bioindicadores de contaminación en sistemas (insectos acuáticos)*. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

Ramamoorthy, T.P., Bye, R., Lot, A. y Fa, J. (Eds.). 1983. Biological diversity of Mexico, origins and distributions.Oxford University Press, New York, USA.

Ramírez, P. 1994. Taxonomía, distribución y datos ecológicos de los ácaros acuáticos (Acari: Prostigmata) de la presa Marte R. Gómez, Tamaulipas, y Río Agualeguas, Nuevo León. Tesis licenciatura licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México.

Randolf, R.P y McCafferty, W.P. 2000. Mexican mayflies: inventories and additions (Ephemeroptera). *Annals of Limnology* 36(2): 113-121.

Rangel-Ruiz, L.J. y Gamboa-Aguilar, J. 2001. Diversidad malacológica en la región Maya. I. "Parque Estatal de la Sierra", Tabasco, México. *Acta Zoológica Mexicana* 82: 1-12.

Rangel-Ruiz, L.J. y Gamboa-Aguilar, J. 2005. Moluscos gasterópodos. Pp. 167-176, *En*: Bueno, J., Álvarez, F. y Santiago, S. (eds.), Biodiversidad del estado de Tabasco. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México-CONABIO, México.

Redell, J.R. 1981. A review of the cavernicole fauna of Mexico, Guatemala and Belize. *Bulletin of the Texas Memorial Museum* 27: 1-327.

Ricker, W.E. 1950. Some evolutionary trends in Plecoptera. *Proceedings of the Indiana Academy of Science* 59: 197-209.

Ricker, W.E. 1952. Systematic studies in Plecoptera. *Indiana University Publications in Science, Series* 18: 1-200.

Ricker, W.E. 1963. *Plecoptera.* Pp. 941-957.En: Edmundson, W.T. (Ed.).Freshwater biology. John Wiley and Sons, New York, USA.

Rico-Sánchez, A.E., Rodríguez-Romero A. J., López-López E. y Sedeño-Díaz. E. 2014. Patrones de variación espacial y temporal de los macroinvertebrados acuáticos en la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo (México). *Revista Biología Tropical* 62(2): 79-94

Rio, S. J. 2002. Uso de macroinvertebrados bénticos para la evaluación de la calidad del agua del río Amacuzac, Morelos, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México.

Rivas, L.G. y Cramer, C. 1998. Especie nueva de hidracárido, *Arrenurus* (*Truncaturus*) (Acarida: Prostigmata) de Veracruz, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología* 69(2): 173-179.

Rivas, L.G. y Hoffmann, A. 2000. Los ácaros acuáticos de México: estado actual de su conocimiento. *Mexicoa* 2(1): 33-39

Rocha-Mendoza M de A. y Alonso-EguíaLis P. 2010. Efecto potencial del uso de larvicidas para control de mosquito (Diptera) sobre la entomofauna acuática de ambientes naturales. *Entomología Mexicana* 9: 233-238.

Rocha-Ramírez, A., Peralta, L. y Alcocer, J. 2008. *Anfípodos e isopodos de aguas epicontinentales de México*. Pp. 53-79.En: Álvarez, F. y Rodríguez-Almaraz, G. (Eds.).Crustáceos de México: estado actual de su conocimiento. PROMEP-UANL, Secretaría de Educación Pública / Dirección General de Publicaciones, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey.

Rocha-Ramírez, A. y Peñaloza-Daniel, A. 2011. *Caecidotea xochimilca* (Isopoda: Asellidae), a new species from lake Xochimilco, Mexico, with a key to Mexican species of the genus *Caecidotea*. *Crustaceana* 84(1): 93-106.

Rocha-Ramírez, A., Álvarez, F., Alcocer, J., Chávez-López, R., y Escobar-Briones, E. 2009. Lista anotada de los isópodos acuáticos epicontinentales de México (Crustacea: Isopoda). *Revista Mexicana de Biodiversidad* 80(3): 615-631.

Rocha-Ramírez, A., J. Alcocer-Durand, R. Chávez-López, E.Escobar-Briones y J. L. Villalobos-Hiriart. 2012. Guía deidentificación de isópodos acuáticos continentales mexicanos.Coordinación Editorial de la Facultad de Estudios SuperioresIztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.

Rodríguez-Almaráz, G. A., Muñiz-Martínez, R., y Millán-Cervantes, A. 2010. Desarrollo larval de *Palaemonetes mexicanus* y *P. hobbsi* (Caridea: Palaemonidae) cultivadas en el laboratorio. *Revista mexicana de biodiversidad* 81, 73-97.

Rodríguez-Castro, A., Quiroz, H.M., Mohammad, H., Zabeh, B. y Solís, R.C. 2004. Riesgos entomológicos asociados a aguas contaminadas. Revista de Salud Pública y Nutrición 5(3): Disponible en http://www.medigraphic.com/pdfs/revsalpubnut/spn-2004/spn043c.pdf (consultado el 12 de octubre 2012)

Rodríguez-Almaraz, G.A. 2002. Biodiversidad de los crustáceos dulceacuícolas del centro de Nuevo León y noroeste de Tamaulipas. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. S104, México, D.F.

Rodríguez-Almaraz, G.A. y Bowman, T.E. 1995. *Sphaerolana karenae*, a new species of hypogean isopod crustacean fromNuevo León, Mexico. *Proceedings of the Biological Societyof Washington* 108: 207-211.

Rodríguez-Almaraz, G.A. y Mendoza-Alfaro, R. 1999. Crustáceos nativos de agua dulce: conocimiento y utilización. 3a. Reunión Nacional de Redes de Acuacultura, Cuernavaca, Morelos, México.

Rodríguez-Almaraz, G.A., González-Aguilar, J.A. y Mendoza-Alfaro, R. 1997. Biological and ecological notes of *Palaemonetes suttkusi* (Crustacea: Palaemonidae) from Cuatro Cienegas Basin, Coahuila, Mexico. *The Southwestern Naturalist* 42(4): 501-503.

Rodríguez-Almaraz, G.A y García-Madrigal. M.S. 2014. Crustáceos Exóticos Invasores. Pp. 347-371. En. R. Mendoza y P. Koleff (coords.), Especies acuáticas invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

Rodríguez, G., y Magalhães, C. 2005. Recent advances in the biology of the Neotropical freshwater crab family Pseudothelphusidae (Crustacea, Decapoda, Brachyura). *Revista Brasileira de Zoologia* 22(2): 354-365.

Román, R., Ortega, A.L. y Mejía, L.M. 2000. *Macrobrachium vicconi*, new species, a fresh-water shrimp from a rain forest in southeast Mexico, and comparison with congeners (Decapoda: Palaemonidae). *Crustacean Biology* 20(1): 186-194.

Rosgen, D. 1996. Applied river morphology. 2nd ed. Wildland Hydrology, Pagosa Spring, Colorado, USA.

Rybka, J. 1898. Contribution à la morphologie et la classification du genre *Limnodrilus* Claparede. *Memoires Societe Zoologique de France* 11: 376-392.

Saldaña, F. P., López, R., Sandoval, J. C. y Salcedo, E. 1998. Estudio de indicadores biológicos en el río Los Pescados, Veracruz. Informe final. Comisión Nacional del Agua/Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Sánchez, G. A. 2005. Análisis de Efemerópteros y quironómidos (Insecta) como indicadores de la calidad del agua en el río Amacuzac, Morelos, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Sánchez, A.J. y Barba, E. 2005. Biodiversidad de Tabasco. Pp. 1-16. En: Bueno-Sorio, J. Álvarez, F. y Santiago-Fragoso, S. (Eds.). Biodiversidad del estado de Tabasco. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México / CONABIO, México, D.F.

Sandoval-Manrique, J. C., S. Santiago-Fragoso y Parra-López, M. 2001. Los coleópteros acuáticos del río Amacuzac, México. Pp. 97-108. En: Navarrete-Heredia, J. L., Fierros-López H. E. y Burgos-Solorio, A. (Eds.). Tópicos sobre Coleoptera de México. Universidad de Guadalajara-Universidad Autónoma del estado de Morelos. México.

Sandoval-Manrique, J. C., Molina-Astudillo, F. I. y Burgos-Solorio, A. 2012. Análisis y ponderación de los macroinvertebrados bénticos como bioindicadores de la calidad del agua del río Amacuzac, Morelos, México. Pp. 135-152. En: Monroy, R., R. Monroy-Ortiz y Monroy-Ortiz, C. (Comp). Las Unidades Productivas Tradicionales frente a la Fragmentación Territorial. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México.

Santiago-Fragoso, S. y Mejorada-Gómez, E. 1995. A new scaraveger beetle, *Enochrus spangleri* (Coleoptera: Hydrophilidae), from Mexico. *Entomological News* 106:36-38.

Santiago-Fragoso, S. y Mejorada-Gómez, E. 1999. Aquatic Coleoptera from Lake Xochimilco, México. *Entomological News* 110:302-310.

Santiago-Fragoso, S. y. Sandoval-Manrique J. C. 2001. Coleópteros acuáticos y su relación con la dinámica fisicoquímica del río Cuautla (tramo Tetelcingo-Anenecuilco), Morelos, México. *Hidrobiologia* 11:19-30.

Santiago-Fragoso, S. y Spangler, P. J. 2000. Elmidae (Coleoptera). pp. 421-438. En: Llorente, B. J., E. González, S. y Papavero, N. (Eds.). Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. Volumen II. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Santiago-Fragoso, S y Vázquez-Navarrete, L. 1989. Coleópteros acuáticos y semiacuáticos del río Amacuzac (Huajintlan y El Estudiante) Morelos, México. *Anales del Instituto de Biología, Serie Zoología* 60:405-426.

Santiago-Fragoso, S., y Vázquez Navarette, L. 1990. Key to the aquatic and semi-aquatic families of the order Coleoptera of Morelos state, Mexico. *Anales del Instituto de Biología, Serie Zoología* 61(1): 133-138.

Sargent, B.J., Baumann, R.W. andKondratieff, B.C. 1991. Zoogeographic affinities of the Nearctic stonefly (Plecoptera) fauna of Mexico. *Southwestern Naturalist* 36:223–231.

Schockaert, E. R., Hooge, M., Sluys, R., Schilling, S., Tyler, S., and Artois, T. (2008). Global diversity of free living flatworms (Platyhelminthes, "Turbellaria") in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 41-48

Schmidt-Rhaesa, A. y Menzel, L. 2005. Central American and Carribean species of horsehair worms (Nematomorpha), with the description of three new species. *Journal of Natural History* 39(7): 515-529.

Shepard, W. D. y Barr, C.B. 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.

Solís, M. A. 1996. Pyraloidea (Lepidoptera). Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos mexicanos: hacia una síntesis de su conocimiento. Conabio/UNAM, México.

Spangler, P.J., y Santiago-Fragoso, S. 1992. The aquatic beetle subfamily Larainae (Coleoptera: Elmidae) in Mexico, Central America, and the West Indies Smithsonian Institution Press.

Spies, M. y Reiss, F. 1996. Catalog and bibliography of Neotropical and Mexican Chironomidae (Insecta: Diptera). *Spixiana* 22: 61-119.

Stark, P.B. y Kondratieff, C.B. 2004. *Anacroneuria* from Mexico and upper Mesoamerica (Plecoptera: Perlidae). *Monographs of the Western North American Naturalist* 2(1): 1-64.

Stewart, K.W., Baumann, R.W. y Stark, B.P. 1974. The distribution and past dispersal of southwestern United States Plecoptera. *Transactions of the American Entomological Society* 99: 507-546.

Strong, E.E., Gargominy, O., Ponder, W.F. y Bouchet, P. 2008. Global diversity of gastropods (Gastropoda: Mollusca) in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 149-166.

Tapia-Vega, P., Oliveros-Jiménez, E., Sedeño-Díaz, J.E. y López-López E. 2008. .Estructura poblacional de *Tarebai granifera* (Lamarck, 1822 (Gastropoda: Prosobranchia: Thiaridae), en la parte alta de los ríos Tecolutla y Tuxpam, en el estado de Veracruz. Pp 43-54. En: Salgado, A., Álvarez, C.A., Hernández-Lara C., Hernánez, M y Florido, R. (Comp) Memorias del XIX Congreso Nacional de Zoología Universidad Autónoma de Juárez, Tabasco, México

Thompson, F.G. 2008. An annotated checklist and bibliography of the land and freshwater snails of Mexico and Central America. Disponible en: http://www.flmnh.ufl.edu/malacology/mexico-central_america_snail_checklist/mexico-central_america_snail_checklist.pdf obtenida el 18 de noviembre del 2012.

Timm, T. 1999.Distribution of freshwater oligochaetes in the west and east coastal regions of the North Pacific Ocean.*Hydrobiologia* 406: 67-81.

Torres García, U. 2012. Diversidad de coleópteros acuáticos en cauces permanentes e intermitentes de la cuenca Xichú, Guanajuato. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro. México.

Traver, J.R. 1958. Some Mexican and Costa Rican mayflies. *Bulletin of the Brooklyn Entomological Society* 53: 81-89.

Traver, J.R. 1960. Some Mexican and Costa Rican mayflies. *Bulletin of the Brooklyn Entomological Society* 55: 16-23.

Vázquez-Silva, G., Castro-Mejía, G., González-Mora, I., Pérez-Rodríguez, R. y Castro-Barrera, T. 2006. Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. *ContactoS* 60: 41-48.

Verdonschot, P., Driessen, J., Mosterdijk, H.G. y Schot, J.A. 1988. The 5-S Model, an integrated approach from stream rehabilitation. *River Restoration* 96, 36-44.

Villalobos-Figueroa, A. 1955. Cambarinos de la fauna Mexicana (Crustacea: Decapoda). Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

Villalobos-Figueroa, A. 1982. Decapoda. Pp. 215-239.En: Hulbert, S.H. y Villalobos- Figueroa, A. (Eds.).Aquatic biota of Mexico, Central America and the West Indies. San Diego State University, San Diego, California, USA.

Villalobos-Figueroa, A. 1983. Crayfish of Mexico (Crustacea: Decapoda). Smithsonian Institution Libraries and the National Science Foundation, American Publishing, New Delhi.

Villalobos–Figueroa, A., Zamora–Sánchez M.E, Correa–López J.J., Espinosa–Aranda J.L. y. Nieto–Applebaum, M.L.1982. Evaluación de la disponibilidad de postlarvas de *Macrobrachium tenellum* (Smith) y determinación de sus posibilidades de semicultivo en las microrregiones PIDER, Costa Grande y Atoyac del estado de Guerrero. Informe final. Delegación Estatal de Pesca del estado de Guerrero, Chilpancingo, Gro. Inédito.

Villalobos-Hiriart, J.L. 2005. Sistemática de los cangrejos de agua dulce de México, tribu Pseudothelphusini, Ortmann 1897 (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Pseudothelphusidae). Análisis filogenético, biogeográfico y descripción de especies nuevas. Tesis Doctorado, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

Villalobos-Hiriart, J.L. y Álvarez, F. 1999. A new species of *Macrobrachium* (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae) with abbreviated development from Veracruz, Mexico. *Proceedings of the Biological Society* 112: 746-753.

Villalobos-Hiriart, J.L. y Álvarez, F. 2003. Two new species of freshwater crab of the genus Theuana (Brachyura: Pseudothelphusidae) from southern Mexico. *Journal of Crustacean Biology* 23(1): 223-229.

Villalobos-Hiriart, J.L. y Álvarez, F. 2008. *Los cangrejos de agua dulce de la familia Pseudothelphusidae (Decapoda: Brachyura: Eubrachyura) de México*. Con un apéndice de las especies citadas para América hasta el 2006. Pp. 239-299.En: Álvarez, F. y Rodríguez, G. (Eds.). Crustáceos de México: estado actual de su conocimiento. PROMEP-UANL, Secretaría de Educación Pública / Dirección General de Publicaciones, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey.

Villalobos-Hiriart, J.L., Álvarez, F., Hernández, C., de la Lanza-Espino, G. y González-Mora, I.D. 2010. Decapods crustaceans from Copalita, Zimatán and Coyula basins, in Oaxaca, Mexico.*Revista Mexicana de Biodiversidad* 81: 99-111.

Villalobos-Hiriart, J.L., Díaz-Barriga, A.C., y Lira-Fernández, E. 1993. Los crustáceos de agua dulce de México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 44: 267-290.

Vinogradova, E.M., y Riss, H.W. 2007. Chironomids of the Yucatán Peninsula.*Chironomus Newsletter on Chironomidae Research* 20:32-35.

von Martens, E. 1890-1901. Biologia Centrali-Americana. Land and Freshwater Mollusca. Taylor and Francis, London.

Waltz, R.D. y McCafferty, W.P. 1987. Revision of the genus *Cloeodes* Traver (Ephemeroptera: Baetidae). *Annals of the Entomological Society of America* 80: 191-207.

Waltz, R.D. y McCafferty, W.P. 1999. Additions to the taxonomy of *Americabaetis* (Ephemeroptera: Baetidae): *A. lugoi* n. sp., adults of *A. robacki*, and key to larvae. *Entomological News* 110: 39-44.

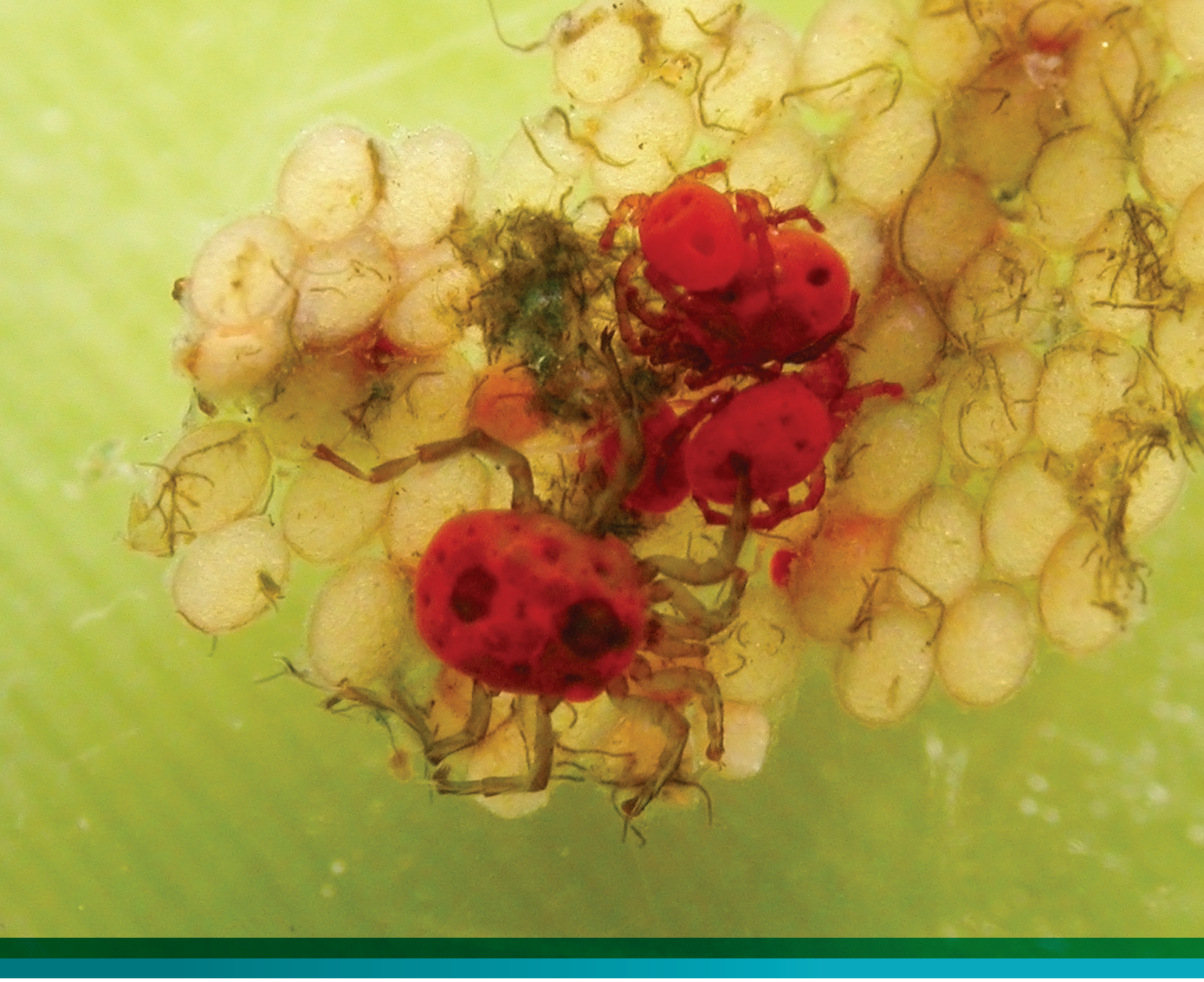
Weigel, B.M., Henne, L.J. y Martínez-Rivera, L.M. 2002. Macroinvertebrate-based index of biotic integrity for protection of streams in west-central Mexico. *Journal of the North American Benthological Society* 21(4): 686-700.

Wiersema, N.A. 1998. *Camelobaetidius variabilis* (Ephemeroptera: Baetidae): a new species from Texas, Oklahoma, and Mexico. *Entomological News* 109: 21-26.

Wiersema, N.A. y Baumgardner, D.E. 2000. Distributional and taxonomical contributions to the Ephemeroptera fauna of Mexico and Central America. *Entomological News* 111: 60-66.

Notonectidae, Hemiptera

Autor de fotografía: Kenji Nishida



Limnesiidae, Hydrachnidia

Autor de fotografía: Kenji Nishida

Nicaragua

Jean-Michel Maes[1] y Thelma Salvatierra-Suarez[2]

[1]Museo Entomológico de León – MEL. jmmaes@ibw.com.ni; www.bio-nica.info. [2]Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua. thelma.salvatierra@cira-unan.edu.ni

9.1. Resumen

Nicaragua es conocida como "Tierra de lagos y montañas" lo que alude a la gran cantidad de recursos hídricos que existen en el país. El lago Cocibolca es el ecosistema dulceacuícola tropical más extenso de América. Existen 21 cuencas hidrográficas de tamaño variable de las que cinco, son trasfronterizas o compartidas. Además existen varios humedales como el de San Miguelito, el más grande de Centroamérica. La Reserva de Vida Silvestre Los Guatusos es uno de los humedales lacustres más extensos y mejor conservados del istmo centroamericano. Al mismo tiempo, el país está localizado en la faja tropical, en una situación geográfica de privilegio en cuanto a su biodiversidad natural, comparable a la de otros países de la región. No obstante, el país no cuenta con un inventario detallado de los macroinvertebrados acuáticos ni con una caracterización general a nivel de cuencas hídricas. Además, la información existente se encuentra dispersa y no sistematizada. Quizá el hecho de contar con tantos recursos hídricos ha provocado una baja preocupación por la conservación de los mismos; lo que se ha conservado no se debe a las iniciativas estatales de conservación sino a otras coyunturas. Dentro de múltiples amenazas directas e indirectas, la más importante es el cambio del uso del suelo, incluido el cambio de bosque a agricultura. La contaminación por agroquímicos, la industria incipiente y la minería, están sujetas a normativas estrictas pero raras veces aplicadas. La introducción de especies exóticas como la tilapia y la aparición reciente del pez diablo se adicionan a las amenazas actuales. El Plan Nacional de Desarrollo Humano no contempla una estrategia de conservación de los macroinvertebrados acuáticos aunque si incluye la conservación de los humedales, las áreas protegidas y la regula-

ción de los usos múltiples del agua. En Nicaragua existen al menos 20 áreas protegidas estatales con énfasis en recursos acuáticos y nueve sitios Ramsar. No obstante, la Reserva Natural Laguna de Apoyo contiene a la única laguna no contaminada del país. Otros sistemas han sido afectados como la Reserva Natural Laguna de Nejapa que experimenta procesos de deterioro debido a la falta de protección lo que amenaza su existencia y potencial aprovechamiento económico, turístico y científico. Sin embargo, existe una estrategia nacional para la gestión de los recursos hídricos con un enfoque de cuencas. La estrategia nacional de saneamiento del agua urbana también responde a un interés de conservación de los cuerpos receptores de agua. No obstante, la estrategia nacional no plantea regiones prioritarias para el agua de manera expresa. El estado del conocimiento actual no permite definir áreas prioritarias con base en la riqueza de la biodiversidad de macroinvertebrados acuáticos. Esto ha limitado la utilización de estos organismos como bioindicadores. Se espera contar en el futuro con un inventario de macroinvertebrados acuáticos por cuencas y ríos así como con un índice para establecer la calidad de las aguas mediante los macroinvertebrados bentónicos.

9.1. Abstract

Nicaragua is known as the “land of lakes and mountains,” alluding to the large amount of water resources existing in the country. Cocibolca Lake is the largest tropical freshwater ecosystem in America. Twenty-one hydrographic basins of various sizes exist, five of which cross or share borders. There are also several wetlands, such as San Miguelito, the largest in Central America. Los Guatusos Wildlife Reserve is one of the largest and best conserved lacustrine wetlands on the Central American isthmus. The country is also located in the tropical belt, in a geographic situation favorable to natural biodiversity, comparable to that of other countries in the region. Nevertheless, the country does not have a detailed

inventory of aquatic macroinvertebrates or a general characterization at the basin level. In addition, existing information is disperse and not systematized. Perhaps having so many water resources has resulted in little concern about their conservation. What has been conserved is not due to state conservation initiatives but rather other circumstances. Many direct and indirect threats are present, the most significant being land use changes, including the change from forests to agriculture. And although contamination by agrochemicals, emerging industry and mining is subject to strict norms, they are rarely enforced. The introduction of exotic species such as tilapia and the recent appearance of devil fish add to the current threats. The National Human Development Plan does not include a strategy to conserve aquatic macroinvertebrates, although it does include the conservation of wetlands, protected areas and the regulation of multiple water uses. Even though there are at least 20 state protected areas, with an emphasis on aquatic resources, and nine Ramsar sites exist in Nicaragua, the Apoyo Lagoon Nature Reserve contains the only uncontaminated lagoon in the country. Other systems have been affected, such as the Nejapa Lagoon Nature Reserve, which is undergoing deterioration due to a lack of protection, threatening its existence and its potential for economic, tourism and scientific uses. Nonetheless, a national strategy exists for water resources management with a focus on basins. The national strategy for the treatment of urban water responds to interests to conserve receptor water bodies, although it does not expressly prioritize regions. Given the state of current knowledge, it is not possible to define priority areas based on the richness of the biodiversity of aquatic macroinvertebrates. This has limited the use of these organisms as bioindicators. An aquatic macroinvertebrate inventory at the basin and river levels is expected in the future, as is an index to establish water quality based on benthic macroinvertebrates.

9.2. Introducción

Nicaragua es un país con abundantes recursos hídricos epicontinentales. Los numerosos cuerpos de agua dulce se pueden agrupar en tres grandes sistemas: los grandes lagos o sistemas lénticos (Lago Xolotlán o Managua y Lago Cocibolca o Nicaragua, que es el lago tropical de agua dulce más grande de América), los lagos cratéricos (volcán Cosigüina, Apoyo, Masaya, volcán Maderas, Apoyeque, Xiloa, Asososca y Nejapa). El gran lago Cocibolca es de importancia ecológica por presentar un área de 23,844 km^2 de espejo de agua con una profundidad aproximada de 13 m (CIRA/UNAN-

Figura 1: Ubicación de Nicaragua en Centroamérica con la división de cuencas hidrográficas.

Managua 2013). El lago descarga por el río San Juan aproximadamente 500 m^3 por segundo en su nivel máximo (32 m sobre el nivel del mar / junio a noviembre). Los sistemas lóticos drenan en dos vertientes principales y una secundaria. Según la división de cuencas hídricas en Nicaragua existen 21, 13 de las cuales drenan a la vertiente del Atlántico y ocho drenan a la vertiente del Pacifico; cinco de ellas son trasfronterizas o compartidas (figura 1).

En estas cuencas hídricas se encuentra una heterogeneidad en la diversidad biológica, debido al comportamiento de los individuos ante los factores físicos y climáticos que presenta una área determinada, ya que existen variaciones en la temperatura, oxígeno disuelto, altitud, precipitación, salinidad, extensión, entre otras. Con estas características de la cuenca se determinará variaciones en la presencia o ausencia de una familia o género. Nicaragua no cuenta con una caracterización general a nivel de cuencas hídricas tampoco con un inventario

faunístico detallado de los macroinvertebrados acuáticos.

El estudio de la fauna de los macroinvertebrados acuáticos en los cuerpos de agua dulce de Nicaragua ha cobrado relevancia en los años recientes. Los primeros estudios de este tipo fueron llevados a cabo por investigadores extranjeros y se limitaron a la recolección de algunas muestras puntuales en diferentes cuerpos de agua del país. Los primeros reportes de hallazgos de macroinvertebrados, por consiguiente, son aislados y no son estudios sistemáticos.

A partir de 1987 y hasta la fecha, los investigadores del Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua) han llevado a efecto estudios sistemáticos de la fauna de macroinvertebrados acuáticos de lagos, lagunas, humedales y ríos del país con el propósito de cuantificar y clasificar taxonómicamente. En 1988 se creó el Museo Entomológico de León, que es un organismo no gubernamental (ONG) que se autoadjudicó la tarea de realizar el inventario de los insectos de Nicaragua. El enfoque es en las formas adultas y la prioridad en insectos terrestres. Los insectos acuáticos están incluidos dentro de los resultados de las recolectas pero el esfuerzo de muestreo no ha incluido muestreos acuáticos.

Más recientemente, la Universidad Nacional Agraria (UNA) amplió el enfoque meramente agronómico que tenía, e incluyó la conservación del ambiente. Con esta nueva visión realiza estudios que incluyen muestreos de macroinvertebrados acuáticos. En los últimos años se incorporó al estudio general de macroinvertebrados acuáticos la Facultad Regional Multidisciplinaria de Estelí de la UNAN-Managua (FAREM-Estelí), en el sector de la subcuenca del río Estelí y otras zonas.

9.3. Estado del conocimiento sobre macroinvertebrados dulceacuícolas en Nicaragua

A pesar de ser un país agrícola, Nicaragua cuenta con pocos estudios taxonómicos de los insectos potencialmente "plagas", lo que por lógica nos indica que no hubo preocupación, a lo largo de la historia del país, para documentar las especies de fauna. La fauna acuática tan solo cuenta con unos pocos estudios de peces y reportes casuales de otros organismos. Los grupos más reportados en los catálogos pertenecen a algunas familias de coleópteros, por ser de más fácil colecta sus formas adultos. Más recientemente algunas incursiones de colecta de especialistas extranjeros, como Nick Donnelly, las estancias de estudio de otros, como Stefano Fenoglio, han aportado especímenes en las colecciones de algunos museos, que esperamos sean estudiados poco a poco. Los estudios del CIRA (UNAN-Managua) son prácticamente el único esfuerzo consistente para documentar la fauna de macroinvertebrados acuáticos.

9.3.1. Estudios taxonómicos

A lo largo del tiempo, la taxonomía siendo un proceso acumulativo, se han venido apareciendo citas de especies de Nicaragua. Un esfuerzo de colecta grande en 1870-1874 por Thomas Belt generó conocimientos desde las coleccio-

nes de colegas suyos en Gran Bretaña. Luego pasó más de un siglo con solo algunas colectas esporádicas, principalmente de insectos en general, depositados en colecciones extranjeras. Maes (1998, 1999) presentó una compilación de la información conocida a la fecha, bajo la forma de una lista de especies de Nicaragua, para la parte insectos y artrópodos terrestres, incluyendo los de agua dulce. No existen compilaciones nacionales para los demás grupos de macroinvertebrados acuáticos.

Filo Nematoda - Hartmann (1959) reportó los siguientes nematodos para en el lago Cocibolca: *Theristus setosus*, *Viscosia nicaraguensis* y *Polygastrophora octobulba*. Dichas especies son usualmente características de ambientes salobres o marinos. Además reportó las especies de agua dulce *Trilobus longus*, *Artynolaimus radiatus* y *Docylaimus prendostagnatis*, todas de ecología poco conocida (Swain 1966).

Filo Nematomorpha – No se tiene registros de especies de este grupo en Nicaragua (Schmidt-Rhaesa y Menzel 2005).

Filo Platyhelminthes – De la clase Turbellaria, el género *Dugesia* (Planariidae) fue reportado por Salvatierra y Varela (2013) en la subcuenca del río Viejo de la cuenca de los grandes lagos (Xolotlán y Cocibolca) y el río San Juan.

Filo Annelida - Howmiller (1974) recolectó especímenes de las familias Naididae y Tubificidae (Clitellata: subclase Oligochaeta: orden Haplotaxida) en los sedimentos y la vegetación acuática de las lagunas, así como otros ecosistemas acuáticos continentales en Guatemala y Nicaragua entre 1969 y 1971. Harman *et al.* (1982a, b) documentaron la existencia de 20 especies, distribuidas en tres familias (Aelosomatidae, Opystocystidae y Naididae), en América Central (El Salvador, Costa Rica, Guatemala, Nicaragua y Honduras). En investigaciones realizadas en el CIRA/UNAN-Managua, han sido reportados 13 taxa de la subclase Oligochaeta (Clitellata), algunas identificadas hasta el nivel de especie, agrupados en dos familias. Tubificidae representada por *Limnodrilus hoffmeisteri* es la de mayor distribución, encontrada en varios sitios estudiados, pero en específico en el lago Xolotlán y el lago Cocibolca (Alexander *et al.* 1987) en asociación con *Limnodrilus udekimianus* (Byjlmakers *et al.* 1987, Byjlmakers y Sobalvarro 1988, CIRA/UNAN-Managua 1997). Otras especies reportadas son *Pristina menoni* (Naididae) (Alexander *et al.* 1987), *Pristina* sp. (Hernández 2008, Fuentes 2005, CIRA/UNAN-Managua 2010, CIRA/UNAN-Managua 2011) y *Tubifex* sp. (Alexander *et al.* 1987). De la familia Naididae: *Nais communis* (CIRA/UNAN-Managua 2002), *Nais obtusa*, *Nais* sp., *Dero* sp. y *Chaetogaster langi*. De la clase Hirudinea se han reportado tres géneros de la familia Glossiphoniidae: *Helobdella* (Alexander *et al.* 1987, Salvatierra 2009), *Placobdella* y *Glossiphonia* (CIRA/UNAN-Managua 1997, Hernández 2008, Fuentes 2005, Salvatierra y Varela 2013).

Filo Arthropoda

Subfilo Chelicerata

Clase Arachnida

Orden Trombidiformes (Hydrachnidia) – Del grupo de los ácaros acuáticos no existen registros publicados para Nicaragua; el único informe que hay es de Maes *et al.* (1989) quienes mencionan a *Charletonia* sp., de la familia

de ácaros terrestres Erythraeidae, recolectado sobre adultos de *Anacroneuria* sp. (Plecoptera).

Subfilo Crustacea

Clase Ostracoda - Hartmann (1959) reportó y describió los siguientes ostrácodos para el lago de Nicaragua (Cocibolca): *Physocypria granadae*, *Heterocypris nicaraguensis*, *Potamocypris islagrandensis nicaraguensis*, *Limnocythere royi*, *Pericythere marginata* y *Darwinula stevensoni*. La mayoría de éstos son de agua dulce a excepción de *Pericythere* sp. que es de ambiente estuarino (Swain 1966). Adicionalmente fueron descritas por Swain y Gilby (1964) las especies *Darwinula managuensis* y *Metacypris ometepensis*, este último género habitante de estuarios (Swain 1966). En la colección del CIRA/UNAN-Managua se encuentran especímenes de los géneros *Darwinula*, *Candona*, *Cypricercus*, *Metacypris* y *Candonocypris* que existen tanto en ecosistemas lénticos como lóticos, tales como el lago Xolotlan, el lago Cocibolca, la laguna de Acahualinca, la laguna de Tisma y el río Viejo.

Clase Malacostraca

Orden Amphipoda - En la colección del CIRA/UNAN se encuentran los géneros *Hyallela* (Hyallelidae) y *Gammarus* (Gammaridae) existentes en ecosistemas lénticos y lóticos (García y Talavera 1992, Talavera 1994, Gutiérrez y Rueda 2002).

Orden Isopoda - Lemos de Castro 1982 reportó a *Probopyrus bithynis* (Bopyridae) de Nicaragua.

Orden Decapoda - Villalobos 1982 reportó de Nicaragua los géneros *Atya*, *Potimirim* (Atyidae), *Macrobrachium* (Palaemonidae), *Camptophallus*, *Raddaus* y *Potamocarcinus* (Pseudotelphusidae), con una amplia variedad de representantes en los ecosistemas dulceacuícolas en particular los sistemas lóticos. El camarón de río, *Macrobrachium carcinus*, representa un recurso valioso para la alimentación en varios lugares del país, entre otros en el río San Juan y sus afluentes (Pascual 2005).

Subfilo Hexapoda

Clase Collembola - Se han reportado seis géneros para Nicaragua. Maes y Palacios (1988) reportaron *Isotomurus* sp. (Isotomidae), *Sminthurides* sp. (Sminthurididae) y *Sminthurinus* sp. (Katiannidae) como especies epineústicas y *Sphaeridia* sp. (Sminthurididae) como euedáfica. Posteriormente se encontró *Entomobryia* sp. (Entomobryidae) (Fuentes 2005) y *Agrenia* sp. (Isotomidae) (CIRA/UNAN-Managua e INETER 2004, Fuentes 2005).

Clase Insecta

El Museo Entomológico de León se ha dado la tarea de levantar inventarios de los grupos de los artrópodos terrestres, principalmente de los insectos. Este inventario esta compilado en el libro "Insectos de Nicaragua" (Maes 1998, 1999 a, b). Desde esta publicación a la fecha hay avances considerables en el conocimiento de Ephemeroptera, Plecoptera y Odonata. Un estimado basado en los totales de cada grupo taxonómico da 906 especies de insectos acuáticos para Nicaragua, compuesto por: Collembola (5 spp.), Ephemeroptera (56 spp.), Plecoptera (Perlidae 8 spp.), Odonata (160 spp.), Heteroptera (39 spp.), Coleoptera (122 spp.), Megaloptera (Corydalidae 7 spp.), Neuroptera (Sisyridae 2 spp.), Trichoptera (176 spp.) y Diptera (331 spp.).

Orden Ephemeroptera - Maes 1988 reportó diez especies de Ephemeroptera para Nicaragua: tres Baetidae, dos Tricorythidae, un Caenidae y cuatro Polymitarcidae. En la página web "Mayfly Central species list-central america (Purdue University, 2012) se reporta 56 especies para Nicaragua: Baetidae (19 spp.), Caenidae (2 spp.), Heptegeniidae (1sp.), Isonychiidae (1sp.), Leptohyphidae (9 spp.), Leptophlebiidae (18 spp.), Oligoneuridae (1 sp.) y Polymitarcyidae (5 spp.).

Orden Odonata - El primer insecto descrito de Nicaragua fue la libélula Megaloprepus caerulatus, (antes Pseudostigmatidae, ahora Coenagrionidae) recolectado en "Mosquito Shore" en 1779, por Shakspear (Drury 1782). La costa de la Mosquitia corresponde a los territorios indigenos Misquitos de Nicaragua y Honduras, que eran independientes y de dominio inglés en aquel tiempo. Paulson (1982) reportó 51 especies de Odonata de Nicaragua. Posteriormente, Maes *et al.* (1988), en el catálogo de Odonata de Nicaragua reportaron 100 especies. Paulson (2013) reportó 157 especies de Odonata para la fauna de Nicaragua: Polythoridae (1 sp.), Calopterygidae (8 spp.), Lestidae (7 spp.), Perilestidae (1 sp.), Megapodagrionidae (5 spp.), Platystictidae (7 spp.), Protoneuridae (8 spp.), Coenagrionidae (35 spp.), Aeshnidae (15 spp.), Gomphidae (12 spp.), Corduliidae (1 sp.) y Libellulidae (57 spp.). En las colecciones del CIRA/UNAN-Managua se encuentran especímenes de las formas inmaduras de 11 géneros distribuidas en seis familias: Coenagrionidae (*Acanthagrion*, *Argia*, *Zonagrion*, *Telebasis* y *Ischnura*), Aeshnidae (*Aeshna* y *Anax*), Lestidae (*Lestes*), Libellulidae (*Tramea* y *Macrothemis*), Gomphidae (*Phyllogomphoides*, *Progomphus* y *Agrigomphus*) y Macromiidae (*Macromia*).

Orden Orthoptera – Se ha trabajado con una especie semiacuática de Acrididae, *Cornops frenatum*, controlador de la planta acuática invasora *Eichhornia crassipes*, en colaboración entre el Museo Entomológico de Leon, la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua y la Universidad Max Planck de Alemania. Sin embargo, todavía no hay trabajos publicados.

Orden Plecoptera - Maes (1988) reportó tres especies de Plecoptera de Nicaragua; todas del género *Anacroneuria* (Perlidae). Fenoglio (2007) reportó seis especies de *Anacroneuria*, más recientemente, Stark (2014) reportó ocho especies de este mismo género. En la colección del CIRA/UNAN-Managua hay ninfas de *Anacroneuria* sp. provenientes de la subcuenca del río Viejo (Salvatierra y Varela 2013), de la cuenca de los Grandes Lagos y del río San Juan.

Orden Blattodea – No se cuenta con información sobre especies acuáticas para este grupo en Nicaragua.

Orden Hemiptera - En Insectos de Nicaragua (Maes 1998) se reportan Nepidae (4 spp.), Belostomatidae (10 spp.), Corixidae (3 spp.), Gelastocoridae (7 spp.), Ochteridae (2 spp.), Naucoridae (1 sp.), Notonectidae (4 spp.), Pleidae (1 sp.), Hydrometridae (1 sp.), Veliidae (2 spp.) y Gerridae (4 spp.). Para cada especie se informa de los departamentos de Nicaragua donde fue colectada. En algunos casos se menciona que es depredador de larvas de zancudos: *Ranatra fabricii* (Nepidae), *Belostoma boscii* y *Belostoma minor* (Belostomatidae), *Pelocoris poeyi* (Naucoridae), *Buenoa platycnemis* y *Notonecta indica* (Notonectidae). En su revisión de la familia

Naucoridae en Mesoamérica, Herrera (2014) citó únicamente la especie *Ambrysus dyticus* para Nicaragua; sin embargo, se espera un número de especies mucho mayor para el país, ya que de esta familia se han citado un total de 32 especies de seis géneros en los demás países de Centroamérica (Herrera 2014).

Orden Coleoptera - En Insectos de Nicaragua (Maes 1999a), se reportaron Haliplidae (1 sp.), Noteridae (12 spp.), Dytiscidae (30 spp.), Gyrinidae (3 spp.), Hydraenidae (6 spp.), Hydrophilidae (40 spp.) (no incluye a los Sphaeridiinae), Ptilodactylidae (7 spp.), Limnichidae (9 spp.), Dryopidae (3 spp.) y Elmidae (1 sp.).

Orden Neuroptera - Maes y Flint (1994) publicaron los dos primeros registros identificados de Sisyridae: *Climacia* sp. y *Sisyra apicalis*. Recientemente se encontraron especímenes adultos de Sisyridae en Selva Negra (carretera Matagalpa a Jinotega). Las larvas de esta familia se alimentan de esponjas (Maes 1999b).

Orden Megaloptera - Compuesto por una sola familia, Corydalidae, con tres géneros y siete especies conocidos de Nicaragua (Maes 1999b): *Chloronia mirifica*, *Corydalus armatus*, *C. cornutus*, *C. luteus*, *C. magnus*, *C. nubilis* y *Platyneuromus honduranus*. Fueron reportados larvas del género *Corydalus* sp. (Corydalidae), encontrados en la subcuenca del río Viejo (Salvatierra y Varela 2013).

Orden Trichoptera - En Insectos de Nicaragua (Maes 1999b), se incluyeron 125 especies de Trichoptera: Ecnomidae (2 spp.), Hydropsychidae (22 spp.), Polycentropodidae (18 spp.), Xiphocentronidae (1 sp.), Philopotamidae (26 spp.), Glossosomatidae (12 spp.), Hydroptilidae (23 spp.), Hydrobiosidae (3 spp.), Helicopsychidae (4 spp.), Calamoceratidae (2 spp.), Leptoceridae (10 spp.) y Odontoceridae (2 spp.). Chamorro *et al.* (2009) presentaron un nuevo listado de Trichoptera de 176 especie de Nicaragua: Calamoceratidae (6 spp.), Ecnomidae (2 spp.), Glossosomatidae (12 spp.), Helicopsychidae (7 spp.), Hydrobiosidae (7 spp.), Hydropsychidae (27 spp.), Hydroptilidae (35 spp.), Lepidosomatidae (1 sp.), Leptoceridae (14 spp.), Odontoceridae (2 spp.), Philopotamidae (36 spp.), Polycentropodidae (24 spp.) y Xiphocentronidae (3 spp.).

En el río Gil González y el río Viejo fueron encontradas seis familias: Calamoceratidae (*Phylloicus* sp.), Hydropsychidae (*Smicridea* sp.), Helicopsychidae (*Helicopsyche* sp.), Philopotamidae (*Chimarra* sp.), Hydroptilidae (*Oxyethira* sp., *Hydroptila* sp., *Alisotrichia* sp., *Mayatrichia* sp., *Leucotrichia* sp. y *Ochrotrichia* sp.) y Leptoceridae (*Atanatolica* sp.) (Salvatierra y Varela 2012, Salvatierra y Varela 2013). La familia Hydropsychidae tuvo la mayor riqueza y abundancia.

Orden Lepidoptera - Los lepidópteros son terrestres, pero unas pocas especies son fitófagas de plantas acuáticas. Las larvas de *Crambidae Nymphulinae* se consideran en general como acuáticas. Los Schoenobiinae tal vez deberían de considerarse también acuáticos, una especie, *Rupela albinella*, ataca los tallos del arroz. Maes (1999b) mencionó dos Schoenobiinae, no mencionó a ningún Nymphulinae.

Orden Diptera - En Insectos de Nicaragua (Maes 1999b) están mencionados Psychodidae (30 spp.), Culicidae (105 spp.), Ceratopogonidae

(55 spp.), Simuliidae (5 spp.), Tipulidae (10 spp.), quizá algunos no son acuáticos), Chironomidae (9 spp.), Chaoboridae (1 sp.), Anisopodidae (1 sp.), Stratiomyiidae (25 spp.), Tabanidae (41 spp.) y Syrphidae (Milesiinae) (10 spp.). Posterior a este catálogo, estudios aislados fueron hechos por Palomaki (1987) quien reportó algunos quironómidos.

Filo Mollusca - Entre los primeros reportes de la fauna de macroinvertebrados acuáticos de Nicaragua, se encuentra Belt (1874) quien fue el primer científico en reportar moluscos de las costas del Lago Cocibolca. Este autor identificó los géneros *Unio* (Bivalvia: Unionidae), *Ancylus* (Gastropoda: Planorbidae) y *Ampullaria* (Gastropoda: Ampullariidae). Estos géneros recordaron a Belt algunas especies de Europa. En su libro "El naturalista en Nicaragua" (1874) comentó que ciertas especies son cosmopolitas y algunas especies ausentes están limitadas por la falta de continuidad de los lagos y ríos en tiempo y espacio.

El padre Jesuita Adolfo López de la Fuente es quien se ha dedicado con más empeño al inventario de los moluscos de Nicaragua, tanto gasterópodos como bivalvos (López y Urcuyo 2008, López y Urcuyo 2009) mencionan de Nicaragua los gasterópodos dulceacuícolas *Ampullaria* sp., *Biomphalaria* sp., *Pachychilus* sp., *Physa* sp., *Planorbis* sp. y *Pyrgophorus* sp., son utilizados como alimento por los pobladores de la zona central y atlántica del país. Los mismos autores consideran a *Pachychilus* sp. como un indicador de aguas limpias. Para los bivalvos, López y Urcuyo (2008) reportaron tres familias en Nicaragua, Unionidae (*Arotonaias* y *Micronaias*), Mycetopodidae (*Mycetopoda*, *Anodontites* y *Nephronaias*) y Psiidae (*Eupera*, *Pisidium* y *Sphaerium*). Los mismos autores señalan que *Anodontites nicaraguae* es consumido como alimento.

Colecciones taxonómicas y centros de investigaciones en macroinvertebrados acuáticos

Las colecciones de macroinvertebrados acuáticos conservadas en Nicaragua son de tamaño reducido y con pocos individuos identificados a nivel de especie. La mayoría se encuentra identificada a nivel de género.

El único centro dedicado particularmente al estudio de los macroinvertebrados acuáticos en Nicaragua es el CIRA/UNAN-Managua (Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua). El CIRA/UNAN-Managua cuenta con 32 años dedicados al estudio los diferentes ecosistemas acuáticos para evaluar la calidad y disponibilidad de los recursos hídricos del país, en particular el laboratorio de hidrobiología, que trabaja con el estudio cuantitativo y cualitativo de los macroinvertebrados así como de fito- y zooplancton. Este centro mantiene una colección de fitoplancton, zooplancton y unos 60,000 especímenes inmaduros de macroinvertebrados acuáticos.

El Museo Entomológico de León (MEL) estudia en general los insectos de Nicaragua y algunas familias a nivel global. La colección del MEL consta de alrededor de 500,000 especímenes, de los cuales 10,000 son individuos adultos de especies acuáticas.

La FARENA-UNA (Facultad de Recursos Naturales de la Universidad Nacional Agraria) incluyó recientemente la parte acuática en el conjunto de ámbitos estudiados. Además la FAREM-UNAN (Facultad Regional Multidiscipli-

naria de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, en Estelí) se dedica al estudio de los recursos naturales del norte de Nicaragua.

Finalmente está el CIDEA-UCA (Centro de Investigación de Desarrollo Acuícola) que fundamentalmente trabaja en cultivo de camarones en el Pacífico norte de Nicaragua. La camaronicultura está afectando seriamente los ecosistemas costeros del país.

9.3.2. Estudios Ecológicos

Relativamente pocos estudios ecológicos se han realizados en el ambiente acuático en Nicaragua y la mayoría no fueron publicados. Fenoglio y colaboradores realizaron estudios en el río Bartola, afluente del río San Juan (Fenoglio 1999, Fenoglio *et al.* 2002, Fenoglio *et al.* 2004).

Otros estudios se relacionan con la caracterización y las líneas base en varios ecosistemas acuáticos tanto lénticos como lóticos donde se incluyó el estudio de los macroinvertebrados acuáticos y su relación con las variables físicas y químicas de los ecosistemas estudiados. El CIRA/UNAN-Managua cuenta con información del río San Juan así como de los lagos Xolotlán y Cocibolca desde 1988 hasta la fecha, donde se ha estudiado la relación de los macroinvertebrados acuáticos con las variabilidades hidrológicas y la calidad del agua desde el punto de vista físicos y químicos.

El estudio ecológico más reciente fue realizado en el cauce principal del río San Juan, y sus tributarios en veinte estaciones de muestreo, de abril-mayo (época seca) a septiembre-octubre (época lluviosa) de 2012. Dentro de los resultados se encontró una excelente calidad físicoquímica para la irrigación de cultivos agrícolas (Flores y Mendoza 2012). En cuanto a los resultados de los macroinvertebrados acuáticos el filo encontrado en todos los sitios analizados en las dos épocas de muestreo fue Arthropoda, representado por la clase Insecta con los órdenes Diptera, Ephemeroptera, Coleoptera, Trichoptera y Odonata; además se encontró con menor presencia y en menos sitios los filos Mollusca, Annelida y Nematoda.

Se determinó la presencia de residuos de plaguicidas encontrados en diez de las estaciones estudiadas en el río San Juan tanto en sedimentos como en los "muestreadores" pasivos. No obstante los valores determinados estuvieron por debajo de los niveles de las normas canadienses para la protección de la vida acuática. En general coincidieron con los bajos números de individuos de macroinvertebrados acuáticos encontrados en los sustratos artificiales (Salvatierra *et al.* 2013).

Existen trabajos más recientes por períodos más cortos (de un año o dos) en la subcuenca del río Viejo, que fue coordinados con el Proyecto Integral de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Agua y Saneamiento (PIMCHAS) con la contrapartida nacional del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARENA) y el CIRA/UNAN-Managua. Otro estudio realizado fue en el río Gil González en coordinación con la Fundación Nicaragüense para el Desarrollo Sostenible (FUNDENIC SOS) y el CIRA/UNAN-Managua.

Hay dos proyectos de investigación multidisciplinarios de gran importancia para Nicaragua que agrupan varios componentes relacionados a la calidad de las aguas incluido el estudio de los macroinvertebrados acuáticos. Uno está en la parte alta de la cuenca del río Coco (cuenca transfronteriza entre Nicaragua y Honduras) cuyos resultados aún no han sido publi-

cados. Dos estudios están en la parte baja de la cuenca de los grandes lagos y el río San Juan, específicamente en la salida del lago Cocibolca.

9.3.3. Estado de conservación

Nicaragua cuenta con diferentes cuerpos de agua, en particular lagos y lagunas de extensión variada entre estos: lago Cocibolca, lago Xolotlán, lago de Apanás, laguna de Perlas, Bismuna (Wani), Bahía de Bluefields, Wounta, Pahara, Karata, Top Lock Lagoon, Sonie Lagoon, Apoyo, Smokey Lane Lagoon, Tisma, Dakura, Big Lagoon, Gracias a Dios, Masaya, Bismuna Tara, Moyua, Lidakura, Ñocarime, Xiloa, Sikapakia, Leimus, Apoyeque, Cosiguina, Mombacho, Monte Galán, Asososca en León, Asososca Managua, Las playitas, Maderas, Nejapa y Tiscapa. El lago Cocibolca es el ecosistema dulceacuícola tropical más extenso de América, con una superficie 8,143.7 Km^2 (Montoya 2013). Quizá el hecho de contar con tantos recursos hídricos ha provocado una baja en la preocupación por la conservación de los mismos. Podríamos decir, al igual que para otros recursos naturales, que lo que se ha conservado, no es por la eficacia del sistema de conservación (áreas protegidas), sino porque no se ha destruido todavía.

El Plan Nacional de Desarrollo Humano (2012-2016) no contempla una estrategia de conservación de los macroinvertebrados acuáticos en las cuencas hídricas, pero en varias partes del documento se retoma la conservación de los humedales, las áreas protegidas y la regulación de los usos múltiples del agua. La primera área protegida declarada en Nicaragua, en 1958, fue la Reserva Natural Volcán Cosigüina, con una laguna volcánica. Varias otras áreas protegidas fueron declaradas posteriormente (MARENA 2013) varias de las cuales tienen énfasis en los recursos acuáticos (cuadro 1). Además existen en Nicaragua nueve sitios Ramsar (Ruiz *et al.* 2005, cuadro 2).

En Nicaragua existe una Estrategia Nacional del Agua, que se implementa a través de la Ley General de Aguas Nacionales (Ley No 620), en su artículo 97 donde se considera al lago Cocibolca como reserva natural de agua para consumo humano. Esta estrategia también contempla la conservación de las reservas de agua de los embalses de las empresas hidroeléctricas: Apanás, Las Canoas, Tumarín. También contempla camaronicultura en el Estero Real.

Existe una estrategia nacional de saneamiento del agua urbana que contempla la construcción de plantas de tratamiento de aguas urbanas en Managua, Granada, León, Matagalpa, San Carlos y Rivas entre otros.

La estrategia responde a un interés de conservación de los cuerpos de agua receptores de estas aguas urbanas. La tecnología utilizada es variable, las primeras plantas de tratamiento establecidas eran meras lagunas de oxidación, la más reciente es la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la ciudad capital Managua que usa tecnologías más modernas, con capacidades de 1,534 litros por segundo así como una estación elevadora de carga a la entrada de la planta y el tratamiento con capacidad de 4,270 litros por segundo (ENACAL 2013).

La estrategia nacional, vía la ley del agua (artículo dos), tiene enfoque de cuencas, expresa que la gestión de los recursos hídricos se realiza a nivel de las cuencas. De allí derivan proyectos concretos más puntuales: PROCUENCA que trabajó en la cuenca de los grandes lagos

Cuadro 1. Áreas protegidas estatales de Nicaragua, con énfasis en recursos acuáticos.

Área protegida estatal	*Decreto*	*Tipo de sistema*	*Características generales*
Reservas de la Biosfera:			
Indio-Maíz y BOSAWAS, relacionadas directamente con el río San Juan y el Río Coco respetivamente. En el caso de BOSAWAS el nombre proviene de Bocay – Saslaya – Waspuc, de los cuales el primero y el último son ríos afluentes del río Coco.	78-2003	Sistemas lénticos y lóticos	Bosawas es el sitio de convergencia de fauna norte y suramericana, posee una extensa riqueza en varias taxa de organismos tanto invertebrados como vertebrados.
Reserva Natural:			
Delta Estero Real, área trinacional compartida con El Salvador y Honduras.	78-2003	Sistema léntico	Caracterizado por un intensivo cultivo de camarones, pesca y agricultura. La diversidad original del lugar ha sufrido cambios por las actividades antropogénicas.
Ríos:			
Monumento Nacional Cañón de Somoto	48-72	Sistema lótico	Incluye el curso del río, las riberas, la parte interna de los acantilados y el borde a cada lado en la parte alta del acantilado.
Reserva Natural Tisey – La Estanzuela	42-91	Sistema lótico	La formación del Tisey-Estanzuela se debe al fraccionamiento y levantamiento de bloques volcánicos de la formación Coyol Superior, caracterizada por planchas de lava derramadas durante el Plioceno.
Reserva Natural Chocoyero – El Brujo.	35-93	Sistema lótico	Desde el punto de vista hidrológico, el área está en la parte media de la microcuenca Chocoyero – El Brujo, que baja desde Las Nubes (municipio El Crucero). Existen diferentes tipos de bosque y vegetación siempre verde.
Reserva Biológica:			
Cayos Misquitos en la costa Atlántica	78-2003	Sistema léntico	Cayos Miskitos está constituido por cerca de 76 formaciones entre las que destacan estuarios, arrecifes, cayos, bancos de hierbas submarinas e islotes; doce de estas formaciones se encuentran cubiertas de vegetación por lo que conforman islas.

Lagunas volcánicas:			
Reserva Natural Volcán Cosigüina.	14-99	Sistema léntico	Gran parte del cráter del volcán Cosigüina explotó y volaron trozos, los cuales formaron islotes en el Golfo de Fonseca. Tiene pendientes caen hasta el Golfo de Fonseca y que están mayormente cubiertas por árboles.
Reserva Natural Pilas – El Hoyo.	13-20	Sistema léntico	Las Pilas-El Hoyo es un volcán compuesto, que ocupa la parte superior de una misma base la cual esta as su vez rodeada de otros cerros de origen volcánico.
Reserva Natural Laguna de Apoyo.	42-91	Sistema léntico	Es la única laguna no contaminada de toda Nicaragua. Es una de las áreas protegidas más visitada del país ya que presenta una importancia paisajística reconocida internacionalmente, destacándose como un punto de referencia histórico y cultural.
Reserva Natural Laguna de Asososca.	42-91	Sistema léntico	La importancia y el valor que tienen la laguna de Asososca como cuerpo hídrico, indispensable para el abastecimiento del agua potable en Managua hace que converjan una serie de instituciones y actores que han establecido relaciones interinstitucionales para asegurar la conservación y sostenibilidad de este importante recurso hídrico.
Reserva Natural Laguna de Tiscapa.	35-2003	Sistema léntico	Es de origen volcánico en el centro de la capital ya que está en una de las principales fallas geológicas que afectan Managua.
Reserva Natural Laguna de Nejapa.	42-91	Sistema léntico	Nejapa viene presentando un proceso de extinción, el abandono al que se ha condenado está acortando su tiempo de vida y posible aprovechamiento económico, turístico y científico.
Parque Nacional Volcán Masaya.	42-91	Sistema léntico	Comprende accidentes geográficos, fenómenos geográficos, fenómenos geológicos, el complejo volcánico, el área de vida silvestre y la laguna.

Humedales			
Reserva Natural Laguna de Tisma	13-20	Sistema léntico	La laguna de Tisma, conocida como "el Charco de Tisma", en el curso medio del río Tipitapa, incluye las "lagunetas" y pantanos de El Genízaro, la laguna Amapa, el estero de Panaloya, la Playuela de Tisma y demás áreas pantanosas. El cuerpo principal de todo el sistema es la propia Laguna de Tisma.
Refugio de Vida Silvestre Los Guatuzos.	78-2003	Sistema léntico	Es una extensa franja de territorio ocupada por bosques y humedales que sirve de refugio a una diversa fauna silvestre.
Reserva Natural Río Manares.	13-20	Sistema lótico	Es zona plana, con presencia de numerosas rocas y acumulaciones rocosas entre las cuales han quedado entrampadas varias lagunitas.
Lagunas de Mecatepe.	42-91	Sistema léntico	Se caracteriza por su corto recorrido y da refugio a la flora y fauna de la zona.
Reserva Natural Isla de Juan Venado.	13-20	Sistema léntico	Es un impresionante santuario de manglares y un secreto bien conocido entre los turistas.

Cuadro 2. Sitios RAMSAR de Nicaragua y descripción de sus recursos hídricos.

Sitios Ramsar	*No. Ramsar*	*Área*	*Características generales*
Cayos Miskitos y franja costera inmediata	1135	85,000 ha	Incluye arreglos de tipo pantano, principalmente áreas inundadas en la que predominan los arbustos. Sistema fluvial en la que se encuentran varios tipos de floresta y esteros rodeados de manglares casi en estado natural. El área costeña y el arrecife de coral de los cayos miskitos albergan a muchas especies raras y en peligro de extinción incluida la tortuga verde Chelonia mydas, a la tortuga carey Eretmochelys imbricata, el manatí Trichechus manatus y el "'tucuxi" o delfín de agua dulce Sotalia fluviatilis.
Sistema de Humedales de la Bahía de Bluefields	1139	86,501 ha	Contiene una diversidad de ecosistemas desde agua dulce hasta agua salada que abarca la bahía, que de hecho es una laguna costera asociada con el río Escondido. La floresta litoral y los manglares forman el hábitat y los corredores biológicos. El sitio es importante por la pesca artesanal que forma la base cultural y económica de los grupos étnicos de la zona.

Sistema de Humedales San Miguelito	1140	43,475 ha	El más grande de Centroamérica. El lugar mantiene una rica diversidad biológica que alberga una gran cantidad de especies de aves, peces, reptiles y mamíferos. También realiza una función muy esencial en prevención de desastres naturales y en purificar y reciclar el agua del lago.
Reserva de Vida Silvestre Los Guatusos	915	85,000 ha	Es uno de los humedales lacustres más extensos y mejor conservados de Nicaragua y del istmo centroamericano. No obstante su importancia ecológica es mucho más amplio debido a su importancia en la ruta de varias especies de aves migratorias, por lo que llega a alcanzar dimensiones continentales. Por encontrarse geográficamente entre los bosque húmedo tropical y bosque tropical seco, con predominancia del primero, el refugio posee aspectos ecológicos de ambas zonas de vida, acentuados por el hecho de que en su historia natural, el área ha funcionado como puente biológico al facilitar el flujo genético de especies de flora y fauna entre esas dos zonas de vida.
Refugio de Vida Silvestre Río San Juan	1,138	43,000 ha	Es el curso del río San Juan en camino a la frontera de Costa Rica, luego a la ciudad de San Juan del Norte, para seguir a lo largo de la costa caribe en parte de la Reserva de la Biosfera Indio Maíz. Forma uno de los dos más extensos núcleos del Corredor Biológico Mesoamericano. El sitio comprende un arreglo de diversos pantanos en incluye esteros y aguas marinas poco profundas, lagunas costeras de agua dulce y litorales marinos así como también lagos y ríos.
Lago de Apanás – Asturias	1,137	5,226 ha	Un lago artificial o represa formada por dos presas productoras de electricidad, sobre el río Tuma en la zona montañosa del norte, caracterizado como una zona de agricultura y almacenadora de agua. La nutria "perro de agua" *Lontra longicaudis* es protegida por estar en peligro de extinción. El área es también importante para aves migratorias.
Sistema Lagunar de Tisma	1,141	16,850 ha	Ecosistema de lagos asociados con la orilla noroeste del lago de Nicaragua. Este provee agua para toda para todo pastizales, cultivo de arroz e irrigación, rellena los fluidos subterráneos y ayuda a la prevención de inundaciones, retiene los sedimentos y contaminantes y abriga una alta cantidad de aves migratorias. El cultivo de arroz y las alteraciones del nivel del agua han tenido un impacto directo.

Deltas del Estero Real y Llanos de Apacunca	1,136	81,700 ha	Marcado por un intensivo y semintensivo cultivo de camarones, pesca y agricultura. Fue declarado reserva por recursos genéticos en 1996 para preservar una especie de maíz *Zea luxurians* o *nicaragüenses* que es endémico de Nicaragua y solo se encuentra en esta área.
Sistema Lacustre Playitas-Moyua-Tecomapa	1,980	1,161 ha	Es de importancia a nivel biológico pues sustenta una diversidad de especies de mamíferos, reptiles, peces y aves entre las que destacan especies migratorias como la cerceta azul (*Anas discors*) que utilizan el sitio como área de descanso, especies en peligro según la Lista Roja de la UICN.

y el río San Juan, un proyecto multilateral entre MINAE (Ministerio del Ambiente, Energía y Minas de Costa Rica) y el MARENA (Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales de Nicaragua) financiado por la Organización de los Estados Americanos, OEA; PIMCHAS (Proyecto Integral de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Agua y Saneamiento); Apanás, gestionado por HIDROGESA y financiado por el BID, con el objetivo de lograr un manejo sostenible de la cuenca que alimenta la presa. Además recientemente se ha agregado el Proyecto de Plan de Manejo del Río Coco, enfocado en la conservación de la cuenca alta con el objetivo de reforestar por medio de la regeneración natural. Este proyecto está financiado por la UNOP / PNUD en coordinación con la Secretaria del Medio Ambiente de Honduras.

Regiones prioritarias

El estado del conocimiento general no permite definir áreas prioritarias por riqueza de biodiversidad de macroinvertebrados acuáticos, ya que la mayor parte de los ríos y lagunas no están inventariados a nivel de este grupo. Lo que se puede inferir por los muestreos realizados sería de algunas áreas donde se encontró una diversidad elevada, como la cuenca del río San Juan.

Si consideramos áreas del país donde hay una biodiversidad elevada para algunos grupos de insectos, podríamos proponer como áreas prioritarias, en la vertiente atlántica a la Reserva de la Biosfera BOSAWAS y la Reserva de la Biosfera de Indio-Maíz. Para la parte central norte la cordillera de las Segovias y los remanentes de bosques de pino-encino. En la vertiente del pacífico, un poco mejor conocido, la cumbre de los volcanes y las áreas de humedales como: lago de Apanas, Estero real y llanos de Apacunca, y Sistema Lagunar de Tisma. Estas áreas, a pesar de ser protegidas, necesitan más fortaleza para la protección y más personal para la investigación.

El análisis de vacíos de conservación de los recursos naturales del MARENA (2011) contiene una priorización para la conservación de las aguas continentales en Nicaragua, construida mediante el programa MARXAN que, a partir de un sistema de información geográfica, corre simultáneamente el caudal ecológico de drenaje y las amenazas. Las áreas definidas son: bajo río San Juan, Costa Misquita, cabecera del Prinzapolka, en la vertiente atlántica; cordille-

ra de las Segovias (río Coco alto y medio), Oropoli-Ocotal en la zona norte; Estero Real, Las Canoas, lago de Nicaragua y Caño Negro, en la vertiente pacífica.

El análisis de vacíos de conservación de los recursos marino-costeros (Pérez *et al.* 2010), no analizó directamente los recursos acuáticos continentales. Entre los factores de presión sobre los ecosistemas marino-costeros, el mismo documento citó a la contaminación, vía los cursos de aguas continentales, por vertidos de minerales resultantes de la minería y los químicos usados en la agricultura. También consideró la contaminación por el desarrollo urbano y el turismo no sustentable.

Por otro lado es estratégico dar prioridad al estudio de las regiones que son o van a ser impactadas por las estrategias de desarrollo del gobierno. La estrategia nacional no plantea regiones prioritarias para agua de manera expresa, pero en las diferentes líneas de acción está contemplado de manera directa o indirecta: el agua potable, el cambio climático, la matriz energética, la navegación, el turismo, la producción agropecuaria, el manejo de las cuencas hidrográficas. Algunas de estas líneas de acciones resultan difusas en todo el país, otras marcan regiones claramente definidas. Ya mencionada, el área del gran lago, o lago de Nicaragua (Cocibolca), así como sus afluentes, deben ser estudiados y monitoreados si se considera su uso como fuente de agua de consumo humano.

El proyecto de uso para consumo humano del agua del lago Cocibolca entra en conflicto con otros proyectos planificados por el Gobierno. Éste presenta un conflicto potencial parcial con el proyecto Brito (planta hidroeléctrica sobre el río Brito), entre el gran lago y el océano Pacifico (alimentada por el lago). Además el proyecto entra en competencia con la posibilidad de construcción de un canal interoceánico vía el río San Juan, que pasaría por el gran lago, con una contaminación más que probable de dicho cuerpo de agua. La escogencia de uno u otro proyecto debe responder a los intereses del país, pero el estudio de impacto previo a la realización y el monitoreo continuo durante y después de la realización de estos proyecto es de extrema importancia. En el caso del proyecto de un canal interoceánico también debe ser sujeto a un estudio de impacto ambiental, que va más allá de las fronteras del país, ya que la conexión entre los océanos Pacifico y Atlántico puede ser de importancia para todos los países de la región.

El muestreo y el monitoreo de los macroinvertebrados acuáticos en las áreas sensibles al cambio climático debería de ser prioritario, tanto en las áreas secas con riesgo de desertificación como en las áreas sujetas a huracanes. Se puede aprovechar el paso de los huracanes para medir la regeneración natural del bosque tropical húmedo y sus sistemas acuáticos asociados. Algunas regiones de agricultura intensiva, de donde fluye aguas contaminadas hacia los ríos, humedales o lagunas, deben ser sujetos de monitoreo de la calidad del agua (química) y de los macroinvertebrados acuáticos.

Principales amenazas

Resulta difícil poner un orden de importancia a los efectos antropogénicos sobre los cuerpos de agua y su fauna. La amenaza indirecta más importante es el cambio del uso del suelo, incluido el cambio de bosque a agricultu-

ra de subsistencia, generalmente vía quemas, seguido de cambio a ganadería extensiva, con pastos quemados anualmente que impiden la regeneración de algún tipo de cobertura boscosa. Esto amenaza a la biodiversidad en general y particularmente a la fauna acuática (se secan o disminuyen los caudales de los ríos, algo que no parece tener freno).

La contaminación de las aguas superficiales prevalece a lo largo del país como consecuencia de las actividades agropecuarias. Hay descarga sin tratamiento previo de los desechos domésticos, industriales y agroindustriales, por lo que la mayor parte de estos vertidos llega a lagos y ríos. Además existen procesos de erosión que son el resultado del cambio de uso de suelo (Vammen *et al.* 2012). La pérdida de la cobertura boscosa está causando excesivas cargas de sedimento en los cuerpos de agua superficial, lo que implica un aumento en la eutrofización de los cuerpos de agua promovido por la entrada de la carga acompañante de nutrientes (Vammen *et al.* 2012).

La contaminación por agroquímicos, la industria incipiente y la minería, está sujeta a normativas estrictas pero raras veces aplicadas. La contaminación de las aguas subterráneas por agroquímicos es importante y de efecto a largo plazo. El cambio de los cursos de agua en los sistemas lóticos y los embalses como represas hidroeléctricas tienen efectos drásticos a nivel de las zonas rurales. El uso y la extracción de agua tienen poco control y puede ser una amenaza más importante en el futuro, más aun si el agua se vuelva un bien de exportación. La extracción de materiales es común en el lecho de los ríos, aunque generalmente a escala artesanal.

La introducción mediante el cultivo en jaulas flotantes de la especie invasora *Oreochromys* sp., en algunos ecosistemas acuáticos del país (embalse Las Canoas, laguna de Moyua y lago Cocibolca), ha ocasionado la perdida en la disponibilidad del alimento para las especies autóctonas así como la contaminación del agua de estos ecosistemas. La aparición reciente del pez diablo (*Hypostomus panamensis*) en el lago Cocibolca y en algunas subcuencas que drenan a este, podría tener efectos negativos directos sobre la fauna béntica. Lamentablemente en el país no se cuenta aún con estudios que demuestren los efectos directos e indirectos de estas dos especies no nativas sobre los macroinvertebrados acuáticos.

Actualmente la estrategia de desarrollo que impulsa el gobierno incluye la construcción de un canal interoceánico que será de gran magnitud para permitir el pase de embarcaciones más grandes que las que pasan por el Canal de Panamá. Este gran canal interoceánico sería el más ancho y profundo del mundo, destinado al segmento especializado del mercado marítimo de supertanqueros y barcos mercantes gigantescos, capaces de mover hasta 28 mil contenedores. Estos monstruosos leviatanes ostentan calados de 25 metros, no obstante son contradictoriamente frágiles y vulnerables, sumamente susceptibles a encallamientos en aguas someras como las del lago Cocibolca. El sacrificio del lago Cocibolca y del río San Juan resulta innecesario e injustificable, a la luz de otras opciones de desarrollo social, económico y ambiental sostenibles (Montenegro 2013).

9.4. Empleo de los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en Nicaragua

Se ha hecho uso de las especies indicadoras de la calidad del agua propuestas por diferentes autores quienes a la vez han hecho análisis comparativos con los resultados de los análisis físico-químicos llevados a efecto de forma paralela. En 1997 se comenzaron a usar índices para caracterizar la calidad del agua de algunos lagos y ríos de Nicaragua. Inicialmente se usó el Índice de Shannon para estimar la diversidad de las comunidades bentónicas así como Índice de Simpson (García y Talavera 1997). Posteriormente se han aplicado los Índices de Margalef, Biological Monitoring Working Party (BMWP), el Índice ETP (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera), así como también el Índice Biótico de familias (IBF) en diferentes ríos del país

En la subcuencas de los ríos Viejo y Gil González, con la caracterización de la calidad y disponibilidad de los recursos hídricos en las subcuencas, fue incluido un componente dedicado al estudio de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos. En este último río se utilizó el índice biótico de familias (IBF-SV-2010), donde se determinaron aguas de buena y regular calidad en los sitios analizados. Se debe notar que este índice no brinda una panorámica integral de la calidad del ecosistema acuático, solamente se relaciona con los aportes de materia orgánica y los cambios biológicos de los macroinvertebrados acuáticos en relación a la contaminación orgánica (Salvatierra y Varela 2012). En el río Viejo se utilizó el BMWP/CR (Springer *et al.* 2007, MINAE 2007) donde se determinaron categorías de calidad de agua de buena, regular y pobre (Salvatierra y Varela 2013).

En los sitios analizados en el río San Juan mediante el Índice Biótico de Familias (IBF-SV-2010), las aguas fueron caracterizadas como de regular a muy pobre. Eso significa aguas con contaminación orgánica bastante sustancial, debida probablemente a contaminación orgánica severa (Salvatierra *et al.* 2013).

En el período 2013-2015 los investigadores del CIRA/UNAN-Managua están trabajando en la adecuación de los valores de tolerancia para el índice biótico o biológico a nivel de familias de macroinvertebrados acuáticos para Nicaragua, el cual estaría basado en el índice IBF-SV-2010 (Sermeño *et al.* 2010). Para lograr este objetivo se está trabajando en la subcuenca del río Mayales de la cuenca de los grandes lagos (Xolotlan y Cocibolca) y en el río San Juan.

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

Las bases normativas legales del uso de los macro invertebrados como bioindicadores están enmarcadas en tres leyes de ámbito más amplio, ejecutadas por el MARENA (Ministerio de los Recursos Naturales y del Ambiente) y el ANA (Autoridad Nacional del Agua). Estas son

la Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales (Ley 217, Asamblea 1996), el Reglamento de Áreas Protegidas de Nicaragua (Decreto Ejecutivo 14-99 de 1999, Presidencia de la República de Nicaragua 1999) y la Ley de Aguas Nacionales (Ley 620, Asamblea 2007).

La Ley general del Medio Ambiente y los Recursos Naturales (Ley 217), en su artículo tres, párrafo cinco, manda a garantizar el uso y el manejo racional de las cuencas y de los sistemas hídricos para asegurar la sostenibilidad de los mismos. En su artículo 18, párrafo dos, manda a proteger las cuencas hidrográficas, los ciclos hidrológicos, los mantos acuíferos, muestras de comunidades bióticas, los recursos genéticos y la diversidad genética silvestre de la flora y la fauna. El artículo 78, párrafo dos, de la ley 217 se ordena promover el manejo integrado de las cuencas hidrográficas; en el párrafo tres manda a proteger las especies del "ecosistema del sistema acuático y costero terrestre", especialmente las endémicas, amenazadas o en peligro de extinción. En el párrafo cuatro manda a evitar el uso o gestión de cualquier elemento del sistema hídrico que pueda perjudicar las condiciones físicas, químicas o bacteriológicas del agua.

El Reglamento de Áreas Protegidas (Decreto 14-99) establece disposiciones legales para la protección y la conservación de áreas definidas, algunas de ellas humedales, ríos y lagunas. Ninguna disposición legal incluye el estudio de los macroinvertebrados.

La Ley de Aguas Nacionales (Ley 620), con reglamentos y políticas de recursos hídricos actualizados al 2010, refiere a la protección y conservación de los recursos hídricos. Ésta ley muestra una mayor tendencia hacia la reglamentación de la extracción del agua que de conservación de su calidad. La ley no contempla el estudio o uso de ningún tipo de bioindicador y mucho menos de los macroinvertebrados como indicadores biológicos de la calidad. Esta ley establece en sus considerandos generales que el agua pertenece a la Nación (Ley 620, artículo tres). Vinculado a la gestión los recursos hídricos, se cuenta con la Ley de los Comités de Agua Potable y Saneamiento (Ley 722, Asamblea 2010), que contempla aspectos relacionados a la calidad del agua para consumo humano.

La Dirección de Calidad Ambiental del MARENA establece las normativas para los estudios de impacto ambiental. En los casos que tengan que ver con recursos hídricos, como los embalses, el uso de los humedales, las construcciones de muelles y puertos, los canales, la minería y los puentes, se exige un estudio de línea de base que incluya la calidad físico-química del agua y variables biológicas (fito y zooplancton, macroinvertebrados e ictiofauna). Para cada caso particular la Dirección de Calidad Ambiental establece los términos de referencia del estudio que se debe hacer. En el caso de los macroinvertebrados generalmente se pide un estudio cualitativo y cuantitativo de éstos. El ente deja al grupo consultor la selección de la metodología que quiera seguir y no se exige el uso de índices.

9.6. Perspectivas futuras

En el caso de los estados larvales estudiados con fines de control de la calidad de las aguas naturales se necesita hacer un estudio intensivo en todos los ríos y arroyos del país con el propósito de conocer la distribución geográfica (ma-

pas de distribución de las especies) de los grupos taxonómicos importantes y hacer un mapa de la calidad de las aguas de los ríos de Nicaragua. Adicionalmente se debe establecer una colección de referencia completa con todas las especies documentadas para el país, tanto en estadios inmaduros como adultos. Se deben fortalecer las estructuras de conservación de las colecciones para asegurar su preservación y continuidad a largo plazo.

En el futuro también se espera contar con un índice para establecer la calidad de las aguas mediante los macroinvertebrados bentónicos. Este índice podría ser el índice consensuado y propuesto por la red de macroinvertebrados dulceacuícolas en Mesoamérica (MADMESO) sin perjuicio de formular un índice particular para Nicaragua. Un elemento importante es consensuar a nivel de país una normativa que obligue en los estudios de impacto ambiental el uso de los macroinvertebrados acuáticos y a la vez el depósito oficial de especímenes testigos, en recipientes de referencia de las especies encontradas, en las colecciones seleccionadas para este fin. Es importante la formación o capacitación del personal de los organismos que trabajan con agua, sensibilización al uso de los macroinvertebrados acuáticos, capacitación en el uso de los índices y la identificación taxonómica.

Aprovechar la red MADMESO para coordinar esfuerzos para el intercambio de expertos con la finalidad de fortalecer el conocimiento taxonómico de los grupos de interés en cada país, así como capacitación con técnicas diversas. También aprovechar la red para el intercambio de estudiantes y para pasantías en laboratorios de más experiencia o de experiencia distintas.

Se requiere la sistematización del conocimiento acumulado. Una propuesta es la elaboración de documentos físicos y digitales que divulguen las investigaciones realizadas en las diferentes cuencas hídricas del país. Éstas deben resaltar la importancia de los macroinvertebrados, primero a nivel general de órdenes y familias, luego a nivel de género y especies, incluidas claves y descripciones ecológicas de cada especie, mapas y fotos.

Se requiere incidir sobre los organizaciones que trabajan con los recursos acuáticos: MARENA (Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales), INAA (Instituto Nacional de Agua y Alcantarillados), ANA (Autoridad Nacional del Agua), CAPS (Comités del Agua Potable y Saneamiento) y ADPESCA (Administración de Pesca). Esto para que unifiquen los criterios del uso de los macroinvertebrados acuáticos en las disposiciones legales de los estudios de impacto ambiental, la factibilidad económica y el monitoreo de las cuencas, subcuencas y microcuencas del país.

9.7. Conclusiones

Nicaragua cuenta con amplia diversidad de macroinvertebrados acuáticos presentes en los diferentes sistemas hídricos. Sin embargo la información existente se encuentra dispersa y no sistematizada. Hace falta entonces integrar todas las investigaciones y elaborar catálogos de familias, géneros y especies (de ser posible), así como también elaborar claves taxonómicas adaptadas a la fauna de macroinvertebrados acuáticos del país. Además, se usan diferentes protocolos de muestreo y análisis para el estudio de la calidad del agua mediante macroinvertebrados acuáticos. Sin embargo, no

se cuenta con una normativa consensuada de los procedimientos.

Las disposiciones legales existentes en Nicaragua relacionadas con la temática ambiental tienen elementos jurídicos para la protección de los recursos hídricos. Sin embargo, éstos no contemplan el estudio y el uso de los macroinvertebrados acuáticos para la toma de decisiones o la gestión de los mismos.

Finalmente se debe mencionar que Nicaragua cuenta con algunos profesionales dedicados a la temática de los macroinvertebrados acuáticos. Sin embargo, la especialización por diferentes grupos taxonómicos es limitada. Relacionado a esto está el hecho que a pesar de que en el país existen diferentes colecciones biológicas, no se encuentra una colección de referencia específicamente enfocada a los organismos acuáticos.

9.8. Agradecimientos

Por las contribuciones taxonómicas en la primera revisión de este capítulo y la dedicación integral en la identificación y utilización de los macroinvertebrados acuáticos al Licenciado Rafael Varela Urbina especialista en análisis del Laboratorio de Hidrobiología del CIRA/UNAN-Managua. A la Licenciada Yaritza Sandoval Tijerino del grupo de trabajo del Área de Investigación y Desarrollo del CIRA/UNAN-Managua por el aporte realizado en las modificaciones de la segunda revisión de este capítulo y el entusiasmo en el trabajo investigativo con la fauna de macroinvertebrados acuáticos.

9.9. Literatura citada

Alexander, M.S., Cisneros, R., Sobalvarro, I., Briceño, C. y Bijlmakers, L. 1987. Zoobenthos Taxonomy in Lake Managua. CIRA/UNAN-Managua, Nicaragua.

Asamblea Nacional. 1996. Normas Jurídicas de Nicaragua. Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales. Ley No. 217, Aprobada el 27 de marzo del 1996. *Gaceta Diario Oficial* 105 (6 de junio 1996).

Asamblea Nacional. 2007. Normas Jurídicas de Nicaragua. Ley General de Aguas Nacionales. Ley No. 620, Aprobada el 15 de mayo del 2007. *Gaceta Diario Oficial* 169: 1-36.

Asamblea Nacional. 2010. Ley Especial de Comités de Agua potable y saneamiento. Ley No. 722, Aprobada el 28 de mayo del 2010. *Gaceta Diario Oficial* 111: 3197-3201.

Belt, T. 1874. The naturalist in Nicaragua: A narrative of a residence at the gold mines of Chontales; journeys in the savannahs and forests. With observations on animals and plants in reference to the theory of evolution of living forms. John Murray, London.

Byjlmakers, L., Sobalvarro, A.I. y Alexander, M.S. 1987. Cambios temporales y espaciales en la fauna bentónica del profundal del Lago de Managua, Nicaragua. CIRA/UNAN-Managua, Nicaragua.

Byjlmakers, L. y Sobalvarro, A.I. 1988. Ecological studies on the profundal benthic invertebrate fauna of Lake Managua, Nicaragua. *Tropical Freshwater Biology* 1: 30-41.

Chamorro-Lacayo, M.L., Maes, J.M., Blahnik, R.J. y Holzenthal, R.W. 2009. *Checklist of the Trichoptera of Nicaragua*. Universidad de Minnesota, USA.

CIRA/UNAN-Managua, 1997. Reporte de resultados del CIRA/UNAN de la primer campaña del estudio binacional de contaminación por plaguicidas en el río San Juan. Informe sometido al Programa de Medio Ambiente y Salud en el Istmo Centroamericano de la Organización Panamericana de la Salud (MASICA-OPS). Managua, Nicaragua.

CIRA/UNAN-Managua, 2002. Diagnóstico preliminar y del estado actual de la subcuenca del Lago Cocibolca: río Tepenaguasapa. CDOC-Digital, CIRA/UNAN-Managua, Nicaragua.

CIRA/UNAN-Managua e INETER 2004. Formulación de un programa de acciones estratégicas para la gestión integrada de los recursos hídricos y el desarrollo sostenible de la cuenca del río San Juan y su zona costera. Estudio Básico Monitoreo hidrometeorológico y de la calidad del agua en la cuenca del río San Juan. Integración de los estudios básicos. Organizaciones contribuyentes Ministerio del Ambiente y Energía, Costa Rica; Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, Nicaragua; Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM); Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y Unidad de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente (UDSMA/OEA).

CIRA/UNAN-Managua, 2010. Comunidad bentónica del río San Juan y los tributarios Infiernito, Caño Crucitas y Caño Venado. Informe del primer reconocimiento en el proceso de construcción de la línea de base del río San Juan en el área de posible impacto de la minería Las Crucitas. Informe entregado al Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA), Managua, Nicaragua.

CIRA/UNAN-Managua, 2011. Comunidad de macroinvertebrados acuáticos en el río San Juan de Nicaragua y de los afluentes río Infiernito, Caño Crucitas y Caño Venado. Informe del estudio de la línea de base del río San Juan de Nicaragua en el área de posible impacto de la minería Las Crucitas. Informe entregado al Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA), Managua, Nicaragua.

CIRA/UNAN-Managua, 2013. Características Físicas del Lago Cocibolca. Disponible en: http.//www.cira-unan.edu.ni/indexphp?s=62. (Obtenido el 8 agosto 2013)

Drury, D, 1782. Illustrations of natural history. White, London. Vol. III: 1-76.

ENACAL 2013. Área de proyectos de la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados. Disponible en: http:// www.enacal.com.ni. (Obtenido el 8 de agosto 2013)

Fenoglio, S. 1999. Entomofauna acuática de ambientes lóticos: observaciones ecológicas en el Refugio Bartola y nuevos taxa para el Nicaragua. *Revista Nicaragüense de Entomología* 4: 29-43.

Fenoglio, S. 2007. Stoneflies (Plecoptera: Perlidae) of Nicaragua. *Carribean Journal of Sciences* 43(2): 220-225.

Fenoglio, S., Badino, G. y Bona, F. 2002. Benthic macroinvertebrate communities as indicators of river environment quality: an experience in Nicaragua. *Revista de Biología Tropical* 50: 1125-1131.

Fenoglio, S., Bo, T. y Cucco, M. 2004. Small-scale macroinvertebrate distribution in a riffle of a Neotropical rainforest stream (Río Bartola, Nicaragua). *Caribbean Journal of Sciences* 40(2): 253-257.

Fuentes, S. 2005. Diagnóstico físico-químico y biológico de la calidad del agua del río San Juan y cuatro de sus principales tributarios desde noviembre 2002 hasta Julio 2003. CIRA/UNAN-Managua, Nicaragua.

Flores, S. y Mendoza, F. 2012. Contribución al establecimiento de la línea de base ambiental del rio San Juan de Nicaragua. Calidad física y química. Informe final. CIRA/UNAN-Managua, Nicaragua.

García, R. y Talavera, M.L. 1992. Estudio de la biomasa de zoobentos del Lago de Masaya. CIRA/UNAN-Managua, Nicaragua.

García, R. y Talavera, M. L. 1997. Una valoración de las condiciones ambientales del río San Juan utilizando algunos índices biológicos. Memorias del VII Congreso Científico CIRA-UNAN Managua. Nicaragua.

Gutiérrez, T. y Rueda, M. 2002. Composición y abundancia del macrozoobentos de la Laguna de Tisma, Masaya, Nicaragua. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Departamento de Biología.

Harman, W.J. 1982a. The aquatic Oligochaeta (Aeolosomatidae, Opistocystidae, Naididae) of Central America. *Southwestern Naturalist* 27(3): 287-298.

Harman, W.J. 1982b. Oligochaeta. Pp.162-165. En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.), Aquatic biota of Mexico, Central America and the West Indies. San Diego State University, San Diego, California, USA.

Hartmann, G. 1959. Beitrag zur Kenntnis des Nicaragua-Sees unter besonderer Berücksichtigung seiner Ostracoden. *Zoologische Anzeiger* 162: 270-294.

Hernández, S.E. 2008. Diagnóstico de la calidad de agua en los tributarios que drenan al Lago Cocibolca. CIRA/UNAN-Managua, Nicaragua.

Herrera, F. 2014. Estado del conocimiento y catálogo de la familia Naucoridae (Insecta: Heteroptera) en Centroamérica. *Dugesiana* 20(2): 221-232.

Lemos de Castro, A. 1982. Isopoda. Pp. 206-208. En: Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.), Aquatic biota of Mexico, Central America and the West Indies. San Diego State University, San Diego, California, USA.

López de la Fuente, A. y Urcuyo, J. 2008. Moluscos de Nicaragua. I - Bivalvos. Proyecto Araucaria, Ministerio de los Recursos Naturales y del Ambiente MARENA, Managua, Nicaragua.

López de la Fuente, A. y Urcuyo, J. 2009. Moluscos de Nicaragua. II - Gastropodos. Proyecto Araucaria, Ministerio de los Recursos Naturales y del Ambiente MARENA, Managua, Nicaragua.

Maes, J.M. 1988. Catálogo de los Ephemeroptera y Plecoptera de Nicaragua. *Revista Nicaragüense de Entomología* 2: 49-50.

Maes, J.M. 1998. Insectos de Nicaragua. Volumen I. Setab BOSAWAS, Ministerio de los Recursos Naturales y del Ambiente MARENA, Managua, Nicaragua.

Maes, J.M. 1999a. Insectos de Nicaragua. Volumen II. Setab BOSAWAS, Ministerio de los Recursos Naturales y del Ambiente MARENA, Managua, Nicaragua.

Maes, J.M. 1999b. Insectos de Nicaragua. Volumen III. Setab BOSAWAS, Ministerio de los Recursos Naturales y del Ambiente MARENA, Managua, Nicaragua.

Maes, J.M. y Palacios-Vargas, J.G. 1988 Catálogo de los insectos Apterygota de Nicaragua. *Revista Nicaragüense de Entomología* 4: 1-9.

Maes, J.M., Desmedt, J.P. y Hellebuyck, V. 1988 Catálogo de los Odonata de Nicaragua. *Revista Nicaragüense de Entomología* 4: 29-43.

Maes, J.M., Palacios-Vargas, J.G. y Jiménez, M.L. 1989. Catálogo de los artrópodos terrestres no insectos. *Revista Nicaragüense de Entomología* 7: 1-55.

Maes, J.M. y Flint, O.S. 1994. Dilaridae, Berothidae y Sisyridae (Planipennia): tres familias nuevas para la fauna de Nicaragua. *Revista Nicaragüense de Entomología* 29: 3-5.

MARENA, 2011. Estudio de ecosistema y biodiversidad de Nicaragua y su representatividad en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas. Ministerio de los Recursos Naturales y del Ambiente MARENA, Nicaragua.

MARENA, 2013. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Áreas_protegidas_de_Nicaragua (Obtenido el 12 de enero 2015).

Montenegro, S. 2013. El sacrificio innecesario del Gran Lago Cocibolca. Periódico Digital. Disponible en: http://www.confidencial.com.ni/articulo/12462/. (Obtenido el 12 septiembre 2014).

MINAE, 2007. Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales. Decretos N° 33903-MINAE-S. Aprobada el 17 de septiembre 2007. La Gaceta Digital Diario Oficial, La Uruca, San Jose, Costa Rica, N° 178.

Montoya, I. 2013. Instituto Nicaragüenses de Estudios Territoriales INETER En: Recursos hídricos-Datos hidrológicos. Disponible en:,http.//: www.ineter.gob.ni. (Obtenido el 8 de agosto 2013).

Palomaki, R. 1987. The Chironomidae of some lakes and rivers in Nicaragua. *Entomologica Scandinavica* Suppl. 29: 45-49.

Purdue University. 2012. Mayfly Central: Species List - Central America. Disponible en: http://www.entm.purdue.edu/mayfly/ca-species-list.php. (Obtenido el 22 de agosto 2012)

Pascual, J. 2005. Estudio de la biología y ecología del camarón de río en río San Juan (*Macrobrachium carcinus*). Proyecto ARAUCARIA río San Juan, MARENA, Managua, Nicaragua.

Paulson, D.R. 1982. Odonata. Pp. 249-277. En Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.) Aquatic Biota of Mexico, Central America and the West Indies. San Diego, California, USA.

Paulson, D.R. 2013. Middle American Odonata. Disponible en: http://www.pugetsound.edu/academics/academic-resources/slater-museum/biodiversity-resources/dragonflies/middle-american-odonata/. (Obtenido el 7 de febrero 2013).

Perez-Moreno, M, Cotto Sánchez, A, Sepulveda Ruiz, N, Poveda Saborio, C y Reyes Buitrago, S. 2010. Análisis de vacíos de conservación de los ecosistemas marino-costeros de Nicaragua. The Nature Conservancy, Managua, Editarte.

Presidencia de la República de Nicaragua. 1999. Reglamento de Áreas Protegidas de Nicaragua. Decretos Ejecutivos No. 14-99, Aprobado el 15 de Febrero del 1999. Gaceta Diario Oficial, 42-43 (2y3 de marzo 1999).

Ruiz, A., Mariscal, T., Lezama, M., Sepúlveda, N., Paniagua, J. y Coria, S. 2005. Sitios Ramsar de importancia internacional. Humedales de Nicaragua. Ramsar, MARENA, GTZ, CBM, FUNDAR, Geodigital, UCA, Managua, Nicaragua.

Salvatierra, T. 2009. Macroinvertebrados acuáticos bénticos (MIAB) en rizomas de Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en la Laguna de Acahualinca. Informe final de la primera campaña de muestreo del proyecto "Evaluación del impacto de los lixiviados del basurero de la ciudad de Managua "La Chureca", a las aguas del Lago Xolotlán, al acuífero afectado y a la Laguna de Acahualinca. CIRA/UNAN-Managua, Nicaragua.

Salvatierra, T. y Varela, R. 2012. Calidad del agua superficial a través del uso de macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos. Informe final de la Evaluación sistemática de la calidad y disponibilidad de las aguas del río Gil González y sus tributarios más importantes. CIRA/UNAN y Fundación para el Desarrollo Sostenible en Nicaragua (FUNDENIC SOS).

Salvatierra, T. y Varela, R. 2013. Indicadores biológicos de calidad de las aguas superficiales de la subcuenca del río Viejo, utilizando macroinvertebrados acuáticos. Informe final del Estudio de calidad y disponibilidad de los recursos hídricos en la subcuenca del río Viejo. CIRA/UNAN y Programa Integrado de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Agua y Saneamiento (PIMCHAS), coordinado por el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA).

Salvatierra, T., Varela, R. y Moreno, L. 2013. Macroinvertebrados Acuáticos como Indicadores biológicos de Calidad. En: Informe final: Contribución al establecimiento de la línea de base ambiental del río San Juan de Nicaragua CIRA/UNAN-Managua, Nicaragua.

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.

Sermeño, J.M., Serrano, L., Springer, M., Paniagua, M.R., Pérez, D., Rivas, A.W., Menjivar, R.A., Bonilla, B.L., Carranza, F.A., Flores, J.M., Gonzáles, C., Gutiérrez, P.E., Monterrosa, A.J y Arias, A.Y. 2010. Determinación de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando invertebrados acuáticos: índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010). Editorial Universitaria (UES). San Salvador, El Salvador.

Springer, M., Vásquez, D., Castro A. y Kohlmann, B. 2007. Guía ilustrada sobre bioindicadores de la calidad del agua utilizando macroinvertebrados acuáticos a través de la aplicación del Índice BMWP-CR. Universidad de Costa Rica.

Stark. B.P. 2014. Records of Mesoamerican *Anacroneuria* (Plecoptera: Perlidae), with Descriptions of Four New Species. *Illiesia* 10(02) :6-16.

Swain, F.M. y Gilby, J.M. 1964. Ecology and taxonomy of Ostracoda and an alga from Lake Nicaragua. *Pubblicazioni Della Stazione Zoologica di Napoli* 33: 361-386.

Swain, F.M. 1966. Bottom sediments of Lake Nicaragua and Lake Managua, Western Nicaragua. *Journal of Sedimentary Petrology* 36(2): 522-540.

Talavera, M.L. 1994. Informe del estudio del zoobentos en el Lago Cocibolca a raíz de la muerte masiva de peces aparecidos en las playas de San Jorge y otros lugares. CEDOC, CIRA/UNAN-Managua, Nicaragua.

Villalobos, F.A. 1982. Decapoda. Pp. 215-223. En Hurlbert, S.H. y Villalobos-Figueroa, A. (Eds.) Aquatic Biota of Mexico, Central America and the West Indies. San Diego, California, USA.

Vammen, K., Hurtado, I., Picado, F., Flores, Y., Calderón, H., Delgado, V., Flores, S., Caballero, Y., Jiménez, M. y Sáenz, R. 2012. Recursos hídricos en Nicaragua una visión estratégica. En: Diagnóstico del agua en las Américas. Red Interamericana de Academias de Ciencias Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC.

Manantial Cueva de las Sardinas - México

Autor de fotografía: Perla Alonso

Larva de Blephariceridae, Diptera

Autor de fotografía: Aydeé Cornejo

Panamá

Aydeé Cornejo[1] y Juan Bernal[2]

[1]Colección Zoológica Dr. Eustorgio Méndez (CoZEM), Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudio de la Salud (ICGES), Apartado Postal No. 0816-02593, Panamá, República de Panamá. acornejo@gorgas.gob.pa. [2]Museo de Peces de Agua Dulce e Invertebrados (MUPADI), Universidad Autónoma de Chiriquí. juanbern@gmail.com

10.1. Resumen

Se presenta información sobre el estado del conocimiento de la fauna de macroinvertebrados dulceauícolas en Panamá, desde el punto de vista taxonómico y ecológico. En base a esta recopilación, podemos decir que en Panamá el conocimiento sobre estas comunidades aun es escaso. Gran parte de las investigaciones han sido realizadas por investigadores foráneos, que han publicado en revistas muy especializadas, de distribución o acceso restringido y que, en la mayoría de los casos, no han cumplido con depositar especímenes de referencia en las colecciones nacionales. Por tal razón, la información se encuentra dispersa y es de dificil acceso. Sin embargo, y de acuerdo a la recopilación de la información hecha para este trabajo, en Panamá se han reportado alrededor de 1,250 especies de macroinvertebrados y el mayor número de especies reportadas pertenecen a Diptera, Odonata, Trichoptera, Hemiptera y Crustacea. A un siglo de la apertura del Canal de Panamá, es en ésta área en donde se ha concentrado la mayor cantidad de información sobre los macroinvertebrados dulceacuícolas y estos estudios han sido generalmente de tipo taxonómico con aportes al conocimiento en los grupos Desmospongiae, Hydrozoa, Turbellaria, Insecta, Crustacea y Mollusca. No obstante, el conocimiento de la ecología de los macroinvertebrados aún es muy básico, ya que usualmente se han realizado inventarios como temas de tesis de licenciatura o informes ambientales impulsados por proyectos de infraestructura (hidroeléctricas, carreteras, minería, entre otros), sin profundizar en aspectos ecológicos de estas comunidades. Sólo hemos registrado unas cuantas publicaciones que abordan aspectos de la ecología de estas comunida-

des, que han sido desarrolladas en los parques Isla de Coiba, Soberanía y Altos de Campana. Por otro lado, el empleo de los macroinvertebrados como bioindicadores en Panamá inició en la década de 2000 y algunos trabajos han evaluado cambios estructurales de estas comunidades ante algún uso de suelo particular o su relación con parámetros fisicoquímicos; otros han propuesto asociaciones de macroinvertebrados potencialmente indicadoras y otros han implementado índices bióticos; el Biological Monitoring Working Party (BMWP) es el más utilizado.

10.1. Abstract

Information is presented about the state of knowledge of freshwater macroinvertebrate fauna in Panama from taxonomic and ecological perspectives. Based on this compilation, we can say that knowledge about these communities in Panama is still scarce. Most of the investigations have been performed by foreign researchers who have published in very specialized journals with restricted distribution or access. In most cases they have not deposited reference specimens in the national collections. Therefore, the information is disperse and difficult to access. Nonetheless, and according to the compilation of information conducted for this work, roughly 1,250 macroinvertebrate species have been reported in Panama. The largest numbers of species reported pertain to Diptera, Odonata, Trichoptera, Hemiptera and Crustacea. One hundred years after the opening of the Panama Canal, this area has been the focus for the majority of the information about freshwater macroinvertebrates. These studies have generally been taxonomic and have contributed to knowledge about Desmospongiae, Hydrozoa, Turbellaria, Insecta, Crustacea and Mollusca. Nevertheless, knowledge about the ecology of macroinvertebrates continues to be very basic, with inventories usually performed for the purpose of bachelors theses or for environmental reports related to infrastructure projects (hydroelectric, roads, mining, among others). These sources do not provide in-depth information about ecological aspects of these communities. We have discovered only a few publications that have addressed the ecology of these communities, developed for parks in Coiba Island, Soberanía and Altos de Campana. On the other hand, the use of macroinver-

tebrates as bioindicators in Panama began in the decade 2000-2010 and some works have evaluated structural changes in these communities resulting from a particular land use or relationships with physiochemical parameters. Other studies have suggested associations related to macroinvertebrates that are potential indicators and some have implemented biotic indices, the most common being the Biological Monitoring Working Party (BMWP).

10.2. Introducción

La República de Panamá, con un área de 75,524 km^2, es el país más estrecho de la región centroamericana y está ubicada en la zona intertropical próxima al Ecuador terrestre, entre la latitud de 7°11' N a 9°39' N y longitud de 77°10' O a 83°3' O. Limita al norte con el mar Caribe, al sur con el océano Pacífico, al este con la República de Colombia y al oeste con la República de Costa Rica. Al oeste de Panamá se encuentran las mayores altitudes del país, con el Volcán Barú, en la provincia de Chiriquí, el punto más elevado con 3,478 msnm en la frontera con Costa Rica. Al este del país se encuentran dos formaciones paralelas, la serranía del Sapo al sudeste en la costa del Pacífico y la serranía de Darién al nordeste, con su prolongación en la serranía de San Blas, hacia la costa del Caribe (ANAM 2011).

El volumen promedio de la precipitación anual sobre el Istmo de Panamá, se ha estimado en 233.8 mil Mm^3, equivalentes a 2,924 mm de precipitación promedio anual. La vertiente caribeña del Istmo, recibe 36% de dicha precipitación, que corresponde a 84.2 mil de Mm^3. La vertiente del Pacífico, de mayor amplitud espacial y menor precipitación, recibe 64% de la precipitación, lo que equivale a unos 149.6 mil de Mm^3 (ANAM 2011).

La orografía y el régimen de lluvias fueron determinantes para la abundante y compleja red hídrica del Istmo de Panamá, con 500 ríos y 52 cuencas hidrográficas bien definidas. La vertiente del Pacífico cuenta con 34 cuencas, con alrededor de 350 ríos, cuya longitud media es de 106 km. Los ríos de la vertiente Pacífica son ligeramente más largos, muchos de ellos navegables y son ríos intensamente utilizados para la producción de energía eléctrica (ANAM 2011). Las cuencas más importantes son las de los ríos Tuira (cuenca 156), Chucunaque (cuenca 154), Bayano (cuenca 148), Santa María (cuenca 132), San Pablo (cuenca 118), Tabasará (cuenca 114), Chiriquí (cuenca 108) y Chiriquí Viejo (cuenca 102). La cuenca del río Tuira (10,644 km2) es la más extensa.

En la vertiente del Caribe existen 18 cuencas hidrográficas con unos 150 ríos, cuya longitud media es de 56 km. Las características comunes de los cauces de esta vertiente es que son cortos y caudalosos, ya que nacen en las montañas próximas al mar (ANAM 2011). Las cuencas más importantes en la vertiente Caribe son las de los ríos Changuinola (cuenca 091) con 3,202 km^2 y Chagres (cuenca 115), con un área de 3,338 km^2 que corresponde a la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (figura 1).

La Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá representa la zona geográfica de mayor

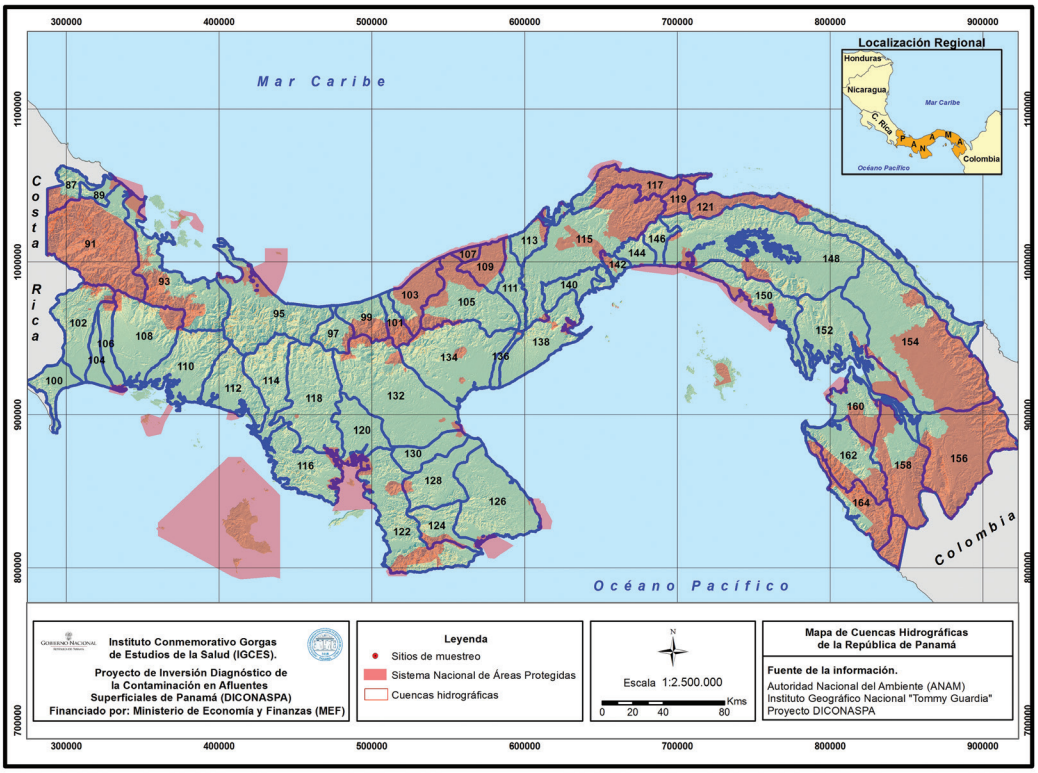


Figura 1. Red hidrográfica y áreas protegidas de la República de Panamá.

importancia para el país. Está conformado por una red de subcuencas que drenan hacia los lagos Gatún, Alajuela y Miraflores, creados artificialmente con una finalidad operativa para el funcionamiento del Canal de Panamá, durante los años de 1912 a 1935. Actualmente funcionan también para producción de energía eléctrica, así como fuente de agua potable para las ciudades de Colón, Panamá y San Miguelito, donde se concentra aproximadamente 50% de la población del país.

En Panamá existen unos 67 sistemas lacustres ubicados en 39 sitios distintos, con una superficie entre 963.15 y 976.99 km^2. De ellos, 25 corresponden a sistemas lénticos (11 embalses y 14 lagunas) y 42 son humedales de agua dulce (pantanos, ciénagas o madreviejas). Los embalses, llamados comúnmente lagos, cons-

tituyen la mayor superficie de los sistemas lacustres, con aproximadamente 858,863 km^2 (Garcés 2005). Otros lagos importantes por su potencial de generación hidroeléctrica son: Bayano (353 km^2/ 4,787Mm^3); Fortuna (10.9 km^2/ 221.7Mm^3) (ANAM 2011) y Changuinola I (9.55 km^2/ 350 Mm^3) (Ramos 2011).

Según el estado del conocimiento y la conservación de la biodiversidad en Centroamérica (Obando y Herrera 2010), Panamá es el país de la región que tiene el mayor número de especies conocidas de vertebrados y plantas. Actualmente se conocen 259 especies de mamíferos, 957 de aves, 229 de reptiles, 179 de anfibios, 206 especies de peces de agua dulce y 1,157 especies de peces marinos (ANAM 2009a). Esta riqueza biológica se complementa con trece zonas de vida y una multiplicidad de ecosistemas. Sin embargo, a pesar de que existe una gran variedad de ecosistemas de aguas continentales, la información concerniente a la riqueza de las especies de agua dulce en Panamá aún es escasa (ANAM 2011).

Para la elaboración del presente capítulo, se realizó una búsqueda de la información bibliográfica en diversas fuentes de documentación públicas y privadas del país, como la Asociación Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ANCON), la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM), el Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de la Salud (ICGES), el Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI), el Ministerio de Comercio e Industrias (MICI), la Universidad Autónoma de Chiriquí (UNACHI), la Universidad de Panamá (UP), la Universidad Marítima Internacional de Panamá (UMIP) y la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), entre otras.

La búsqueda y la revisión de la documentación no fue una tarea fácil, ya que la literatura se encuentra dispersa, es muy antigua o se ha extraviado, pero se conoce de su existencia por citas en trabajos posteriores. Algunos estudios son parte de informes, evaluaciones ecológicas rápidas o resultados de estudios de impacto ambiental, que son de difícil acceso y que no han sido publicados, por lo que no fue posible considerarlos en este trabajo.

Situación de la calidad del agua en Panamá

La Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM), a través del Laboratorio de Calidad Ambiental, ha establecido una Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua a partir del año 2002 a la fecha. Esta red está integrada por 519 puntos de monitoreo, en 95 ríos a nivel nacional ubicados en 35 cuencas hidrográficas priorizadas, que son monitoreadas tanto en la temporada seca como en la lluviosa. Estos ríos fueron seleccionados por su importancia en el desarrollo socioeconómico de cada región (abastecimiento de agua potable, uso recreativo, uso para descargar aguas residuales, etc.). El grado de contaminación se evalúa a partir de nueve parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el cálculo del ICA (Índice de Calidad de Agua), el cual emplea cinco categorías para clasificar la calidad del agua con valores que van de 0 a 25 para "altamente contaminado"; de 26 a 50, "contaminado"; de 51 a 70, "poco contaminado"; de 71 a 90 "aceptable" y de 91 a 100 "no contaminado" (ANAM 2010).

De acuerdo a los criterios del ICA en el 2010 se determinó que 0.2% de los puntos monitoreados está "altamente contaminado"; 8.48% "contaminado"; 25.43% "poco contaminado"; 64.16% "aceptable" y 1.73% "no contaminado".

De un total de 17 ríos monitoreados en la provincia de Panamá, diez clasificaron entre "contaminado" y "altamente contaminado"; entre estos están el Mataznillo, el Curundú y el Río Abajo (ANAM 2011).

Los ríos que atraviesan la urbe capitalina y los que se encuentran en sus alrededores (Curundú, Mataznillo, Río Abajo, Matías Hernández, Juan Díaz, Tapia, Tocumen y Cabra), además de recibir las aguas residuales domésticas, reciben vertidos líquidos directamente de 674 industrias dedicadas a diversas actividades del sector alimenticio (mataderos, avícolas, lácteos, procesadoras de embutido), el sector industrial (metalúrgicas, fábricas de pinturas, fábricas de baterías para autos, fábricas de materiales de construcción, extracción de minerales no metálicos, empresas de procesamiento de derivados del petróleo, aserraderos, tenerías) y del sector de servicios (talleres de mecánica y chapistería). Las aguas servidas provenientes del sistema de alcantarillado en la Ciudad de Panamá van directamente a la Bahía de Panamá (ANAM 2011).

No obstante, desde el 2005 se desarrolla el Proyecto de Saneamiento de la Ciudad y la Bahía de Panamá (PSCBP) a través del Ministerio de Salud (MINSA). El proyecto se encuentra en su fase final y consta de cuatro componentes principales: construcción de redes sanitarias, líneas colectoras, un sistema interceptor y una planta de tratamiento de aguas residuales. Estos componentes trabajarán en conjunto a fin de recolectar, transportar y tratar las aguas residuales de la ciudad, mediante la ampliación del sistema de alcantarillado. Se espera que el PSCBP contribuya en la recuperación de las condiciones sanitarias y ambientales del área metropolitana y la eliminación de la contaminación por las aguas residuales no tratadas en los ríos urbanos y en las zonas costeras de la Bahía de Panamá (PSCBP 2012).

Por otro lado, desde el 2003 la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), a través de la Unidad de Calidad de Agua de la División de Aguas, lleva a cabo el Programa de Vigilancia y Seguimiento de la Calidad del Agua Superficial en la Cuenca Hidrográfica. La información que han recopilado durante estos años, les ha permitido conocer el comportamiento de la calidad de agua a través del tiempo (mensual y anualmente; temporadas seca y lluviosa) y el espacio (37 estaciones distribuidas en los tres embalses, ríos principales y subcuencas prioritarias); relacionar las variaciones a diferentes condiciones y usos del agua; además de estimar los índices de Calidad del Agua (ICA) y de Estado Trófico, cuyos resultados se publican con regularidad (ACP 2003-2005 Volumen I; ACP 2003-2005 Volumen II; ACP 2007; ACP 2008-2009; ACP 2010 y ACP 2011).

10.3. Estado del conocimiento sobre macroinvertebrados dulceacuícolas en Panamá

Para abordar el tema del estado del conocimiento sobre la fauna de macroinvertebrados dulceacuícolas en Panamá, es necesario hacer referencia a su historia. Encontramos artículos científicos que se remontan a mediados del siglo XIX, producto de las campañas de recolectas organizadas por investigadores foráneos. En esta época, Panamá era el departamento

del Istmo, unidos a la República de Colombia, y algunos investigadores publicaron descripciones de nuevas especies o hicieron nuevos registros refiriéndose al Istmo, al departamento del Darién o a Colombia, sin hacer mención de Panamá. Por ejemplo, encontramos una publicación de Rathbun de 1893 en la que describió una nueva especie de crustáceo, a partir de los especímenes recolectados en el río David, provincia de Chiriquí. El nombre que asignó ésta autora a la especie fue *Pseudothelphusa colombianus* (ahora *Ptychophallus colombianus*, Pseudothelphusidae) y cuya localidad fue descrita como: río David, Chiriquí, Estados Unidos de Colombia.

A principios del siglo XX, Panamá declaró su independencia de Colombia (el 3 de noviembre de 1903) y un nuevo tratado otorgó a los Estados Unidos la concesión de la construcción del Canal de Panamá, con la cesión de una zona de diez millas de ancho (cinco millas a cada extremo de la línea del Canal) para su desarrollo y sobre la cual ejercería su soberanía; la llamada ¨Zona del Canal¨. Durante los trabajos de construcción del Canal, bajo la administración Norteaméricana, a través de la Panama Canal Company, se incrementó el interés por el estudio de los insectos trasmisores de enfermedades como la malaria, el dengue y la fiebre amarilla, ya que dichas enfermedades impedían el avance de la obra. Se implementaron medidas sanitarias que incluyeron el drenaje de los pantanos, cunetas rellenas de rocas, vertimiento de aceites en las aguas estancadas, el control biológico, así como el cultivo de plantas acuáticas para evitar la penetración de la luz solar en los cuerpos de agua estancados (Gorgas 1918). Esto permitió la erradicación de la malaria y la fiebre amarilla en las ciudades de Panamá y Colón y por ende, el éxito de la construcción del Canal de Panamá (Adames 2003).

Con la apertura del Canal, el 15 de agosto de 1914, se realizaron estudios de las especies de macroinvertebrados dulceacuícolas en islas, lagos y en los juegos de exclusas, principalmente durante los trabajos de mantenimiento del Canal. Gran parte de estos estudios fueron realizados por investigadores del Instituto Smithsonian, debido a que a partir de 1923, la isla de Barro Colorado fue concedida a ésta institución por el gobernador de la Zona del Canal y administrador de Panamá Canal Company, para convertirla en un centro de investigación para el inventario biológico de la Zona del Canal. Algunos autores en sus publicaciones se refirieron sólo a la Zona del Canal y las bases militares norteamericanas para indicar el lugar exacto de las recolectas (Fuerte Kobbe, Fuerte Clayton o Fuerte Sherman) sin mencionar a Panamá.

Bajo la administración de la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), a partir del 31 de diciembre de 1999, se han reportado estudios de las comunidades de macroinvertebrados en la Cuenca del Canal, ya sea como parte del Programa de Vigilancia y Seguimiento de la Calidad del Agua Superficial (ACP 2004, ANAM-ACP 2006) o bien, como parte de los estudios preliminares para la ampliación del Canal (TLBG/UP/STRI 2003, Garcés y García 2003, Garcés y García 2004, García *et al.* 2004, CEREB-UP 2005). A un siglo de la apertura del Canal de Panamá, es en esta área en donde se ha concentrado la mayor cantidad de información sobre los macroinvertebrados dulceacuícolas y estos estudios han sido generalmente de tipo taxonómico con aportes al conocimiento en los grupos Desmospongiae, Hydrozoa, Turbellaria, Insecta, Crustacea y Mollusca.

10.3.1. Estudios taxonómicos

Esta sección presenta una aproximación básica del conocimiento taxonómico de los macroinvertebrados dulceacuícolas en Panamá, ya que sabemos que existe más documentación por ubicar y revisar, que no fue posible incorporar en este capítulo por ser de difícil acceso. Algunos estudios, específicamente los de la clase Insecta, han sido citados por Aiello y Quintero (1992) en el libro "Insectos de Panamá y Mesoamérica", por lo que la búsqueda de información para este grupo, se enfocó en publicaciones posteriores a 1992. En el caso de los grupos de macroinvertebrados en los que no contamos con catálogos a la fecha, se realizó la búsqueda de los artículos científicos y de los proyectos de investigación que contaran con un enfoque taxonómico.

Filo Nematoda – Existe poca información sobre los nemátodos de vida libre asociados a agua dulce en Panamá. Camacho *et al.* (1997) investigaron los invertebrados de agua dulce en la Isla de Coiba, provincia de Veraguas y reportaron la presencia de los órdenes Enoplida, Chromadorida y Araeolaimida.

Filo Nematomorpha – El único registro que existe de Panamá de este grupo, es mencionado por (Schmidt-Rhaesa y Menzel 2005) para la especie *Chordodes cameranonis*. Sin embargo, estos autores señalan que se trata de un registro dudoso ya que no se sabe si el especímen provino de México o de Panamá.

Filo Platyhelminthes – Existe poca información sobre este grupo en Panamá. Hyman (1957) reportó a *Dugesia sp*. (Planariidae) en la Isla de Barro Colorado, en el Canal de Panamá. Kenk (1975) mencionó que se conocen ocho especies del género *Dugesia* que habitan la América continental al norte del Istmo de Panamá, sin embargo, no hace mención de cuáles son estas especies.

Filo Annelida – Según la revisión hecha para este trabajo, existen a la fecha 12 especies de oligoquetos asociados al agua dulce en Panamá. Gutiérrez *et al.* (1995) reportaron *Branchiura sowerbyi* (Tubificidae) en el lago Gatún en el Canal de Panamá. Rodríguez (1999) describió la nueva especie, *Monopylephorus camachoi* (Tubificidae), recolectada en el río Santa Cruz al norte de la Isla de Coiba. Rodríguez (2002) realizó una revisión del material depositado en el Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid como resultado de las recolectas realizadas entre 1994 y 1996 en la Isla de Coiba por Camacho *et al.* (1997) y reportó diez especies de las familias Alluroididae, Naididae y Enchytraeidae y cuatro taxa sin determinar.

Para la clase Polychaeta, San Martín *et al.* (1998) describieron la nueva especie *Pisione garciavaldecasasi* en varios ríos pequeños en la Isla de Coiba. Este es el primer registro de una especie de la familia Pisionidae para agua dulce en Panamá.

Filo Arthropoda

Subfilo Chelicerata

Clase Arachnida

Orden Trombidiformes (Hydrachnidia) – Existe poca información (solamente de dos sitios) sobre este grupo en Panamá. El primer registro fueron ocho especies del Lago Alajuela (Madden Lake) en la Zona del Canal

(Gliwicz y Biesiadka 1975). En un estudio de los invertebrados de agua dulce de la Isla de Coiba realizado por Camacho *et al.* (1997), los autores reportaron 24 géneros de ácaros, distribuidos en 12 familias. A partir de esta campaña de recolecta, se han realizado publicaciones con la descripción de nuevos géneros y especies (Valdecasas 2001, 2008a, 2008b, 2010) tales como: *Santiagocarus robustus, Gledhillia coibensis* y *Rhynchohydracarus carmenae* de la familia Rhynchohydracaridae; *Rutacarus annae* (Anisitsiellidae), *Vagabundia sci* (Aturidae) y *Transitia carlosi* (Lethaxonidae). En un estudio de ácaros acuáticos de 15 quebradas de la cuenca del Canal con diferentes niveles de contaminación se encontraron 32 géneros y subfamilias de 14 familias (Goldschmidt y Helson in prep.). En total 16 especies (de 7 familias) son reportadas del país. Otros 18 géneros fueron publicados sin datos sobre las especies (Camacho *et al.* 1997).

Subfilo Crustacea

Clase Ostracoda – Existe poca información sobre este grupo en Panamá. Los artículos que logramos revisar tratan sobre ostrácodos marinos, fosiles o sobre la distribución geográfica y dispersión de algunas especies a través del Canal de Panamá (Teeter 1973). No obstante, en algunos inventarios realizados en arroyos en diferentes localidades del país, se han reportado representantes de ésta clase (Helson y Williams 2013, Camacho *et al.* 1997).

Clase Malacostraca

Orden Amphipoda – Existe poca información sobre este grupo en Panamá y la que logramos revisar trata sobre anfípodos marinos y terrestres. Sin embargo, Camacho *et al.* 1997 reportó este orden en algunos ríos en la Isla de Coiba.

Orden Isopoda – Existe poca información sobre este grupo en Panamá. Los artículos que logramos revisar tratan sobre isópodos marinos, terrestres o parasitos. No obstante, en algunos inventarios realizados en arroyos en diferentes localidades del país, se han reportado representantes de este orden (Helson y Williams 2013, Camacho *et al.* 1997).

Orden Decapoda – La contribución más antigua registrada sobre las especies de los crustáceos decapados en Panamá, correspondió a una especie de cangrejo de agua dulce, *Pseudothelphusa colombianus* (ahora *Ptychophallus colombianus,* Pseudothelphusidae) por Rathbun (1893) y descrita a partir de los especímenes recolectados en la provincia de Chiriquí. Nobili (1896) describió un nuevo género y una nueva especie, *Rathbunia festae* (Pseudothelphusidae) para la provincia de Darién. Pretzmann (1965, 1968, 1971, 1980) realizó varios trabajos sobre los cangrejos de agua dulce de Panamá con la descripción de varias especies nuevas de los géneros *Potamocarcinus, Ptychophallus* e *Hypolobocera*. Rodríguez (1982, 1994) reportó las especies *Potamocarcinus richmondi* y *Ptychophallus micracanthus* ambas de la familia Pseudothelphusidae. Magalhães y Türkay (1996) reportaron la especie *Melocarcinus meekei* (Trichodactylidae) para la provincia de Darién. Campos y Lemaitre (1999, 2002) describieron tres nuevas especies de los géneros *Ptychophallus* (2 spp) y *Potamocarcinus* (1 sp). Magalhães *et al.* (2013) describieron la especie *Potamocarcinus darienensis* (Pseudothelphusidae), de la provincia del Darién y reportaron *Spirocarcinus garthi* (Pseudothelphusidae).

En cuanto a los camarones de agua dulce reportados para Panamá, podemos citar a Rathbun (1912), quien describió *Macrobrachium acantarus* panamense (ahora *M. panamense*); Holthuis (1950) describió tres especies de los géneros *Macrobrachium* (2 ssp) y *Palaemonetes* (1 sp); Smalley (1963) reportó la especie *Potimirin glabra* en la Isla de Barro Colorado; Hobbs y Hart (1982) publicaron una revisión del género *Atya* en las que incluyeron algunas especies de Panamá; Felgenhauer y Martin (1983) describieron la especie *Atya abelei* (Atyidae) para la provincia de Coclé; Torati *et al.* (2011) realizaron un registro preliminar de ocho especies de las familias Atyidae (5 spp) y Palaemonidae (3 spp) para la provincia de Bocas del Toro, y documentaron por primera vez para Panamá las especies *Jonga serrei*, *Micratya poyei* y *Potimirin glabra* (Atyidae) para la provincia de Bocas del Toro.

Otros inventarios que incluyen de manera general a los crustáceos decápados, fueron realizados por Abele (1975a, b), quien reportó 27 especies recolectadas a 0% de salinidad en el Canal de Panamá y describió la especie *Atya dressleri* (Atyidae). Abele y Blum (1977) reportaron 14 especies en el archipiélago de las Perlas, de las cuales ocho fueron camarones de las familias Atyidae y Palaemonidae y seis fueron especies de cangrejos distribuidas en las familias Grapsidae, Ocypodidae y Pseudothelphusidae. Abele y Kim (1989) reportaron 27 especies en el Canal de Panamá, describieron siete nuevas especies para la ciencia, de las cuales tres fueron recolectadas entre 0-5% de salinidad.También reportaron la especie introducida *Elamenopsis kempi* (Chopra y Das 1930), de origen Iraquí.

Kam *et al.* (2011) realizaron un estudio sobre el cangrejo iraquí *Elamenopsis kempi* en el Canal de Panamá y las posibles interacciones de esta especie con otro invasor, *Rhithropanopeus harrisii.* Documentaron la distribución de *E. kempi* en cuatro puntos de la Zona del Canal; *Rhithropanopeus harrisii* tenía una mayor distribución y observaron que, cuando las dos especies de cangrejos se superponen, la abundancia de *E. kempi* se asocia negativamente con la de *R. harrisii.* Los autores mencionaron que se desconoce a ciencia cierta el mecanismo de introducción de *E. kempi* en el Canal de Panamá, sin embargo, ésta especie fue común en algunas partes del canal, incluido el Lago Miraflores, donde transitan los barcos.

De acuerdo con la revisión hecha para este trabajo, en Panamá se han reportado 65 especies de crustáceos decápodos, sin embargo, no todas son estrictamente de agua dulce, aunque han sido recolectadas a 0 salinidad. Estas especies están distribuidas en 11 familias: Atyidae (13 spp), Grapsidae (4 spp), Hymenosomatidae (especie introducida *Elamenopsis kempi* Chopra y Das 1930), Ocypodidae (2 spp), Palaemonidae (17 spp), Penaeidae (2 spp), Porcellanidae (1 sp), Portunidae (3 spp), Pseudothelphusidae (19 spp), Trichodactylidae (1 sp) y Xanthidae (2 spp). Cabe mencionar que 32% de estas especies han sido descritas por primera vez para la ciencia, a partir de especímenes recolectados en diferentes puntos de la geografía nacional. Por otro lado, en la Cuenca del Canal se ha reportado el 54% de las especies registradas para Panamá.

Subfilo Hexapoda

Clase Insecta

Orden Ephemeroptera – Luna (1989) elaboró un catálogo donde se enlistaron 27 especies en 19 géneros para Panamá. Flowers (1991,

1992) realizó valiosos aportes al conocimiento sobre la diversidad de los insectos acuáticos al noreste de Panamá y realizó un listado de especies para Panamá y Costa Rica. Lugo-Ortiz y McCafferty (1996) reportaron *Acerpenna pleturа* (ahora *Ameribaetis pleturus*) en la Zona del Canal y *Baetis magnus* en la provincia de Chiriquí. McCafferty y Lugo-Ortiz (1998) documentaron por primera vez *Moribaetis macafferti* (Baetidae) para Panamá. Molineri (2004) realizó un estudio sobre la filogenia del grupo *Allenhyphes-Traverhyphes* (Leptohyphidae) y describió cuatro nuevas especies del género *Traverhyphes*, una de estas, *T. yuqui*, para la provincia de Bocas del Toro. Baumgardner y Ávila (2006) reportaron *Cabecar serratus* (Leptohyphidae) en el río Capira, provincia de Panamá.

De acuerdo a la base de datos publicada por Purdue University (2013), en Centroamérica se han enlistado 140 especies de efemerópteros, distribuidos en 47 géneros y diez familias. A Panamá le corresponde 22.85% del total de especies de efemerópteros conocidos para la región centroamericana, ya que, con la revisión hecha para este trabajo, el listado de efemerópteros conocidos para Panamá es de 32 especies distribuidas en siete familias de la siguiente manera: Baetidae (11 spp), Euthyplociidae (1 sp), Heptageniidae (2 spp), Leptohyphidae (6 spp), Leptophebliidae (10 spp), Oligoneuridae (1 sp) y Polymitarcyidae (1 sp).

Orden Odonata – May (1979) publicó la lista de las especies de Odonata para la isla de Barro Colorado y definió su reporte como un resumen de sus observaciones, en su mayoría casuales, de la distribución y ecología de las libélulas en la isla. Inventarió 86 especies y aclaró que algunas de ellas no fueron observadas en el campo por él, sin embargo, estuvieron incluidas en el archivo de la fauna de especies de la isla, aparentemente reportadas por el Dr. Donnelly. Donnelly (1992) documentó un listado de la parte central de Panamá y reportó 176 especies y una más del género *Progomphus* sin describir.

De acuerdo con la lista de las especies de odonatos de Centroamérica publicada por Paulson (2013), en esta región se han documentado 381 especies, distribuidas en 86 géneros y 14 familias. Basados en estos registros, a Panamá le corresponde 56.4% del total de especies de odonatos reportados para la región centroamericana, con 215 especies, distribuidas en 73 géneros y 12 familias: Aeshnidae (25 spp), Calopterygidae (7 spp), Coenagrionidae (42 spp), Corduliidae (2 spp), Gomphidae (16 spp), Lestidae (5 spp), Libellulidae (84 spp), Megapodagrionidae (12 spp), Perilestidae (2 spp), Platystictidae (9 spp), Polythoridae (5 spp) y Protoneuridae (6 spp).

Orden Orthoptera – No encontramos información taxonómica de representantes asociados a ambientes acuáticos en este orden para Panamá.

Orden Plecoptera – Harper (1992) publicó sobre los plecópteros de Panamá y enlistó 15 especies del género *Anacroneuria*. Stark (1998) describió las especies *A. benedettoi, A. talamanca y A. zarpa* para la provincia de Bocas del Toro, *A. harperi* para las provincias de Panamá y Darién y *A. varilla* para la provincia de Chiriquí. Froehlich (2010) publicó un catálogo neotropical de Plecoptera, en el que reportó 393 especies de la familia Perlidae para esta región y enlistó 22 especies del género Anacroneuria (seis sin nombrar) para Panamá. Posteriormente, Stark

(2014) describió la especie *A. totumas* a partir especímenes recolectados en la provincia de Chiriquí y reporta cuatro especies más. Basado en estos registros, a Panamá le corresponde 6.6 % de la diversidad de plecópteros conocidos para la región Neotropical.

Orden Blattodea – En Panamá, no encontramos información de tipo taxonómica de los representantes asociados a ambientes acuáticos en este orden. Sin embargo, Sánchez-Argüello (2008) evaluó la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en el Río Capira y reportó la familia Blatellidae con una abundancia muy baja.

Orden Hemiptera – Polhemus y Manzano (1992) publicaron un listado de los heterópteros de las familias Gelastocoridae, Gerridae, Mesoveliidae, Saldidae y Veliidae, asociados a los ambientes marinos del Pacifico Oriental Tropical, en el que enlistaron las especies reportadas para Panamá. Froeschner (1999) publicó un catálogo del suborden Heteroptera de Panamá, con 140 especies pertenecientes a 45 géneros y 13 familias. Pacheco (2010) documentó la distribución para Panamá de las especies *Limnogonus franciscanus* y *L. hyalinus* (Gerridae). El listado de las especies de heterópteros publicada por Moreira (2013), aportó siete especies más con distribución para Panamá, de las familias Gerridae, Hydrometridae, Mesoveliidae, Naucoridae y Veliidae.

Según Polhemus (1982) existen 636 especies de heterópteros de agua dulce en Mesoamérica. Panamá cuenta con 23.42% de la diversidad conocida de este grupo en Mesoamérica, con 149 especies distribuidas en 13 familias de la siguiente manera: Belostomatidae (6 spp), Corixidae (5 spp), Gelastocoridae (14 spp), Geriidae (25 spp), Hebridae (13 spp), Hydrometridae (9 spp), Mesoveliidae (6 spp), Naucoridae (9 spp), Nepidae (5 spp), Notonectidae (9 spp), Pleidae (2 spp), Saldidae (8 spp) y Vellidae (38 spp).

Orden Coleoptera – Aun existe una carencia notable de estudios taxonómicos de este grupo en Panamá. Los trabajos realizados por Spangler y Santiago (1987, 1992) son un valioso aporte al conocimiento taxonómico de la familia Elmidae. Spangler y Santiago (1987) documentaron la presencia de *Pseudodisersus goudotii* bajo una delgada capa de agua corriente sobre las superficies de rocas verticales en cascada, y *Disersus longipennis*, ambas recolectadas en Volcán, Chiriquí. Spangler y Santiago (1992) identificaron el género *Pharceonus* a altitudes mayores a los 1000 msnm y describieron a *P. volcanus* de los especímenes recolectados en Volcán, Panamá, *Hexanchorus crinitus* y *H. usitatus* de los especímenes recolectados en Panamá y Costa Rica, como especies nuevas para la ciencia. En su revisión de la familia Elmidae para la región neotropical, Ottoboni-Segura *et al.* (2013) reportaron un total de 19 especies de 12 géneros de esta familia para Panamá. Recientemente, Shepard y Barr (2014) describieron el nuevo género y nueva especie *Neoeubria inbionis* (Psephenidae) y la reportaron para Panamá en las provincias de Chiriquí y Colón.

Orden Neuroptera – Parfin y Gurney (1958) publicaron un estudio sobre los neurópteros de la familia Sisyridae, con especial énfasis en los del hemisferio occidental y describieron dos especies nuevas para la ciencia: *Sisyra panama*, provincia de Coclé y *Climacia*

striata para la provincia de Panamá. También reportaron la especie *Sisyra apicalis* en la cuenca del Canal y en la provincia de Coclé. Henry *et al.* (1992) publicaron los aspectos generales de la biología y evolución de los órdenes neuropteroides (Neuroptera y Megaloptera) de Centroamérica y Panamá, en la que incluyeron claves taxonómicas para la identificación de los individuos adultos de *Climacia y Sisyra*. Por otro lado, Sánchez *et al.* (2010b) reportaron los estados larvales del género *Sisyra* en el río Capira y el material se encuentra depositado en la Colección Zoológica Dr. Eustorgio Méndez (CoZEM) del ICGES.

A nivel mundial se conocen 61 especies de la familia Sisyridae (Cover y Resh 2008). De acuerdo con la revisión hecha para este trabajo, en Panamá se conocen a la fecha tres especies de neurópteros de la familia Sisyridae, lo que representa 4.91% de la diversidad conocida para esta familia.

Orden Megaloptera – Penny y Flint (1982) hicieron una revisión del género Chloronia y presentaron una clave, descripción, distribución e ilustración de diez especies para el Neotrópico. En esta publicaciónn, describieron la nueva especie *Chloronia gloriosoi* en la provincia de Chiriquí, reportaron *Chloronia mirifica* para las provincias de Chiriquí y Colón y mencionaron a *Chloronia hiroglyphica* para Panamá. Henry *et al.* (1992) publicaron una clave para la familia Corydalidae para la identificación de tres géneros: *Corydalus, Chloronia y Platyneuromus*. Contreras-Ramos (1999) publicó una lista de las especies de megalópteros de Neotrópico y documentó 63 especies y subspecies para ésta región. Este autor documentó cinco especies para Panamá de los géneros *Corydalus, Platyneuromus* y *Protosialis*. De acuerdo con la revisión hecha para este trabajo, en Panamá se conocen a la fecha ocho especies de megalópteros, distribuidas en cuatro géneros y dos familias, lo que representa 12.7% del total de especies conocidas para ésta región.

Orden Trichoptera - Águila (1992) publicó un catálogo sistemático de Trichoptera de Panamá y reportó 168 especies distribuidas en 39 géneros y 12 familias. A partir de esa fecha, se han descrito nuevas especies y se han dado nuevos registros para Panamá. En el caso de la familia Calamoceratidae se registró el aporte dado por Prather (2003), quien realizó una revisión a nivel Neotropical del género *Phylloicus* y reportó tres especies para Panamá.

Para la familia Hydroptilidae se han registrado los aportes de Harris (1990) quien describió la especie *Neotrichia flowersi* y que no fue incluída en el catálogo publicado por Águila (1992); Harris y Tiemann (1993) describieron la especie *Neotrichia malickyi* y reportaron *Neotrichia tauricornis*, ambas en la Cuenca del Canal; Bueno-Soria y Santiago-Fragoso (1997, 2002) describieron ocho nuevas especies del género *Ochrotrichia*; cinco nuevas especies del género *Metrichia* y mencionaron cinco nuevos registros de este último género para el país; Harris y Holzenthal (1999) describieron las especies *Hydroptila nusagandia* para San Blas e *Hydroptila rastrilla* en Bocas del Toro; Harris y Flint (2002) describieron cinco nuevas especies del género *Alisotrichia* para Panamá; Harris *et al.* (2002a, b) realizaron la revision de los géneros *Flintiella* y *Bredinia* en el Neotropico, reportaron una especie del género *Flintiella*, dos especies del género *Bredinia* y describieron la especie *Flintiella panamensis* para la Isla de Barro Colorado en la Cuen-

ca del Canal. Bueno-Soria y Holzenthal (2004) describieron tres especies nuevas especies del género *Ochrotrichia* e hicieron el reporte de otra especie para Panamá; Bueno-Soria (2009) describió la especie *Ochrotrichia paraldama* para Panamá.

En cuanto a la familia Helicopsychidae podemos citar los trabajos de Johanson (2003), quien describió dos especies de *Helicopsyche* (Helicopsychidae) en el Canal de Panamá y Johanson y Malm (2006) quienes describieron cuatro especies *Helicopsyche* (Helicopsychidae) para Panamá. Para la familia Glossosomatidae contamos los aportes de Blahnik y Holzenthal (2006, 2008), con la revisión de los géneros *Culoptila* y *Mortoniella* en la que reportaron una especie del género *Culoptila* y describieron ocho especies del género *Mortoniella* para Panamá. Para la familia Philopotamidae se encuentran las publicaciones de Blahnik (1998) y Flint (1998), quienes describieron cinco nuevas especies del género *Chimarra* para Panamá.

Según Moor e Ivanov (2008), en la región Neotropical existen aproximadamente 2,100 especies de trichópteros. A Panamá le corresponde el 9.7% de la diversidad de trichópteros conocidos para ésta región, ya que, según el listado de tricópteros de Panamá publicado por Morse (2013), contamos con 203 especies distribuidas en 44 géneros y 13 familias de la siguiente manera: Calamoceratidae (6 spp), Ecnomidae (3 spp), Glossosomatidae (11 spp), Helicopsychidae (11 spp), Hydrobiosidae (5 spp), Hydropsychidae (40 spp), Hydroptilidae (62 spp), Lepidostomatidae (2 spp), Leptoceridae (18 spp), Odontoceridae (1 sp), Philopotamidae (19 spp), Polycentropodidae (20 spp) y Xiphocentronidae (5 spp).

Orden Lepidoptera - No se cuenta con información taxonómica sobre especies acuáticas de este grupo. Sin embargo, Phillips (2001) presentó un listado de las especies de mariposas nocturnas acuáticas (Crambidae: Nymphulinae), en la que se mencionan para Panamá 16 especies de seis géneros (*Argyractoides, Aulacodes, Chrysendeton, Oxyelophila, Petrophila, Usingeriessa*), siendo *Petrophila* el de la mayor cantidad de especies.

Orden Diptera – El conocimiento acerca de los dípteros en Panamá se ha concentrado en las principales familias de dípteros de importancia en salud pública, como es el caso de la familia Culicidae (Curry 1931, Komp y Curry 1932, Galindo *et al.* 1949, Galindo *et al.* 1951a y b, Galindo *et al.* 1952, Galindo y Blanton 1954 y 1955, Galindo *et al.* 1954, Galindo y Méndez 1961, Adames y Galindo 1999, Loaiza *et al.* 2008, 2009 y 2013), Psychodidae (Fairchild 1951, 1952, 1955; Fairchild y Hertig 1948, 1951, 1952a, b y c, 1953, 1956, 1957, 1958a y b y 1959; Fairchild y Trapido 1950, Christensen *et al.* 1983, Chaves *et al.* 2013), Tabanidae (Fairchild 1951, 1953, 1958; Philip y Fairchild 1956), entre otras.

Para Panamá se han reportado 74 especies de la familia Psychodidae, 97 de Ceratopogonidae, 253 de Culicidae (ACP 2003) y 21 en la familia Simuliidae (Méndez y Petersen, 1981). Por otro lado, el INBIO (Chaverri 2005) cuenta con un listado de especies de culícidos de Mexico y Centroamérica, en la que se enlistan especies para Panamá. Más recientemente, Loaiza *et al.* (2009, 2013) reportó por primera vez en Panamá al mosquito *Anopheles darlingi* en la región Este de Panamá y sugirió dos nuevas especies moleculares para el grupo *Anopheles punctimacula* elevando el número de especies

de mosquitos a 255 (Gaffigan *et al.* 2014). Valderrama *et al.* (2008, 2011a, b, 2014) han aportado al conocimiento de la familia Psychodidae al realizar estudios sobre la abundancia de las especies en zonas alteradas por el hombre y su estructura genética en éstos ambientes.

Aunque la información sobre dípteros acuáticos no es mucha y no contamos con una clave de larvas para Panamá, podemos citar los dos tomos del libro Central American Diptera (Brown *et al.* 2009 y 2010), que incluye a todas las familias acuáticas presentes en Centroamerica y cuenta con una clave para las larvas de todas las familias de dípteros. En algunas familias presentan dibujos para varios grupos, por lo que esta referencia es de gran ayuda para la identificación, al menos a nivel de familia, de los dípteros acuáticos.

Filo Mollusca - Existe poca información sobre este grupo en Panamá. El registro más antiguo con que contamos es de Tryon (1863), quien describió la especie *Cochliopa rowelli* (Hydrobiidae). Bartsch (1920) describió a *Zetekina panamensis* (Hydrobiidae) para la provincia de Panamá. Morrison (1946) describió tres nuevos géneros, 27 especies y una nueva subespecie de moluscos no marinos a partir de los especímenes recolectados en el Archipiélago de las Perlas. Thompsom (2011) publicó un listado de las especies y subespecies de gasterópodos no marinos de México y Centroamérica. Enlistó 1,800 taxa, de las cuales 135 corresponden a las especies y subespecies para Panamá, lo que representa 7.5% de la diversidad conocida para la región. Sin embargo, sólo 36 especies pertenecen a las familias conocidas con representantes de agua dulce: Hydrobiidae (22 spp), Planorbiidae (8 spp), Ampullariidae (5 spp) y Ancylidae (1sp.).

Colecciones taxonómicas

En Panamá existen cinco colecciones que cuentan con material depositado de los diferentes grupos de macroinvertebrados dulceacuícolas. El Museo Invertebrados G. B. Fairchild de la Universidad de Panamá (MIUP) que cuenta con especímenes tipo de insectos acuáticos y adultos terrestres con inmaduros de vida acuática de 16 especies de los órdenes Coleoptera (Elmidae) y Trichoptera (Hydropsychidae y Polycentropodidae) y el Museo de Malacología de la Universidad de Panamá (MUMAUP) que cuenta con 6,287 individuos distribuidos en 1,657 especies, con representante tanto de Panamá, como de Europa, Asia y América del Sur. Ambos museos constituyen el depositario final de todas las investigaciones científicas que se realizan en el país según lo establece el Decreto Ejecutivo No. 257 del 17 de octubre del 2006. Sin embargo, por la cantidad de especímenes de macroinvertebrados dulceacuícolas que registran dichos museos, es evidente que no muchos investigadores están cumpliendo con depositar colecciones de referencias de sus investigaciones.

Por otro lado, el Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI) cuenta con una colección de insectos terrestres con algunos adultos de órdenes de insectos acuáticos. Otra colección importante se encuentra en la Universidad Autónoma de Chiriquí, el Museo de Peces de Agua Dulce e Invertebrados (MUPADI), que cuenta con 30,430 especímenes de órdenes de insectos acuáticos. Recientemente se ha iniciado el levantamiento de una colección de referencia de los macroinvertebrados dulceacuícolas bioindicadores en la Colección Zoológica Dr. Eustorgio Méndez (COZEM) del ICGES, que cuenta con más 100 mil especímenes recolectados a nivel nacional.

10.3.2 Estudios ecológicos

En Panamá el conocimiento de la ecología de los macroinvertebros dulceacuícolas es aún muy básico. Generalmente se han realizado inventarios, sin profundizar en aspectos ecológicos de estas comunidades. No obstante, en la cuenca del Canal de Panamá se han desarrollado estudios orientados a establecer sus implicaciones ecológicas y el papel del lago Gatún y las esclusas como barreras físicas para el intercambio de las especies del mar Caribe al océano Pacífico y viceversa (Greenberg 1975, Abele 1975a, Abele 1972, Zaret 1984, Abele y Kim 1989). Más recientemente, se han realizado inventarios como parte de las operaciones de mantenimiento de las exclusas o bien, de los estudios previos al proyecto de la amplicación del Canal (Gutiérrez *et al.* 1995, Navas *et al.* 1995, TLBG/UP/STRI 2003, Garcés y García 2004, García *et al.* 2004, CEREB 2005).

Por otro lado, a partir de la década de 1970 inició una política de desarrollo energético, basado en el aprovechamiento de las aguas de los ríos Bayano (provincia de Panamá), Fortuna y Tabasará (provincia de Chiriquí), Changuinola (Bocas del Toro), entre otros. Estos proyectos impulsaron los estudios de tipo ambientales para evaluar las implicaciones ecológicas de dichas obras. Estos estudios incluyeron la evaluación de las comunidades de macroinvertebrados, con mayor énfasis en los crustáceos, moluscos e insectos de importancia médica. A partir de esa fecha, se han realizado trabajos de tesis (licenciatura) y evaluaciones ecológicas rápidas (EER); más recientemente los estudios de impacto ambiental (EsIA), que han incluido el estudio de estas comunidades.

Uno de los proyectos hidroeléctricos que cuenta con varios estudios y que sirve como modelo de gestión a imitar para los proyectos actualmente en desarrollo, es la hidroeléctrica de Bayano. Entre los estudios que podemos citar están: Asesores Ecológicos S.A. (1974), que realizaron un estudio para la manifestación de impacto ambiental en la construcción de la obra y documentaron diez especies de crustáceos y dos de moluscos y Martínez *et al.* (1981), quienes realizaron un estudio para determinar las causas de la mortandad de animales acuáticos en el cauce del río Bayano y concluyeron que dicha mortandad se debió a una disminución en la concentración del oxígeno disuelto en el embalse como consecuencia de la descomposición de materia orgánica. Además, Goodyear *et al.* (1982) realizaron un estudio sobre la migración masiva del camarón de río *Atya crassa* (Atyidae) como consecuencia del represamiento del río Bayano y concluyeron que, debido a que las aguas bajaron rápidamente al cierre de la represa, los *Atya* interpretaron esto cómo una señal de inicio de la época seca y por consiguiente, momento de migrar a las partes altas del río. Candanedo y D´Croz (1983) realizaron un estudio del lago Bayano y reportaron una dramática disminución en el número de especies de los macroinvertebrados bentónicos del área como consecuencia del impacto ecológico de la construcción de la represa, ya que, de las 12 especies comúnmente encontradas en la cuenca del río Bayano antes del embalse (Asesores Ecológicos 1974), sólo encontraron dos especies de crustáceos, después de un año de esfuerzo de recolecta.

Otros trabajos realizados en proyectos hidroeléctricos que incluyeron la evaluación de la macrofauna fueron realizados por: Goodyear

et al. (1977) y Del Rosario y Águila (1986) para Fortuna; Adames (1983) para Tabasará y Cornejo y Boyero (2008) para el proyecto hidroeléctrico de Changuinola. Otros proyectos de infraestructura que contemplaron la evaluación de las comunidades de macroinvertebrados fueron realizados por: Estudios Ambientales (1993) para el proyecto del oleoducto Chiriquí-Bocas del Toro y Valdespino *et al.* (1997) para el proyecto carretero Punta Peña-Almirante, provincia de Bocas del Toro.

Por otro lado, se han realizado inventarios de los macroinvertebrados como parte de temas de tesis de licenciatura en diferentes partes del país tales como: río Coco Solo (Cornejo-Remice y Amores 2003) y Nuevo San Juan y Chilibre (Águila y García 2011, 2012) en la provincia Colón; río Chico (Araúz *et al.* 2000), río San Félix (Garcés 2002), río David (Pino Selles y Bernal-Vega 2009) y río Mula (Bernal-Vega y Castillo 2012) en la provincia de Chiriquí; río Capira (Sánchez-Argüello *et al.* 2010b) en la provincia de Panamá; Los Corrales (Rodríguez y Bonilla 1999), río El Salto (Rodríguez *et al.* 2000), río Santa Clara (Rodríguez y Sánchez 2001), río Agué (Rodríguez y Mendoza 2003), río Santa María (Robles y Vega 2004, Lombardo y Rodríguez 2007 y 2008), río Tríbique (Rodríguez y León 2003), en los ríos Sábalo, Piña, Ponuga, Pocrí y Suay (Rodríguez *et al.* 2009) en la provincia de Veraguas.

También se han efectuado estudios de tipo ecológico sobre las comunidades de macroinvertebrados en diferentes áreas protegidas en nuestro país, como son el Parque Isla de Coiba, Soberanía y Altos de Campana en donde se han concentrado la mayoría de ellos. En la isla de Coiba en la provincia de Veraguas podemos citar los trabajos de Camacho *et al.* (1997), Boyero y Bailey (2001) y Boyero y DeLope (2002); en la Reserva Forestal el Montuoso en la provincia de Herrera a Cornejo (2004); en el Parque Nacional Soberanía y en el Parque Nacional Altos de Campana, podemos citar los trabajos de Boyero y Bosch (2004), Camacho *et al.* (2009), Boyero *et al.* (2011a, b), que han evaluado el efecto del cambio climático sobre la descomposición de la hojarasca y los patrones de diversidad mundial de los grupos funcionales claves en los ecosistemas fluviales. Estos últimos estudios han sugirido que los arroyos tropicales requieren atención científica específica y esfuerzos de conservación para prevenir la pérdida de diversidad y serias alteraciones en los procesos del ecosistema.

10.3.3 Estado de conservación

En Panamá existen diversas medidas que tienen como objetivo la protección de la biodiversidad acuática continental y marina. Las áreas protegidas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP), administrada por la ANAM y bajo diversas categorías de manejo, algunas de ellas con nominaciones internacionales, como lo son: sitios de patrimonio mundial, reserva de la biosfera y humedales de importancia internacional como los humedales de la convención Ramsar.

Entre los objetivos del SINAP se tienen los siguientes: 1) Conservar en su estado natural los diversos ecosistemas terrestres y marinos; 2) Mantener la diversidad biológica natural y evitar la extinción de especies de plantas y animales silvestres; 3) Proteger y manejar las fuentes de aguas dentro de las áreas protegidas a fin de mantener la calidad, cantidad y flujo óptimo; 4) Promover las investigaciones científicas a fin de aumentar los conocimientos sobre la biodiversidad; 5) Contribuir con el desarrollo sostenible en

territorios indígenas, zonas rurales y el país en general, mediante el aprovechamiento racional de los recursos naturales renovables, existentes en aquellos sitios claramente identificados en el plan de ordenamiento de cada área protegida; 6) Conservar y proteger los aspectos históricos, culturales y arqueológicos dentro de las áreas protegidas, y 7) Proveer oportunidades para el desarrollo de actividades de educación ambiental, turismo ecológico y recreación al aire libre (Resolución J.D-009-94 1994).

Panamá cuenta con 65 áreas protegidas, las cuales representan 34.4% del territorio nacional y equivale a unas 2, 600,018 ha. De acuerdo a la Estrategia Nacional del Ambiente, en términos generales los parques nacionales mantienen superficies boscosas por encima del 80%. El SINAP cuenta con dos reservas de la biosfera y sitios de patrimonio mundial natural (Parque Internacional La Amistad y Parque Nacional Darién (ANAM 2006).

La ANAM (2010) presentó un inventario de 39 humedales continentales y costeros de Panamá, bajo los criterios de clasificación de humedales y la metodología recomendada por la Convención Ramsar. Esta herramienta representa un importante avance para Panamá y contribuye en promover la conservación y el uso racional de nuestros humedales. Además se espera que los diversos actores que trabajan con el tema, utilicen esta clasificación en sus diferentes acciones de conservación, toda vez que emana de un convenio internacional del cual el país es signatario.

Por otro lado, la Resolución AG-0051-2008 (Autoridad Nacional del Ambiente), "por la cual se reglamenta lo relativo a las especies de fauna y flora amenazadas y en peligro de extinción", establece en su artículo No.4 acoger los criterios utilizados por la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN) y tomar en cuenta la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES) y otras, para clasificar las especies, subespecies o poblaciones que se incluyan en el listado de especies amenazadas. No obstante, la legislación panameña protege 48 especies de anfibios, 65 de reptiles, 263 de aves, 57 de mamíferos y 1,733 especies de plantas; sin embargo, no se consideran especies de macroinvertebrados dulceacuícolas. En la Lista Roja de la IUCN se mencionan dos especies de macroinvertebrados dulceacuícolas del orden Odonata que han sido reportadas para Panamá: *Perigomphus pallidistylus* (Gomphidae) y *Thaumatoneura inopinata* (Megapodagrionidae).

Las organizaciones no gubernamentales (ONG) ambientalistas, ciertamente han jugado un papel importante en el conocimiento de la biodiversidad en Panamá, además de llevar a cabo una sensibilización pública en la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales en nuestro país. Algunas de estas organizaciones que han tratado el tema del recurso hídrico en Panamá son: La Asociación Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ANCON), La Sociedad Mastozoológica de Panamá (SOMASPA), La Fundación NATURA, el Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI) y The Nature Conservancy (TNC), entre otras.

The Nature Conservancy (TNC 2009), realizó una evaluación de las ecorregiones de agua dulce en Mesoamérica, en la cual se incluyeron las 11 ecorregiones de agua dulce que van desde Chiapas en México hasta el sur de Panamá y además un análisis de viabilidad/integridad y de presiones antropogénicas para ayudar en el establecimiento de prioridades. Panamá cuenta

con cinco de las 11 ecorregiones de agua dulce de Mesoamérica que son: Isthmus Caribbean, Chiriquí, Azuero, Tuira y Chagres.

TNC (2012) presentó el informe de monitoreo biológico para la conservación de la cuenca binacional del rio Sixaola, en el marco del "proyecto de gestión integrada de ecosistemas de la cuenca binacional del río Sixaola" ANAM-MINAET-BID/GEF. Resaltaron que el área de La Amistad en Bocas de Toro y especialmente la Cuenca Binacional del Río Sixaola, son unos de los sitio prioritarios para la conservación determinados en el Portafolio de Sitios Prioritarios para la Conservación de TNC para Mesoamérica.

Panamá cuenta también con el Plan Nacional de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (PNGIRH) 2010-2030, que incorpora acciones, programas y propuestas del conjunto de instituciones que tienen injerencia en los recursos hídricos. Esta herramienta permitará el mejoramiento de la gestión integral de los recursos hídricos, asegura la protección y la conservación de los ecosistemas, así como satisfacer las demandas de agua de forma equitativa, y considera la disponibilidad en cantidad y calidad requerida del recurso como parte fundamental del desarrollo integral del país.

10.4. Empleo de los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en Panamá

El empleo de los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en Panamá inició en la década de 2000. Algunos trabajos han evaluado cambios en la estructura de estas comunidades ante algún uso de suelo particular o su relación con parámetros fisicoquímicos (Cornejo 2003, Medianero y Samaniego 2004, Robles y Vega 2004, Aguila y García 2012) y otros han propuesto asociaciones de macroinvertebrados potencialmente indicadoras (API´s) para discriminar aguas de diferente calidad (Aguila y García 2011). Por otro lado, se han realizado estudios en los que se han implementado índices bióticos para la evaluación de la calidad del agua en función de la macrofauna como: el Índice de Integridad Biológica (IBI) (ACP 2006, Helson y Williams, 2013) y el Biological Monitoring Working Party (BMWP), este último el más utilizado en Panamá (Lombardo y Rodríguez 2008, Pino Selles y Bernal-Vega 2009, Rodríguez *et al.* 2009, Sánchez-Argüello *et al.* 2010a, Bernal-Vega y Castillo 2012, Cornejo y Boyero 2012, Guinard *et al.* 2013).

Algunas instituciones realizan esfuerzos para el aporte en el conocimiento de las comunidades de macroinvertebrados y su empleo como bioindicadores. El Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología (INDICASAT), lidera el proyecto "DNA-barcoding for Macroinvertebrates in Panama (2013)", en colaboración con el Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI) y el Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de la Salud (ICGES). El objetivo de dicho proyecto es desarrollar códigos de barras genéticos para la identificación de los macroinvertebrados dulceacuícolas, con énfasis en los bioindicadores asociados a la Cuenca del Canal de Panamá. Por otro lado, el ICGES desarrolla el proyecto "Diagnóstico de la Contaminación en Afluentes Superficiales de Panamá" (DICONASPA) (2012-

2017) financiado por el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF); su meta es la elaboración de un protocolo para el monitoreo de la calidad ecológica de los ecosistemas epicontinentales, que se basará en una adaptación del índice BMWP para Panamá (BMWP/PAN) (Cornejo, in prep). Se espera que estas herramientas sirvan de apoyo en el cumplimiento del PNGIRH 2010-2030 y la conservación de la salud de los ríos y arroyos en Panamá.

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

En Panamá, la legislación existente para la protección y el aprovechamiento del recurso hídrico es compleja, en la que intervienen diferentes sectores gubernamentales que tienen algún grado de competencia en la gestión de éste. Esto genera conflictos de intereses, traslapes y duplicación de las funciones.

Por otro lado, no existe una legislación que considere el empleo de los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua. No obstante, la legislación existente contempla varios aspectos relacionados con el manejo y la protección del recurso hídrico del país, que indirectamente están vinculados a la conservación de los macroinvertebrados. A continuación, se presenta una síntesis de los Decretos Ley vinculados al uso, manejo y conservación del agua.

La Constitución Política de la República de Panamá, en su Título III, Capítulo siete, sobre el Régimen Ecológico, establece que es deber del Estado garantizar que la población viva en un ambiente sano y libre de contaminación, en el cual el aire, el agua y los alimentos satisfagan los requerimientos del desarrollo adecuado de la vida humana.

Leyes: Ley 66 de 10 de noviembre de 1947, "Por la cual se aprueba el Código Sanitario" (Gaceta Oficial 10,467 de 6 de diciembre de 1947). Este código regula en su totalidad los asuntos relacionados con la salubridad e higiene públicas, la política sanitaria y la medicina preventiva y curativa. Establece en su artículo 205, la prohibición de descargar directa o indirectamente los desagües de aguas usadas, sean de alcantarillas o de fábricas u otros, en ríos, lagos, acequias o cualquier curso de agua que sirva o pueda servir de abastecimiento para usos domésticos, agrícola, industriales, o para recreación y balnearios públicos, a menos que sean previamente tratadas por métodos que las rindan inocuas. Ley 41 de 1 de julio de 1998, General de Ambiente de la República de Panamá, "Por la cual se dicta la Ley General de Ambiente de la República de Panamá y se crea la Autoridad Nacional del Ambiente". En su Título VI –de los Recursos Naturales– en el artículo 83, menciona que la autoridad creará programas especiales de manejo de las cuencas, en las que, por el nivel de deterioro o por la conservación estratégica, se justifique un manejo descentralizado de sus recursos hídricos, por las autoridades locales y los usuarios. Ley 33 de 7 de julio de 2004, "Por la cual se aprueba el convenio entre el Gobierno de la República de Panamá y la Oficina de la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como hábitat de aves

acuáticas, para la creación y funcionamiento en Panamá del Centro Regional Ramsar para la capacitación e investigación sobre humedales en el hemisferio occidental (CREHO), firmado en Gland, Suiza, el día 28 de febrero de 2003". Ley 6 de 1 de febrero de 2006, "Que reglamenta el ordenamiento territorial para el desarrollo urbano y dicta otras disposiciones". En su artículo 28, numeral cinco, establece que son espacios públicos protegidos por el Estado las playas, las servidumbres, las orillas de ríos y los cuerpos de agua públicos, los manglares, los terrenos de bajamar, así como sus elementos vegetativos, arenas y corales. Ley 44 de 23 de noviembre de 2006, "Que crea la Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá". Unifica las competencias sobre los recursos marino-costeros, la acuicultura, la pesca y las actividades conexas de la administración pública y dicta otras disposiciones".

Decretos: Decreto Ley 35 de 22 de septiembre de 1966, "Que reglamenta el uso de las aguas", conocida como la Ley de Aguas. Este decreto reglamenta la explotación de las aguas del Estado, para su aprovechamiento conforme el interés social y procura el máximo bienestar público en la utilización, conservación y administración de las mismas. Decreto Ejecutivo 70 de 1973, "Por el cual se reglamenta el otorgamiento de permisos y concesiones para uso de aguas y se determina la integración y funcionamiento del Consejo Consultivo de Recursos Hidráulicos". Gaceta Oficial 17429, del 11 de septiembre de 1973. Decreto 55 de 13 de junio de 1973, "Por el cual se reglamentan las servidumbres en materia de aguas". Gaceta Oficial 17610, del 07 de junio de 1974. Decreto Ejecutivo 84 de nueve de abril de 2007, "Por el cual se aprueba la Política Nacional de Recursos Hídricos, sus principios, objetivos y líneas de acción". Se establece como segunda línea de acción: "promover la creación de un Instituto Meteorológico e Hidrológico de Panamá". Decreto Ejecutivo 75 del cuatro de junio de 2008, "Por el cual se dicta la norma primaria de calidad ambiental y niveles de calidad para las aguas continentales de uso recreativo, con y sin contacto directo", en su Capítulo III, Artículo ocho, establece que es responsabilidad de la ANAM en coordinación con las demás entidades competentes, realizar los monitoreos periódicos de las aguas continentales donde se desarrollen actividades para uso recreativo con o sin contacto directo. En su Artículo nueve, hace constar que corresponde a los municipios en coordinación con las demás entidades competentes la ejecución de las medidas de mantenimiento, prevención y control de las aguas continentales de uso recreativo con o sin contacto directo y sus áreas aledañas. En el Capítulo V del "Muestreo y Metodología de análisis" en su Artículo 16 establece que la ANAM realizará los análisis de las muestras a través del Laboratorio de Calidad Ambiental o podrá contratar los servicios de laboratorios acreditados, sean estos gubernamentales o privados. Mientras que en su Capítulo VI del "Programa de Supervisión, Control y Fiscalización" en el Artículo 23 dice que los parámetros mínimos de la calidad de las aguas continentales a monitorear serán: pH, temperatura, transparencia, turbiedad y oxígeno disuelto. Los parámetros bacteriológicos serán coliformes fecales (termotolerantes) o estreptococos fecales. En el Artículo 29, del ya mencionado capítulo, se establece que la frecuencia de monitoreo será de dos veces al mes en la

estación seca y una vez al mes en la estación lluviosa.

Resoluciones: Resolución 350 de 2000 o COPANIT 35 de 2000, sobre las descargas de efluentes líquidos directamente a los cuerpos y las masas de aguas superficiales y subterráneas. Resolución 351 de 2000 o COPANIT 39 de 2000, sobre descargas a sistemas de recolección de aguas residuales, acogidas por la ANAM mediante la Resolución AG-0026 de 2002. Resolución AG-0127-2006, "Por la cual se define y establece, de manera transitoria, el caudal ecológico o ambiental para los usuarios de los recursos hídricos del país". Resolución AG-0038-2007, "Por la cual se establece el Comité de Humedales de la República de Panamá". Resolución AG-0842-07, "Que establece los contenidos mínimos de los estudios hidrológicos para proyectos hidroeléctricos".

La fiscalización de estas normas recae parcial o totalmente en la ANAM, que se apoya en su Laboratorio de Calidad Ambiental, tanto para la fiscalización de las descargas de las aguas residuales, como para el monitoreo de la calidad del agua en todas las cuencas del país. Sin embargo, el escaso recurso humano, así como equipamientos e insumos insuficientes en el laboratorio de Calidad Ambiental de la ANAM, son una limitante para efectuar dicha labor. Aunque la ANAM es la institución responsable de liderar el manejo, uso y protección del recurso hídrico, intervienen también otras instituciones como el Ministerio de Salud (MINSA), el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN), la Empresa de Transmisión Eléctrica (ETESA), el Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA) y la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) (ANAM 2011).

10.6. Perspectivas futuras

Luego de lo presentado en este capítulo, hemos identificado los vacíos de conocimiento en el tema de los macroinvertebrados dulceacuícolas, en la conservación de los recursos hídricos y en la aplicación de las normativas existentes en Panamá. Los esfuerzos que como país realicemos en el futuro, deben ser orientados a llenar dichos vacíos en los siguientes aspectos:

1. *Diversidad de los macroinvertebrados dulceacuícolas*: A pesar de que Panamá cuenta con una gran diversidad de ecosistemas dulceacuícolas, nuestro conocimiento sobre su diversidad aún es escaso. Es necesario financiar estudios taxonómicos de los macroinvertebrados dulceacuícolas e incluir este tema como prioritario en la agenda de investigación en Panamá.
2. *Fortalecer la capacidad nacional para la investigación científica en macroinvertebrados dulceacuícolas, a través de las siguientes acciones:*
   a) Incorporar en el plan de estudio de la carrera de Biología materias como: Entomología Acuática, Ecología de Ríos, entre otras, para formar nuevas generaciones de profesionales en biología y ciencias afines, interesados en los estudios de los ríos y su diversidad;
   b) Fomentar estudios taxonómicos e impulsar la formación de taxónomos nacionales, de tal manera que contemos con la capacidad instalada en el país;
   c) Invertir en el desarrollo de colecciones de referencia y en el mantenimiento

de las ya existentes, así como elaborar nuestras propias claves taxonómicas, para contar con las herramientas necesarias para futuras investigaciones.

3. *Ecología de los macroinvertebrados dulceacuícolas:* En Panamá se han realizado un gran número de inventarios en los que han incluido a los macroinvertebrados dulceacuícolas. Sin embargo, son muy escasos los trabajos que profundizan en aspectos ecológicos de estas comunidades. Es necesario que las investigaciones se orienten a la descripción de la estructura de las comunidades, grupos funcionales, diferentes microhábitats, ambientes acuáticos, ecorregiones acuáticas y en diferentes condiciones ambientales, de tal manera que podamos ampliar nuestro conocimiento sobre las exigencias ecológicas de los diferentes grupos de macroinvertebrados. Este conocimiento contribuirá a la conservación y un mejor manejo de los ecosistemas dulceacuícolas en Panamá.
4. *Uso de los macroinvertebrados como indicadores e implementación de índices bióticos:* Es necesario contar con un protocolo que nos permita estandarizar los procedimientos de la toma de los datos en el campo, de tal manera que las muestras sean lo más representativas posible del sistema evaluado y que, la información de campo registrada sirva para hacer las interpretaciones de cada caso. En ese sentido, el Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de la Salud (ICGES), a través de la ejecución del proyecto "Diagnóstico de la Contaminación en Afluentes Superficiales de Panamá" (DICONASPA) y con financiado por el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), adelanta esfuerzos para la elaboración de un protocolo para el monitoreo de la calidad ecológica de los ecosistemas epicontinentales, que se basará en una adaptación del índice BMWP para Panamá (BMWP/PAN) (Cornejo, in prep). Se espera que esta herramienta sirva de apoyo en el cumplimiento del PNGIRH 2010-2030 y la conservación de la salud de los ríos y arroyos en Panamá.
5. *Inclusión de los macroinvertebrados dulceacuícolas en las normativas:* Es necesario que la ANAM exija a los diferentes usuarios del recurso hídrico en Panamá (empresas de generación de energía eléctrica, empresas mineras, empresas turísticas, entre otras) que en sus EsIA y planes de monitoreo, consideren la evaluación de las comunidades de macroinvertebrados; que dichas evaluaciones sean realizadas por personal capacitado específicamente en este campo, ya que de esta manera podremos contar con la información de línea base que nos permita elevar nuestro conocimiento sobre la taxonomía, ecología y distribución de estas especies y el impacto de las actividades antrópicas sobre dichas comunidades. Por otro lado, en las normativas panameñas sólo se considera la evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para la determinación de la calidad del agua. Es necesario validar las herramientas ya existentes que emplean a los macroinvertebrados como indicadores de la calidad ecológica de las aguas, como por ejemplo el BMWP/PAN o bien, definir alguna otra que se demuestre ser efectiva para que sea incluida en la normativa.

6. *Cooperación Interinstitucional:* Es necesario mantener una cooperación entre las universidades, centros de investigación, instituciones gubernamentales y privadas que traten el tema de los macroinvertebrados dulceacuícolas para optimizar los recursos y ampliar los campo de investigación en este grupo, de esta manera lograremos avanzar con el conocimiento de estas comunidades en Panamá.

10.7. Conclusiones

En Panamá se han realizado esfuerzos por conocer la diversidad de especies de vertebrados y plantas, lo que le ha conferido el primer lugar entre los países de la región centroamericana en cuanto al número absoluto de especies conocidas de estos grupos. Sin embargo, el conocimiento de la diversidad en los ecosistemas dulceacuícolas aún es escaso. Como se ha planteado en la sección de estudios taxonómicos, en la mayoría de los grupos de macroinvertebrados documentados contamos con menos del 25% de la diversidad conocida para la región, y en algunos grupos simplemente no contamos con información. La mayor parte de los estudios han sido realizados por investigadores foráneos, que han publicado en revistas especializadas, de distribución o acceso restringido y que, en la mayoría de los casos, no han cumplido con depositar especímenes de referencia en las colecciones nacionales. Estas investigaciones han respondido a los intereses de quienes las han realizado, más que a una agenda nacional de prioridades en investigación.

Por otro lado, el crecimiento económico importante que ha experimentado nuestro país en los últimos años, no necesariamente ha ido de la mano con la implementación de buenas prácticas y políticas ambientales. Aun cuando algunas obras de infraestructura tienen un impacto directo sobre los ecosistemas acuáticos, no siempre se evalúa la fauna asociada. En los pocos estudios en que se han considerado estas comunidades, sólo se han evaluado los moluscos y crustáceos, por su valor económico. En otros casos, sólo se ha hecho una búsqueda de información de fuentes secundarias sin realizar un estudio de estos grupos en el campo. Lo que se podría traducir en la pérdida de una diversidad que nisiquiera conocemos.

A un siglo de la apertura del Canal de Panamá, es en ésta área en donde se ha concentrado la mayor cantidad de información sobre los macroinvertebrados dulceacuícolas y estos estudios han sido generalmente de tipo taxonómico con aportes al conocimiento en los grupos Desmospongiae, Hydrozoa, Turbellaria, Insecta, Crustacea y Mollusca. No obstante, el conocimiento de la ecología de los macroinvertebros en Panamá aún es muy básico, ya que usualmente se han realizado inventarios como temas de tesis de licenciatura o informes ambientales impulsados por proyectos de infraestructura (hidroeléctricas, carreteras, minería, entre otros), que en su mayoría no han sido publicados por lo que son de difícil acceso y muy pocos han profundizado en aspectos ecológicos de estas comunidades.

A pesar de ello, existe un interés por el empleo de los macroinvertebrados como indicadores. Centros académicos, de investigación y ONGs, realizan esfuerzos para el estudio de estas comunidades y el establecimento de herramientas para la evaluación de la calidad ecológica de las aguas. No obstante, algunos

trabajos revisados para la elaboración del presente capítulo han considerado la evaluación de un sólo tipo de sustrato o un sólo tipo de microhábitat para la recolecta de macroinvertebrados y la aplicación de índices bióticos, sin tomar en consideración la heterogeneidad que caracteriza a estas comunidades, lo que evidencia la necesidad de establecer protocolos para estandizar los procedimientos.

Es necesario fortalecer la capacidad nacional para la investigación científica en macroinvertebrados dulceacuícolas en nuestro país e incluir este tema como prioritario dentro de nuestra agenda de investigación. Los estudios deben ser orientados a aumentar nuestro conocimiento sobre la diversidad de estas comunidades y en evaluar sus exigencias ecológicas. Esto se logrará através de la capacitación de estudiantes para que se interesen en la taxononomía de los diferentes grupos de macroinvertebrados; con una mayor inversión gubernamental en el levantamiento de colecciones de referencia y mantenimiento de las ya existentes; con la elaboración de claves taxonómicas autóctonas; con una efectiva colaboración interinstitucional y con la evaluación de estas comunidades de manera obligatoria por parte de los diferentes usuarios del recurso hídrico. De esta manera, podremos contar con la información de línea base que nos permita elevar nuestro conocimiento sobre la taxonomía, ecología y distribución de estas especies, así como el impacto de las actividades antrópicas sobre dichas comunidades para su empleo como bioindicadores.

10.8. Agradecimientos

Al Ministerio de Economía y Finanzas de Panamá (MEF), entidad que financia el Proyecto de Inversión Diagnóstico de la Contaminación de Afluentes Superficiales de Panamá (DICONAS-PA), a cargo de la primera autora (A.C.), a través del cual se financió la búsqueda de información de este capítulo. En el Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de la Salud (ICGES), a Débora Delgado, Carlos Nieto, Nohelys Alvarado y Teresa Abrego, por colaborar en la búsqueda de información en las bibliotecas y centros académicos y a Jaime González por su apoyo. En la Universidad Autónoma de Chiriquí, a Tomás Ríos, Yosiat Vega, Yusseff Aguirre y Angélica Rodríguez, por contribuir en la búsqueda de información en las diferentes bibliotecas y centros académicos de la provincia de Chiriquí. A la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT), por financiar algunos estudios de ambos autores de este capítulo; en el caso del segundo autor (JB), a través de Sistema Nacional de Investigadores (SNI). En la Universidad de Panamá a Aramis Aversa, Luis D´Croz, Jorge García, Yolanda Águila, Enrique Medianero, por brindar artículos y datos para ubicar algunos documentos de difícil acceso. En el Museo de Invertebrados G. B. Fairchild de la Universidad de Panamá (MIUP), a Diomedes Quintero, Roberto Cambra y Alonso Santos, por brindarnos información sobre los especímenes tipos de insectos acuáticos e insectos adultos terrestres con inmaduros de vida acuática depositados en dicho museo. En el Museo de Malacología de la Universidad de Panamá (MUMAUP), a Darío Córdoba por brindarnos información sobre los especímenes depositados en dicho museo. En Centro Regional Universitario de Veraguas (CRUV) Viterbo Rodríguez, por facilitar algunos artículos científicos de su autoría. En la Universidad Marítima de Panamá (UMP), a Humberto Garcés, por facilitar infor-

mación sobre los estudios de los macroinvertebrados en lagos. En el Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales a Annette Aiello y Edwin Domínguez del Museo de Invertebrados, por facilitarnos información sobre el contenido de insectos en dicho museo. En la Universidad del País Vasco y el IKERBASQUE, España, a Luz Boyero, por sus aportes a los resúmenes de las publicaciones de su autoría. En el Museo de Historia Natural de Ciencias Naturales de Madrid, España, a Antonio García Valdecasas por sus comentarios a la sección de ácaros y brindar información sobre los invertebrados recolectados en Coiba, depositados en dicho museo. En el Instituto de Biodiversidad Neotropical de la Universidad Nacional de Tucumán, a Eduardo Domínguez, por sus aportes a la sección de Ephemeroptera. Finalmente, pero no menos importante, a todos los miembros de la Red de Macroinvertebrados Dulceacuícolas de Mesoamérica (MADMESO), por impulsar esta iniciativa que sabemos será de gran provecho para el avance en el conocimiento de los macroinvertebrados de la región.

10.9. Literatura citada

ACP (Autoridad del Canal de Panamá). 2004. Tropical lake ecology assessment with emphasis on changes in salinity of lakes. Project No.SAA-140714. Technical Memorandum # 2. Inventory of flora and fauna.

ACP (Autoridad del Canal de Panamá). 2007. Informe del Estado Ambiental de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá. República de Panamá, Panamá.

Abele, L. 1972. Comparative habitat diversity and faunal relationships between the Pacific and Caribbean Panamanian Decapod Crustacea: A preliminary report, with some remarks on the Crustacean Fauna of Panama. *Bulletin of the Biological Society of Washington* No. 2: 125-138.

Abele, L. 1975a. The decapod crustaceans on the Panama Canal and adjacent waters. Special Reports to the Panama Canal Company.

Abele, L. 1975b. A New Species from freshwater shrimp (Genus *Atya*) from the Pacific Drainages of Panama, *Proceedings of the Biological Society of Washington* 88(6): 51-58.

Abele, L. y Blum, N. 1977. Ecological Aspect of the Freshwater Decapod Crustaceans of the Perlas Archipielago, Panama. *Biotropica* 9(4): 239-252.

Abele, L., y Kim, W. 1989. The decapod crustaceans of the Panama Canal. *Smithsonian Contributions to Zoology* 482: 1-60.

Adames, A. 1977. Evaluación ambiental y efectos del proyecto hidroeléctrico Fortuna. Informe Final. *Revista Lotería* 254-256: 1-538.

Adames, A. 1980. Evaluación Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico Changuinola-I. Informe Final. Laboratorio Conmemorativo Gorgas para IRHE.

Adames, A. 1983. Evaluación Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico Tabasará. Informe Final Integrado. Laboratorio Conmemorativo Gorgas, Panamá.

Adames, A. 1997. Entomofauna de importancia médico veterinaria en la cuenca hidrográfica del canal de Panamá. *Scientia* 12: 199-233.

Adames, A. y Galindo, P. 1999. Clave genérica para la identificación de las hembras de mosquitos de Panamá. *Scientia* 14(1): 9-16.

Águila, Y. 1992. Systematic catalogue of the caddisflies of Panama (Trichoptera). pp. 532-548.En: Quintero, D. y A. Aiello (eds.), Insects of Panama and Mesoamerica: Selected Studies. Oxford University Press, New York.

Águila, Y. y García, A. 2011. Utilización de asociaciones de macroinvertebrados potencialmente indicadoras (API´s) para discriminar aguas de diferente calidad. *Tecnociencia* 13(2): 109-120.

Águila, Y. y García, A. 2012. Descripción de la comunidad de macroinvertebrados asociados a hojarasca y su relación con aguas de diferente calidad, en Nuevo San Juan y Chilibre, Panamá. *Tecnociencia* 14(1): 103-118.

ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente). 2004. Informe del estado de ambiente, GEO (Global Environmental Outlook) Panamá. Editora Novo Art, S.A.

ANAM-ACP. 2006. Convenio de Cooperación ANAM-ACP. Monitoreo de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá. Informe: Componente de Calidad de Agua Región Oriental de la Cuenca del Canal.

ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente). 2006. Informe: El Sistema Nacional de Áreas Protegidas. Editora Novo Art, S.A.

ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente). 2009a. Informe del estado del ambiente. Editora Novo Art, S.A.

ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente). 2009b. Informe de monitoreo de la calidad del agua en las cuencas hidrográficas de Panamá. Compendio de resultados años 2002-2008. Editora Novo Art, S.A.

ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente). 2011. Plan nacional de gestión integrada de recursos hídricos de la república de Panamá, 2010-2030. Editora Novo Art, S.A.

Araúz, B., Amores, B. y Medianero, E. 2000. Diversidad de distribución de insectos acuáticos a lo largo del cauce del Río Chico (provincia de Chiriquí, República de Panamá). *Scientia* 15(1): 27-45.

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.

Bernal-Vega, J.A. y Castillo, H.M. 2012. Diversidad, distribución de los insectos acuáticos y calidad del agua de la subcuenca alta y media del río Mula, Chiriquí, Panamá. *Tecnociencia* 14(1): 35-52.

Blahnik, R.J. 1998. A revision of the Neotropical members of the genus *Chimarra* subgenus Chimarra (Trichoptera: Philopotamidae). *Memoirs of the American Entomological Institute* 59: 1-318.

Blahnik, R.J. y Holzenthal, R.W. 2006. Revision of the genus *Culoptila* (Trichoptera: Glossosomatidae). *Zootaxa.* 1233: 1-52.

Blahnik, R.J. y Holzenthal, R.W. 2008. Revision of the Mexican and Central American species of *Mortoniella* (Trichoptera: Glossosomatidae: Protoptilinae). *Zootaxa.* 1711: 1-72.

Boyero, L. y Bailey, R. 2001. Organization of macroinvertebrate communities at a hierarchy of spatial scales in a tropical stream. *Hydrobiologia* 464: 219-225.

Boyero, L. y De Lope, J. 2002. Short-term recolonization of stones in a tropical island stream. *Marine and Freshwater Research* 53: 993-998.

Boyero, L. y Bosch, J. 2004. The effect of riffle-scale environmental variability on macroinvertebrate assemblages in a tropical stream. *Hydrobiologia* 524: 125-132.

Boyero, L., Pearson R.G., Dudgeon D., Ferreira V., Graça M.A.S., Boulton A.J., Chauvet E., Yule C.M., Albariño R.J., Ramírez A., Helson J., Callisto M., Arunachalam M., Chará J., Figueroa R., Mathooko J.M., Gonçalves J.F. Jr., Moretti M.S., Chará A.M., Davies J.N., Encalada A., Lamothe S., Buria L.M., Castela J., Cornejo A., Li A.O.Y., M'Erimba C., Villanueva V.D., Zúñiga M.C., Swan C. y Barmuta, L.A. 2012. Global patterns of distribution in stream detritivores: implications for biodiversity loss in changing climates. *Global Ecology and Biogeography* 21: 134-141.

Boyero, L., Pearson, R.G., Dudgeon, D., Graça, M.A.S., Gessner, M.O., Albariño, R.J., Ferreira, V., Yule, C.M., Boulton, A.J., Arunachalam, M., Callisto, M., Chauvet, E., Ramírez, A., Chará, J., Moretti, M.S., Gonçalves, J.F. Jr., Helson, J., Chará, A.M., Encalada, A., Davies, J.N., Lamothe, S., Cornejo, A., Castela, J., Aggie, O.Y., Buria, L.M., Villanueva, V.D. y Zúñiga, M.C. 2011. Global distribution of a key trophic guild contrasts with common latitudinal diversity patterns. *Ecology* 92(9): 1839-1848.

Boyero, L., Pearson R.G., Gessner M.O., Barmuta L., Ferreira V., Graça M.A.S, Dudgeon D., Boulton A.J., Callisto M., Chauvet E., Helson J., Bruder A., Albariño R.J., Yule C.M., Arunachalam M., Davies J.N., Figueroa R., Flecker A.S., Ramírez A., Death R.G., Iwata T., Mathooko J.M., Mathuriau C., Gonçalves J.F. Jr., Moretti M.S., Jingut T., Lamothe S., M'Erimba C., Ratnarajah L., Schindler M.H., Castela J., Buria L.M., Cornejo A., Villanueva V.D. y West, D.C. 2011. A global experiment suggests climate warming will not accelerate litter decomposition in streams but might reduce carbon sequestration. *Ecology Letters* 14: 289-294.

Bueno-Soria, J. 2009. A review of the genus *Ochrotrichia* Mosely (Trichoptera: Hydroptilidae) from Mexico and Central America. *Transactions of the American Entomological Society* 135(1): 59-160.

Bueno-Soria, J. y Santiago-Fragoso, S. 1997. Studies of aquatic insects XII: Descriptions of nineteen new species of the genus *Ochrotrichia* Mosely (Trichoptera: Hydroptilidae) from Mexico and Central America. *Proceedings of the Entomological Society of Washington* 99(2): 359-373.

Bueno-Soria, J. y Santiago-Fragoso, S. 2002. Description of five new species of the genus *Metrichia* Ross (Trichoptera: Hydroptilidae) from Panama. *Transactions of the American Entomological Society* 128: 245-254.

Bueno-Soria, J. y Holzenthal, R.W. 2004. New species of the genus *Ochrotrichia* Mosely (Trichoptera; Hydroptilidae) from Mexico and Panama. *Transactions of the American Entomological Society* 130(2+3): 245-269.

Bueno-Soria, J., Santiago-Fragoso, S. y Barba-Alvarez, R. (2004). More new Trichoptera from Mexico and Panama. *Transactions of the American Entomological Society* 130(4):479-486.

Brown, B. V., Borkent, A., Cumming, J.M., Wood, D.M., Woodley N.E. y Zumbado, M. A. 2009. Manual of Central American Diptera. National Council of Canada, Research Press Ottawa, Ontario, Canada. Vol. 1: 714.

Brown, B. V., Borkent, A., Cumming, J.M., Wood, D.M., Woodley N.E. y M. A. Zumbado. 2010. Manual of Central American Diptera. National Council of Canada, Research Press Ottawa, Ontario, Canada, Vol. 2: 728.

Camacho, A.I., Bello, E. y García-Valdecasas, A. 1997. Los invertebrados de agua dulce de la Isla de Coiba (Panamá). pp 127-153. En: Castroviejo, S. (ed.), Flora u Fauna del Parque Nacional de Coiba (Panamá) Inventario Preliminar. Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI), Serviprint, Madrid.

Camacho, R.L.B., Cornejo, A., Ibáñez, A. y Pearson, R.G. 2009. Local variation in shredder distribution can explain their oversight in tropical streams. *Biotropica* 41(5): 625-632.

Campos, M. y Lemaintre, R. 1999. Two new freshwater crabs of the genus *Ptychophallus* Smalley, 1964 (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Pseudothelphusidae) from Panama, with notes on the distribution of the genus. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 112(3): 553-561.

Campos, M. y Lemaintre, R. 2002. A new species of freshwater crabs of the genus *Potamocarcinus* H. Milne Edwards, 1853 (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Pseudothelphusidae) from Panama. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 115(3): 600-604.

Candanedo, C. y D´Croz, L. 1983. Ecosistemas acuáticos del Lago Bayano: un embalse tropical. Panamá, Publicación Técnica. Dirección de Ingeniería, Departamento de Hidrometeorología del Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación.

Calzada, J. E., Saldaña, A., Rigg, Ch., Valderrama, A., Romero, L. y Chaves L.F. 2013. Changes in Phlebotomine sand fly species composition following insecticide thermal fogging in a rural setting of Western Panamá. *PlosOne* 8(1) 1-10.

Castroviejo, S. 1997. Flora y Fauna del Parque Nacional de Coiba (Panamá) Inventario Preliminar. AECI, Madrid.

Chaverri, G. 2005. Lista de las Especies de Zancudos (Diptera: Culicidae) en México, Centroamérica y Panamá. Distribución de Culicidae de México-Panamá. Disponible en: http://www.inbio.ac.cr/papers/lista_culicidae_mexico_centroamerica_panama/frameset.html). (Obtenido el 7 de noviembre de 2013).

Chaves, L.F., Calzada, J.E., Rigg, Ch., Valderrama, A., Gottdenker, N.L. y Saldaña, A. 2013. Leishmaniasis sand fly vector density reduction is less marked in destitute housing after insecticide thermal fogging. *Parasites and Vectors* 6: 164.

Christensen, H., Fairchild, G.B., Herrer, A., Johnson, C., Young, D. y de Vásquez, A. 1983. The ecology of cutaneous leishmaniasis in the Republic of Panama. *Journal of Medical Entomology* 20: 463-484.

Contreras-Ramos, A. 1999. List of Species of Neotropical Megaloptera (Neuropterida). *Proceedings of the Entomological Society of Washington* 101(2): 274-284.

Cornejo, A. y Amores, R. 2003. Estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y su relación con la urbanización en la cuenca del río Coco Solo, Provincia de Colón, Panamá. *Scientia* 18(1): 7-24.

Cornejo, A. 2004. Entomofauna terrestre y acuática en la Reserva Forestal El Montuoso. Capítulo 3, diversidad biológica, pp. 71-92. En: Garibaldi, C. (ed.), Diversidad Biológica y Servicios Ambientales de los Fragmentos de Bosques en la Reserva Forestal el Montuoso, Panamá. Imprenta Universal Books.

Cornejo, A. y Boyero, L. 2008. Macroinvertebrados acuáticos. Vol. 2, pp. 423-493, En: Lasso, E., Sanjur, O. y E. Bermingham (eds.), Inventario de flora y fauna en la Cuenca del río Changuinola (Bosque Protector de Palo Seco, Bocas del Toro, República de Panamá). Smithsonian Tropical Research Institute.

Cover, M.R. y Resh, V.H. 2008. Global diversity of dobsonflies, fishflies, and alderflies (Megaloptera; Insecta) and spongillaflies, nevrorthids, and osmylids (Neuroptera; Insecta) in freshwater. *Hydrobiologia* 59: 409-417.

Curry, D.P. 1931. *Anopheles* (*Anopheles*) *neomaculipalpus*. A new species of the *Arribalzagaia* group of *Anopheles* from Panama. *The American Journal of Higiene* 13(2): 643-647.

Flores De G., E., Gallardo, M. y Núñez, E. (eds.). 2010. Inventario de los Humedales Continentales y Costeros de Panamá. CREHO (Centro Regional Ramsar para la Capacitación e Investigación sobre Humedales para el Hemisferio Occidental), Panamá.

Del Rosario, J. y Águila, Y. 1986. Invertebrados bentónicos del estuario del río Chiriquí. En: Hernández, D. y L. D'Croz (eds.). Evaluación ecológica del río Chiriquí en relación a la construcción de la represa hidroeléctrica Edwin Fábrega. Publicación Técnica. Departamento de Manejo de Cuencas del Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación y el Centro de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad de Panamá.

De Moore, F.C. y Ivanov, V.D. 2008. Global diversity of caddisflies (Trichoptera: Insecta) in freshwater. *Hydrobiologia* 595 (1): 393-407.

Donnelly, T.W. 1992. The Odonata of Central Panama and their position in the neotropical odonate fauna, with a checklist, and descriptions of new species. Insects of Panama and Mesoamerica select studies. pp. 52-90. En: Quintero, D. y A. Aiello (eds.), Insects of Panama and Mesoamerica: Selected Studies. Oxford University Press, New York.

Estudios Ambientales, S.A. 1993. Estudios de Impacto Ambiental en el Área de Influencia del Oleoducto Transístmico Chiriquí-Bocas del Toro. Informe Final: Limnología. Volumen I y II.

ETESA (Empresa de Transmisión Eléctrica S.A.). 2009. Cuencas hidrográficas de Panamá. Disponible en: www.hidromet.com.pa/cuencas.php. (Obtenido el 21 de agosto de 2012).

Fairchild, G.B. 1951. Some nomenclatorial notes on Psychodidae (Diptera). *Bulletin of the Brooklyn Entomological Society* 156(1): 10-18.

Fairchild, G.B. 1951. Descriptions and notes on Neotropical Tabanidae. *Annals of the Entomological Society of America* 44(3): 441-462.

Fairchild, G.B. 1952. Notes on *Bruchomyia* and *Nemopalpus* (Diptera, Psychodidae). *Annals of the Entomological Society of America* 45: 259-280.

Fairchild, G.B. 1953. Notes on Neotropical Tabanidae (Diptera) with description of new species. *Annals of the Entomological Society of America* 46: 261-280.

Fairchild, G.B. 1955. The relationships and classification of the Phlebotominae (Diptera, Psychodidae). *Annals of the Entomological Society of America* 48: 182-196.

Fairchild, G.B. 1958. Notes on Neotropical Tabanidae (Diptera) II. Descriptions of new species and new records for Panama. *Annals of the Entomological Society of America* 51:517-530.

Fairchild, G.B. y Hertig, M. 1948. Notes on the *Phlebotomus* of Panama (Diptera, Psychodidae). IV *P. atroclavatus* Kanb *P. cayennensis* Floch and Abonnenc, *P. chiapanensis* Dampf and some related forms from the West Indies and Mexico. *Annals of the Entomological Society of America* 151: 455-467.

Fairchild, G.B. y Hertig, M. 1951. Notes on the *Phlebotomus* of Panama (Diptera, Psychodidae). VII The subgenus *Shannonomyina* Pratt. *Annals of the Entomological Society of America* 44(3): 399-421.

Fairchild, G.B., y Hertig, M. 1952a. Notes on the *Phlebotomus* of Panama. (Diptera, Psychodidae). VIII Two new species of *Warileya*. *Annals of the Entomological Society of America* 44(3): 422-429.

Fairchild, G.B., y Hertig, M. 1952b. Notes on the *Phlebotomus* of Panama. (Diptera: Psychodidae). IX Descriptions of seven new species. *Annals of the Entomological Society of America* 45: 504-528.

Fairchild, G.B., y Hertig, M. 1952c. Notes on the *Phlebotomus* of Panama. (Diptera: Psychodidae). XI The male of *P. cruciatus* Coq. and notes on related species. *Annals of the Entomological Society of America* 46: 373-385.

Fairchild, G.B. y Hertig, M. 1953. Notes on the *Phlebotomus* of Panama (Diptera, Psychodidae). X *P. aragaoi, P. barrettoi* and two new species. *Annals of the Entomological Society of America* 46: 21-34.

Fairchild, G.B. y Hertig, M. 1956. Notes on the *Phlebotomus* of Panama (Diptera: Psychodidae). XII The group *Anthophorus*, with descriptions of four new species from Panama and Mexico. *Annals of the Entomological Society of America* 49: 307-312.

Fairchild, G.B. y Hertig, M. 1957. Notes on the *Phlebotomus* of Panama. (Diptera: Psychodidae). XIII The vexator group, with descriptions of new species from Panama and California. *Annals of the Entomological Society of America* 50: 325-334.

Fairchild, G.B., y Hertig, M. 1958a. Notes on the *Phlebotomus* of Panama (Diptera: Psychodidae). XIV *P. verspertilionis* and related species. *Annals of the Entomological Society of America* 51: 509-516.

Fairchild, G.B., y Hertig, M. 1958b. Notes on the *Phlebotomus* of Panama. (Diptera: Psychodidae). XV Four apparently new synonymies (Diptera, Psychodidae). *Proceedings Entomology Society of Washington* 60(5): 203-205.

Fairchild, G.B., y Hertig, M. 1959. Geographic distribution of the *Phlebotomus* sandflies of Central America (Diptera: Psychodidae). *Annals of the Entomological Society of America* 52: 121-124.

Fairchild, G.B. y Trapido, H. 1950. The West Indian species of *Phlebotomus* (Diptera: Psychodidae). *Annals of the Entomological Society of America* 43(1): 405-417.

Felgenhauer, B.E. y Martin, J.W. 1983. *Atya abelei*, a new Atyid shrimp (Crustacea, Decapoda, Atyidae) from the pacific slope of Panama, *Proceedings of the Biological Society of Washington* 96(2): 333-338.

Flint, O.S., Jr. 1998. Studies of Neotropical caddisflies. LIII: A taxonomic revision of the subgenus *Curgia* of the genus *Chimarra* (Trichoptera: Philopotamidae). *Smithsonian Contributions to Zoology* 594: 1-131.

Flowers, R.W. 1991. Diversity of stream-living insects in northwestern Panamá. *Journal of the North American Benthological Society* 10(3): 322-334.

Flowers, R.W. 1992. Review of the genera of mayflies of Panama, with a checklist of Panamanian and Costa Rican species (Ephemeroptera). Pp. 611-632. En: Quintero, D. y A. Aiello (eds.), Insects of Panama and Mesoamerica: Selected Studies. Oxford University Press, New York.

Froeschner, R.C. 1999. True bugs (Heteroptera) of Panama: a synoptic catalog as a contribution to the study of Panamanian biodiversity. *Memoirs of the American Entomological Institute* 61: 1-393.

Froehlich, C.G. 2010. Catalogue of Neotropical Plecoptera. *Illiesia* 6(12): 118-205.

Fundación de Parques Nacionales y Medio Ambiente. 2007. Informe sobre el estado de conocimiento y conservación de la biodiversidad y de las especies de vertebrados de Panamá: Informe final.

Gaffigan, T.V., Wilkerson, R.C., Pecor, J.E., Stoffer, J.A. y Anderson, T. 2014. Systematic Catalogo of Culicidae. Disponible en: http://www.mosquitocatalog.org/. (Obtenido el 3 de abril de 2014).

Galindo, P. y Blanton, F. 1954. Nine new species of Neotropical *Culex*, eight from Panama and from Honduras (Diptera, Culicidae). *Annals of the Entomological Society of America* 47(2): 231-247.

Galindo, P. y Blanton, F.S. 1955. An annotated list of the *Culex* of Panama (Diptera, Culicidae). *Proceedings Entomology Society of Washington* 57(2): 68-74.

Galindo, P., Blanton, F.S. y Peyton, E.L. 1954. A revisión of the *Uranotaenia* of Panama with notes on other American species of the genus (Diptera, Culicidae). *Annals Entomological Society of America* 54(1): 107-177.

Galindo, P., Carpenter, S.J., y Trapido, H. 1949. Notes on forest mosquitos of Panama. I. *Haemagogus spegazzinii* Falco Kumm *et al*., *Haemagogus iridicolor* Dyar, *Anopheles* (*Lophopodomyia*) *squamifemur* Antunes, and *Anopheles* (*Anopheles*) *fausti* Vargas, four new records for the country. *Proceedings Entomology Society of Washington* 51(6): 277-278.

Galindo, P., Carpenter, S.J. y Trapido, H. 1951a. Descriptions of two new species of *Wyeomyia* and the male of *Sabathes tarsopus* Dyar and Knab. *Proceedings Entomology Society of Washington* 53(2): 86-96.

Galindo, P., Carpenter, S.J. y Trapido, H. 1951b. Wesward extensión of the range of *Haemagogus spegazzinii* Falco Kumm *et al*., into Costa Rica. *Proceedings Entomology Society of Washington* 53(2): 104-106.

Galindo, P., Carpenter, S.J. y Trapido, H. 1952. The taxonomic status of the *Aedes leucocelaenus* complex with descriptions of two new forms (Diptera, Culicidae). *Annals of the Entomological Society of America* 45(1): 529-542.

Galindo, P. y Méndez, E. 1961. Descriptions of four new species of *Culex* from Panama. (Diptera, Culicidae). *Annals of the Entomological Society of America* 54(1): 1-4.

Garcés, H.A. 2002. Fauna acuática asociada al río San Félix, provincia de Chiriquí, República de Panamá. *Tecnociencia* 4(2): 73-86.

Garcés, H.A. 2005. Inventario preliminar de los principales sistemas lacustres encontrados en la República de Panamá. *Tecnociencia* 7(2): 159-171.

Garcés, H.A. y García, J. 2003. Caracterización de la infauna bentónica asociada al proyecto profundización del cauce de navegación del Canal de Panamá. Cuarto informe de Avance. CCML Para ACP. Unidad de Calidad del Agua, Balboa, Panamá.

Garcés, H.A. y García, J. 2004. Colecta y análisis de muestras biológicas de los Lagos Gatún y Miraflores, No 3: Bentos. Centro de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad de Panamá, 35p. Disponible en: https://docs.micanaldepanama.com/planmaestro/Study_Plan/Environmental_and_Social/Baseline_Studies/Colecta_y_analisis_de_muestras_biologicas/0310-03.pdf. (Obtenido el 27 de julio de 2013).

García, J., Aversa, A. y Núñez, M. 2004. Colecta y análisis de muestras biológicas de los Lagos Gatún y Miraflores, No. 5: Macroinvertebrados. Centro de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad de Panamá. 35p. Disponible en: https://docs.micanaldepanama.com/planmaestro/Study_Plan/Environmental_and_Social/Baseline_Studies/Colecta_y_analisis_de_muestras_biologicas/0310-03.pdf. (Obtenido el 27 de julio de 2013).

García, J., Cornejo, A. y Pérez, M. 1996. Ecosistemas acuáticos, pp. 8:1-22. En: Valdespino, I.A., Santamaría, D., Ijjász, E., Ebersole, E., Warner, R. y L. Solórzano-Vincent (eds.), Evaluación ecológica terrestre y acuática rápida del Proyecto Minero de Petaquilla. ICF Kaiser-Asociación Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ANCON).

Gliwicz, Z.M. y Biesiadka, E. 1975. Pelagic water mites (Hydracarina) and their effect on the plancton community in a Neotropical man-made lake. *Archiv für Hydrobiologie* 76 (1): 65-88.

Greenberg, M. J. 1975. The Molluses of the Panama Canal: the effect of increased salinity on distribution. Special Report to the Panama Canal Company.

Goodyear, R., Martínez V. y Del Rosario, J.B. 1977. Apéndice No. 4. Fauna acuática. Pp 265-334. En: Adames, A.J. (ed.). Evaluación ambiental y efectos del proyecto hidroeléctrico Fortuna. Informe Final. *Revista Lotería* 254-256: 1-538.

Goodyear, R., Martínez V. y Del Rosario, J.B. 1982. Migración masiva de un camarón de río Atyidae (*Atya crassa*) como consecuencia del cierre del río Bayano, República de Panamá. *Conciencia* 9(2): 8-9.

Gorgas, W.C. 1918. Sanitation in Panama. D. Appleton Company, New York and London.

Guinard, J., Ríos, T. y Bernal-Vega, J.A. 2013. Diversidad, abundancia de macroinvertebrados acuáticos y calidad del agua de la cuenca alta y baja del río Gariché, provincia de Chiriquí, Panamá. *Gestión y Ambiente* 16(2): 61-70.

Gutiérrez, R., R. Amores, R., González, R., Arcia, E., Bravo, R. y Yansic, R. 1995. Inventario biológico del Canal de Panamá. Parte I: Estudio de aguas continentales. *Scientia* Número Especial 4: 17-81.

Harper, P.P. 1992. Stoneflies of Panama (Plecoptera). pp. 114-121. En: Quintero, D. y A. Aiello (eds.), Insects of Panama and Mesoamerica: Selected Studies. Oxford University Press, New York.

Harris, S. y Holzenthal, R. 1999. Hydroptilidae (Trichoptera) of Costa Rica: the species *Hydroptila dalma*. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 34(1): 16-51.

Harris, S.C. y Tieman, S.G. 1993. New Species of *Neotrichia* from Texas and Panama, with a preliminary review of the *N. canixa* group (Trichoptera: Hydroptilidae). *Proceedings of the Entomological Society of Washington* 95(2): 286-292.

Harris, S.C. y Flint, O. 2002. New *Alisotrichia* (Trichoptera: Hydroptilidae) from Central and South America and the Greater Antilles. *Proceedings of the Entomological Society of Washington,* 104(1): 195-210.

Harris, S.C., Flint, O. y Holzenthal, R. 2002. Review of the Neotropical *Flintiella* (Trichoptera: Hydroptilidae: Stactobiini). *Journal New York Entomological Society* 110(1): 65-90.

Harris, S.C., Holzenthal, R. y Flint, O. 2002. Review of the Neotropical *Bredinia* (Trichoptera: Hydroptilidae: Stactobiini). *Annals of Carnigie Museum* 71(1): 13-45.

Helson, J.E. y Williams D.D. 2013. Development of a macroinvertebrate multimetric index for the assessment of low-land streams in the neotropics. *Ecological Indicator* 29: 167-178.

Henry, Ch.S., Penny, N.D. y Adams, P.A. 1992. The neuropteroids orders of Central America (Neuroptera and Megaloptera), pp. 432-458. En: Quintero, D. y A. Aiello (eds.), Insects of Panama and Mesoamerica: Selected Studies. Oxford University Press, New York.

Hernández, D. y D'Croz, L. 1986. Evaluación ecológica del río Chiriquí en relación a la construcción de la represa hidroeléctrica Edwin Fábrega. Publicación Técnica. Departamento de Manejo de Cuencas del Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación y el Centro de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad de Panamá.

Hernández, T. 2009. El Canal de Panamá y los avances en la Salud Pública. *Revista de Humanidades* 8(1): 3-15

Hildebrand, S.F. 1939. The Panama Canal as a passaway for fishes, with list and remarks on the fishes and invertebrates observed. *Zoologica* 24(1): 15-45.

Hobbs, H.H., Jr. y Hart, C.W. Jr. 1982. The Shrimp Genus *Atya* (Decapoda: Atyidae). *Smithsonian Contributions to Zoology* 364: 1-143.

Hogue, C.L. 1975. Possible effects of sea water introduction to the habitats of aquatic insects in Gatun Lake. Special Report to Panama Canal Company.

Holthuis, L.B. 1950. Preliminary description of twelve new species of Palaemonid praws from American waters. *Proceeding of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen*. 53: 93-99.

Hyman, L.B. 1957. A few Turbellarians from Trinidad and the Canal Zone, with corrective remarks. *American Museum of Natural History* N° 1862: 1-8.

Johanson, K.A. 2003. The *Helicopsyche (Feropsyche)* (Insecta, Trichoptera, Helicopsychidae) from Barro Colorado Island, Panama. *Zootaxa* 283: 1-12.

Johanson, K.A. y Malm, T. 2006. Seven New *Helicopsyche (Feropsyche)* Johanson, 2002 from the Neotropical Region and Neartic Mexico (Insecta: Trichoptera: Helicopsychidae). *Zootaxa* 1208: 1-24.

Johnson, J. 2008. Conservación de la Cuenca del Canal de Panamá. Diagnostico Técnico de la Subcuenca del Rio Chagres – Lago Alajuela. Elaborado para el Proyecto USAID-CBC, Ciudad de Panamá.

Jones, M.L. y Rützler, K. 1975. Invertebrates of the Upper Chamber, Gatún Locks, Panama Canal, with emphasis on *Trochospongila leidii* (Porifera). *Marine Biology* 33: 57-66.

Karr, J.R. y Chu, E.W. 1999. Restoring Life in URNG Waters: Better Biological Monitoring. Island Press, Washington, D.C.

Kenk, R. 1975. Freshwater Triclads (Turbellaria) of North America. VIII. *Dugesia Arizonensis*, New Species. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 88(12): 113-120.

Komp, W.H.W. y Curry, D.P. 1932. A new *Culex* from Panama (Diptera, Culicidae). *Psyche* 39(3): 82-84.

Ley 41 General del Ambiente de 1 de julio 1998. "Por la cual se dicta la Ley General del Ambiente y se Crea la Autoridad Nacional de Ambiente". Publicada en la Gaceta Oficial N° 23,578, 3 de julio de 1998.

Loaiza, J.R., Scott, M.E., Bermingham, E., Sanjur, O.I., Rovira, J.R., Dutari, L.C., Linton, Y.M., Bickersmith, S. y Conn, J.E. 2013. Novel genetic diversity within *Anopheles punctimacula s.l.*: Phylogenetic discrepancy between the Barcode cytochrome c oxidase I gene and the rDNA second internal transcribed spacer. *Acta Tropica* 128(1): 61-9.

Loaiza, J.R., Scott, M.E., Bermingham, E., Rovira, J., Sanjur, O. y Conn J.E. 2009. Short report: *Anopheles darlingi* in Panama. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 81: 23-26.

Loaiza, J.R., Bermingham, E., Scott, M.E., Rovira, J. y Conn, J.E. 2008. Species composition and distribution of adult *Anopheles* (Diptera: Culicidae) in Panama. *Journal of Medical Entomology* 45(5): 841-851.

Lombardo, R. y Rodríguez, V. 2007. Entomofauna acuática asociada a la parte media-baja del río Santa María, Provincia de Veraguas, República de Panamá. *Tecnociencia* 9(1): 89-100.

Lombardo, R. y Rodríguez, V. 2008. Calidad biológica del agua de la parte media-baja del Río Santa María, Provincia de Veraguas, República de Panamá. *Tecnociencia* 10(1): 19-32.

Lugo-Ortiz, C.R. y McCafferty, W.P. 1996. New Central American and Mexican records of Ephemeroptera species. *Entomological News* 107(5): 303-310.

Magalhães, C., Campos, M. y Türkay, M. 1996. Taxonomy of the Neotropical Freshwater Crab Family Trichodactylidae II. The Genera *Forsteria, Melocarcinus, Sylviocarcinus,* and *Zilchiopsis* (Crustacea: Decapoda: Brachyura). *Senckenbergiana Biologica* 75(1/2): 97-130.

Magalhães, C., Campos, M. y Türkay, M. 2013. Freshwater Crabs from Eastern Panama: A new species of *Potamocarcinus.* H. Milne Edwards, 1853, and new records of two little-Known species (Crustacea: Decapoda: Pseudothelphusidae, Trichodactylidae). *Zootaxa* 3702 (4): 348-356.

Martínez, V., Goodyear, R.H. y Muschett, D. 1981. Informe sobre la mortandad de animales acuáticos en el cauce del río Bayano. *Conciencia* 8(2): 5-7.

McCafferty, W.P. y Lugo-Ortiz, C.R. 1998. The adult of *Moribaetis macaferti* (Ephemeroptera: Baetidae). *Entomological News* 109(2): 117-121.

Medianero, E. y Samaniego, M. 2004. Comunidad de insectos acuáticos asociados a condiciones de contaminación en el río Curundú, Panamá. *Folia Entomológica Mexicana* 43(003): 279-294.

MINAE (Ministerio Nacional de Ambiente y Energía). 2007. Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales: Capítulo IV: Monitoreo Biológico. La Gaceta Diario oficial de Costa Rica 178: 3-4.

Méndez, E. y Petersen, J. 1981. Perfil médico y veterinario de los simúlidos en Panamá. *Revista Médica de Panamá* 8(3): 212-221.

Moreira, F.F. 2013. Water bugs distributional database. Disponible en: https://sites.google.com/site/distributionaldatabase/. (Obtenido el 15 de agosto de 2013).

Morrison, J.P.E. 1946. The Nonmarine Mollusks of San José Island, with Notes on those of Pedro González Island, Pearl Island, Panama. *Smithsonian Miscellaneous Collections* 106(6): 1–49.

Morse, J.C. 2013. Trichoptera de Panamá. Disponible en: http://www.coleoptera-neotropical.org/6_Arthropoda/6qi_Trichoptera/opais/Trich-Panama. (Obtenido el 17 de agosto de 2013).

Navas, D., Korytkowski C., Barrios H., Águila Y., Carranza R., Rojas R. y Ying de Turner, A. 1995. Inventario biológico del Canal de Panamá. Parte II: Estudio entomológico. *Scientia* (Panamá) Número Especial 4: 231-254.

Nobili, G. 1896. Di un nuovo genere di crostacei decapodi raccolto nel Darien dal dott. E. *Festa dei Musei Bolletino di Zoologia ed Anatomia Comparata della R. Università di Torino* 11 (238): 1-2.

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 chinches patinadores (Hemiptera: Gerridae) en Costa Rica. Tesis de Licenciatura, Escuela de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Parfin, S.I. y Gurney, A.B. 1956. The spongilla-flies, with special referente to those of Western Hemisphere (Sisyridae, Neuroptera). *Proceeding United States National Museum* 105: 421-529.

Paulson, D. 2013. Middle America Odonata, by country. University of Puget Sound, Tacoma, Washington, USA. Disponible en: www.pugetsound.edu/academics/academic-resources/slater-museum/biodiversity-resources/dragonflies/middle-american-odonata/. (Obtenido el 27 de febrero de 2013).

Penny, N.D. y Flint, O.S. 1982. A revision of the genus *Chloronia* (Neuroptera: Corydalidae). *Smithsonian Contributions to Zoology* 348: 1:27.

Philip, C.B. y Fairchild, G.B. 1956. American biting flies of the genera *Chlorotabanus* Lutz and *Cryptotylus* Lutz (Diptera, Tabanidae). *Annals of the Entomological Society of America* 49: 313-324.

Phillips, E.R. 2001. Mariposas Nocturnas Acuáticas – Crambidae: Nymphulinae. Disponible en: http://www.inbio.ac.cr/papers/mariposas_nocturnas/lista.htm. (Obtenida el 26 de Octubre de 2013).

Pino-Selles, R. y Bernal-Vega, J.A. 2009. Diversidad, distribución de la comunidad de insectos acuáticos y calidad del agua de la parte alta-media del río David, provincia de Chiriquí, República de Panamá. *Gestión y Ambiente* 12(3): 73-84.

Poirrier, M.A. 1990. Freshwater sponges (Porifera: Spongillidae) from Panama. *Hydrobiología* 194: 203-205.

Polhemus, J.T. 1982. Hemiptera. Pp. 288-327, 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.

Polhemus, J.T. y Manzano, M. Del R. 1992. Marine Heteroptera of the Eastern Tropical Pacific (Gelastocoridae, Gerridae, Mesoveliidae, Saldidae, Veliidae). Pp. 302-320, En: Quintero, D. y A. Aiello (eds.), Insects of Panama and Mesoamerica: Selected Studies. Oxford University Press, New York.

Prather, A. 2003. Revision of the Neotropical caddisfly genus *Phylloicus* (Trichoptera: Calamoceratidae). *Zootaxa* 275: 214.

Pretzmann, G. 1965. Vorläufiger Bericht über die Familie Pseudothelphusidae. *Sitzung der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Österreichischen Akademie der Wissenschaften* 1: 1-11.

Pretzmann, G. 1968. Neue Südamerikanische Süsswasserkrabben (Vorläufige Mitteilung). *Entomologisches Nachrichtenblatt* 15: 1-15.

Pretzmann, G. 1971. Forstschritte in der Klassifizierung der Pseudothelphusidae. *Anzeiger der Mathematisch naturwissenschaftlichen Klasse der Österreichischen Akademie der Wissenschaften* (1) 179(1-4): 12-24.

Pretzmann, G. 1980. Von Dr. Ivo Poglayen-Neuwall 1975 in Mittelamerika gesammelte Krabben. *Annalen des Naturhistorische Museum Wien* 83: 651-666.

Purdue University. 2013. Mayfly Central: Species List-Central America. Disponible en: www.entm.purdue.edu/mayfly/ca-species-list.php. (Obtenido el 23 de julio de 2013).

Quintero, D. y Aiello, A. 1992. Insects of Panama and Mesoamerica: Selected Studies. Oxford University Press, New York.

Ramos, A. 2011. Plan de Acción Durante Emergencia (PADE). Para la Central Hidroeléctrica Changuinola 1. AES Changuinola S.A.

Rathbun, M.J. 1893. Descriptions of new species of American freshwater crabs. *Proceeding of the United States National Museum* 16 (959): 649-661.

Rathbun, M.J. 1912. New Decapod Crustaceans from Panama. *Smithsonian Miscellaneous Collections* 59 (13): 1-113

Robles, Y. y Vega, A 2004. Caracterización físico, química y biológica de la parte media baja del Río Santa María, Veraguas, Panamá. *Tecnociencia* 6(2): 75-89.

Rodríguez, G. 1982. Les Crabes d´eau douse d´Amerique. Famille des Pseudothelphusidae. *Faune Tropicale,* 22. ORSTOM, Paris.

Rodríguez, G. 1994. A revision of the type material of some species of *Hypolobocera* and *Ptychophallus* (Crustacea, Decapoda, Pseudothelphusidae) in the National Museum of Natural History, Washington, Dc, with descriptions of a New Species and a New Subspecies. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 107: 296-307.

Rodríguez, P. 1999. *Monopylephorus camachoi* nov. sp., a new Rhyacodriline worm (Tubificidae: Clitellata) from the Coiba Island, on the east Pacific Coast of Panama. *Hydrobiologia* 406: 49-55.

Rodríguez, P. 2002. Benthic and subterranean aquatic Oligochaete Fauna (Annelida, Oligochaeta) from Coiba Island (Panama) and Cuba. *Graellsia* 58(2): 3-19.

Rodríguez, V. y Bonilla, E. 1999. Estudio taxonómico de la comunidad de Insectos Acuáticos en Los Corrales, Distrito de San Francisco, Provincia de Veraguas, República de Panamá. *Scientia* 14(2): 65-77.

Rodríguez, V., Barrera, M. y Delgado, Y. 2000. Insectos Acuáticos de la Quebrada El Salto, en el Distrito de Las Palmas, Provincia de Veraguas, República de Panamá. *Scientia* 15(2): 33-44.

Rodríguez, V. y Sánchez, N. 2001. Entomofauna Acuática asociada al Río Santa Clara en Veraguas, República de Panamá. *Tecnociencia* 3(2): 73-87.

Rodríguez, V. y León, H. 2003. Insectos Acuáticos asociados al Río Tríbique, en el Distrito de Soná, Provincia de Veraguas. *Tecnociencia* 5(1): 51-64.

Rodríguez, V. y Mendoza, M. 2003. Entomofauna Acuática asociada al Río Agué en el Distrito de la Mesa, Veraguas, Panamá. *Tecnociencia* 5(2): 109-118.

Rodríguez, V., Robles, N. y Pimentel, Y. 2009. Calidad biológica del agua de los ríos Sábalo, Piña, Ponuga, Pocrí y Suay, en la Provincia de Veraguas, Panamá. *Tecnociencia* 11(1): 75-89.

Rosewater, J. 1975. Mollusk of Gatun Locks, Panama Canal. *Bulletin American Malacological Union. Inc*. 1974: 42-43.

Sánchez-Argüello, R.I. 2008. Diversidad y estructura de la comunidad de insectos acuáticos en el Río Capira, Panamá. Tesis del Programa de Maestría en Entomología, Universidad de Panamá.

Sánchez-Argüello, R.I., Cornejo, A., Boyero, L. y Santos, A. 2010a. Evaluación de la calidad del agua en la cuenca del río Capira. *Tecnociencia* 12(2): 57-70.

Sánchez-Arguello, R.I., Cornejo, A., Pearson, R.G. y Boyero, L. 2010b. Spatial and temporal variation of stream communities in a human-affected tropical watershed. *Annales de. Limnologie–International Journal of Limnology* 46: 149-156.

Schmidt-Rhaesa, A. y Menzel, L. 2005. Central American and Caribbean species of horsehair worms (Nematomorpha), with the description of tree new species. *Journal of Natural History* 39(7): 515-529.

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 Notropic Zone. *Zootaxa* 3811(4): 553-568.

Smalley, A.E. 1963. The genus *Potimirin* in Central America. *Revista de Biología Tropical* 11(2): 177-183.

Spangler, P. y Santiago, S. 1987. A revision of the Neotropical aquatic beetle genera *Disersus*, *Pseudodisersus* and *Potamophilops* (Coleoptera: Elmidae). *Smithsonian Contributions to Zoology* 446: 1-40.

Spangler, P. y Santiago, S. 1992. The aquatic beetle subfamily Larainae (Coleoptera: Elmidae) in Mexico, Central America and West Indies. *Smithsonian Contributions to Zoology* 528: 1-74.

Stark, B.P. 1998. The *Anacroneuria* of Costa Rica and Panama (Insecta: Plecoptera: Perlidae). *Proceedings of the Biological Society of Washington* 11: 551-603.

Stark, B.P. 2014. Records of Mesoamerican *Anacroneuria* (Plecoptera: Perlidae), with descriptions of four new species. *Illiesia* 10 (02): 6-16.

Teeter, J.W. 1973. Geographic distribution and dispersal of some recent shallow-water marine Ostracoda. *The Ohio Journal of Science* 73(1): 46-54.

TLBG/UP/STRI (The Luis Berger Group/ Universidad de Panamá/Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales). 2003. Recopilación y Presentación de Datos de Recursos Ambientales y Culturales en la Región Occidental de la Cuenca del Canal de Panamá. Informe Final presentado a la ACP (Autoridad del Canal de Panamá).

TNC (The Nature Conservancy). 2009. Evaluación de Ecorregiones de Agua Dulce en Mesoamérica, Sitios prioritarios para la conservación en las Ecorregiones de Chiapas a Darién. Programa de Ciencias Regional, Región de Mesoamérica y el Caribe. The Nature Conservancy, San José, Costa Rica.

Torati, L., De Grave, S., Page, T y Anker, A. 2011. Atyidae and Palaemonidae (Crustacea: Decapoda: Caridea) of Bocas del Toro, Panamá. *Check List* 7 (6): 798-805.

Valdecasas, A.G. 2001. A New Subfamily of Rhynchohydracaridae (Acari, Hydrachnellae) from the island of Coiba (Panamá) with descriptions of new taxa, *Journal Natural History* 35: 1565-1574.

Valdecasas, A.G. 2008a. Confocal microscopy applied to water mite taxonomy with the description of a new genus of Axonopsinae (Acari, Parasitengona, Hydrachnidia) from Central America. *Zootaxa* 1820: 41-48.

Valdecasas, A.G. 2008b. Revision of the genus *Rutacarus* (Acari, Parasitengona, Hydrachnidia) with the description of a new species from Central America. *Zootaxa* 1693:62-68.

Valdecasas, A.G. 2010. A new genus and species of the family Lethaxonidae (Acari, Parasitengona, Hydrachnidia) from the island of Coiba (Panama). *Graellsia* 66 (1): 21-28.

Valderrama, A., García Tavare, M., Andrade Filho, J.D. 2011a. Anthropogenic influence in the distribution, abundance and diversity of the vectors of leishmaniasis in Panamá. *Memória do Instituto Oswaldo Cruz* 106(8) 1032-1038.

Valderrama, A., Tavare G. Mara, Andrade Filho J.D. 2011b. Report of *Lutzomyia longipalpis* (Lutz & Neiva, 1912) (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae) in a cutaneous-leishmaniasis-endemic area of Panama. *Memória do Instituto Oswaldo Cruz* 106(8) 1049-1051.

Valderrama, A., García Tavare, M., Andrade Filho J.D. 2014. Phylogeography of the *Lutzomyia gomezi* (Diptera: Phlebotominae) on the Panama Isthmus. *Parasites and Vectors* 7: 9.

Valderrama, A., Herrera, M. y Salazar, A. 2008. Relación entre la composición de especies del género de *Lutzomyia* y los diferentes tipos de bosques en Panamá. *Revista Acta Zoológica Mexicana* 24 (2) 67-78.

Valdespino, I.A., Santamaría, D., Palacios, G. y Solórzano-Vincent, L. 1997. Evaluación ecológica rápida de área de influencia de la Carretera Punta Peña-Almirante, Provincia de Bocas del Toro. ICF Kaiser-Asociación Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ANCON).

Zaret, T.M. 1984. Central American Limnology and Gatun Lake, Panamá, pp. 447-576. En: Taub, F.B. (Ed). Ecosystems of the World, Lakes and Reservoirs. Elsevier, New York.

Río Piedra - Panamá

Autor de fotografía: Débora Delgado

Adulto de Perlidae, Plecoptera

Autor de fotografía: Kenji Nishida

Puerto Rico

Alonso Ramírez[1] y Pablo E. Gutiérrez-Fonseca[2]

[1]Departamento de Ciencias Ambientales, Universidad de Puerto Rico, recinto de Río Piedras. San Juan, Puerto Rico, aramirez@ramirezlab.net. [2]Departamento de Biología, Universidad de Puerto Rico, recinto de Río Piedras. San Juan, Puerto Rico, gutifp@gmail.com

11.1. Resumen

Puerto Rico es una isla oceánica, la más pequeña de las Antillas mayores. Su clima está fuertemente influenciado por el mar y es azotada constantemente por los vientos alisios del noreste. A pesar de su limitada extensión, Puerto Rico alberga una variedad de ambientes naturales donde sobresalen tres regiones: la región norte, de alta precipitación, donde se encuentra la zona kárstica; la región sur o llanos costeros donde se encuentran las zonas más áridas; y la región montañosa que divide la isla en cuatro vertientes. Los ríos varían en longitud y pendiente de acuerdo a la vertiente donde se encuentren. En la isla existe únicamente un lago de origen natural y una gran cantidad de embalses. La combinación de características geomorfológicas, su posición geográfica y el tipo de desarrollo urbano, hace de Puerto Rico un sitio único para el estudio de los ecosistemas acuáticos, su diversidad y su ecología. La mayoría de los órdenes de macroinvertebrados acuáticos han sido bien estudiados taxonómicamente aunque otros han sido poco estudiados (*e.g.*, la clase Collembola, el orden Trombidiformes, el orden Amphipoda, el filo Annelida y el orden Blattodea). Los estudios ecológicos se han enfocado principalmente en factores asociados al control de la estructura de los ensamblajes. La mayoría de estos trabajos se enfocan en ecosistemas de ríos, algunos en fitotelmata y en menor grado en ambientes lénticos. El biomonitoreo en Puerto Rico ha sido dirigido a la respuesta de los macroinvertebrados a los factores ambientales y a los disturbios naturales y antropogénicos. El uso de los macroinvertebrados como bioindicadores del estado ecológico de los ríos es limitado. Recientemente, la Agencia de Protección Ambiental

de los Estados Unidos inició la elaboración de un índice para evaluar la calidad del agua en los ríos de Puerto Rico mediante el uso de macroinvertebrados. En general, a pesar de la gran cantidad de estudios que se han realizado, Puerto Rico todavía necesita completar un inventario extenso de los macroinvertebrados acuáticos. Además, se necesita entender cómo las poblaciones de macroinvertebrados responden a los cambios en el ambiente y como podrían responder frente al cambio global (e.g. cambio climático y de cobertura de suelo).

11.1. Abstract

Puerto Rico is an oceanic island, the smallest of the Greater Antilles. Its climate is strongly influenced by the sea and it is constantly pounded by trade winds. In spite of its small size, Puerto Rico is home to a variety of natural environments in which three regions stand out: the northern region with high precipitation and considered a karstic zone; the southern region, or coastal plains in the most arid areas; and the mountainous region which divides the island into four watersheds. The rivers vary in length and slope depending on the watershed in which they are located. Only one natural lake exists on the island, as well as a large number of reservoirs. Puerto Rico is a unique site for the study of its aquatic ecosystems and its diversity and ecology because of the combination of its geomorphological characteristics, its geographic position and the type of urban development. Most of the macroinvertebrate orders have been well-studied taxonomically, while some have not been very well studied (e.g., the Collembola class, the Trombidiformes order, the Amphipoda order, the Annelida phylum and the Blattodea order). Ecological studies have been primarily focused on factors associated with the control of asemblage structures. Most of these works involve river ecosystems, some in phytotelmata environments and, to a lesser degree, in lentic environments. Biomonitoring in Puerto Rico has focused on the response of macroinvertebrates to environmental factors and natural and anthropogenic disturbances. The use of macroinvertebrates as bioindicators of the ecological state of rivers has been limited. Recently, the United States Environmental Protection Agency began to develop an index to evaluate the

water quality of rivers in Puerto Rico using macroinvertebrates. In general, although a large number of studies has been performed, Puerto Rico still needs to complete an extensive inventory of aquatic macroinvertebrates. In addition, it is necessary to understand how macroinvertebrate populations respond to changes in the environment and how they may respond to global change (e.g. climate change and land cover changes).

11.2. Introducción

Puerto Rico es una isla oceánica, ubicada al noreste del mar Caribe. Su extensión terrestre es de 8,900 km^2 (figura 1), con altitudes que van del nivel del mar hasta los 1,338 m, es además la isla más pequeña de las Antillas Mayores (Picó 1969). Al mismo tiempo, la posición en medio del arco de las Antillas hace que su clima esté fuertemente influenciado por el ambiente marino. En la mayor parte de la isla, la temperatura promedio oscila entre los 25 y 31 °C; los extremos instantáneos van desde los 4.5 hasta los 39 °C según la región. Existe una débil estación seca entre noviembre y abril con una precipitación promedio de 1,000 mm, mientras que la estación húmeda se extiende de mayo a octubre cuando cae alrededor de 4,000 mm. A pesar de que esta precipitación parece ser alta comparada con otras islas del Caribe, ésta generalmente ocurre en eventos de corta duración y gran intensidad.

Puerto Rico se encuentra en la ruta de los huracanes del Atlántico cuya temporada se extiende de agosto a noviembre, con un pico histórico de actividad en septiembre 15. Los huracanes de gran intensidad (*e.g.* categoría >3) tienen una probabilidad de impactar la isla una vez cada 60 años. Sin embargo, todos los años una tormenta tropical o bien un huracán de menor categoría (*e.g.* categoría <3) afecta la isla durante esta temporada. Además de huracanes, otros fenómenos extremos como las tormentas tropicales y los frentes fríos que bajan del norte aumentan la precipitación y la escorrentía hacia los cuerpos de agua (DRNA 2004).

El relieve de Puerto Rico se caracteriza por la presencia de una cordillera central que corre de este a oeste, y divide la isla en dos áreas claramente distinguibles por su precipitación y su vegetación. Los vientos alisios son dominantes y provienen del noreste, lo que resulta en gran cantidad de precipitación en la zona norte. La cordillera central atrapa gran parte de la humedad que mueve los vientos y crea una sombra de montaña que resulta en un clima árido en la región sur (Lugo 2005). Las regiones geomorfológicas principales dividen la isla en tres zonas: la del interior montañosa de origen volcánico, los llanos y valles costeros formados por sedimentación y la región kárstica mayormente en el norte (López Marrero y Villanueva Colón 2006). Esta última es dominada por la roca caliza, la cual se disuelve fácilmente con la exposición al agua y forma cuevas, sumideros y montes asimétricos (*e.g.* mogotes). En esta zona se encuentran ríos subterráneos de gran extensión, como el Tanamá

Figura 1. Ubicación de Puerto Rico en el Caribe. Modificado de López Marrero y Villanueva Colón (2006).

y el Camuy. La región kárstica cubre alrededor de 20% del territorio de la isla. En la zona del interior se encuentran las tierras más antiguas de Puerto Rico y el pico más alto, el cerro La Punta con una elevación de 1,338 msnm (Cruz-Báez y Boswell 1997). Finalmente, están los llanos costeros del sur donde se encuentran las tierras más jóvenes, las cuales se han formado por procesos de erosión y depósito de sedimentos. En esta región se encuentran las zonas del bosque seco y algunas zonas importantes para la producción agrícola (Helmer *et al.* 2002).

A pesar de su tamaño pequeño, Puerto Rico posee una gran diversidad de sistemas naturales que incluyen el bosque seco, el lluvioso, las zonas kársticas y las áreas marinas. Las zonas de vida dominantes son el bosque húmedo subtropical, seguido del bosque muy húmedo subtropical y el bosque seco (Ewel y Whitmore 1973, figura 2). En cuanto a los ecosistemas de agua dulce, la isla está dividida en 134 unidades hidrológicas distribuidas en 64 cuencas hidrográficas que desembocan directamente al mar y 70 áreas costaneras, en las cuales los cuerpos de agua se caracterizan por tener poco flujo de agua y alta interacción con el manto freático. De las 64 cuencas hidrográficas, 54 son permanentes mientras que diez son de tipo intermitente (DRNA 2004).

Puerto Rico posee cerca de 50 ríos principales. La mayoría de estos ríos nacen en la Cordillera Central, la cual forma cuatro vertientes bien definidas: 1) la vertiente norte o Atlántico,

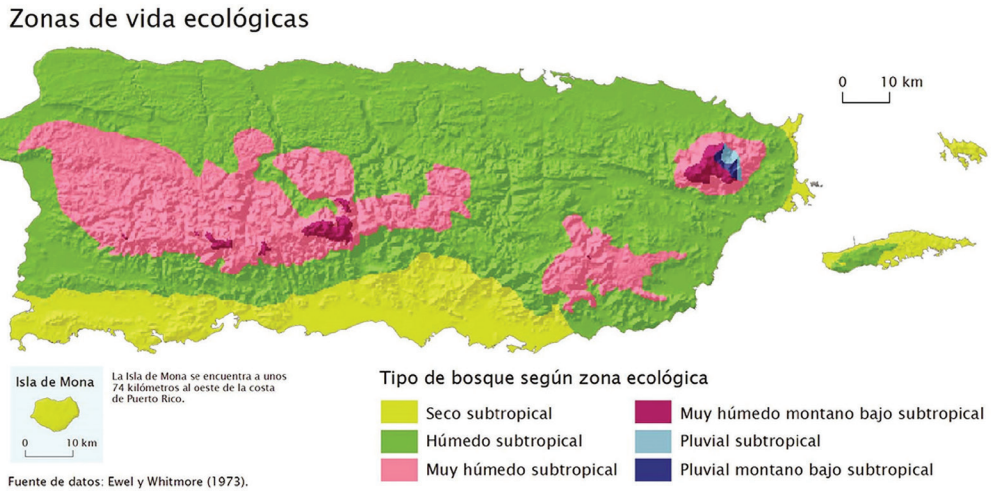


Figura2. Mapa de zonas de vida ecológicas de Puerto Rico. Modificado de López Marrero y Villanueva Colón (2006).

2) la vertiente sur o del Mar Caribe, 3) la vertiente este o del Pasaje de Vieques y 4) la vertiente oeste o del Pasaje de Mona. En la vertiente norte se encuentran los ríos más grandes y caudalosos debido a la precipitación. En algunos sitios de esta región los ríos se sumergen debido a que las rocas, en su mayoría de tipo kárstico, son fácilmente solubles produciendo sumideros y cavernas. En la parte este, los ríos son cortos y empinados debido a que las montañas se encuentran muy cerca del mar. Los ríos en la región sur son también cortos y en algunos casos intermitentes debido a la escasa precipitación en la zona. Finalmente en la parte oeste se encuentran ríos extensos y caudalosos debido alto régimen de lluvias que caracteriza a la zona (DRNA 2004).

Puerto Rico solo posee un lago natural, la laguna Cartagena, en el suroeste de la isla. En contraste, posee alrededor de 22 embalses y reservorios artificiales ubicados principalmente en las zonas montañosas de la isla. Estos fueron construidos mayormente para suministrar agua a las ciudades, la industria y en parte a la actividad agrícola. Los embalses para la generación de energía eléctrica son pocos y la producción de energía hidroeléctrica en la isla es mínima. En estos sistemas se han introducido una gran cantidad de especies de peces exóti-

cos para la pesca de consumo y la recreación (Neal *et al.* 2009).

11.3. Estado del conocimiento sobre macroinvertebrados dulceacuícolas en Puerto Rico

Al ser Puerto Rico una isla oceánica, cuenta con una fauna acuática relativamente simple en comparación con las áreas continentales. Sin embargo, es una isla diversa comparada con otras islas de las Antillas Mayores (Gutiérrez-Fonseca *et al.* 2013). La mayoría de los grupos de macroinvertebrados acuáticos en la isla han sido estudiados. A pesar de ello, algunos grupos han recibido poca atención, como por ejemplo el filo Annelida, la clase Collembola y los órdenes Blattodea, Amphipoda y Trombidiformes (Hydrachnidia). Un alto porcentaje de la información disponible es el resultado de las campañas intensas de recolecta que fueron realizadas en la primera mitad del siglo pasado. Entre los recolectores más importantes se encuentra Julio García-Díaz, quien junto a sus colaboradores realizaron recolectas por toda la isla, y depositaron el material en el Museo de Zoología de la Universidad de Puerto Rico-Río Piedras (MZUPR).

11.3.1 Estudios taxonómicos

Puerto Rico ha sido un foco de estudio desde finales de los 1800, y para inicios de los 1900 había estudios resumiendo el estado del conocimiento de varios grupos. A continuación se resume la información disponible para los principales grupos de macroinvertebrados en la isla.

Filo Nematoda– La información sobre los nematodos asociados con cuerpos de agua dulce en Puerto Rico es escasa. Bunkley-Williams y Williams (1994) reportan la presencia de seis especies parásitos en peces de agua dulce, en particular en peces introducidos. Ninguna de estos nematodos se asocia con enfermedades en los humanos.

Filo Nematomorpha– A pesar de que el grupo se ha observado en los cuerpos de agua de la isla, no se cuenta con información publicada en Puerto Rico.

Filo Platyhelminthes– Este grupo cuenta tanto con representantes de vida libre como parásitos en peces. La información sobre los grupos de vida libre es limitada. En la isla de Mona, una pequeña isla protegida entre Puerto Rico y la Hispaniola, Smith (1998) encontró dos especies de la familia Typhloplanidae, ambas del género *Mesostoma*, ambas habitando charcas temporales producidas por las lluvias. En contraste, Bunkley-Williams y Williams (1994) reportan al menos 43 especies de Platyhelminthes asociados con peces de agua dulce, en especial peces exóticos introducidos en embalses.

Filo Annelida – Dentro de los anélidos tenemos los Hirudinea (las sanguijuelas), de los cuales se ha reportado la especie *Myzobdella lugubris* (Piscicolidae) como parásito de peces y de origen exótico a Puerto Rico (Williams *et al.*

1994). Además de este grupo, Sawyery Kinard (1980) reportan especies marinas y de agua dulce para Puerto Rico y el Caribe.

Filo Arthropoda

Subfilo Chelicerata

Clase Arachnida

Orden Trombidiformes (Hydrachnidia) – Los ácaros acuáticos han sido encontrados frecuentemente en los ríos, incluso en ríos urbanos, en Puerto Rico. Hasta el momento el único reporte publicado es para una especie parásito de peces de agua dulce del género *Hydrachna* (Bunkley-Williams y Williams 1994).

Subfilo Crustacea

Clase Ostracoda – A pesar de su abundancia en cuerpos de agua dulce, los ostrácodos han sido poco estudiados en Puerto Rico. Tressler (1941) reporta dos especies en bromelias, *Candonopsis kingsleyi* y *Metacypris maricaoensis.* En nuestros estudios los hemos encontrado de forma abundante en los ríos, incluso en ríos urbanos.

Clase Malacostraca

Orden Amphipoda – este grupo se ha recolectado en los ríos de Puerto Rico, pero no se cuenta con información publicada.

Orden Isopoda – no se cuenta con información publicada sobre especies dulceacuícolas de este grupo para Puerto Rico.

Orden Decapoda – De camarones de agua dulce se pueden encontrar 18 especies en los ríos de la isla, los cuales pertenecen a tres familias: Atyidae (11spp.), Xiphocarididae (1sp.) y Palaemonidae (6spp.) (Pérez-Reyes *et al.* 2013). Una lista de los decápodos de agua dulce se encuentra en Pérez-Reyes *et al.* (2013), también puede verse Vélez (1967) y Chace y Hobbs (1969). Curiosamente, un nuevo registro de camarón, *Palaemon pandaliformis*, para la isla fue recientemente agregado de un río urbano (Lugo *et al.* 2011). Esta es una especie de Sur América y las Antillas menores que no se había sido encontrado en Puerto Rico. Una especie endémica de cangrejo de la familia Pseudothelphusidae (*Epilobocera sinuatifrons*) fue reportada para Puerto Rico y Saint Croix (Chace y Hobbs 1969).

Subfilo Hexapoda

Clase Collembola – Existen estudios sobre las formas terrestres de este grupo. Sin embargo, no se ha publicado información sobre las de agua dulce.

Clase Insecta

En Puerto Rico se han reportado 65 familias en siete órdenes de insectos, de los cuales Ephemeroptera, Trichoptera y Odonata son quizás los mejor conocidos. El orden más diverso es Diptera, seguido de Coleoptera y Hemiptera. Una lista de familias de insectos acuáticos de Puerto Rico se encuentra en Gutiérrez-Fonseca *et al.* (2013).

Orden Ephemeroptera – El primer estudio exhaustivo de Ephemeroptera de Puerto Rico fue realizado por Traver (1938). En el estudio se reportaron 20 especies en seis géneros y tres familias. De estas, nueve especies y tres géneros eran nuevos para la ciencia. Peters (1971) realizó una revisión de Leptophlebiidae de las Antillas que incluye una clave para los individuos adultos y para las ninfas. Más recientemente, Lugo-Ortiz y McCafferty (1994) describieron una es-

pecie adicional de efemeróptero para Puerto Rico, *Farrodes taino* (Leptophlebiidae).

Orden Odonata – Los odonatos de Puerto Rico han sido estudiados ampliamente. El primer trabajo taxonómico fue publicado por Klots (1932), seguido por García-Díaz (1938). Needham (1941) publicó algunas notas sobre la historia natural de varias especies de Zygoptera. Al momento se estima que existen 53 especies en la isla. Sin embargo, en relación con los estudios en otras islas y recolectas recientes, se estima que este número podría aumentar ya que, aunque no se han realizado recolectas intensivas, se han seguido encontrando especies nuevas en islas cercanas (*e.g.* Daigle 2007).

Orden Orthoptera – Se han recolectado ortópteros en las muestras de ambientes semi-acuáticos en Puerto Rico. Sin embargo, no existen registros de especies acuáticas de este orden publicados para la isla.

Orden Plecoptera – Este orden no ocurre en Puerto Rico.

Orden Blattodea – Se han recolectado especímenes en las muestras de ambientes semi-acuáticos en Puerto Rico. Sin embargo, no existen registros de especies acuáticas de este orden publicados para la isla.

Orden Hemiptera – Uno de los primeros trabajos de hemípteros acuáticos de Puerto Rico fue realizado por Barber (1939) el cual informó de 12 especies distribuidas en cuatro familias, todas ellas del grupo de los llamados patinadores (*e.g.* Veliidae). Más adelante Drake y Maldonado-Capriles (1954) reportaron 23 especies de cinco familias de patinadores. Maldonado-Capriles y Navarro (1967) agregaron siete especies en cinco familias de chinches acuáticos.

Orden Coleoptera – Este orden ha recibido muy poca atención y únicamente se encuentran trabajos aislados con listas de especies de algunas familias con representantes acuáticos (*e.g.* Wolcott 1948). Sin embargo, aún no se ha realizado un trabajo exhaustivo con los coleópteros de Puerto Rico. Hansen y Richardson (1998) describieron una especie de Hydrophilidae en las bromelias del bosque de Luquillo en el Noroeste de Puerto Rico.

Orden Neuroptera– No existen registros de especies de agua dulce de este orden para la isla. Sin embargo, en varias de nuestras investigaciones se han observado esponjas de agua dulce, el cual es el hábitat sugerido de este grupo y no se descarta la presencia del mismo.

Orden Megaloptera – Este orden no ocurre en Puerto Rico.

Orden Trichoptera – Los estudios iniciales sobre los tricópteros de Puerto Rico fueron hechos en combinación con la fauna de otras islas. No fue sino hasta la década de 1960 que se realizó un estudio exhaustivo concretamente para Puerto Rico (Flint 1964). Dicho trabajo incluyó una revisión de la literatura disponible hasta la fecha para Trichoptera de las Antillas, incluida Puerto Rico. Flint (1964) reportó para la isla 22 géneros con 35 especies, de las cuales 22 fueron nuevas para la ciencia. El trabajo incluyó también una clave para identificar las larvas, las pupas y los adultos de las 10 familias

reportadas para la isla. Flint (1976) estudió las especies del género *Polycentropus* (Polycentropodidae) de las Antillas mayores. En este trabajo el autor encontró una especie para cada isla, estudió sus relaciones filogenéticas y propuso una posible explicación para la migración de este grupo desde la parte norte del continente. Flint (1992) describió seis especies nuevas para la ciencia e hizo un listado de todas las especies conocidas para Puerto Rico. Harris y Flint (1992) agregaron un nuevo género, *Kumanskiella*, para Cuba y Puerto Rico y una nueva especie de este género fue descrita para la isla.

Orden Lepidoptera – Las mariposas acuáticas han recibido muy poca atención en Puerto Rico. Wolcott (1948) mencionó algunos representantes de la subfamilia Nymphulinae asociadas a ambientes acuáticos, principalmente de la Laguna Tortuguero, ubicada entre Vega Baja y Manatí.

Orden Diptera – Wolcott (1948) realizó un inventario de los dípteros de Puerto Rico. Además, este autor hizo una revisión de la literatura previa disponible hasta la fecha. Dicha lista fue posteriormente modificada por Maldonado-Capriles y Navarro (1967). Wagner y Masteller (1996) describieron una especie nueva de Psychodidae y elaboraron una clave para las especies conocidas de Puerto Rico, las cuales pertenecen a seis géneros: *Arisemus, Maruina, Philosepedon, Psychoda, Quatiella y Trichomyia*. La larva, la pupa y el adulto de una especie nueva de Psychodidae fueron descritas en Wagner *et al.* (2010). Hernández y Courtney (2010) reportaron dos especies de Blephariceridae del género *Paltostoma* para la isla y sugirieron la posibilidad de una tercera especie.

Filo Mollusca – Van der Schalie (1948) fue uno de los primeros investigadores en trabajar con los moluscos dulceacuícolas de Puerto Rico. El estudio provee una clave taxonómica para identificar las 14 especies conocidas hasta ese momento en Puerto Rico, cuatro gastrópodos de las familias Amnicolidae, Ancylidae, Lymnaeidae, y Physidae, y un bivalvo de la familia Sphaeriidae. Richards y Ferguson trabajaron los moluscos de Puerto Rico junto a los de las Islas Vírgenes de Estados Unidos (Richards y Ferguson 1962, Ferguson y Richards 1963). Además actualizaron la lista de especies para la región, reportando 27 especies (en 9 familias) presentes en Puerto Rico e Islas Virgen de Estados Unidos. Richards (1964) estudió la variabilidad morfológica de la concha y sistema reproductivo de *Physa* y *Aplexa* (Familia Physidae) y propuso su separación como géneros independientes.

Colecciones taxonómicas

Puerto Rico cuenta con dos museos que alojan colecciones de macroinvertebrados acuáticos. El Museo de Zoología de la Universidad de Puerto Rico-Río Piedras (MZUPR) cuenta con una colección pequeña de insectos. Sin embargo, incluye especímenes valiosos de recolectas hechas en los 40's y 50's. Por otro lado, la colección de insectos de la Universidad de Puerto Rico-Mayagüez (UPRM) cubre también los estados adultos de los órdenes acuáticos.

11.3.2 Estudios Ecológicos

En Puerto Rico se han realizado numerosos estudios ecológicos enfocados en entender la composición, la estructura y los factores que controlan los ensamblajes de macroinvertebrados acuáticos. La mayoría de estos trabajos se

han enfocado en los ríos, algunos en fitotelmata y en menor grado en ambientes lénticos tales como lagos o embalses.

En cuanto a la composición y la estructura, las comunidades acuáticas están dominadas por los decápodos, los cuales son grupos conspicuos en los ríos de Puerto Rico. Masteller y Buzby (1993a) estudiaron la composición y la abundancia de macroinvertebrados en la Estación de Campo El Verde, en el Bosque Nacional El Yunque, donde recolectaron muestras bénticas y de trampas de emergencia. Los autores encontraron la composición de macroinvertebrados dominada por los decápodos, mientras que en las trampas de emergencia dominaron los miembros de los órdenes Ephemeroptera, Trichoptera y Diptera. En comparación con los ensamblajes de macroinvertebrados de un río de una zona templada en Pensilvania, Masteller (1993) determinó que en el río tropical dominó Ephemeroptera, mientras que en el de zona templada fueron los Diptera, particularmente la familia Chironomidae.

Los estudios con los insectos acuáticos indican algún grado de estacionalidad en la emergencia y la actividad de los individuos adultos. Sin embargo, los patrones son variables y no todos los grupos estudiados los presentaron. Los estudios de los patrones de emergencia de los insectos acuáticos en la Estación de Campo El Verde indicaron una alta variabilidad (Masteller 1993). Pescador *et al.* (1993) estudiaron la composición y la fenología de siete especies de efemerópteros, los que mostraron una débil estacionalidad y una baja diversidad relativo a los ríos de la zona templada. La composición de tricópteros fue de 16 especies. *Cariboptila orophila* (Glossosomatidae) fue la especie más abundante, presente en 78% de las muestras analizadas, sin una estacionalidad evidente (Flint y Masteller 1993). La composición y la fenología de las diversas familias de Diptera fueron también estudiadas por varios autores, Tipulidae por Gelhaus *et al.* (1993); Empididae, Simuliidae y Ceratopogonidae por Masteller y Buzby (1993b); Psychodidae por Wagner y Masteller (1993); y Chironomidae por Ferrington *et al.* (1993). Doce especies de tipúlidos fueron encontrados en el primer estudio, cuatro del género *Limonia* representaron 75% de la abundancia. La emergencia de Tipulidae fue constante a través del año. Sin embargo, los autores notaron un incremento en la emergencia entre enero y marzo y pocos individuos entre junio y agosto. Empididae, Simuliidae y Ceratopogonidae representaron 43% de la fauna de dípteros de la Quebrada Prieta. De Simuliidae solo se encontró una especie, dos de Empididae, pero de 15-20 especies de Ceratopogonidae. Ocho especies de Psychodidae fueron encontradas en trampas de emergencia en Quebrada Prieta. Finalmente, 30 taxa de Chironomidae fueron encontrados, de los cuales la tribu Chironomini fue la más diversa y abundante con 11 taxa y 49% de la abundancia, seguido de Orthocladiinae con nueve taxa y 13% de la abundancia, Tanypodinae seis taxa y 26%; y finalmente, Tanytarsini con cuatro taxa y 12% de la abundancia. Dos especies de Chironomini xilófagos (*Xestochironomus* y *Stenochironomus*) dominaron la abundancia de la emergencia total anual, con 45%. Lo anterior sugiere que la madera y los detritos de madera son la base importante de la cadena alimentaria para Chironomidae.

La especie *Aedes aegypti* (Culicidae) ha sido ampliamente estudiada con fines médicos. Harrington *et al.* (2001) analizaron la sobrevivencia de los mosquitos jóvenes y los

adultos en Puerto Rico y Tailandia. El estudio indicó que la tasa de supervivencia diaria de las hembras más viejas fue mayor (13-23 días) que la de los mosquitos jóvenes (3-13 días) en Puerto Rico. Además, la dispersión fue menor en Puerto Rico donde se encontró que los adultos se mueven un máximo de 79 m de su hábitat larval. Las preferencias en el tipo de contenedor y la productividad en las áreas urbanas fue estudiada por Barrera *et al.* (2006). Los autores encontraron que siete de los 18 contenedores estudiados albergaban 80% de las pupas hembras y que los contenedores más productivos fueron los más comunes.

Los moluscos acuáticos han sido utilizados en estudios de la dinámica de las poblaciones. Jobin (1970) estudió las variaciones de las especies en tres posas en Puerto Rico, donde la sobrevivencia varió de 200 a 500 días según la disponibilidad de alimento, la resistencia a la desecación y la temperatura del agua. Al menos una de las especies estudiadas es hospedero de Schistosomiasis, *Biomphalaria glabrata* (Planorbidae). Blanco y Scatena (2006) estudiaron los factores que controlan la dinámica de las poblaciones en gasterópodos. En su estudio los autores detallaron como en cada una de las escalas espaciales, diferentes parámetros controlan las poblaciones. Al menos una especie de caracol, *Neritina virginea* (Neritidae), es anfídroma, los adultos viven en los ríos, pero las larvas necesitan del mar para su desarrollo (Blanco y Scatena 2006).

Los ensamblajes de macroinvertebrados en fitotelmata han sido estudiados particularmente en las bromelias y las brácteas de las heliconias. La diversidad de macroinvertebrados en las bromelias presenta una clara variación con la elevación. Los estudios a lo largo de gradientes de elevación reportaron distribuciones unimodales, con diversidades máximas en elevaciones intermedias y menores en zonas altas (Richardson 1999). Al mismo tiempo, estos patrones no aparentan ser el resultado de los recursos alimentarios, ya que las concentraciones de nutrimentos en el agua de las bromelias no se relacionaron con la diversidad de macroinvertebrados (Richardson *et al.* 2000b). Por otro lado, diferentes tipos de hábitats de fitotelmata (*e.g.* bromelias y heliconias) se han encontrado que contienen composiciones similares de macroinvertebrados, a pesar de la presencia de diferentes abundancias de individuos (Richardson *et al.* 2000a). Richardson y Hull (2000) estudiaron la secuencia de la colonización en las brácteas de las heliconias y encontraron que los miembros de la familia Ceratopogonidae fueron los primeros en llegar, seguidos de Psychodidae, Syrphidae y Culicidae.

Los camarones son componentes importantes de los ecosistemas de río en islas oceánicas, como Puerto Rico. Todas las especies de camarones de agua dulce son anfídromas, viven como adultos en los ríos, pero las larvas habitan los ambientes marinos, la única excepción son las especies introducidas para acuacultura, como *Macrobrachium rosenbergi*. En los camarones, las hembras cargan los huevos bajo su abdomen hasta que los mismos eclosionan. La corriente transporta la larva de menos de 1 mm río abajo hacia el estuario. La migración de las larvas hacia el estuario ocurre como parte de la deriva y tiene un patrón nocturno. Al parecer la migración nocturna apoya la "Hipótesis del Riesgo de Depredación" que indica que las larvas migran de noche para evitar a los depredadores diurnos, como los peces (March *et al.* 1998). Las tomas de agua para uso municipal incrementan

de forma considerable la mortalidad de las larvas de camarón, en particular durante las épocas de poco flujo, cuando la mortalidad puede alcanzar 100% de las larvas en deriva (Benstead *et al.* 1999). Una vez en el estuario, las larvas se desarrollan en ambientes salobres y posteriormente migran río arriba como individuos juveniles (March *et al.* 1998). Como adultos, los camarones aparentan tener una larga vida media. Los estudios hechos con los camarones en el Bosque Nacional El Yunque han reportado que éstos pueden vivir hasta por 11 años y quizás más (Cross *et al.* 2008).

La actividad de alimentación de los camarones resulta tanto en consumo como en disturbio de las partículas acumuladas en el fondo de los ríos y tiene marcados efectos sobre los ambientes bénticos. Los camarones al remover los sedimentos finos y los detritos que normalmente se acumulan sobre las rocas promueven el establecimiento de una comunidad de algas dominada por diatomeas adheridas a la superficie (Pringle *et al.* 1993). En contraste, ríos sin camarones tienden a acumular partículas finas, tienen comunidades de algas caracterizadas por algas filamentosas y diatomeas móviles (Pringle 1996). Las actividades de los camarones tienen un efecto positivo sobre los organismos herbívoros-raspadores móviles (e.g. Ephemeroptera: Baetidae) que utilizan sustratos como rocas para alimentarse, mientras que los individuos sésiles como los quironómidos son afectados negativamente (Ramírez y Hernández-Cruz 2004).

Los camarones también juegan un papel importante en el procesamiento de la materia orgánica. March *et al.* (2001) excluyeron los camarones para determinar su importancia en la fragmentación de la hojarasca. Los autores encontraron un claro efecto de los camarones sobre la tasa de degradación de la hojarasca en las cabeceras del río, mientras que no se observó un efecto en áreas medias y bajas de la cuenca. Los experimentos de laboratorio confirmaron que la especie más importante en el procesamiento de la hojarasca fue *Xiphocaris elongata* (Xiphocarididae) (Crowl *et al.* 2000, March *et al.* 2001). Además de los camarones, los insectos acuáticos también participan del procesamiento de la hojarasca. Estudios que han excluido experimentalmente el acceso de los camarones y de los insectos a grupos de hojarasca han encontrado disminuciones en las tasas de descomposición, y han demostrado que ambos grupos de invertebrados son importantes (Wright y Covich 2005, Bobeldyk y Ramírez 2007, Torres y Ramírez 2014).

Interacciones tróficas, tales como la depredación pueden promover una respuesta evolutiva en los organismos, esto puede conducir a cambios morfológicos y/o de comportamiento. Estudios realizados utilizando camarones de la especie *Xiphocaris elongata* han demostrado que la longitud del rostro de los camarones juveniles tiende a ser mayor cuando están en presencia de un pez depredador (*Agonostomus monticola*), en comparación a cuando están en presencia de un pez no depredador (*Sicydium plumieri*) o cuando no hay peces presentes (Ocasio-Torres *et al.* 2014). En algunos ríos en Puerto Rico, los peces depredadores como *Agonostomus monticola* no se encuentran en la parte alta, donde dominan los camarones con rostro pequeño. Estos resultados demuestran como algunos camarones en Puerto Rico, pueden tener un cambio fenotípico en respuesta a un depredador.

A pesar de la clara importancia de la hojarasca como recurso alimentario para los macroinvertebrados acuáticos en los ríos de Puerto Rico, los estudios de las redes alimentarias indican que la hojarasca no es necesariamente su principal fuente de energía. Los estudios con isotopos estables indican que las algas son la principal base energética de las cadenas alimentarias de los ríos. March y Pringle (2003) estudiaron los cambios en la base trófica de las cadenas alimentarias en tres elevaciones a lo largo de un río. El estudio demostró que las algas son una importante fuente de alimento para los camarones en ríos de montaña de Puerto Rico. Estas observaciones apoyan la teoría de que las algas son importantes fuentes de alimento inclusive en los ríos tropicales pequeños de montaña (Dudgeon *et al.* 2010).

Un estudio filogeográfico del cangrejo endémico *Epilobocera sinuatifrons* (Pseudothelphusidae) fue realizado por Cook *et al.* (2008a). En este estudio los autores encontraron que las poblaciones difirieron significativamente entre los diferentes ríos estudiados alrededor de la isla. Por ello concluyen que los hábitos no migratorios de esta especie contribuyen al aislamiento entre las poblaciones. Por otro lado, Cook *et al.* (2008b) estudiaron el concepto de "reciclaje de taxón" (*e.g.* taxon cycling) el cual determina las fases de contracción y expansión en la distribución y las relaciones ecológicas de los taxa. Los autores encontraron que las especies de los decápodos de Puerto Rico están en una fase de expansión, con al menos una especie en expansión *in situ* (*Atya lanipes*; Atyidae). La alta tasa de flujo genético sin aislamiento entre los ríos fue detectado para todas las especies.

En lo que respecta a modelos y conceptos ecológicos, Greathouse y Pringle (2006) examinaron la aplicabilidad del Concepto del río como un continuo en Puerto Rico. A pesar de obtener resultados que apoyan el concepto, ellos sugieren la necesidad de refinar el mismo para reflejar un potencial control trófico "top-down" en la distribución de los grupos funcionales, debido a que algunos grupos (e.g. filtradores) no mostraron el patrón predicho por el concepto.

Los disturbios naturales y antropogénicos juegan un papel importante en la dinámica de los ensamblajes de macroinvertebrados acuáticos en Puerto Rico. Los dos disturbios naturales de mayor impacto para los ríos en Puerto Rico son el impacto de los huracanes y los periodos de las sequías. Covich *et al.* (2006) estudiaron la recuperación de las poblaciones de *Macrobrachium* (Palaemonidae) después de varios eventos extremos (el huracán Hugo 1989, la sequía 1994 y el huracán Georges 1998). En el estudio se encontró un decline máximo en la población de camarones como resultado de la sequía; la cual fue el extremo climático máximo en 25 años. En contraste, los huracanes causan fuertes crecidas, similares a las lluvias fuertes y por ende tienden a tener efectos débiles en las poblaciones. Un disturbio extremo de origen antropogénico es la pesca con químicos ilegales. Greathouse *et al.* (2005) estudiaron la recuperación de macroinvertebrados acuáticos después de un evento de liberación de blanqueador de ropa (*e.g.* Clorox®) para la pesca ilegal de camarones. Los autores encontraron una recuperación relativamente rápida de la abundancia, la distribución de tallas, la tasa de descomposición de la hojarasca, la abundancia

de los oligoquetos y los efemerópteros en la hojarasca en tres meses, después de los cuales, el sistema ya había regresado a niveles similares a los puntos de referencia.

Las represas generan disturbios permanentes sobre los ecosistemas de río, mayormente porque bloquean las migraciones de los camarones y los peces hacia río arriba de la represa. Los estudios comparativos de ríos con y sin represas demostraron grandes contrastes asociados a la pérdida de las poblaciones de camarones en los ríos represados. Los resultados indicaron hasta nueve veces más biomasa de algas, 20 veces más materia orgánica béntica fina, 65 veces más materia inorgánica béntica fina, 28 veces más carbón, 19 veces más nitrógeno y cuatro veces más biomasa de invertebrados no-decápodos en comparación con los ríos sin represas (Greathouse *et al.* 2006).

La urbanización representa otro disturbio antropogénico de gran importancia para los ecosistemas acuáticos. Los ríos urbanos generalmente tienen niveles altos de contaminantes y alteraciones al hábitat que resultan en la pérdida de la fauna nativa y la dominancia por las especies tolerantes. En Puerto Rico la urbanización ha ido en aumento, sin embargo, los ríos urbanos siguen manteniendo un grado alto de diversidad de macroinvertebrados relativo a los ríos en áreas naturales (Ramírez *et al.* 2009). En especial los camarones nativos parecen tolerar algún grado de contaminación. Sin embargo, los insectos acuáticos reflejan los impactos urbanos de una forma más clara (De Jesús-Crespo y Ramírez 2011a).

La información sobre la base energética y la productividad de los macroinvertebrados acuáticos es más limitada. Los camarones crecen lentamente, consumen grandes cantidades de materia orgánica y tienen una productividad secundaria de menos de 1 g/m^2/año (Cross *et al.* 2008). En contraste, los insectos acuáticos son más productivos, debido a su rápida tasa de crecimiento. Las estimaciones en los ríos urbanos en Puerto Rico indican que su productividad sobrepasa los 3 g/m^2/año.

11.3.3 Estado de conservación

Los ambientes de agua dulce, y por ende los macroinvertebrados acuáticos, en Puerto Rico son amenazados por la alta actividad humana en la isla. Los impactos más importantes sobre los ríos se asocian con la extracción de agua para el uso municipal, la modificación de los cauces asociados al manejo de las inundaciones y la construcción de represas y embalses. Además, la estrecha conexión entre los ríos y los ambientes terrestres que los rodean los hace vulnerables a las actividades que se desarrollen fuera del cauce (*e.g.* urbanización, agricultura).

Puerto Rico cuenta con más de 50 áreas protegidas designadas por el Departamento de Recursos Naturales. La mayoría de estas áreas protegen los bosques, los sistemas marinos o costeros de valor ecológico o bien las áreas de valor cultural. En adición al sistema de áreas protegidas, El Bosque Nacional El Yunque se encuentra protegido por el sistema federal de Estados Unidos. Dentro de El Yunque, el Río Mameyes cuenta con la designación de "National Wild and Scenic River," la cual provee protección a este sistema que es el último en Puerto Rico libre de represas. A pesar de ello, la mayoría de las áreas protegidas no incluyen cuencas completas dentro de sus límites y ofrecen protección limitada a la fauna diádroma

que domina los ríos en la isla. Puerto Rico no cuenta con sitios RAMSAR.

En Puerto Rico, dos actividades en particular tienen impactos negativos importantes sobre los ecosistemas de agua dulce: la presencia de represas y la urbanización. Las represas afectan de forma drástica los ecosistemas de río ya que alteran el flujo del agua, la cantidad de sedimentos que se mueven por el cauce y el movimiento de los organismos a lo largo del canal (Pringle 1997, March *et al.* 2003). El que la fauna nativa de camarones de río sea anfídroma, hace que estos grupos sean particularmente vulnerables a la presencia de represas a lo largo del cauce de los ríos. Las larvas de camarón migran con la corriente hacia los estuarios y los ambientes marinos. Por ende, la presencia de represas y de tomas de agua representa una alta fuente de mortalidad para estos organismos. Según la cantidad de agua que se le extraiga a un río y el horario de la extracción, la mortalidad de las larvas puede alcanzar niveles considerables, incluso de 100% (Benstead *et al.* 1999). Las larvas de camarones tienden a migrar particularmente en horas tempranas de la noche, entre las 21:00 y 24:00 horas. Benstead *et al.* (1999) encontraron que el operar la toma de agua de las represas de forma selectiva puede disminuir la mortalidad de las larvas de camarón. Si la extracción de agua se realiza durante el día, y en menor grado durante la noche, la mayoría de las larvas pueden llegar al estuario (Benstead *et al.* 1999).

Los camarones juveniles, por su lado, tienen el problema de tener que sobrepasar las represas en sus migraciones río arriba. Durante las migraciones, los camarones se guían por el flujo del agua. Sin embargo, las represas de gran tamaño no dejan pasar agua o bien sus paredes son demasiado altas y se convierten en barreras migratorias. Los camarones son eliminados completamente del río arriba de las represas de gran tamaño (Holmquist *et al.* 1998). Existe tecnología disponible que provee opciones para ayudar al movimiento de las especies migratorias. Por ejemplo, la construcción de pasajes especiales se ha usado para disminuir el impacto de las represas. Varias represas en Puerto Rico tienen estas estructuras. Sin embargo, todavía se sabe poco sobre su efectividad.

Las represas también eliminan la variación natural en el flujo río abajo de la misma, ya que los embalses detienen las crecidas y el régimen hidrológico río abajo es el resultado de la operación de la represa. Estos cambios hidrológicos representan un impacto adicional para los macroinvertebrados. Por ejemplo, los caracoles del género *Neritina* (Neritidae) son también migratorios y usan los flujos altos como clave para migrar río arriba (Blanco y Scatena 2005). Eliminar los flujos altos también afecta la conectividad con el mar y puede eliminar completamente estas especies migratorias aun de segmentos río abajo de la represa (Greathouse *et al.* 2006).

Puerto Rico se ha ido urbanizando de una forma acelerada desde que su economía cambió de agraria a industrial en la década de 1940 (Grau *et al.* 2003). Este aumento de áreas urbanas ha traído consigo una serie de impactos a los ecosistemas naturales y por ende impactos serios a los macroinvertebrados acuáticos. Para los ecosistemas de agua dulce, la urbanización ha significado la desaparición de numerosos tributarios de primer y segundo orden y el relleno de los humedales, para dar paso a la construcción de edificios y carreteras. Los ríos urbanos sufren de una serie de impactos que son comu-

nes indiferentemente de la zona geográfica de estudio. Estos impactos se han resumido en el concepto del "Síndrome del Río Urbano" (Walsh *et al.* 2005). Los ríos urbanos presentan síntomas de impacto como el enderezamiento de sus cauces, aumento en la rapidez con que el agua de lluvia termina llegando al río (esto como resultado de las tuberías y la alta cantidad de concreto), aumento en la contaminación y la pérdida de la fauna nativa. Los ríos urbanos en Puerto Rico sufren todos estos síntomas. Sin embargo, los estudios en la cuenca del Río Piedras, en el municipio de San Juan, revelaron que la fauna nativa es tolerante a estas alteraciones urbanas (Ramírez *et al.* 2009). Los camarones nativos todavía habitan en el Río Piedras en números altos. Esto aparentemente es el resultado de la falta de represas en la parte baja del río, el cual mantiene una buena conectividad con el estuario (Ramírez *et al.* 2009). Además, los camarones parecen tolerar algún grado de contaminación.

11.4. Empleo de los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en Puerto Rico

En Puerto Rico se ha estudiado ampliamente la respuesta de los macroinvertebrados acuáticos a los factores ambientales y a los disturbios. La mayoría de los estudios se han enfocado en aspectos relevantes a la ecología y el papel que juegan los disturbios naturales y antropogénicos en determinar la dinámica de las poblaciones de macroinvertebrados. Uno de los estudios a largo plazo más importantes en la isla estudia las poblaciones de camarones en los ríos del Bosque Nacional El Yunque desde 1988 (http://luq.lternet.edu/). Este estudio ha proporcionado información valiosa sobre como las poblaciones de los ríos del bosque lluvioso se ven afectadas y se recuperan después de las sequías y también después de los huracanes (Covich *et al.* 2006).

Recientemente se han realizado estudios enfocados en el uso de los macroinvertebrados como bioindicadores en la isla, los que han utilizado los cambios en la riqueza de las familias o bien aplicado índices desarrollados para otras regiones, en particular los desarrollados para el área continental de Estados Unidos. En los ríos urbanos se ha encontrado cambios significativos en la composición y la riqueza de los macroinvertebrados acuáticos como resultado de las alteraciones en la fisicoquímica del agua y las reducciones en la cobertura de la zona ribereña debido a la urbanización (De Jesús-Crespo y Ramírez 2011b). Por otro lado, se ha encontrado que algunos índices desarrollados para la parte continental de Estados Unidos son aplicables en Puerto Rico con algunas reservas. En la cuenca del Río Piedras, ubicada en el área metropolitana de San Juan, la aplicación del índice biótico de familias (Hilsenhoff 1988) resultó útil para determinar el efecto de la urbanización sobre los ensamblajes de los macroinvertebrados y por ende en el estado de conservación de los tributarios de esta cuenca (De Jesús-Crespo y Ramírez 2011a). Sin embargo, la escala del índice parece sobrestimar la calidad del agua en los sitios (De Jesús-Crespo y Ramírez 2011a).

Los esfuerzos de la Agencia de Protección Ambiental (US Environmental Protection

Agency) de los Estados Unidos han logrado avances hacia la elaboración de un índice específico para evaluar la calidad del agua en los ríos de Puerto Rico con base en la composición de los macroinvertebrados. Esta agencia se encuentra desarrollando el "Macroinvertebrate Integrity Index," un índice multimétrico para Puerto Rico basado en métricas como la riqueza taxonómica total, la cantidad de grupos de Trichoptera, y la proporción de ciertos grupos como la clase Gastropoda, y los órdenes Diptera y Coleoptera. El índice será diseñado para evaluar los ríos de montaña en Puerto Rico. Sin embargo, hacen falta estudios sobre el efecto de la estacionalidad en el índice. Al mismo tiempo, se espera que la zona costera de Puerto Rico requiera de un índice distinto, debido a la diferencia geomorfológica de los sitios y la cantidad de especies que no están presentes en las zonas montañosas.

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

La Junta de Calidad Ambiental (JCA) es la entidad encargada en Puerto Rico de reglamentar y regular los usos del agua dulce y las descargas a los cuerpos de agua. Los reglamentos de Puerto Rico son en parte aquellos desarrollados por el gobierno local y la JCA y en parte los desarrollados por el gobierno federal de Estados Unidos a través de la Agencia de Protección Ambiental (US Environmental Protection Agency). En combinación, la reglamentación en la isla es bastante completa en cuanto a los estándares de calidad del agua. A pesar de que la contaminación de los ríos existe, la mayoría de las comunidades urbanas están conectadas a sistemas de alcantarillado de agua potable y séptico. Además las aguas residuales son enviadas a plantas de tratamiento antes de descargarse a los cuerpos de agua nuevamente. Las comunidades rurales generalmente usan sistemas de tanques sépticos.

Una de las piezas de legislación más importantes en los Estados Unidos en lo que respecta a los ríos es el "Clean Water Act" (CWA). El mismo fue establecido en 1972 y es la base legal con la que se establecen los estándares para todos los contaminantes de las aguas superficiales. Basado en el mismo, la JCA estableció su Reglamento de Estándares de Calidad de Agua para Puerto Rico. El uso de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua está contemplado bajo el CWA, lo cual obliga al gobierno de Puerto Rico a desarrollar una metodología de biomonitoreo para la isla e implementarla en la evaluación de los cuerpos de agua. El esfuerzo de la US EPA en desarrollar índices multimétricos para Puerto Rico responde a esta regulación.

11.6. Perspectivas futuras

Taxonomía e historia natural – A pesar de la gran cantidad de estudios que se han realizado, Puerto Rico necesita un inventario extenso de los macroinvertebrados existentes en la isla. Además, es importante crear una colección de referencia para la isla que sirva de apoyo a los

estudios taxonómicos y de distribución. Esto como los primeros pasos para desarrollar guías para la identificación y que faciliten los estudios de la historia natural de los invertebrados. Actualmente se sabe poco sobre la historia natural de los macroinvertebrados, por ende este también es un tema que requiere atención.

Ecología de los macroinvertebrados – Los modelos de cambio climático predicen un cambio en los patrones de precipitación y temperatura para la isla. Además, la cantidad de urbanización va en aumento y con esto aumenta la demanda de los servicios y los impactos a los ecosistemas acuáticos. Esto hace primordial entender la ecología de los macroinvertebrados de agua dulce. Entender como las poblaciones de macroinvertebrados responden a los cambios en el ambiente es clave para determinar los posibles cambios en la función de los ecosistemas acuáticos como respuesta al cambio global.

Biomonitoreo e indicación – Los macroinvertebrados acuáticos han sido ampliamente probados como indicadores de cambios ambientales. Sin embargo, en Puerto Rico se han hecho más estudios de monitoreo que de indicación. El desarrollar esta área de estudio es primordial para poder utilizar los macroinvertebrados en la evaluación y monitoreo de los cuerpos de agua. Además, los programas de evaluación de los ríos basados en macroinvertebrados son también una forma efectiva de hacer educación ambiental. El desarrollar índices para Puerto Rico entonces ayudaría a proteger los ríos y a educar a las personas. A pesar de que hay esfuerzos en camino, falta mucho por recorrer para llegar a tener herramientas solidas de evaluación basadas en los macroinvertebrados en la isla.

Participación en esfuerzos regionales – Puerto Rico es uno de las pocas regiones tropicales con alto grado de industrialización y donde la desforestación ya no es un tema de prioridad en cuanto a conservación. Al contrario, la cobertura de bosque en Puerto Rico ha ido en aumento en los últimos años (Grau *et al.* 2003). Además, según las directrices de la calidad del agua, gran parte de las poblaciones urbanas están conectadas a sistemas de recolección de aguas negras y a plantas de tratamiento de aguas. Por ello, la cantidad de materia orgánica que entra a los ríos en Puerto Rico es relativamente poca en comparación a otras regiones tropicales (Ramírez *et al.* 2008). Aunque las razones económicas son únicas al caso de Puerto Rico, la respuesta de los ríos y de los macroinvertebrados acuáticos a la eliminación de entradas de aguas negras y otros contaminantes debería ser similar a otros sitios tropicales. Por ende, es importante explorar que tan representativa es la dinámica de los ríos en Puerto Rico con respecto a los de otros sitios tropicales.

11.7. Conclusiones

El estado del conocimiento de los macroinvertebrados en Puerto Rico es relativamente bueno. Sin embargo, la información sobre este grupo está dispersa y no existen guías para la identificación de los distintos grupos que faciliten los estudios científicos. Entre los grupos mejor conocidos están los camarones, los caracoles Neritidae, y los insectos de los órdenes Odonata, Ephemeroptera y Trichoptera. En contraste, se ha hecho muy poco con Diptera y Coleoptera.

El estudio de los macroinvertebrados en Puerto Rico también se vería beneficiado de iniciativas que ayuden a centralizar la información disponible y la creación de colecciones de referencia que apoyen estudios taxonómicos, de distribución y ecológicos. El desarrollo de guías o manuales para la identificación de los macroinvertebrados también facilitaría el crecimiento de la investigación sobre ecosistemas acuáticos y sobre la ecología de los macroinvertebrados.

Es importante, también, explorar el uso de los macroinvertebrados como modelo de trabajo para entender el efecto del cambio global sobre los ecosistemas de agua dulce. Ya que la fauna nativa de camarones y algunos caracoles es migratoria y depende de los ambientes marinos, los insectos se convierten en los únicos organismos no migratorios dentro de los ecosistemas de agua dulce de la isla. El usar los insectos acuáticos en estudios ecológicos que ayuden a crear escenarios futuros permitiría determinar las posibles estrategias de manejo para una mejor conservación de los ecosistemas acuáticos, y por ende, a asegurar los servicios ecológicos que los seres humanos recibimos de ellos.

11.8. Agradecimientos

Nuestros estudios con macroinvertebrados acuáticos en Puerto Rico reciben apoyo del programa de investigación a largo plazo de Luquillo (http://luq.lternet.edu/) y el programa de investigación urbana San Juan ULTRA (http://sanjuanultra.com/). Ambos financiados por la Fundación Nacional de Ciencias de los Estados Unidos (National Science Foundation).

11.9. Literatura citada

Barber, H.G. 1939. Hemiptera-Heteroptera (excepting the Miridae and Corixidae). *Scientific Survey of Porto Rico and the Virgin Islands* 14(3): 263-441.

Barrera, R., Amador, M. y Clark, G.G. 2006. Ecological factors influencing *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) productivity in artificial containers in Salinas, Puerto Rico. *Journal of Medical Entomology* 43: 484-942.

Benstead, J.P., March, J.G., Pringle, C.M. y Scatena, F.N. 1999. Effects of a low-head dam and water abstraction on migratory tropical stream biota. *Ecological Applications* 9(2): 656-668.

Blanco, J.F. y Scatena, F.N. 2005. Floods, habitat hydraulics and upstream migration of Neritinavirginea (Gastropoda: Neritidae) in northeastern Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science* 41(1): 55-74.

Blanco, J.F. y Scatena, F.N. 2006. The distribution of a diadromous gastropod in Puerto Rico streams: hierarchical contribution of river-ocean connectivity, water chemistry, hydraulics and substrate. *Journal of the North American Benthological Society* 25(1): 82-98.

Bobeldyk, A.M. y Ramírez, A. 2007. Leaf breakdown in a tropical headwater stream (Puerto Rico): the role of freshwater shrimps and detritivorous insects. *Journal of Freshwater Ecology* 22: 581-590.

Bunkley-Williams, L., y Williams, E.H. 1994. Parasites of Puerto Rican freshwater sport fishes. Puerto Rico: Puerto Rico Department of Natural and Environmental Resources, San Juan, PR y Department of Marine Sciences, University of PuertoRico, Mayaguez.

Chace, F.A. y Hobbs, H.H. 1969. The freshwater and terrestrial decapod crustaceans of the West Indies with special reference to Dominica. Smithsonian Institution Press, Washington D.C., USA.

Cook, B.D., Pringle, C.M. y Hughes, J.M. 2008a. Phylogeography of an island endemic: the Puerto Rican freshwater crab, *Epilobocera sinuatifrons*. *Journal of Heredity* 99: 157-164.

Cook, B.D., Pringle, C.M. y Hughes, J.M. 2008b. Molecular evidence for sequential colonization and taxon cycling in freshwater decapod shrimps on a Caribbean island. *Molecular Ecology* 17: 1066-1075.

Covich, A.P., Crowl, T.A. y Heartsill-Scalley, T. 2006. Effects of drought and hurricane disturbances on headwater distributions of palaemonid river shrimp (*Macrobrachium* spp.) in the Luquillo Mountains, Puerto Rico. *Journal of the North American Benthological Society* 25(1): 99-107.

Cross, W.F., Covich, A.P., Crowl, T.A., Benstead, J.P. y Ramírez, A. 2008. Secondary production, longevity and resource consumption rates of freshwater shrimps in two tropical streams with contrasting geomorphology and food web structure. *Freshwater Biology* 53: 2504-2519.

Crowl, T.A., Bouwes, N., Townsend, M.J., Covich, A.P. y Scantena, F.N. 2000. Estimating the potential role of freshwater shrimp on an aquatic insect assemblage in a tropical headwater stream: a bioenergetic approach. Verhandlungen *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 27: 2403-2407.

Cruz-Báez, A. y Boswell, T. 1997. Atlas de Puerto Rico. The Cuban-American Council, Inc., Miami, Florida, USA.

Daigle, J.J. 2007. *Macrothemis meurgeyi* sp. nov.from Guadeloupe (Anisoptera: Libellulidae). *Odonatologica* 36: 191-195.

De Jesús-Crespo, R. y Ramírez, A. 2011a. Effects of urbanization on stream physicochemistry and macroinvertebrate assemblages in a tropical urban watershed in Puerto Rico. *Journal of the North American Benthological Society* 30(3): 739-750.

De Jesús-Crespo, R. y Ramírez, A. 2011b. The use of a stream visual assessment protocol to determine ecosystem integrity in an urban watershed in Puerto Rico. *Physics and Chemistry of the Earth* 36(12): 560-566.

DRNA (Departamento de Recursos Naturales). 2004. Inventario de recursos de agua de Puerto Rico. Disponible en http://www.drna.gobierno.pr. (Obtenido el 12 de septiembre de 2014).

Drake, C.J. y Maldonado-Capriles, J. 1954. Puerto Rican water striders (Hemiptera, Veliidae). *Proceedings of the Biological Society of Washington* 67: 219-221.

Dudgeon, D., Cheung, F.K.W. y Mantel, S.K. 2010. Foodweb structure in small streams: do we need different models for the tropics? *Journal of the North American Benthological Society* 29(2): 395-412.

Ewel, J.J. y Whitmore, J.L. 1973. The ecological life zones of Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands. USDA Forest Service, Institute of Tropical Forestry. Research Paper ITF-018.

Ferguson, F.F. y Richards, C.S. 1963. Freshwater mollusks of Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands. *Transactions of the American Microscopical Society* 82(4): 391-395.

Ferrington, L.C. Jr., Buzby, K.M. y Masteller, E.C. 1993. Composition and temporal abundance of Chironomidae emergence from a tropical rainforest stream at El Verde, Puerto Rico. *Journal of the Kansas Entomological Society* 66: 167-180.

Flint, O. 1964. The caddisflies (Trichoptera) of Puerto Rico: Rio Piedras. University of Puerto Rico, Agricultural Experimental Station, Technical Paper no. 40: 1-80.

Flint, O.S. Jr. 1976. The Greater Antillean species of *Polycentropus* (Trichoptera: Polycentropodidae). *Proceedings of the Biological Society of Washington* 89(17): 233-246.

Flint, O.S. Jr. 1992. New species of caddisflies from Puerto Rico (Trichoptera). *Proceedings of the Entomological Society of Washington* 94(3): 379-389.

Flint, O.S. Jr. y Masteller, E.C. 1993. Emergence composition and phenology of Trichoptera from a tropical rainforest stream at El Verde, Puerto Rico. *Journal of the Kansas Entomological Society* 66: 140-150.

García-Díaz, J. 1938. An ecological survey of the freshwater insects of Puerto Rico, Part I - The Odonata, with new life-histories: Rio Piedras, University of Puerto Rico. *Journal of Agriculture* 22: 43-97.

Gelhaus, J.K., Masteller, E.C. y Buzby, K.M. 1993. Emergence composition and phenology of Tipulidae (Diptera) from a tropical rainforest stream at El Verde, Puerto Rico. *Journal of the Kansas Entomological Society* 66: 160-166.

Grau, H.R., Aide, T.M., Zimmerman, J.K., Thomlinson, J.R., Helmer, E. y Zou, X. 2003. The ecological consequences of socioeconomic and land-use changes in postagriculture Puerto Rico. *BioScience* 53(12): 1159-1168.

Greathouse, E. y Pringle, C.M. 2006. Does the river continuum concept apply on a tropical island? Longitudinal variation in a Puerto Rican stream. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 63: 134-152.

Greathouse, E.A., March, J.A. y Pringle, C.M. 2005. Recovery of a tropical stream after a harvest-related chlorine poisoning event. *Freshwater Biology* 50: 603-615.

Greathouse, E., Pringle, C.M., McDowell, W.H. y Holmquist, J.G. 2006. Indirect upstream effects of dams: consequences of migratory consumer extirpation in Puerto Rico. *Ecological Applications* 16: 339-352.

Gutiérrez-Fonseca, P.E., Rosas, K.G. y Ramírez, A. 2013. Aquatic insects of Puerto Rico: a list of families. *Dugesiana* 20(2): 215-219.

Hansen, M. y Richardson, B.A. 1998. A new species of Omicrus Sharp (Coleoptera: Hydrophilidae) from Puerto Rico and its larva, the first known larva of Omicrini. *Systematic Entomology* 23: 1-8.

Harrington, L.C., Buonaccorsi, J.P., Edman, J.D., Costero, A., Kittayapong, P., Clark, G.G. y Scott, T.W. 2001. Analysis of survival of young and old *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) from Puerto Rico and Thailand. *Journal of Medical Entomology* 38: 537-47.

Harris, S.C. y Flint O.S. Jr. 1992. Studies of Neotropical caddisflies, XLVII; Kumanskiella, a new genus of microcaddisflies from Cuba and Puerto Rico. *Journal of the New York Entomological Society* 100(4): 581-593.

Helmer, E.H., Ramos, O., López, T. del M., Quiñones, M. y Díaz, W. 2002. Mapping the forest type and land cover of Puerto Rico, a component of the Caribbean Biodiversity Hotspot. *Caribbean Journal of Science* 38: 165-183.

Hernández, E.W. y Courtney, G.W. 2010. Review of the net-winged midges (Blephariceridae) of Puerto Rico. The Seventh International Congress of Dipterology, San José, Costa Rica.

Hilsenhoff, W.L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family level biotic index. *Journal of the North American Benthological Society* 7(1): 65-68.

Holmquist, J.G., Schmidt-Gengenbach, J.M. y Yoshioka, B.B. 1998. High dams and marine-freshwater linkages: effects on native and introduced fauna in the Caribbean. *Conservation Biology* 12(3): 621-630.

Jobin, W. 1970. Population dynamics of aquatic snails in three farm ponds of Puerto Rico. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 19: 1083-1047.

Klots, E.B. 1932. Insects of Porto Rico and the Virgin Islands- Odonata or dragonflies. *Scientific Survey of Porto Rico and the Virgin Islands* 14: 1-107.

López-Marrero, T.M. y Villanueva-Colón, N. 2006. *Atlas ambiental de Puerto Rico*. Editorial Universidad de Puerto Rico.

Lugo, A.E. 2005. Los Bosques. Pp. 397-545. En: Joglar, R.L. (Ed.), Biodiversidad de Puerto Rico: vertebrados terrestres y ecosistemas. Instituto de Cultura Puertorriqueña, San Juan, Puerto Rico.

Lugo, A. E., O. M. Ramos-González y Rodríguez-Pedraza, C. 2011. The Rio Piedras Watershed and its surrounding environment, US Department of Agriculture, Forest Service. FS-980.

Lugo-Ortiz, C.R. y McCafferty, W.P. 1994. *Farrodes* (Ephemeroptera: Leptophlebiidae) in the Antilles: new species from Puerto Rico and review of the genus. *Entomological News* 105: 263-266.

Maldonado-Capriles, J. y Navarro, C.A. 1967. Additions and corrections to Wolcott's "Insects of Puerto Rico". *Caribbean Journal of Science* 7(1-2): 45-64.

March, J.G. y Pringle, C.M. 2003. Food web structure and basal resource utilization along a tropical island stream continuum, Puerto Rico. *Biotropica* 35(1): 84-93.

March, J.G., Benstead, J.P. y Pringle, C.M. 1998. Migratory drift of larval freshwater shrimps in two tropical streams, Puerto Rico. *Freshwater Biology* 40: 261-273.

March, J.G., Benstead, J.P., Pringle, C.M. y Ruebel, M.W. 2001. Linking shrimp assemblages with rates of detrital processing along an elevational gradient in a tropical stream. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58: 470-478.

March, J.G., Benstead, J. P., Pringle, C.M. y Scatena, F.N. (2003). Damming tropical island streams: problems, solutions, and alternatives. *Bioscience* 53: 1069-1078.

Masteller, E.C. 1993. Comparison of tropical and temperate emergence phenology of aquatic insects from Puerto Rico and Pennsylvania. *Journal of the Kansas Entomological Society* 66: 192-199.

Masteller, E.C. y Buzby, K.M. 1993a. Composition and temporal abundance of aquatic insect emergence from a tropical rainforest stream, Quebrada Prieta, at El Verde, Puerto Rico. *Journal of the Kansas Entomological Society* 66: 133-193.

Masteller, E.C. y Buzby, K.M. 1993b. Emergence phenology of Empididae, Ceratopogonidae, and Simuliidae (Diptera) from a tropical rainforest stream at El Verde, Puerto Rico. *Journal of the Kansas Entomological Society* 66: 187-191.

Neal, J.W., Lilyestrom, C.G. y Kwak, T.J. 2009. Factors influencing tropical island freshwater fishes: species, status, and management implications in Puerto Rico. *Fisheries* 34(11): 546-554.

Needham, J.G. 1941. Life history notes on some West Indian Coenagrionine dragonflies (Odonata). *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 25: 1-19.

Ocasio-Torres, M.E., Crowl, T.A. y Sabat,A.M. 2014. Long rostrum in an amphidromous shrimp induced by chemical signals from a predatory fish.*Freshwater Science* 33(2): 451-458.

Pescador, M.L., Masteller, E.C. y Buzby, K.M. 1993. Composition and phenology of Ephemeroptera from a tropical rainforest stream at El Verde, Puerto Rico. *Journal of the Kansas Entomological Society* 66: 151-159.

Perez-Reyes, O., Crowl, T.A., Hernández-García, P.J., Ledesma-Fuste, R., Villar-Fornes, F.A. y Covich, A.P. 2013. Freshwater decapods of Puerto Rico: a checklist and reports of new localities. *Zootaxa* 3717: 329-344.

Peters, W.L. 1971. A revision of the Leptophlebiidae of the West Indies (Ephemeroptera). *Smithsonian Contributions to Zoology* 62: 1-48.

Picó, R. 1969. La nueva geografía de Puerto Rico. Editorial Universitaria,Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, Puerto Rico.

Pringle, C.M. 1996. Atyid shrimps (Decapoda: Atyidae) influence the spatial heterogeneity of algal communities over different scales in tropical montane streams, Puerto Rico. *Freshwater Biology* 35: 125-14.

Pringle, C.M. 1997. Exploring how disturbance is transmitted upstream: going against the flow. *Journal of the North American Benthological Society* 16(2): 425-438.

Pringle, C.M., Blake, G.A., Covich, A.P., Buzby, K.M. y Finley, A. 1993. Effects of omnivorous shrimp in a montane tropical stream: sediment removal, disturbance of sessile invertebrates and enhancement of understory algal biomass. *Oecologia* 93: 1-11.

Ramírez, A. y Hernández-Cruz, L.R. 2004. Aquatic insect assemblages in shrimp-dominated tropical streams, Puerto Rico. *Biotropica* 36: 259-266.

Ramírez, A., Pringle, C.M. y Wantzen, K.M. 2008. Tropical river conservation. Pp. 285-304. En: Dudgeon, D. (Ed.). Tropical Stream Ecology. Elsevier Science, London, UK.

Ramírez, A., De Jesús-Crespo, R., Martinó-Cardona, D.M., Martínez-Rivera, N. y Burgos-Caraballo, S. 2009. Urban streams in Puerto Rico: what can we learn from the tropics? *Journal of the North American Benthological Society* 28(4): 1070-1079.

Richards, C.S. 1964. Studies on Puerto Rican Physidae. *Public Health Reports* 79(11): 1025-1029.

Richards, C.S., y Ferguson, F.F. 1962. *Plesiophysa hubendicki*, a new Puerto Rican planorbid snail. *Transactions of the American Microscopical Society* 81: 251-256.

Richardson, B.A. 1999. The bromeliad microcosm and the assessment of faunal diversity in a Neotropical forest. *Biotropica* 31(2): 321-336.

Richardson, B.A. y Hull, G.A. 2000. Insect colonization sequences in bracts of *Heliconia caribaea* in Puerto Rico. *Ecological Entomology* 25: 460-466.

Richardson, B.A., Rogers, C. y Richardson, M.J. 2000b. Nutrients, diversity, and community structure of two phytotelm systems in a lower montane forest, Puerto Rico. *Ecological Entomology* 25: 348-356.

Richardson, B.A., Richardson, M.J., Scatena, F.N. y McDowell, W.H. 2000a. Effects of nutrient availability and other elevational changes on bromeliad populations and their invertebrate communities in a humid tropical forest in Puerto Rico. *Journal of Tropical Ecology* 16: 167-188.

Sawyer, R.T. yKinard, W.F.1980. A checklist and key to the marine and freshwater leeches (Annelida: Hirudinea) of Puerto Rico and other Caribbean Islands.*Caribbean Journal of Science* 15: 83-85.

Smith, D.G. 1998. *Mesostoma* (Platyhelminthes: Rhabdocoela,Typhloplanidae)of Mona Island, Puerto Rico, with a description of a new species.*Invertebrate Biology* 117: 101-108.

Traver, J.R. 1938. Mayflies of Puerto Rico. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 22: 5-42.

Tressler, W.L. 1941. Ostracoda from Puerto Rican bromeliads. *Journal of the Washington Academy of Sciences* 31: 263-269.

Torres, P.J. y Ramírez,A. 2014. Land use effects on leaf litter breakdown in low-order streams draining a rapidly developing tropical watershed in Puerto Rico. *Revista de Biología Tropical* 62(Sup.2): 129-142.

Van der Schalie, H. 1948. The land and freshwater mollusks of Puerto Rico. University of Michigan – Ann Arbor *Miscellaneous Publications of the Museum of Zoology* 70: 1-134.

Vélez, M.J. Jr. 1967. Checklist of the terrestrial and freshwater decapods of Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science* 7(l-2): 41-44.

Wagner, R. y Masteller, E.C. 1993. Composition and temporal abundance of mothflies (Diptera, Psychodidae) from a tropical rainforest stream at El Verde, Puerto Rico. *Journal of the Kansas Entomological Society* 66: 181-186.

Wagner, R. y Masteller, E.C. 1996. New moth flies (Diptera: Psychodidae) and a key to species from Puerto Rico. *Proceedings of Entomological Society of Washington* 98(3): 450-464.

Wagner, R., Richardson, B.A. y Richardson, M.J. 2010. A new psychodid species from Puerto Rican tank bromeliads. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 45(3): 21-127.

Walsh, C.J., Roy, A.H., Feminella, J.W., Cottingham, P.D., Groffman, P.M. y Morgan, R.P. 2005. The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. *Journal of the North American Benthological Society* 24(3): 706-723.

Williams, E.H., Bunkley Williams, L. y Burreson, E.M. 1994. Some new records of marine and freshwater leeches from Caribbean, Southeastern U.S.A., Eastern Pacific, and Okinawan animals. *Journal of the Helminthological Society of Washington* 61:133-138.

Wolcott, G.N. 1948. The insects of Puerto Rico. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 32: 1-975.

Wright, M.S. y Covich, A.P. 2005. The effect of macroinvertebrate exclusion on leaf breakdown rates in a tropical headwater stream. *Biotropica* 37(3): 403-408.

Río Murcielago - Costa Rica

Autor de fotografía: Beatriz Naranjo

SEMARNAT

SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES

ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

IMTA

INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA
DEL AGUA

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO

EDUCO EN LA VERDAD Y EN EL HONOR

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

LUCEM ASPICIO