



Los ríos de las cuencas Andino-Amazónicas

Herramientas y guía de invertebrados
para el diseño de programas de monitoreo

Andrea C. Encalada | Juan Manuel Guayasamin | Esteban Suárez | Carlos F. Mena | Janeth Lessmann
| Carolina Sampedro | Patricia Martínez | Valeria Ochoa-Herrera | Kelly Swing | Maja Celinščak |
José Schreckinger | Jose Vieira | Andrea Tapia | Claudia Serrano | Karla Barragán | Sebastián Andrade
| Alex Alexiades y María José Troya



Los ríos de las cuencas Andino-Amazónicas

Herramientas y guía de invertebrados
para el diseño de programas de monitoreo

Andrea C. Encalada | Juan Manuel Guayasamin | Esteban Suárez | Carlos F. Mena | Janeth Lessmann
| Carolina Sampedro | Patricia Martínez | Valeria Ochoa-Herrera | Kelly Swing | Maja Celinščak |
José Schreckinger | Jose Vieira | Andrea Tapia | Claudia Serrano | Karla Barragán | Sebastián Andrade
| Alex Alexiades y María José Troya

Este trabajo se origina de un proyecto financiado en su totalidad o parcialmente por la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos (NAS) y la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) bajo USAID Prime Award Number AID-OAA-A-II-00012. Toda opinión, resultado, conclusión o recomendación expresada corresponde a la de los autores, y no refleja necesariamente los puntos de vista de USAID o NAS.



Partnership for Enhanced
Engagement in Research
(PEER)

Esta publicación fue elaborada por el Laboratorio de Ecología Acuática del Instituto BIOSFERA de la Universidad San Francisco de Quito (LEA-USFQ), el Centro para la Investigación y Conservación de la Biodiversidad de la Universidad Tecnológica Indoamérica (BIOCAMB-UTI), y con colaboración del Proyecto EVOTRAC, financiado por la U.S. National Science Foundation a través del fondo Dimensions of Biodiversity grant, No. de proyectos DEB-1046408, DEB-1045960, y DEB-1045991. Adicionalmente tuvimos financiamiento de Collaboration Grants de la Universidad San Francisco de Quito (USFQ) y de las becas de investigación de la Universidad Indoamérica (UTI).



Este proyecto se desarrolla en el marco de la Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua, una iniciativa conjunta de TNC, Fundación FEMSA, BID, Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) e IKI por iniciativa del Parlamento Alemán. Las opiniones aquí expresadas pertenecen a los autores y no necesariamente reflejan las opiniones de IKI, BMU, GEF o BID, su Junta Directiva o los países que representan.



Fomentado por el:
 Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza
y Seguridad Nuclear

en virtud de una resolución del Parlamento
de la República Federal de Alemania

LOS RÍOS DE LAS CUENCAS ANDINO-AMAZÓNICAS: HERRAMIENTAS Y GUÍA DE INVERTEBRADOS PARA EL DISEÑO EFECTIVO DE PROGRAMAS DE MONITOREO

Dirección y Coordinación: Andrea C. Encalada.

Autores: Andrea C. Encalada, Juan Manuel Guayasamin, Esteban Suárez, Carlos F. Mena, Janeth Lessmann, Carolina Sampedro, Patricia Martínez, Valeria Ochoa-Herrera, Kelly Swing, Maja Celinščak, José Schreckinger, Jose Vieira, Andrea Tapia, Claudia Serrano, Karla Barragán, Sebastián Andrade, Alex Alexiades, María José Troya.

Tiraje: 1000 ejemplares

Derecho de autor: 056513

ISBN: 978-9942-808-03-5

Producción editorial: Andrea C. Encalada.

Fotografías: Vertebrados: Kelly Swing, Jose Vieira, Esteban Suárez y Xavier Amigo; paisajes: Esteban Suárez y Andrea Encalada; gente trabajando: Jose Vieira y Esteban Suárez.

Fotografías en fondo blanco: fotografiadas con especímenes vivos en el campo por Jose Vieira y ayudantes.

Fotografía portada: Esteban Suárez.

Mapas: Maja Celinščak, Janeth Lessmann y Carolina Sampedro.

Gráficos: varios coautores

Ilustración científica Atriplectididae: Valentina Nieto Fernández.

Ilustración científica de macroinvertebrados acuáticos para láminas: Anna Vlamincik.

Revisión editorial: Valeria Ochoa y Esteban Suárez.

Diseño: TRAMA Ediciones.

Impresión: Imprenta Mariscal.

Esta obra se publicó luego de un proceso de revisión por pares (peer-reviewed) que contó con la participación de los siguientes revisores académicos: Dr. Eduardo Domínguez (Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán, Argentina) y Dr. Christian Villamarín (Universidad de Las Américas, Quito, Ecuador).

Distribución: Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales, Laboratorio de Ecología Acuática, Oficina DW 021, Calle Diego de Robles S/N y Vía Interoceánica, Campus Cumbayá, Casilla Postal: 17-1200-841, Quito-Ecuador. Teléfono: (593) 2 2971 700 ext: 1441.

Para citar este Manual: Encalada A. C., Guayasamin J.M., Suárez E., Mena C. F., Lessmann J., Sampedro C., Martínez, P.E., Ochoa-Herrera V., Swing K., Celinščak M., Schreckinger J., Vieira, J., Tapia A., Serrano C., Barragán K., Andrade S., Alexiades A., & M. J. Troya. 2019. Los ríos de las cuencas Andino-Amazónicas: Herramientas, y guía de invertebrados para el diseño efectivo de programas de monitoreo. Trama, Quito, 224 pp.

Catálogo en la fuente:

Universidad San Francisco de Quito.

El texto del LOS RÍOS DE LAS CUENCAS ANDINO-AMAZÓNICAS: HERRAMIENTAS Y GUÍA DE INVERTEBRADOS PARA EL DISEÑO EFECTIVO DE PROGRAMAS DE MONITOREO por Encalada et al. se encuentra bajo la Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 3.0 Uported.

Los autores de las imágenes y fotografías de esta obra mantienen el Copyright de las mismas y cualquier uso de éstas debe ser solicitado directamente a los autores.



Los ríos de las cuencas Andino-Amazónicas

Herramientas y guía de invertebrados
para el diseño de programas de monitoreo

Autores

ANDREA C. ENCALADA

Profesora e investigadora del Laboratorio de Ecología Acuática y codirectora del Instituto BIOSFERA de la Universidad San Francisco de Quito (Ecuador). Obtuvo su Ph.D. en Cornell University (EEUU). Sus principales intereses son investigar la ecología de ríos tropicales desde varios niveles de la jerarquía ecológica. Actualmente participa en varios proyectos e iniciativas de investigación, monitoreo y conservación de ríos de la gradiente Andino-Amazónica que involucran temas de diversidad (invertebrados y peces), cambio climático y el efecto de las alteraciones hidrológicas en ríos montanos.

JUAN MANUEL GUAYASAMIN

Profesor e investigador de la Universidad San Francisco de Quito y codirector de Laboratorio de Biología Evolutiva. Obtuvo el título de doctorado en Ecología y Biología Evolutiva en la Universidad de Kansas, EE.UU. Su investigación se centra en la evolución, ecología, taxonomía, morfología y conservación de la diversidad neotropical, con énfasis en los anfibios. Conjuntamente con varios colegas y estudiantes, estudia los factores que promueven la especiación en los Andes y la Amazonía. También investigan el impacto de especies y enfermedades introducidas en la diversidad y fenotipo de las especies nativas.

ESTEBAN SUÁREZ

Investigador del Instituto BIOSFERA, profesor en el Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad San Francisco de Quito, y profesor adjunto de la Universidad de Carolina del Norte en Chapel Hill (EE.UU). Obtuvo su título de Biología en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, y su Maestría y Ph.D. en Ecología de Ecosistemas terrestres en Cornell University (EEUU). Lideró investigaciones relacionadas con el manejo y comercio ilegal de fauna y los impactos de la industria petrolera sobre la vida silvestre amazónica. Actualmente, sus intereses principales están relacionados con la ecología y conservación de ecosistemas de alta montaña en los Andes tropicales.

CARLOS F. MENA

Ph.D. en Geografía y M.Sc. en Ciencias Ambientales por la Universidad de Carolina del Norte en Chapel Hill (UNC-CH) y la Universidad de Miami (UM), respectivamente. Carlos se desempeña como Director del Instituto de Geografía de la Universidad San Francisco de Quito desde el 2017 y es Codirector del *Galapagos Science Center* a partir del año 2009. Así mismo, es profesor del Colegio de Ciencias Biológicas de la USFQ, Investigador Asociado de UNC-CH, UM y el Instituto de Estudios Sociales de la Universidad Erasmus de Rotterdam, Holanda. Carlos se especializa en sistemas socio ambientales, ecosistemas vulnerables, cambio de uso de suelo y deforestación tropical, modelos complejos espacialmente explícitos y cambio climático.

JANETH LESSMANN

Estudiante de Doctorado en Ecología en la Pontificia Universidad Católica de Chile. Es bióloga egresada de la Universidad Simón Bolívar (Venezuela) y tiene un máster en Biodiversidad en Áreas Tropicales y su Conservación de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo (España). Su interés se centra en generar información espacial para apoyar la conservación de la biodiversidad neotropical. Actualmente, estudia cómo integrar aspectos culturales, agroecológicos y económicos en la planificación de la conservación biológica.

CAROLINA SAMPEDRO

M.Sc. en Sistemas de Información Geográfica por la Universidad de Salzburgo en Austria, y M.Sc. en Ecología por la Universidad San Francisco de Quito en Ecuador. Desde hace 8 años se desempeña como investigadora del Instituto de Geografía de la Universidad San Francisco. Su experiencia profesional se ha desarrollado principalmente en la Amazonía norte del Ecuador y en las Islas Galápagos, en donde participó en proyectos relacionados a temas sociales y ambientales utilizando herramientas como ciencia ciudadana, monitoreo participativo comunitario, sistemas de información geográfica, y sensores remotos.

PATRICIA E. MARTÍNEZ

M.Sc. en Tecnologías de la Información Geográfica para la Ordenación del Territorio: Sistemas de la Información Geográfica y Teledetección por la Universidad de Zaragoza en España, e Ingeniera en Ciencias Geográficas y Desarrollo Sustentable con Mención en Ordenamiento Territorial de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Desde hace 6 años se desempeña como investigadora del Instituto de Geografía de la Universidad San Francisco. Su desarrollo profesional se ha basado principalmente en la amazonia centro-norte del Ecuador y en la provincia de Esmeraldas, en donde ha colaborado en proyectos relacionados a temas sociales y ambientales, en los cuales ha podido usar herramientas como ciencia ciudadana, monitoreo participativo comunitario, sistemas de información geográfica, sensores remotos y aviones no tripulados.

VALERIA OCHOA-HERRERA

Coordinadora del Departamento de Ing. Ambiental de la Universidad San Francisco de Quito (USFQ), codirectora del Instituto BIOSFERA USFQ, y Profesora Adjunta en el Departamento de Ciencias Ambientales e Ingeniería de la Universidad de Carolina del Norte, UNC-Chapel Hill, EE.UU. Sus áreas de investigación incluyen calidad del agua y su impacto en la salud pública, tratamiento de efluentes domésticos e industriales, biorremediación y sustentabilidad. Actualmente, está liderando varios proyectos de investigación relacionados con contaminación de cuerpos de agua en Ecuador en las regiones Sierra, Amazonía y Galápagos con el objetivo de mejorar la calidad, manejo y accesibilidad del agua dulce.



KELLY SWING

Ph.D. en ecología tropical con especialización en la fauna amazónica. Ha estudiado la biota neotropical desde 1979 y es director fundador de la Estación de Biodiversidad Tiputini desde 1994. A través de la USFQ y Boston University, ha ofrecido casi 200 cursos de campo en diferentes ecosistemas del Ecuador.

MAJA CELINŠČAK

Coordinadora del Instituto BIOSFERA de la Universidad San Francisco de Quito. Luego de terminar sus estudios de biología en la Universidad de Zagreb (Croacia), obtuvo maestrías en Ecología Aplicada (Universidad de Coímbra, Portugal) y en Sistemas de Información Geográfica (Universidad de Salzburgo, Austria). Trabajó en proyectos de conservación y educación ambiental en Europa y América Latina, el Laboratorio de Ecología Acuática-USFQ y el sector público ecuatoriano. Sus intereses principales incluyen ecotoxicología, impactos ambientales de las actividades antropogénicas y su relación con la conservación de ecosistemas de agua dulce.

JOSÉ SCHRECKINGER

Estudiante de doctorado en la Universidad Técnica de Brandemburgo, Alemania. Estudia dinámicas bioquímicas en interfaces terrestres-acuáticas, con especial énfasis en ríos intermitentes. Por varios años fue miembro del Laboratorio de Ecología Acuática de la Universidad San Francisco de Quito y participó en diversas investigaciones en ríos Andino-Amazónicos. Tiene una maestría en Sistemas de Información Geográficas (Universidad de Salzburgo, Austria) y es un apasionado de la fotografía de naturaleza.

JOSE VIEIRA

Naturalista y fotógrafo profesional de vida silvestre. Actualmente trabaja como investigador y fotógrafo en Tropical Herping y por contrato en proyectos en la Universidad San Francisco de Quito. Se especializa en taxonomía de anfibios y reptiles y en fotografía científica de otros grupos taxonómicos para divulgación de la ciencia y conservación.

ANDREA TAPIA

Licenciada en biología en la Universidad San Francisco de Quito, y luego complementó sus estudios con una maestría con especialización en Conservación y Restauración enfocada en recursos hídricos (Universidad de Melbourne, Australia). Andrea ha colaborado con diversos proyectos de investigación y conservación comunitaria en el Ecuador. Actualmente trabaja en el Laboratorio de Ecología Acuática de la USFQ como Coordinadora de Investigación, donde maneja y ejecuta los proyectos llevados a cabo por el laboratorio.



CLAUDIA SERRANO

Asistente de investigación ambiental en el Laboratorio de Ecología Acuática de la USFQ. Tiene un pregrado de la Universidad Católica del Ecuador, y luego una maestría con especialización en conservación ambiental en la Universidad de Melbourne, Australia. Colaboró con la WWF investigando sobre efectos del turismo en la biodiversidad de las Islas Galápagos. Su mayor interés es la conservación ambiental, la ciencia ciudadana como herramienta de conservación y los ecosistemas de agua dulce.

KARLA BARRAGÁN

Estudiante de Biología en la Universidad San Francisco de Quito. Actualmente trabaja como asistente de investigación en proyectos de diversidad ictiológica en cuencas Andino-Amazónicas. Otros de sus intereses son la ecología de humedales, la etnobotánica y los invertebrados acuáticos y marinos.

SEBASTIÁN ANDRADE

Graduado de Biología en la Universidad San Francisco de Quito, ha participado en proyectos relacionados con taxonomía y ecología. Se interesa por los invertebrados, la ilustración naturalista y científica, el estudio de ecosistemas y la divulgación científica.

ALEX ALEXIADES

Ph.D. en Cornell University en el departamento de Recursos Naturales. Actualmente es profesor asistente en Heritage University, Toppenish Washington (EE.UU.). Sus intereses de investigación radican en aplicar aproximaciones cuantitativas para entender, modelar y predecir efectos de alteraciones naturales y antropogénicos en biodiversidad, dinámica de poblaciones y comunidades y procesos ecológicos.

MARÍA JOSÉ TROYA es estudiante de posgrado de la Universidad de Oxford, donde cursa programas de maestría en manejo ambiental y administración de negocios. Previamente trabajó en la organización ambiental WWF en Washington, D.C. en temas de mercados, agricultura y deforestación. Obtuvo su licenciatura en Biología en la Universidad San Francisco de Quito, donde trabajó en el Laboratorio de Ecología Acuática investigando las amenazas antropogénicas a cuencas hídricas de la Amazonía ecuatoriana.

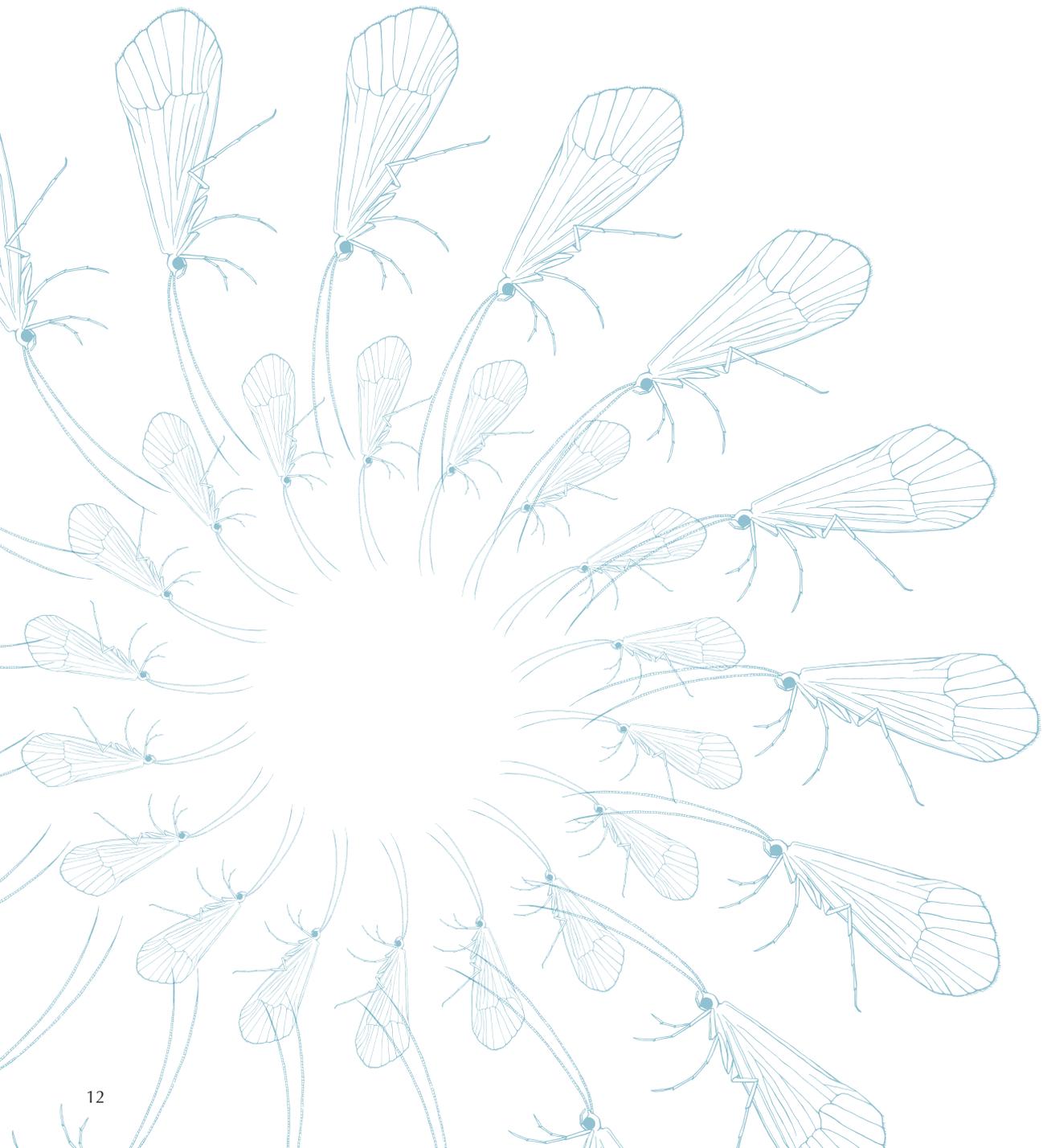
Contenido

13	Presentación
15	Prólogo
19	PRIMERA PARTE CUENCAS ANDINO-AMAZÓNICAS DEL ECUADOR
21	Capítulo 1. Los ríos de las cuencas Andino-Amazónicas del Ecuador Andrea C. Encalada, Esteban Suárez y Kelly Swing
35	Capítulo 2. Diversidad de Especies Dulceacuícolas en las Cuencas Andino-Amazónicas del Ecuador Janeth Lessmann, Andrea C. Encalada y Juan M. Guayasamin
47	Capítulo 3. Dimensiones Socio-Ambientales de los Recursos Hídricos de la Región Andino-Amazónica Ecuatoriana Carlos F. Mena, Patricia E. Martínez, María José Troya y Esteban Suárez
59	Capítulo 4. Amenazas provenientes de actividades humanas hacia los ecosistemas de agua dulce en las cuencas Andino-Amazónicas del Ecuador Carolina Sampedro y Janeth Lessmann
66	Referencias
71	SEGUNDA PARTE MANUAL Y HERRAMIENTAS PARA EL DISEÑO DE PROGRAMAS DE MONITOREO DE RÍOS ANDINO-AMAZÓNICOS
73	Diseño de Programas de Biomonitorio
74	Integridad Ecológica en los Ecosistemas Lóticos
75	¿Qué es el Biomonitorio?
77	Árbol de alternativas de Biomonitorio
77	¿Cómo funciona el árbol de decisión?
84	Establezca su diseño de monitoreo

85	Compendio de Protocolos de Monitoreo
86	Protocolo A Preparación de Medidas de Seguridad para el Monitoreo
89	Protocolo B Descripción de las presiones antropogénicas sobre los ríos
93	Protocolo C Caracterización Físico-Química del Ecosistema del Río (Variables Básicas)
101	Protocolo D Caracterización Físico-Química del Ecosistema del Río (Variables Adicionales Avanzadas)
105	Protocolo E Caudal y Nivel del río a lo largo del tiempo
114	Protocolo F Invertebrados Acuáticos e Índice AAMBI
126	Protocolo G Coliformes: estimación de <i>Escherichia coli</i> y Coliformes totales
127	Protocolo H Medición de IHF y QBR
132	Protocolo I Índice de la calidad de la vegetación de ribera
136	Evaluación de los parámetros para determinar la integridad ecológica del río
140	Diagnóstico integral para el manejo adaptativo
143	Referencias
145	TERCERA PARTE GUÍA DE INVERTEBRADOS ACUÁTICOS DE LAS CUENCAS ANDINO-AMAZÓNICAS
221	Glosario
223	Referencias









El agua es un recurso estratégico para el ser humano y nuestra supervivencia depende de su disponibilidad. Sin embargo, a pesar de su importancia el agua es un recurso que enfrenta graves amenazas. En el Reporte de Riesgo global 2019 publicado por el Foro Económico Mundial, la crisis del agua se catalogó dentro de los 5 riesgos más importantes a nivel global en términos de su potencial impacto. En muchas regiones del mundo la demanda de agua sobrepasa la oferta, adicionalmente nuestros ríos a nivel global enfrentan cada vez más problemas en términos de contaminación y degradación. Vinculada a esta degradación del recurso, la biodiversidad de agua dulce se pierde de manera más rápida y crítica que la biodiversidad en otros ecosistemas como los terrestres. Los datos son alarmantes, el reporte Living Planet producido por WWF, habla de una reducción del 83% de especies de agua dulce desde el año 1971. Frente a esta situación es responsabilidad de todos el tomar acción efectiva para proteger este importante recurso. Para la toma de acción es necesario contar con herramientas que guíen y apoyen a los diversos actores vinculados a la gestión del agua para poder revertir esta tendencia de degradación y mantener a futuro este valioso recurso.

Los ríos de las cuencas Andino-Amazónicas busca ser una herramienta para que comunidades locales, usuarios de agua y tomadores de decisiones puedan comprender mejor el

ecosistema de agua dulce y lo usen como un apoyo para la gestión y protección del recurso hídrico. Esta publicación presenta de una manera innovadora, atractiva y didáctica una guía para diseñar un monitoreo de agua ajustado a las particularidades de cada usuario. Esto permitirá realizar evaluaciones de la calidad ambiental de los ríos, e informar decisiones que apunten a mejorar la situación del recurso agua en esta región.

Esta publicación cuenta con el apoyo de la Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua que tiene como uno de sus objetivos el mejorar la gestión del conocimiento como un elemento clave que permita tomar decisiones acertadas que contribuyan a la seguridad hídrica. La pérdida de la integridad y la salud de los ríos es uno de los grandes riesgos para la prosperidad de la región Andino-Amazónica. Un trabajo de acción colectiva que integre a varios actores y que promueva la toma de decisiones basadas en el mejor conocimiento disponible será clave para generar impactos positivos tanto a las personas como a la naturaleza.

Silvia Benítez-Ponce
Gerente de Agua Dulce
Región de América Latina
The Nature Conservancy





Los ríos de las extensas cuencas Andino-Amazónicas son uno de los elementos más importantes del patrimonio natural del Ecuador. Alimentados por cuencas que comprenden más de la mitad del territorio ecuatoriano, estos ríos inician su recorrido como pequeños arroyos de montaña en el ramal oriental de la Cordillera de los Andes y, mientras descienden, se convierten en los turbulentos ríos andinos y, finalmente, en los gigantescos sistemas fluviales que confluyen en el río Amazonas. En su descenso desde los Andes, estos ríos cambian paulatinamente su estructura y sus características físicas, químicas y biológicas, lo que resulta en grandes diferencias en procesos ecológicos claves y en los servicios ambientales que ofrecen.

Desde la provisión de agua para consumo doméstico y riego en toda la región Andina, hasta la generación de más del 80% de la energía eléctrica consumida en el país y el mantenimiento de la seguridad alimentaria de una gran porción de la población humana amazónica, los ríos de estas cuencas son vitales para el desarrollo del Ecuador. A pesar de ello, su estado de conservación es crítico y aun contamos con poco conocimiento y herramientas para guiar su manejo. En este contexto, este libro es un esfuerzo para dar a conocer la grandeza de estos ríos y riachuelos Andino-Amazónicos, sus diferentes tipos de ecosistemas, su diversidad, sus usos, y también sus proble-

mas. La información y el aprendizaje contenidos en este libro, los hemos recopilado través de nuestros viajes de investigación, gestión, docencia, monitoreo y educación ambiental en la región. Los autores de este libro agradecemos por todas las vivencias y el aprendizaje que hemos construido con nuestros colegas y amigos de comunidades e instituciones que trabajan y/o viven a lo largo de la gradiente Andino-Amazónica. **¡A todos ellos les dedicamos este libro!**

La primera parte del libro es una aproximación a la caracterización de estos ecosistemas, y una descripción preliminar de su diversidad y de los problemas socioambientales que experimentan. Aunque mucha de la información presentada en esta sección fue recopilada en la cuenca del río Napo, a través de este análisis pretendemos presentar un panorama general de las cuencas Andino-Amazónicas del Ecuador, ya que muchos problemas son comunes entre ellas.

La segunda parte ofrece una recopilación de herramientas y protocolos de monitoreo de ríos y, además, propone un árbol de alternativas para que gestores ambientales, ciudadanos independientes, comuneros, y/o estudiantes puedan diseñar sus propios sistemas de monitoreo, de acuerdo con la región donde se encuentren y con el problema ambiental más importante que sus ríos experimenten.



A pesar de que hay varias obras con objetivos similares, este libro propone la construcción de un diseño de monitoreo propio, e incluye información para toda la gradiente de elevación, desde las altas cumbres orientales hasta la llanura amazónica. De esta manera, esperamos contribuir al trabajo de las muchas comunidades e instituciones de la región Andino-Amazónica que se han embarcado en diversos proyectos para mejorar el manejo y el estado de conservación de los ríos de la región. Esperamos que este libro pueda proveerles de herramientas prácticas para la evaluación de la integridad y salud ecológica de sus ríos y para el mejor manejo y cuidado de sus cuencas.

Finalmente, en la tercera parte del libro ofrecemos una guía de invertebrados acuáticos, con fotos de animales vivos para que los usuarios puedan identificarlos fácilmente hasta el nivel taxonómico de familia. Hemos puesto especial cuidado en ofrecer fotos de alta calidad y de buen tamaño para que se pueda admirar a estos maravillosos organismos que son excelentes indicadores de la calidad del agua y de la integridad ecológica de los ríos.

Este libro está basado en información científica generada por los autores y otros investigadores, y la presentamos en un lenguaje sencillo para que pueda ser utilizada en proyectos de gestión y manejo. Además, esperamos facilitar la participación de las comunidades para que desarrollen sus propios sistemas de

monitoreo, ya sea a través de programas de investigación participativa o de ciencia ciudadana. En ese sentido, hemos hecho un esfuerzo especial para que los protocolos propuestos puedan ser ampliamente utilizados como un apoyo técnico para líderes comunitarios, gestores del agua de comunidades rurales, autoridades locales y estudiantes de gestión ambiental.

La información que se presenta en este libro ha sido producida sobretodo en la cuenca del Río Napo. Por esta razón los primeros capítulos están enfocados en la mencionada cuenca, ya que en muchos aspectos es representativa de otras cuencas andino-amazónicas (como el Pastaza, Morona, etc.). Agradecemos a los siguientes proyectos que fueron críticos para la ejecución de este libro: 1) “Long-term sustainability of water resources and biodiversity under scenarios of climate change in the Napo watershed, Ecuador” financiado por un Partnership for Enhanced Engagement in Research (PEER) entre United States Agency for International Development (USAID) y la National Science Foundation (NSF); 2) EVO-TRAC (An integrative traits-based approach to predicting variation in vulnerability of tropical and temperate stream biodiversity to climate change), financiado por NSF Dimensions grant DEB-1046408, DEB-1045960 y DEB-1045991; y 3) Proyecto NUNA, financiado por Gordon and Betty MOORE Foundation a través del subaward number AGT-AAO-002/2017, con nuestros colaboradores



de Wildlife Conservation Society (WCS) en Ecuador. Queremos reconocer y agradecer la colaboración de The Nature Conservancy (TNC), que, durante muchos años, ha sido el apoyo académico de investigadores, gestores y estudiantes que trabajan en la gestión y manejo del agua, sobretodo en la parte Andina. A todo su personal y en especial a Silvia Benítez, su apoyo ha sido esencial para la realización de esta publicación.

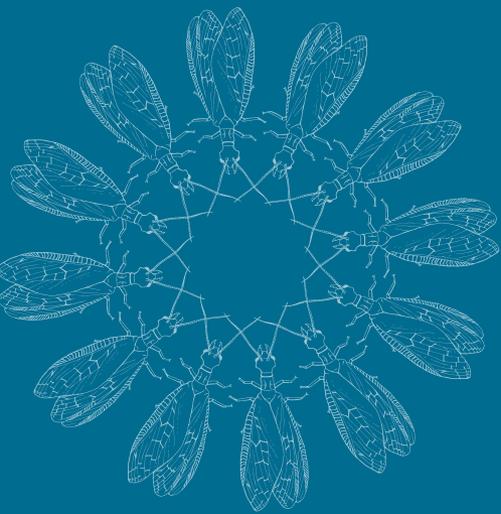
Agradecemos públicamente a los colegas, profesores, estudiantes y amigos que han participado de una y otra manera en la obtención de información, la generación de ideas, y en el trabajo intelectual y logístico que dio lugar a este libro. En particular, agradecemos a Alex Flecker, LeRoy Poff, Steve Thomas, Kelly Zamudio, Elisa Bonaccorso, Chris Funk, Cameron Ghalambor, Iván Jácome, Boris Kondratieff, Carla Atkison, Kayce Anderson, Andrea Landeira, Juan Freile, Amanda Rugenski, Eduardo Guayo Toral, Jaime Culebras, Alisha Shah, Brian Gill, Erin Larson, Keeley McNeal, Kathy Lawry, Nathy Quiroz, Luis Granizo, Edgar Guerrón, Marisa Rojas, Ana Eguiguren, Laurence Maurice, Blanca Ríos-Touma, Javier Maldonado, Elizabeth Anderson y Mariana Varesse. Agradecemos a las iniciativas “Ríos vivos Andinos, Ciencia Ciudadana para la Amazonía” y “Aguas Amazónicas”, cuyos encuentros y talleres han sido una fuente constante de aprendizaje y de energía desde un grupo de personas realmente comprometidas con la conservación de los ecosistemas acuá-

ticos Andino-Amazónicos. También queremos agradecer a las instituciones en las que trabajamos: La Universidad San Francisco de Quito (USFQ) nos ha apoyado con fondos de investigación a través de un Collaboration Grant, un Chancellor Grant, y con apoyo logístico desde el Decanato de Investigación. La Universidad Tecnológica Indoamérica (UTI) nos concedió una beca de investigación que hizo posible la contratación de personal clave en este proyecto. Finalmente, agradecemos de manera especial al Instituto BIOSFERA de la USFQ por apoyar esta investigación y su difusión.

Esperamos que este libro sea de mucha utilidad y provecho para las comunidades y gestores de las cuencas Andino-Amazónicas, y que sirva no solo para evaluar la calidad e integridad ecológica de los ríos, sino, sobre todo, para que apreciemos su complejidad y dinamismo, su biodiversidad, sus servicios, y los procesos ecológicos claves que realizan. Es nuestra obligación aprender a manejar, conservar y, en muchos casos, restaurar a los ríos, para poder mantener los servicios y funciones ecosistémicas que proveen.

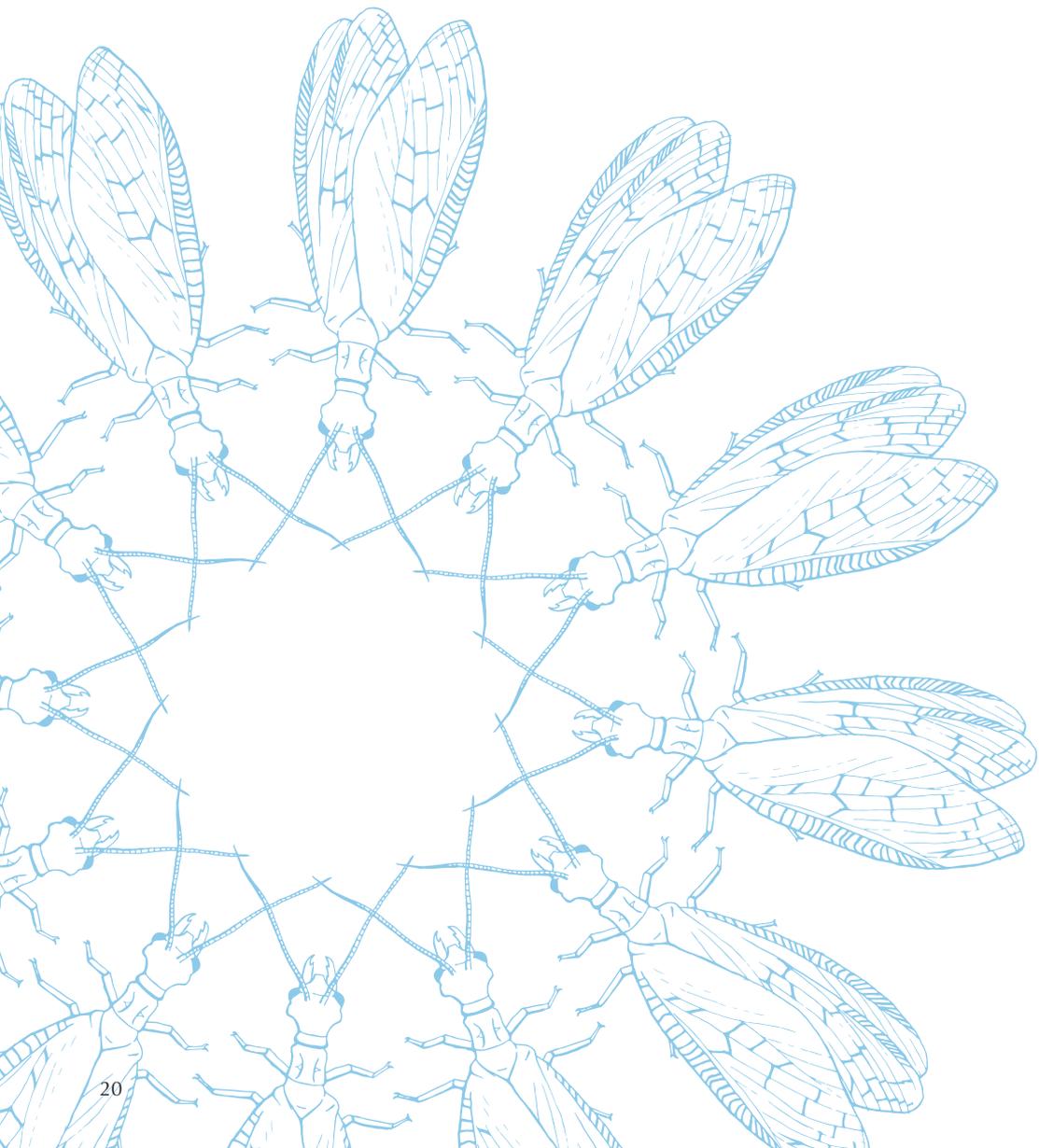
¡Te invitamos a que uses este libro y que tu trabajo y ejemplo nos ayude a conservar los ríos maravillosos del país!

Los autores



Primera parte

**Cuencas
Andino-Amazónicas
del Ecuador**





Los ríos de las cuencas Andino-Amazónicas del Ecuador

Andrea C. Encalada, Esteban Suárez y Kelly Swing

El río Amazonas es el más grande del mundo, con un caudal de 176 000 m³/seg y una extensión de 6400 km desde su nacimiento hasta su desembocadura en el Océano Atlántico (Sioli, 1984). La mayoría de los grandes tributarios del Amazonas nacen en altas cumbres de la Cordillera de los Andes, y el resto en los escudos Guyanés y Brasileño, con una cuenca hidrográfica que cubre más 8 millones de km². La cuenca está formada por grandes ríos de seis países (Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Brasil) que drenan desde las montañas y confluyen en la vasta planicie Amazónica, cuyo territorio más extenso se encuentra en Brasil y alberga el bosque húmedo tropical más grande del planeta (Fig. 1). Estos ríos son corredores de conectividad que vinculan la zona Andina a la zona Amazónica y mueven gigantescas cantidades de agua, sedimentos, nutrientes y materia orgánica que luego se depositan a lo largo y ancho de la llanura

Amazónica y en sus zonas de inundación. Estos procesos de transporte y procesamiento son componentes esenciales de los ciclos biogeoquímicos regionales y globales (McCain y Naiman, 2008).

Además de proveer conectividad longitudinal, los ríos Andino-Amazónicos forman redes de conectividad biológica. En algunos casos, por ejemplo, los ríos tienen un papel fundamental en la dispersión de semillas de la vegetación de los ecosistemas terrestres y al mismo tiempo trasladan algas, invertebrados y organismos microscópicos, que viajan llevados por la corriente. En otros casos, los peces movilizan grandes cantidades de biomasa y nutrientes mediante migraciones a escala local dentro del río, o entre el río y sus zonas de inundación, o mediante descomunales migraciones regionales que pueden llevarlos desde las estribaciones de los Andes, hasta la desembocadura del Ama-

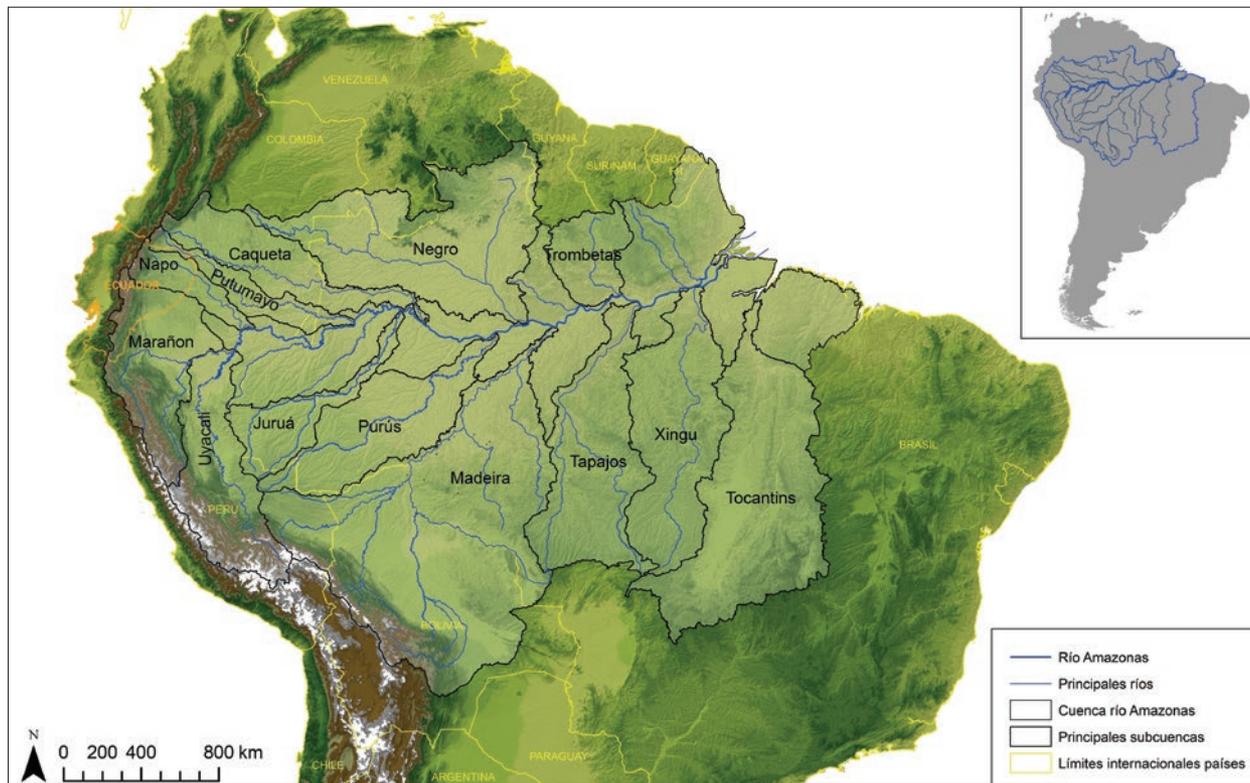


Figura 1. Mapa de la Cuenca del Río Amazonas en América del Sur. Múltiples ríos de subcuencas hidrográficas de seis países diferentes drenan y alimentan al sistema del gran río Amazonas que fluye hasta su desembocadura en el Atlántico.

zonas en el océano Atlántico. Por ejemplo, recientemente Barthem y colaboradores (2017) describieron una de las migraciones más largas del mundo, en la que los bagres gigantes (*Brachyplatystoma* spp.), viajan más de 8000 km desde la boca del Amazonas en el Atlántico hasta los ríos andinos de Perú, Ecuador y Bolivia para desovar en las zonas “altas” y luego volver a hacia el estuario. Estos patrones ejemplifican la importancia de la conectividad a lo largo y ancho de estos ríos y su función como corredores naturales de vida y de procesos ecológicos.

En el Ecuador, las grandes cuencas Andino-Amazónicas, como las de los ríos Napo, Pastaza, Morona, y Santiago, nacen en las altas cumbres y montañas del ramal Oriental de los Andes (Fig. 2). Lo más extraordinario de estas cuencas es que abarcan un gradiente de elevación que puede ir desde cerca de 6000 m, hasta los 180 m en la llanura amazónica. Pero este abrupto cambio

altitudinal ocurre en una distancia de menos de 400 km lineales, lo que supone cambios bruscos en las condiciones ambientales y, en consecuencia, una inmensa variedad y heterogeneidad de ríos, con una altísima diversidad de flora y fauna acuática asociada a estas gradientes (Capítulo 2).

Los ríos de estas cuencas recorren ecosistemas tan contrastantes como los pajonales y turberas de las zonas más altas de la cordillera, hasta los bosques montanos y las selvas tropicales de la llanura Amazónica. Pero además de esta diversidad de ecosistemas, los ríos de las cuencas Andino-Amazónicas drenan un paisaje con una geología extremadamente dinámica, marcada por volcanes activos, fallas geológicas, e historia reciente de procesos glaciares. El resultado es el paisaje tremendamente heterogéneo que drena más de la mitad del territorio del Ecuador y alberga una altísima concentración de especies (Capítulo 2). Más aun, los ríos de



Figura 2. Mapa de Ecuador con las subcuencas Andino-Amazónicas del Putumayo, Napo, Tigre, Pastaza, Morona y Santiago. El Putumayo es una cuenca transnacional pues tiene parte de territorio de Colombia, Ecuador, Perú y Brasil, y es tributario directo del Amazonas. El Napo es binacional, entre Ecuador y Perú y también es un tributario directo del Amazonas. Las cuencas del Tigre, Pastaza, Santiago y Morona entran a la subcuenca del Río Marañón que entra al Amazonas desde la parte Sur.

estas cuencas se destacan por la variedad e importancia de los servicios ecosistémicos que proveen a una considerable población humana, y a la economía del país en general (Capítulo 3). En la cuenca del Napo, por ejemplo, se colecta una gran parte del agua para consumo que suple a más de 2.5 millones de personas en la ciudad de Quito, pero también es la que sostiene la producción del 40 % de la energía eléctrica que se consume en el país (Anderson *et al.*, 2018). Y en sus partes más bajas, los ríos de esta cuenca proveen la pesca y sostienen la agricultura que alimenta a una porción considerable de la población humana de la Amazonía ecuatoriana. A pesar de su importancia, las cuencas Andino-Amazónicas han recibido aún poco interés desde la academia, y su manejo es todavía deficiente a la luz de las crecientes amenazas que experimenta por una ac-

tividad humana en aumento y pobremente planificada (Capítulo 4).

Un primer paso para mejorar el manejo de cuencas tan vastas y heterogéneas como las Andino-Amazónicas es entender su funcionamiento geomorfológico, hidrológico y ecológico, y caracterizar su diversidad, para así identificar las particularidades que podrían influir sobre su sensibilidad a las alteraciones antropogénicas y las potenciales alternativas para su manejo. Aunque todo intento por clasificar los ríos de regiones tan grandes siempre resultará incompleto, en esta sección ofrecemos una visión de clasificación por rangos altitudinales y los principales tipos de ríos que se observan a lo largo de las cuencas que recorren desde los Andes ecuatorianos hasta la gran Llanura Amazónica.

Ríos de la zona Altoandina

Por encima de 3200 m, los ríos de las cuencas Andino-Amazónicas drenan principalmente ecosistemas de páramo y su transición hacia los bosques montanos. En esta zona, la mayoría de los ríos son pequeños, con cauces de 1 a 30 m de ancho y caudales típicos que varían entre 1 y 40 m³/seg, con regímenes uni- o bimodales (Flores, 2019). Sin embargo, estos pequeños ríos de la parte alta son diversos y su heterogeneidad responde principalmente a dos tipos de factores: su origen, y el tipo de vegetación y suelos que les rodea.

En cuanto a su origen, los ríos de la parte alta se pueden clasificar en ríos de drenaje, ríos glaciares, ríos de turberas, y ríos termales (Fig. 3). Los *ríos de drenaje* son posiblemente los más comunes y se forman por lluvias, la precipitación horizontal (agua de niebla), y aguas subterráneas que se colectan en las amplias cuencas de páramo de la cordillera Oriental. El agua de estos ríos suele ser cristalina, con bajos valores de conductividad

(60 μ S/cm) y alta concentración de oxígeno disuelto que se explican por la influencia de la accidentada topografía que recorren sus cauces. Estos ríos recorren fondos heterogéneos en los que predominan la grava, canto rodado y las rocas pequeñas que ofrecen hábitat para comunidades diversas de invertebrados acuáticos entre los que predominan efímeras de la familia Baetidae (*Andesiops* spp.), anfípodos de la familia Hyallellidae (*Hyallela* spp.), moscas constructoras de las familias Anomalopsychidae (*Cotulma* spp.) entre otros (Ríos-Touma *et al.*, 2017).

Los *ríos de turberas* pueden considerarse como una subcategoría de los ríos de drenaje, pero se originan específicamente en las salidas de las numerosas y extensas turberas que se han formado en los paisajes de páramo (Hribljan *et al.*, 2017). Las turberas son humedales que se forman en áreas relativamente planas en donde el limitado drenaje del agua da lugar a suelos saturados y grandes

Figura 3.

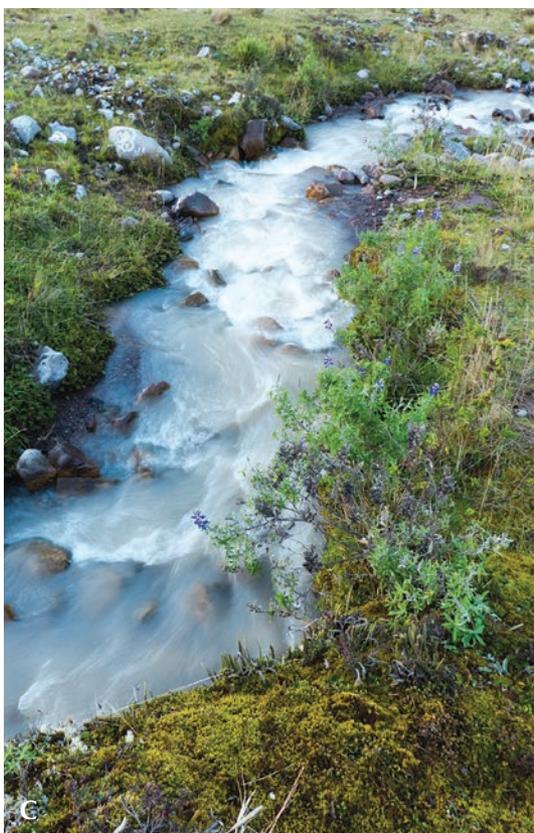
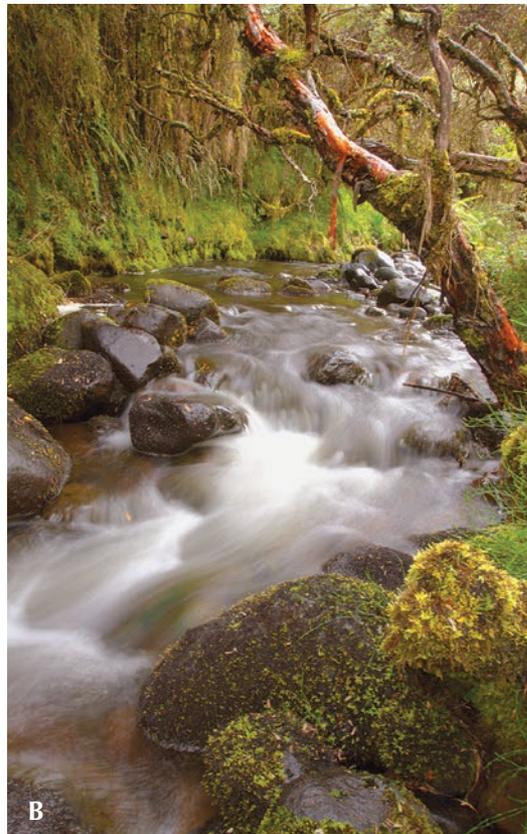
A. Río de turbera zona alto andina, recorre páramo de Antisanilla, cuenca alta del Río Napo.

B. Río típico de drenaje de la zona alto andina, recorre parajes del páramo del Ángel, cuenca alta del Río Napo.

C. Río de glaciar, zona del Chimborazo, cuenca alta del Río Pastaza.

D. Río termal, en la zona de Cachiyacu, Tambo, Papallacta, cuenca alta del río Napo.

Fotos: Esteban Suárez y Jose Vieira.



acumulaciones de materia orgánica. Debido al estancamiento del agua y a la gran cantidad de materia orgánica, los ríos que drenan estos humedales suelen tener alta concentración de ácidos orgánicos y pH relativamente bajo, especialmente cuando lluvias fuertes y continuas incrementan el drenaje de las turberas. Aunque estos ríos hasta ahora no han sido bien caracterizados, algunas observaciones sugieren que sus comunidades de fauna podrían ser muy particulares, al tener aportes del ecosistema relativamente estancado de la turbera, y del ecosistema mucho más dinámico de los ríos que las drenan.

Los ríos *glaciares* son mucho menos numerosos en la cuenca y se originan en el deshielo de los glaciares de volcanes como el Cayambe, el Antisana, el Cotopaxi, el Chimborazo y el Altar. Debido a su origen en las lenguas glaciares, estos ríos son pequeños y su agua tiene alta turbidez y un característico color lechoso que se debe a la gran cantidad de sedimentos finos que arrastran desde las morrenas (Cauvy-Fraunie *et al.*, 2015). Su conductividad suele ser bajísima y su hidrología depende principalmente de las tasas de derretimiento de los glaciares (Jacobsen y Dangles, 2012). Estos ríos muchas veces desaparecen en cursos de agua subterránea, pero en otras ocasiones se fusionan con ríos de drenaje y gradualmente pierden su carácter glaciar, conforme bajan en la cuenca.

Una de las características especiales de las cuencas Andino-Amazónicas es que están salpicadas por numerosas formaciones volcánicas, que incluyen al Cayambe, el Antisana, el Cotopaxi, y otras menos conocidas como la caldera de Chacana. La presencia de estos volcanes da lugar a afloramientos de aguas termales que originan pequeños ríos *termales*, que se caracterizan por tener una química, patrones de temperatura, y biotas completamente diferentes que las de los otros ríos de páramo. En su origen, el agua de estos ríos puede tener temperaturas que oscilan entre 27 y 61 °C, altísimos valores de conductividad (1000 – 7000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), y elevadas concentraciones de metales como hierro, manganeso y bario. En los lugares con

mayores temperaturas y conductividad, solo existen microorganismos extremófilos, mientras en riachuelos termales menores a 30°, ya encontramos comunidades de invertebrados acuáticos, dominada por anfípodos del género *Hyalella* (Andrade, 2019), planarias y dípteros de la familia Dolichopodidae y Tipulidae. Aún es muy poco lo que conocemos acerca de las adaptaciones de estas especies a estos tipos de ríos.

Más allá de su origen, los ríos de páramo cambian frecuentemente de carácter de acuerdo con el tipo de vegetación que bordea sus orillas. En las regiones más altas, los ríos glaciares suelen ser muy abiertos debido a la ausencia o baja cobertura de vegetación que caracteriza a los súper-páramos. Esta falta de sombra podría promover la productividad primaria, crecimiento de perifiton (sobre todo de algas diatomeas) en piedras y una dinámica de tipo autotrófico. Sin embargo, debido a la falta de vegetación de ribera, estos ríos pueden tener alta erosión y turbidez de sus aguas y un reducido aporte de materia orgánica desde afuera del río, lo que limitaría la actividad de heterótrofos. Conforme se desciende en la cuenca, la vegetación de páramo se vuelve continua y sus características influyen fuertemente y generan heterogeneidad en los ríos. En algunos casos, los pajonales de especies como *Calamagrostis intermedia* y *Cortaderia nitida* pueden cubrir completamente el cauce de los ríos, impidiendo la entrada de luz y reduciendo el crecimiento de algas y macrófitas. En estos casos, la productividad del río debe estar subsidiada completamente con materia orgánica que cae de la vegetación circundante y con cualquier aporte que venga de aguas arriba.

En otras partes, y especialmente mientras los ríos ganan caudal y se vuelven más anchos, la vegetación terrestre circundante no puede cubrir completamente el cauce y la luz solar directa estimula el crecimiento de algas y plantas acuáticas, cambiando la naturaleza del ecosistema y de la fauna que lo utiliza. Finalmente, en las zonas más bajas, los ríos pueden entrar en parches de bosques

de *Polylepis* spp. y *Gynoxys* spp., cuya densa cobertura mantiene una sombra constante sobre el río.

Los ríos de las zonas altoandinas son utilizados como fuente de agua doméstica para ciudades andinas y como fuente de agua para riego de zonas agrícolas de altura, y por eso constituyen un servicio ambiental crítico para las comunidades andinas.

La conservación del páramo, su capa de suelo orgánica, humedales y vegetación es crítica para asegurar el mantenimiento de estos servicios ambientales. Además, es importante que se considere el mantenimiento de los caudales ambientales, como una forma de manejo del agua en estos ecosistemas altoandinos.

Ríos de Cordillera que atraviesan el Bosque Montano

Una vez que el páramo da lugar a los bosques montanos, alrededor de los 3200 m, los ríos cambian rápidamente de fisionomía. Los ríos relativamente pequeños del páramo se han unido gradualmente y forman cauces mucho más caudalosos que se precipitan por los cañones empinados y agrestes característicos de los flancos de la cordillera. En esta parte de las cuencas Andino-Amazónicas, los ríos de cordillera que atraviesan el bosque montano pueden distinguirse de acuerdo a su tamaño relativo y al área que drenan. Por un lado, están los grandes ríos que drenan las principales subcuencas, como los ríos Oyacachi, Papallacta-Quijos y Jatunhuaycu en la cuenca del Napo, o como los ríos Verde, Negro y Topo en la gran cuenca del Pastaza. El curso de estos ríos suele estar caracterizado por tener pocos meandros, muchos rápidos y pocas pozas, un sustrato dominado por grandes bloques de piedra y afloramientos de la roca madre de la cordillera creando rápidos y corrientes tumultuosas en los tramos más empinados (Fig. 4). Por otro lado, están los ríos más pequeños que drenan las pequeñas cuencas laterales de los ríos principales y que se originan en los bosques circundantes a lo largo de la cuenca. Estos ríos suelen estar completamente cubiertos por el dosel del bosque montano y tienen abundantes cascadas creadas por la accidentada topografía que recorren.

Debido al área mucho más grande que drenan, los ríos de cordillera del Bosque Montano tienen características hidrológicas principalmente dominadas por los patrones de precipitación y suelen tener un régimen hidrológico multimodal. Durante las épocas más lluviosas, estos ríos suben de caudal y su agua suele tornarse turbia al cargarse con los abundantes sedimentos que se producen por la erosión del joven sustrato geológico de la cordillera de los Andes. Otra característica importante de estos ríos es la marcada inestabilidad de sus cauces. La activa geología de la cordillera, las laderas extremadamente empinadas, y la violencia de las lluvias, hacen que las crecidas de estos ríos, los deslaves y derrumbes sean muy frecuentes. La magnitud y frecuencia de estas alteraciones tienen consecuencias importantes en la estructura y composición de sus comunidades biológicas (Larson, 2019), pero también en la estabilidad y funcionamiento de la infraestructura que se ha construido a lo largo de estas cuencas (e.g. represas y carreteras, oleoductos).

En cuanto a las comunidades biológicas, las corrientes fuertes no facilitan el crecimiento prolongado de algas, por lo que se observa relativamente poco perifiton en las rocas, comparado con la zona Altoandina (Atkinson *et al.*, 2018). La materia orgánica, prove-

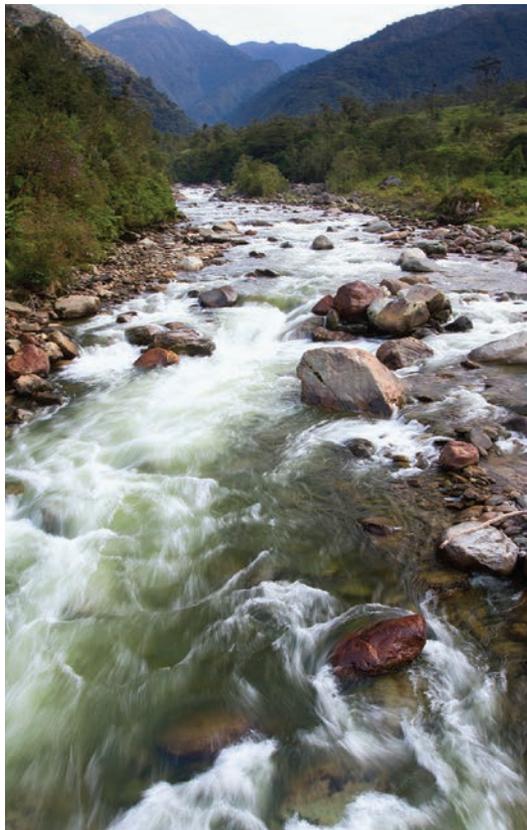
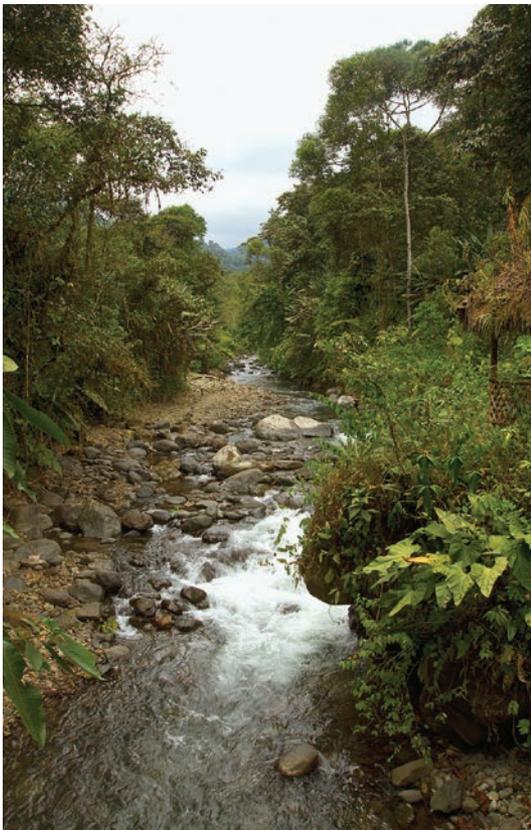
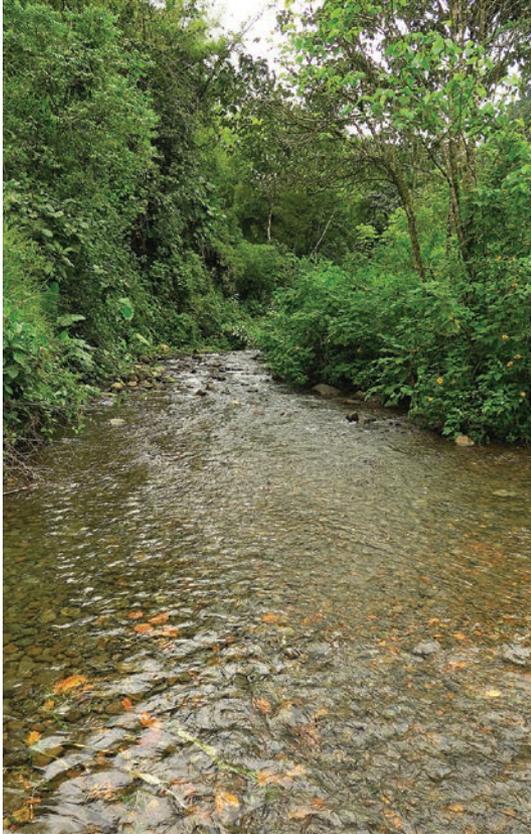


Figura 4. Ríos típicos de cordillera de la región Andino-Amazónica del Ecuador. Fotos: Esteban Suárez y Jose Vieira.

niente de la densa y permanente vegetación del bosque tropical montano, entra a los ríos constantemente. Sin embargo, poco de este material se retiene debido a la velocidad y fuerza del agua, y se convierte en material orgánico fino debido a la abrasión y fragmentación física. Así, invertebrados de los grupos funcionales de los filtradores y colectores son exitosos en estos ecosistemas (Eguiguren, 2014). En esta zona aparecen muchos grupos nuevos, como las preñadillas (peces de cordillera), los patos torrenteros, las nutrias de montaña, que son organismos característicos de cordillera, con adaptaciones morfológicas y de comportamiento importantes para vivir en estos dinámicos torrentes. En cuanto a diversidad, observamos que hay un recambio alto en el número de especies mientras bajamos en elevación (Gill *et al.*, 2016), y esto puede ser explicado por la tolerancia fisiológica de los organismos al cambio de temperatura a las diferentes elevaciones (Shah *et al.*, 2017). Sin embargo, es también claro

que el dinamismo de la corriente es un filtro ecológico importante y que puede actuar como una presión selectiva que finalmente tiene consecuencias en las tasas de especiación y extinción de varios grupos de organismos en la cordillera (Polato *et al.*, 2018, Larson, 2019).

Finalmente, estos ríos y sus cuencas son fundamentales para varios servicios ambientales como la provisión de agua, la generación hidroeléctrica y el turismo de aventura, actividades que tienen gran importancia económica para la región y para el país en general. A pesar de ello, el manejo de estas cuencas aun es deficiente y debería responder a una planificación regional estructurada. Por ejemplo, ¿hasta qué punto es recomendable construir más proyectos hidroeléctricos en zonas geológicamente activas que mueven grandes cantidades de sedimentos y sufren constantes desprendimientos de tierra?

Ríos de Piedemonte

Los ríos de Piedemonte de las cuencas Andino-Amazónicas ocurren en la zona de transición entre la cordillera de los Andes y la gran llanura Amazónica (Fig. 5). En esta zona, los últimos contrafuertes de la cordillera son menos empinados y los angostos cañones se vuelven más amplios, dando lugar a ríos con cauces muy amplios, poco profundos, y pedregosos. Estos ríos reciben agua de una enorme extensión de cordillera que constantemente está atrapando las nubes cargadas de humedad que vienen desde la Amazonía. Como resultado, a pesar de que sus aguas suelen ser menos turbulentas, estos ríos pueden tener crecidas considerables y muy abruptas que se extienden en amplias llanuras de inundación.

Con la disminución de la velocidad del agua, la geografía más abierta y la enorme carga de

sedimentos, estos ríos comienzan a formar meandros, islas y trenzas conforme se desplazan hacia el Este. Esto da lugar a cauces más dinámicos en el tiempo y determina que estos ríos tengan un área de influencia sobre el ambiente terrestre mucho más extensa que los encañonados ríos del bosque montano.

Una de las características más importantes de estos ríos tiene que ver con su importancia en los patrones de ocupación y uso por poblaciones humanas. Al recorrer tierras más bajas y con temperaturas más altas, estos ríos suelen tener una mayor diversidad y abundancia de peces que los turbulentos ríos de cordillera. Al mismo tiempo, sus amplias llanuras de inundación, cargadas de sedimentos ricos en nutrientes, son ideales para la agricultura. Como consecuencia, el área de piedemonte que recorren estos ríos tiene una

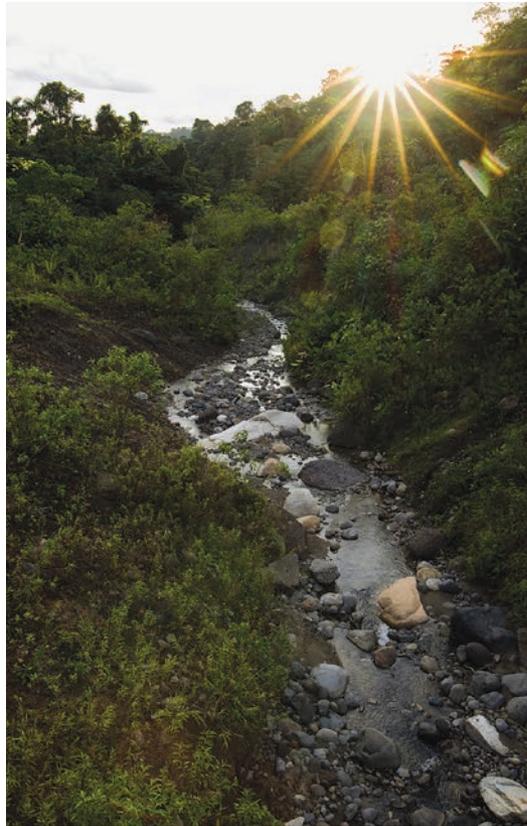
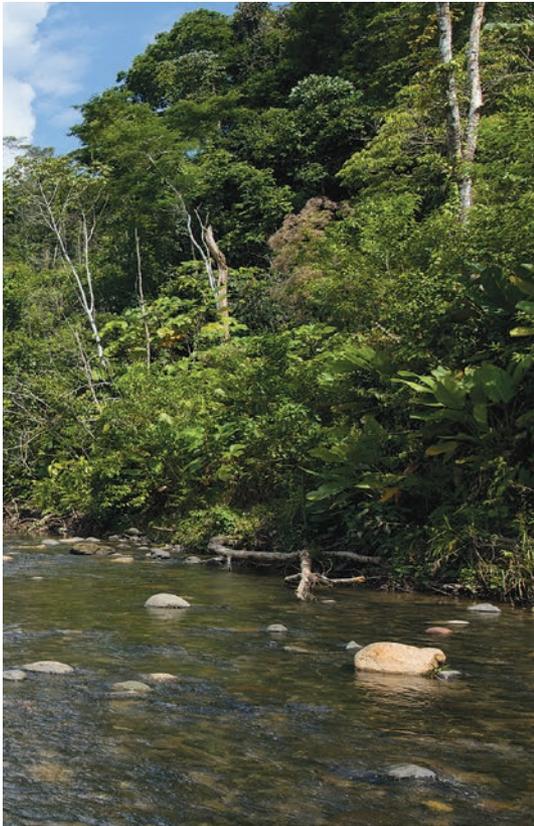
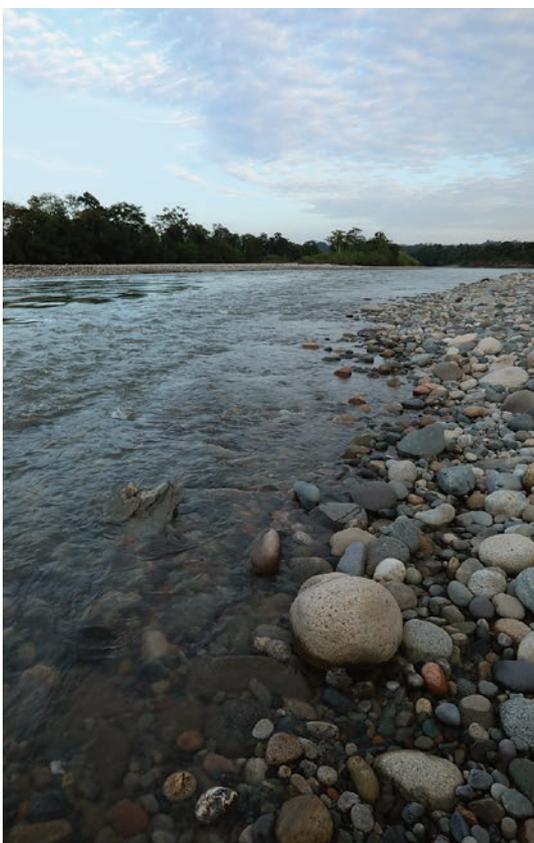


Figura 5. Ríos representativos de piedemonte Amazónico del Ecuador. Fotos: Esteban Suárez y Jose Vieira.



historia larga de ocupación por una población humana dependiente de la agricultura y la pesca (Capítulo 2). Grandes extensiones de los bosques adyacentes a los ríos de Piedemonte ya han sido taladas y la alta densi-

dad de población humana implica retos importantes para la conservación, conectividad y funcionamiento de estos ríos y el mantenimiento de sus servicios ecosistémicos.

Ríos de Llanura Amazónica

Los ríos de la Llanura Amazónica son muy diversos y difíciles de agrupar (Fig.6). En general, su calificación más sencilla puede darse de acuerdo con dos tipos de factores: su tamaño relativo y el origen principal de sus aguas.

De acuerdo a su tamaño, en primer lugar, están ríos como el Napo, Pastaza, Santiago y Morona. Al constituir los drenajes principales de sus cuencas, estos ríos son caudalosos (6300 m³/seg. en el caso del Napo) con amplitudes de cauce que pueden variar entre 0.9 y 1.6 km y profundidades que fluctúan entre 1 y 10 metros en esta zona. Sus canales se desplazan hacia el Este-Sureste formando pocos meandros, pero sí un sistema complejo de islas y bancos arenosos extremadamente dinámicos. Estos ríos amazónicos tienen extensas llanuras de inundación que sirven de hogar y alimentan a una densa población humana.

En términos biológicos, estos ríos albergan una de las comunidades de peces más ricas del mundo (Capítulo 2). Esta comunidad de peces, además de tener roles ecológicos importantísimos, como el procesamiento de materia orgánica, la dispersión de semillas y la depredación, sirve de alimento e ingreso económico a miles de familias de indígenas y campesinos que se han asentado a lo largo de los ríos. Entre las especies de mayor importancia económica están el bocachico (*Prochilodus* sp.), varias especies sardinas y otros peces afines (Characidae), y grandes bagres como el pintadillo (*Pseudoplatystoma* spp.) y el bague lechero con sus parientes cercanos (*Brachyplatystoma* spp.) (Barthem *et al.*, 2017).

En segundo lugar, están los ríos de tamaño mediano como el Tiputini, Yasuní, Cononaco y Curaray. Estos ríos tienen sus nacientes en los primeros contrafuertes de la cordillera de los Andes y, por lo tanto, drenan áreas más pequeñas y su caudal es mucho menor que el del Napo o el Pastaza. Son ríos extremadamente dinámicos y tienen cauces complejos con amplitudes de 50 a 200 m, y con numerosos meandros que cambian frecuentemente de posición modificando la estructura y dinámica de los bosques. Su profundidad es muy variable, pero fácilmente puede fluctuar entre los 4 y 30 m.

Bajo la influencia de las fuertes lluvias amazónicas, estos ríos experimentan considerables crecidas que pueden inundar el bosque durante varios días, estableciendo una fuerte conexión entre los ecosistemas acuático y terrestre. Durante estas inundaciones, peces, tortugas, caimanes, nutrias, serpientes y otros animales del río, entran en el bosque y aprovechan los recursos y el nuevo hábitat que se desarrolla en el bosque inundado (Utreras *et al.*, 2005). Al mismo tiempo, el río satura los suelos y deposita en ellos sedimentos que fertilizan el bosque, pero promueve la caída de árboles alterando la dinámica y composición de especies (Puhakka *et al.*, 1992).

Finalmente, están los pequeños esteros y riachuelos que se forman en el interior del bosque amazónico. Se trata de riachuelos muy pequeños y someros generados principalmente por agua de lluvias o vertientes naturales. En algunos casos pueden ser ríos intermitentes que se secan completamente durante la época menos lluviosa, pero al mismo tiempo pueden tener cambios im-



Figura 6. Ríos representativos de llanura Amazónica de las cuencas del Napo y del Pastaza del Ecuador. Fotos: Esteban Suárez.

presionantes del caudal, reportándose ríos que pueden ir de profundidades de 30 a 40 cm en un día, hasta 4 o 5 m en cuestión de pocas horas. Sin embargo, esta dinámica no está solo relacionada con los patrones de lluvias locales. Al estar conectados a los ríos más grandes como el Tiputini o el Yasuní, estos pequeños riachuelos pueden estancarse y hasta cambiar su dirección de flujo empujados por las crecidas de los ríos más grandes. De esta manera, se convierten en sistemas extremadamente dinámicos cuya biota y funcionamiento están fuertemente marcados por los contrastantes patrones de inundación (Capps *et al.*, 2011).

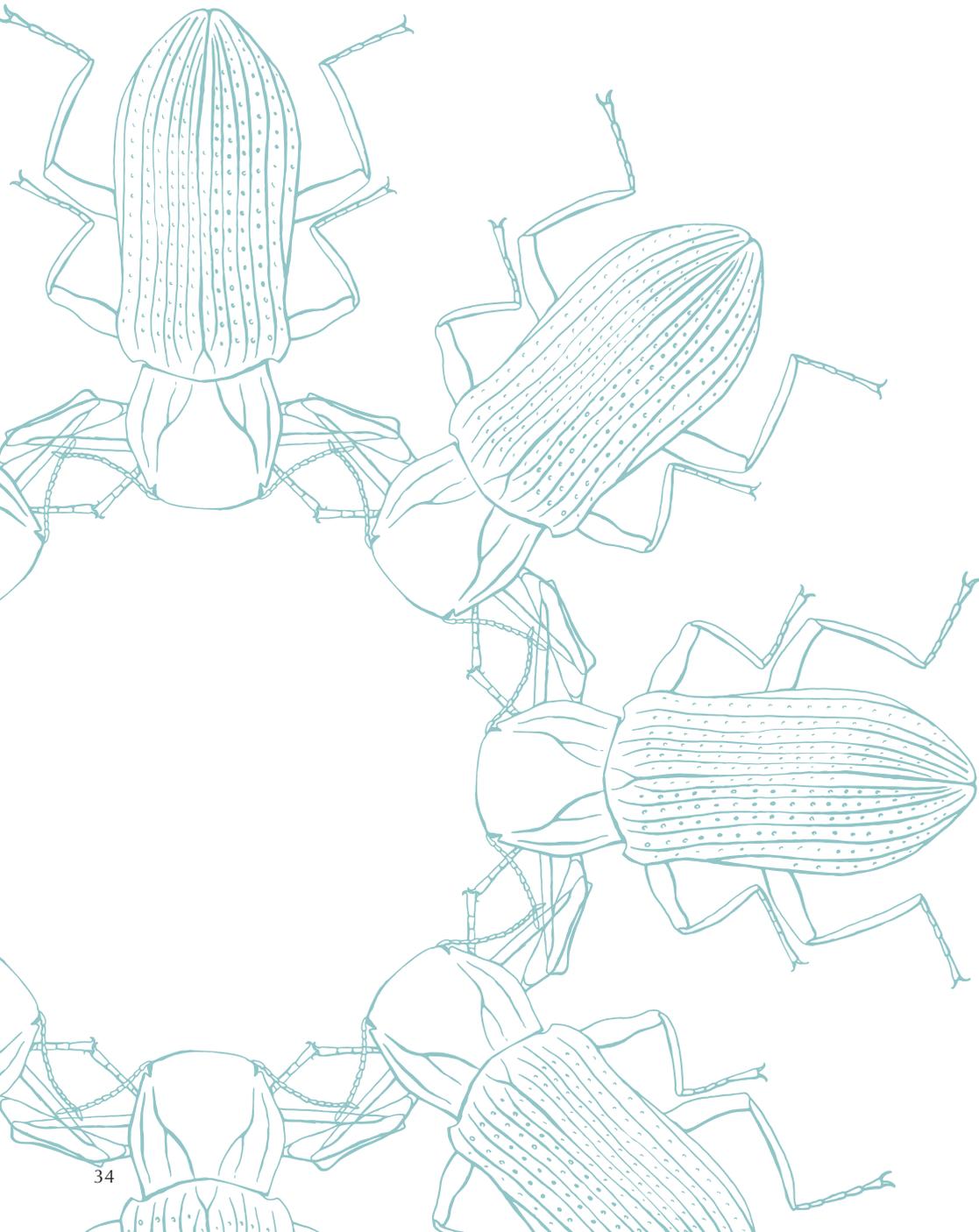
De acuerdo con el origen de sus aguas, los ríos del occidente de la llanura amazónica caen en dos categorías: ríos de aguas blancas y ríos de aguas negras. En esta zona de la cuenca, los *ríos de aguas blancas* tienen su origen en las estribaciones de la cordillera de los Andes. La intensa erosión y los derrumbes frecuentes que se dan en esa zona, hacen que los ríos recojan una enorme carga de sedimentos que aumentan la turbidez del agua y le dan un aspecto similar a leche achocolatada. La bajísima visibilidad en el agua de estos ríos determina dos aspectos importantes. Primero, que la productividad primaria sea muy baja debido a la limitada entrada de luz solar, por lo que las redes tróficas de estos ríos son mayormente heterotróficas y están sostenidas principalmente por materia orgánica alóctona (ramas, hojas, troncos y otras fuentes de materia orgánica que caen desde el bosque circundante). Segundo, la mayoría de los animales que viven en esta agua deben tener adaptaciones para desplazarse y encontrar alimento sin depender de su visión.

Los *ríos de aguas negras* son menos abundantes en esta zona, y se caracterizan porque se forman con agua de lluvia que se ha colectado en la misma cuenca amazónica. Debido a su origen, estos ríos tienen bajas cargas de sedimento y sus aguas son mucho más cristalinas que las de los ríos de aguas blancas. Sin embargo, al colectarse en los bosques de Amazonía, las aguas de los ríos de aguas negras llevan una gran cantidad de ácidos orgá-

nicos, taninos y otros compuestos orgánicos que resultan de la rápida y eficiente descomposición de materia orgánica que se da en el suelo del bosque. Estos compuestos bajan el pH del agua y le dan un aspecto y color similares a los de una infusión de té negro. Además, las aguas negras suelen tener poco oxígeno disuelto, provocando retos para la ictiofauna y otros organismos acuáticos, sobre todo para aquellos que no tienen alta capacidad de dispersión y movimiento. Por esta combinación de retos físico-químicos, muchos habitantes de aguas negras tienen adaptaciones singulares y son de restringida distribución.

Tanto los ríos de aguas blancas, como los de aguas negras, pueden crecer e inundar los bosques adyacentes por variados períodos de tiempo. Pero al ser sus aguas tan diferentes, la influencia de cada tipo de río sobre la ecología del bosque es también marcadamente distinta. Así, los bosques que se inundan con aguas negras tienen diferente composición de especies y fertilidad de suelo que los que se inundan con aguas blancas. Al nivel de flora, estar debajo del agua durante días, semanas o meses representa varios retos fisiológicos, lo que incita especializaciones evolutivas y distribuciones interesantes para ciertas familias vegetales. Entre los más fáciles de reconocer en relación a su geografía son los varios géneros de palmas (Arecaceae).

El cambio de uso del suelo por deforestación, monocultivos de palma africana, minería y explotación petrolera son las mayores amenazas que tienen estos ríos de llanura amazónica (Capítulo 4). La pesca con métodos no sustentables, como con dinamita y matafín, y la sobrepesca en varias regiones, está causando graves consecuencias para diferentes poblaciones de peces. Es importante que se de un manejo integrado del sistema bosque-río, y que se considere la existencia de reservas fluviales Andino-Amazónicas que mantengan la conectividad longitudinal, lateral, vertical y temporal que tienen estos ecosistemas.





Diversidad de Especies Dulceacuícolas en las Cuencas Andino-Amazónicas del Ecuador

Janeth Lessmann, Andrea C. Encalada y Juan M. Guayasamin

Las especies que tienen una alta dependencia al agua dulce (ríos, riachuelos, humedales, pozas, etc.) en alguna etapa de su ciclo de vida, o que tienen una alta preferencia por los hábitats acuáticos para su alimentación, anidación y cría, son conocidas como especies dulceacuícolas. A nivel global, se han descrito más de 126 000 especies que habitan en sistemas de agua dulce, incluyendo peces, moluscos, reptiles, insectos, plantas, mamíferos, aves y anfibios (IUCN, 2014). Sin embargo, el conocimiento que se tiene sobre la diversidad de estas especies es escaso en todo el mundo (Dudgeon *et al.*, 2006). De hecho, en comparación con muchos grupos terrestres, poco se conoce sobre los patrones

de diversidad de especies dulceacuícolas y las posibles causas de dichos patrones (Heino, 2002). Ecuador no es la excepción; hasta la fecha no existen trabajos que sistematicen información sobre la diversidad de todas las especies acuáticas a lo largo del país, así como tampoco para la región Andino-Amazónica.

En esta sección presentamos un panorama general sobre la biodiversidad dulceacuícola en los ecosistemas que forman parte de la cuenca amazónica del Ecuador, con especial énfasis en peces, aves, anfibios, mamíferos y reptiles, los cuales constituyen los grupos con más inventarios y estudios taxonómicos en el país y a escala global.

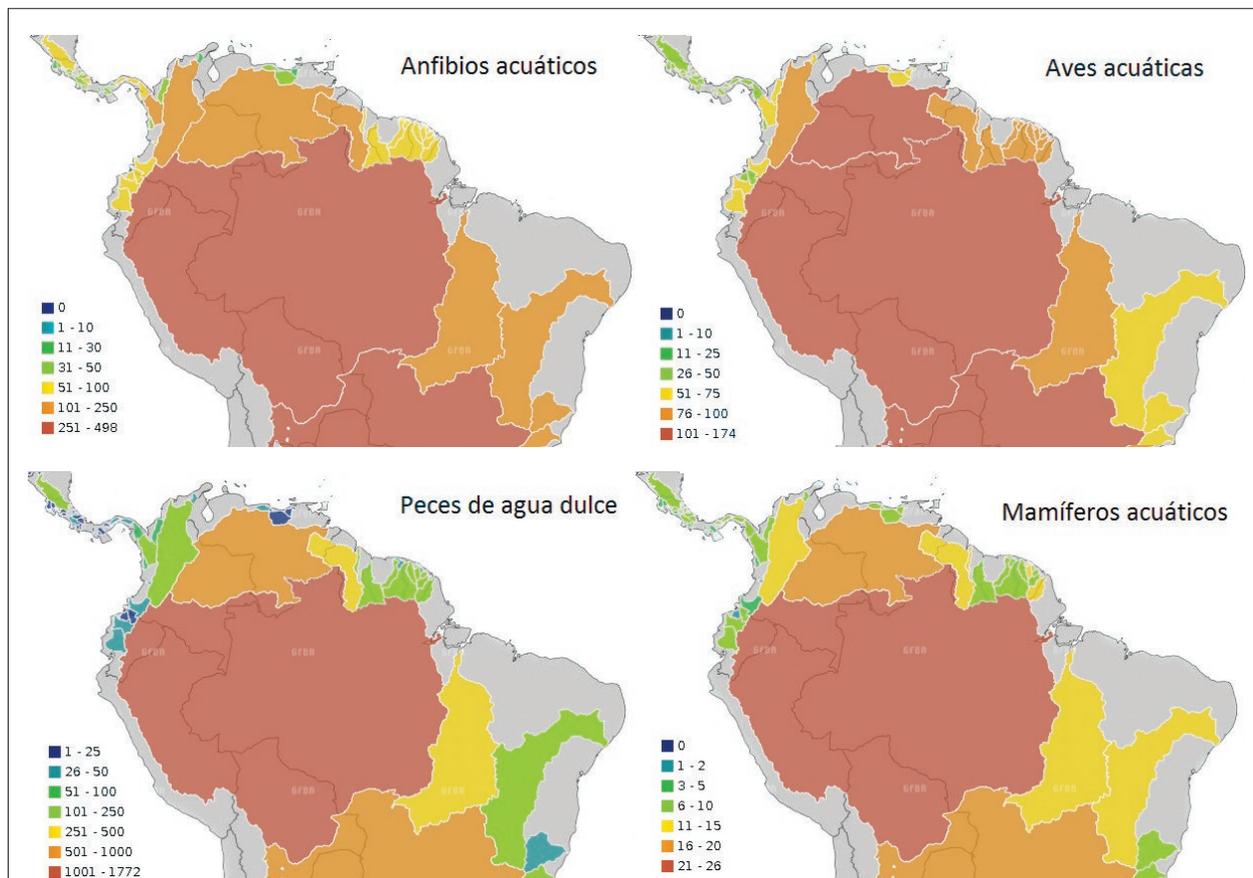


Figura 1. Mapas de riqueza de especies acuáticas para distintas cuencas hidrográficas a nivel regional, donde se destaca a la Amazonía Ecuatoriana como parte de una de las cuencas más diversas en anfibios, aves, mamíferos y peces dulceacuícolas (Biofresh, 2019).

¿Cómo es la riqueza de especies dulceacuícolas de Ecuador con respecto al mundo?

Recientemente se han realizado varios esfuerzos para estimar la riqueza de vertebrados en las diferentes ecorregiones de agua dulce del mundo (Hoekstra *et al.*, 2010; Oberdorff *et al.*, 2013; WWF/TNC, 2013). Aunque estos trabajos no nos permiten estudiar en detalle cómo varía la riqueza de especies dulceacuícolas dentro del país, sí logran brindarnos un panorama general sobre la diversidad en el Ecuador en comparación con otras regiones de América del Sur (Fig. 1).

Según el mapa mundial del Atlas Global de Biodiversidad Dulceacuícola (Biofresh, 2019; Oberdorff *et al.*, 2013), la riqueza de

especies es mayor en las zonas tropicales, al igual que ocurre con la diversidad de especies terrestres. En Ecuador, es posible observar que la región Amazónica alberga una diversidad de especies dulceacuícolas mucho más alta que las ecorregiones que conforman el occidente del país (cuenca del Pacífico) (Fig. 1). De hecho, la cuenca del río Amazonas se posiciona como una de las regiones con mayor diversidad de especies de agua dulce a nivel mundial, con una impresionante riqueza de peces (1772 especies), anfibios (498 especies), aves (172 especies), mamíferos (26 especies), y tortugas dulceacuícolas (11).

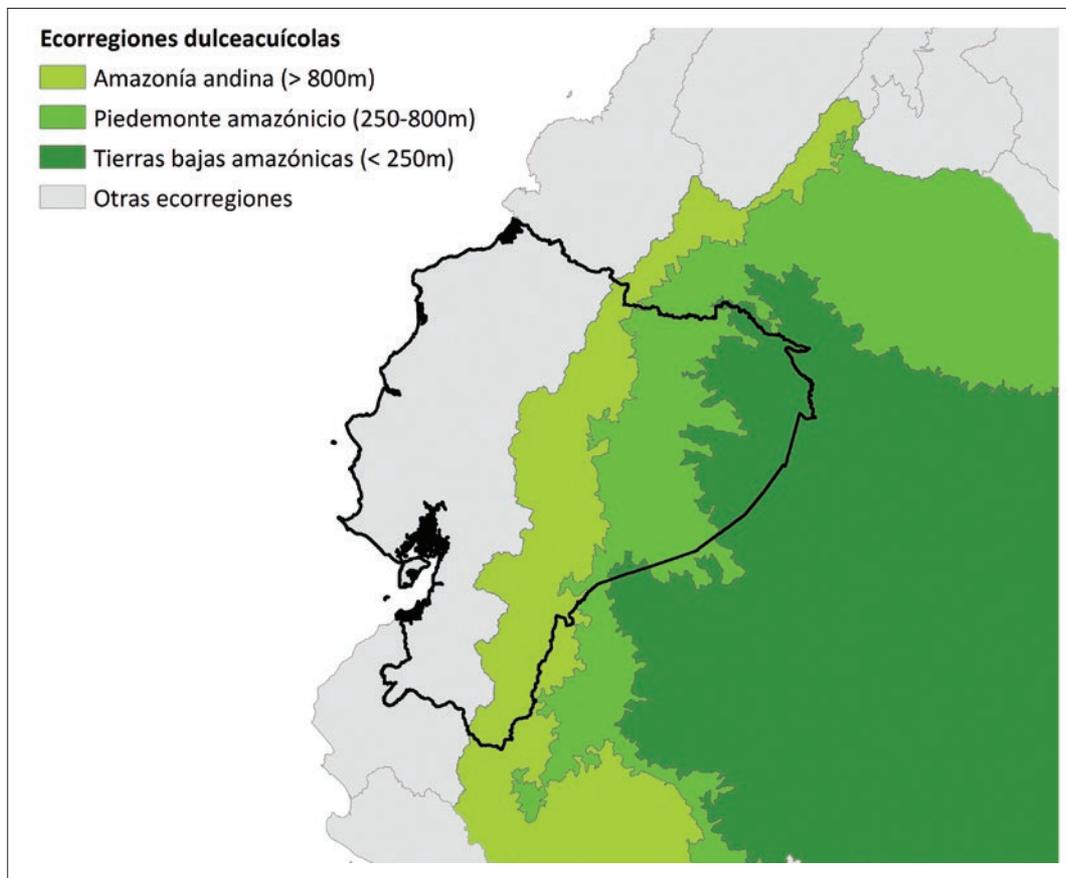


Figura 2. Ecorregiones de agua dulce que forman parte de la Amazonía ecuatoriana, según *Freshwater Ecoregions of the World* (WWF/TNC, 2013).

¿Cómo varía la riqueza de especies dulceacuícolas en la Amazonía ecuatoriana?

Freshwater Ecoregions of the World (WWF/TNC, 2013) y *The Atlas of Global Conservation* (Hoekstra et al., 2010) ofrecen información general sobre la diversidad de especies dulceacuícolas en el mundo. En estos trabajos se divide a la cuenca amazónica ecuatoriana en tres grandes ecorregiones dulceacuícolas: tierras bajas amazónicas (< 250 m), piedemonte amazónico (entre 250 m y 800 m) y Amazonía andina (> 800 m) (Fig. 2). Estas ecorregiones tienen diferentes altitudes, topografía, clima y vegetación, por lo que la biodiversidad dulceacuícola asociada a ellas también varía.

Según la información recogida por estos dos trabajos, las tierras bajas amazónicas tienen la mayor diversidad de especies acuáticas en Suramérica y está dentro de las más altas del mundo con respecto al número de especies de peces y anfibios dulceacuícolas (Fig. 3). Específicamente, se han reportado hasta 680 especies de peces para la cuenca de Napo-Pastaza en Ecuador (< 600 metros), lo que representa casi el doble de la diversidad de peces reportadas para una cuenca varias veces más grande como la de Misisipi, en Norteamérica (Stewart et al., 1987; Barriga, 2012).

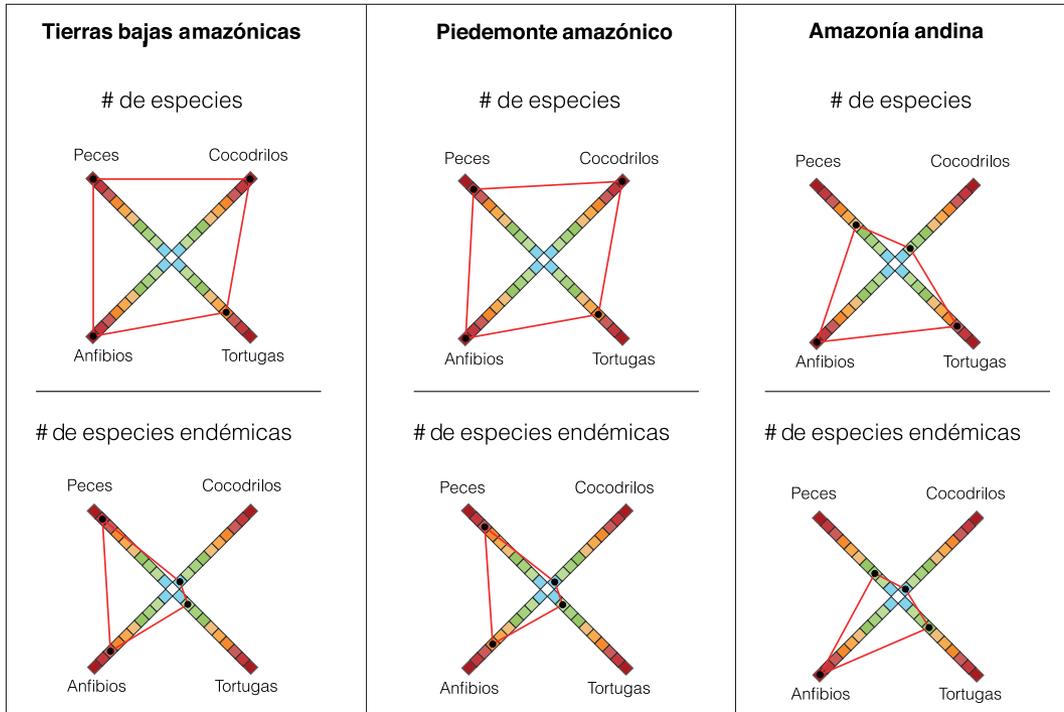


Figura 3. Diversidad de especies dulceacuícolas de peces, cocodrilos, anfibios y tortugas en las tres ecorregiones de agua dulce que forman parte de la Amazonía Ecuatoriana. Para cada grupo de especies se muestra una barra en la que los colores más rojos representan una mayor riqueza de especies totales y de especies endémicas (Freshwater Ecoregions of the World, WWF/TNC, 2013).

En el Piedemonte amazónico también existe una importante diversidad de aves, mamíferos y reptiles, y aunque la riqueza de peces disminuye, esta continúa siendo muy diversa en términos globales. En la Amazonía Andina, la riqueza de peces y cocodrilos decrece considerablemente (por ejemplo, sólo se reportan hasta 14 especies de peces en el Alto Napo). Con respecto a la riqueza de aves dulceacuícolas, el número de especies es ligeramente mayor en las tierras bajas amazónicas y constituyen una de las más diversas en Suramérica.

Entre los anfibios que dependen de sistemas de agua dulce para su reproducción, las ranas arbóreas (familia Hylidae) aumentan su diversidad a medida que disminuye la elevación, siendo, por ende, la Amazonía baja la ecorregión más rica en especies. Sin embargo, el patrón descrito no se aplica en todos los grupos; por ejemplo, las ranas de cristal (Centrolenidae) y las ranas arlequín (*Atelopus*, Bufonidae) son más diversas en bosques nublados y montanos.

Los patrones de diversidad dentro de la Amazonía Ecuatoriana suelen cambiar cuando se estudian a las especies endémicas.

Por ejemplo, las tierras bajas amazónicas se mantienen como una de las ecorregiones más ricas en especies endémicas de peces, mientras que la Amazonía Andina se posiciona entre las más diversas de anfibios endémicos del mundo.

Los patrones de diversidad mencionados a lo largo del gradiente altitudinal Amazónico también han sido observados con mayor detalle usando como caso de estudio a la cuenca de Napo del Ecuador (Lessmann *et al.*, en prep.). Para esta cuenca, nuevamente la mayor diversidad de especies vertebradas dulceacuícolas se da en las zonas bajas (< 600 m), específicamente en los cursos de aguas más grandes (ríos Napo, Tiputini, Aguarico, Cononaco, Curaray, Nashiño, Yasuní, etc.) y en los sistemas inundables (Igapó y Varzea).

Los peces tienen una distribución más restringida a las zonas bajas y a los ríos grandes, con poca diversidad por sobre los 600 m, mientras que los demás grupos están conformados por diversas especies acuáticas con distribuciones más amplias y que alcanzan las zonas andinas (especialmente aves y anfibios).

Especies dulceacuícolas características de las cuencas Andino-Amazónicas ecuatorianas

Peces

Los peces son el grupo de vertebrados dulceacuícolas más diverso en las tierras bajas amazónicas. Esta diversidad varía sustancialmente entre la región de Napo-Pastaza y la región de Morona Santiago, debido a las diferentes condiciones ecológicas que se presentan en cada zona, como por ejemplo la presencia de áreas de inundación en Napo-Pastaza (Barriga, 2012).

En el neotrópico, y en la Amazonía baja del Ecuador, la mayor diversidad y abundancia de peces corresponde a especies de pequeño tamaño (desde 20 mm a 30 mm), pertenecientes principalmente a los órdenes Characiformes (caracinos, pirañas y tetras), Siluriformes (peces gatos) (Fig. 4A), y Cyprinodontiformes (Léveque *et al.*, 2008; Barriga,

2012). Sin embargo, en la región Amazónica también habitan peces de gran tamaño, como el paiche (*Arapaima gigas*, (Fig. 4B), pirañas (*Brachyplatystoma filamentosum* y *B. juruense*), bagre de cola roja amazónico (*Phractocephalus hemiliopterus*), entre otros. Estos peces grandes y otros pequeños, como *Calophysus macropterus* (Fig. 5A), son fuente importante de alimento para comunidades, por lo que también suelen encontrarse amenazados localmente (Guarderas y Jácome-Negrete, 2013). A medida que nos trasladamos a ecosistemas de mayor altitud, existe una marcada disminución de la diversidad de peces; así, en los ríos y riachuelos andinos las preñadillas (*Astroblepus* spp. (Fig. 5B) se convierten en el grupo dominante, aunque en amplias zonas parecen haber sido desplazadas por la introducción de la trucha (*Oncorhynchus mykiss*).

Figura 4.

Peces de la cuenca baja del Napo, Ecuador.
A. *Sturisoma* sp. (Loricaridae).
B. *Arapaima gigas* (Paiche o Pirarucu). Fotos: Kelly Swing.



Figura 5.

Peces de la cuenca del río Napo, Ecuador.
A. Mota, *Calophysus macropterus* (Pimelodidae) del Curaray (Cuenca media del Napo).
B. Prenadilla, *Astroblepus* sp. Cuenca alta del Napo Ecuador. Fotos: Jose Vieira.





Figura 6. Aves de la cuenca del río Napo.
A. Martín pescador amazónico, *Chloroceryle amazona*, del río Tiputini, Cuenca baja del Napo.
B. Pato andino, *Anas andium*, de la laguna de Parcacocha, Papallacta, Parque Nacional Cayambe – Coca, cuenca alta del Napo Ecuador. Fotos: Esteban Suárez.

Aves

En la cuenca amazónica del Ecuador existen más de 130 especies de aves con diferentes niveles de dependencia a los sistemas de agua dulce (Ridgely y Greenfield, 2007; IUCN, 2011). Las aves dulceacuícolas por excelencia que pueden ser encontradas en el Ecuador son aquellas pertenecientes a los órdenes Anseriformes (p. ej. patos, gansos), Charadriiformes (p. ej. carádridos, gaviotas), Ciconiiformes (p. ej. garzas), Podicipediformes (p. ej. zambullidores, macaes) y Pelecaniformes (p. ej. aníngidos). Otras especies como las rállidas (órdenes Gruiformes), martines pescadores (Coraciiformes; Fig. 6A) y el hoatzín (*Opisthocomus hoazin*), también se encuentran comúnmente a orillas de los ríos amazónicos. Además, existen muchas otras especies que no conforman un grupo taxonómico definido que tienen preferencias marcadas hacia los bosques de galerías, pantanos, humedales y zonas inundables de la cuenca amazónica. Específicamente, en las tierras bajas, son comunes la anhinga (*Anhinga anhinga*), garza tigre castaña (*Tigrisoma lineatum*), garza agamí (*Agamia agamí*), garza cucharón (*Cochlearius cochlearius*), carrao (*Aramus guarauna*), gritador unicornio (*Anhima cornuta*), pato real (*Cairina moschata*), garceta sol (*Eurypyga helias*), chorlo pinto (*Vanellus cayanus*), gaviotín picudo (*Phaetusa simplex*), gaviotín amazónico (*Sternula superciliaris*) y el rayador negro (*Rynchops niger*). Hacia el piedemonte y los Andes, los ríos se tornan más torrentosos y, en consecuencia,

la diversidad de especies de aves dulceacuícolas disminuye considerablemente. Sin embargo, es posible encontrar especies como la garza tigre barreteada (*Tigrisoma fasciatum*), pato torrentero (*Merganetta armata*), garceta sol (subespecie diferente de tierras bajas), el mirlo de agua (*Cinclus leucocephalus*) y el riachuelero (*Lochmias nematura*). Finalmente, en los páramos la riqueza de aves acuáticas aumenta gracias a la presencia de cuerpos de agua lénticos (lagos y lagunas). Para esta zona altitudinal destacan especies como el zambullidor plateado (*Podiceps occipitalis*), ánade piquiamarillo (*Anas georgica*), pato andino (*Anas andium*; Fig. 6B), cerceta aliazul (*Anas discors*), pato rojizo andino (*Oxyura jamaicensis*), rascón ecuatoriano (*Rallus aequatorialis*), gaviota andina (*Chroicocephalus serranus*) y la avefría andina (*Vanellus resplendens*), entre otros. También hay varias migratorias limícolas (unas 8 especies) que regularmente visitan el páramo.

Anfibios

Los anfibios dulceacuícolas son todas aquellas especies que dependen del agua dulce en algún estado en su ciclo de vida, lo que excluye a las especies estrictamente arbóreas o que tienen desarrollo directo (Vences y Kohler, 2008). En la cuenca amazónica del Ecuador, la diversidad de anfibios de agua dulce es alta (más de 140 especies). Existen muy pocas especies, todas andinas, en don-

Figura 7.

Anfibios de la cuenca del río Napo.

A. Rana de cristal sirena, *Nymphargus siren*, Andes amazónicos.

B. Rana torrentícola de Stauffer, *Hyloscirtus staufferorum*, Andes amazónicos.

C. Pipa, *Pipa pipa*, cuenca baja del Napo.

Fotos: Jose Vieira.



de tanto renacuajos como adultos son acuáticos (ucos, género *Telmatobius*); para muchas otras, la dependencia a cursos de ríos y riachuelos está dada únicamente durante la fase larvaria, como las ranas de cristal (familia Centrolenidae; Fig. 7A), ranas arlequín (*Atelopus*), algunas ranas venenosas (*Ameerega*), ranas de torrente (*Hyloscirtus*, *Hyloxalus* Fig. 7B), entre otras. También existen muchas ranas y sapos que dependen del agua que se encuentra acumulada en pozas permanentes o temporales, como las de los géneros *Dendropsophus*, *Leptodactylus*, *Osteocephalus*, *Phyllomedusa* y *Rhinella*.

Como se mencionó anteriormente, la diversidad de estos grupos depende del grupo taxonómico que se esté analizando, siendo, por ejemplo, las ranas de cristal y ranas arlequín más diversas en ecosistemas Andino-Amazónicos y otras ranas (*Dendropsophus*, *Leptodactylus*, etc.) más diversas en la Amazonía baja (Guayasamin *et al.*, 2009; Coloma *et al.*, 2010; Centro Jambatu, 2011–2017). Lo que sí se puede mencionar como generalidad es que los páramos (ecosistemas por sobre los 3500 m) mantienen diversidades más bajas

que ecosistemas a menores elevaciones. En cuanto al endemismo, los ecosistemas andinos (bosque nublados, montanos y páramos) mantienen un porcentaje mucho mayor que la Amazonía baja.

Finalmente, es importante mencionar que varios grupos de anfibios con estrecha relación a sistemas acuáticos han sufrido extinciones o disminuciones catastróficas en sus poblaciones. En el Ecuador, las especies más afectadas (muchas extintas) son las ranas arlequín andinas del género *Atelopus* y los ucos (género *Telmatobius*) (Centro Jambatu, 2011–2017; Scheele *et al.*, 2019). Estas extinciones parecen estar asociadas principalmente a tres elementos: alteración y destrucción del hábitat, enfermedades emergentes (p. ej. quitridiomycosis) y cambio climático (Berger *et al.*, 1998; Stuart *et al.*, 2004; Scheele *et al.*, 2019).

Reptiles

En la cuenca Amazónica del Ecuador se pueden contabilizar alrededor de 30 especies



Figura 8. Reptiles de la cuenca baja del río Napo. A. Caimán enano, *Paleosuchus palpebrosus*. B. Charapa pequeña, *Podocnemis unifilis*, río Tiputini. Fotos: Esteban Suárez.

de reptiles acuáticos (Torres-Carvajal *et al.* 2014); en las tierras bajas amazónicas resaltan el caimán de anteojos (*Caiman crocodilus*), caimán negro (*Melanosuchus niger*), caimán enano (*Paleosuchus palpebrosus*; Fig. 8A), y el caimán de frente lisa (*Paleosuchus trigonatus*). También se encuentran en esta región especies de tortugas como la mata-mata (*Chelus fimbriatus*), tortuga de Gibba (*Mesoclemmys gibba*), tortuga tapa-rabo de la Amazonía (*Kinosternon scorpioides*), charapas pequeñas (*Podocnemis unifilis*; Fig. 8B) y charapas grandes (*Podocnemis expansa*). Entre las serpientes nuevamente encontramos una rica diversidad en las zonas bajas, con especies como la boa mataballo (*Boa constrictor*), culebras de agua como *Helicops angulatus*, *Helicops leopardinus*, *Helicops pastazae*, *Hydrops martii*, y *Hydrops triangularis*, e incluso corales acuáticas (*Micrurus surinamensis*). También existen lagartijas distribuidas cerca de cuerpos de agua (*Arthrosaura reticulata* y *Potamites flavogularis*).

La mayoría de estos reptiles están concentrados en tierras bajas amazónicas, principalmente las provincias de Sucumbíos, Orellana y Pastaza. Sin embargo, algunas de estas especies tienen distribuciones más amplias, y pueden ser encontradas hasta 1000 m, como por ejemplo *Podocnemis expansa*, *Caiman crocodilus* y *Helicops angulatus*.

Mamíferos

En comparación a otros grupos, los mamíferos dulceacuícolas en la cuenca amazónica son pocos (Tirira, 2007). Entre las especies características de la Amazonía baja encontramos a especies acuáticas restringidas a ríos grandes como el manatí (*Trichechus inunguis*), la nutria gigante (*Pteronura brasiliensis*; Fig. 9A), delfín rosado (*Inia geoffrensis*) y el delfín gris (*Sotalia fluviatilis*). Otras especies tienen una marcada asociación a los ambientes acuáticos como la nutria neotropical (*Lontra longicaudis*), la rata de pantano (*Holochilus sciureus*), el tapir amazónico (*Tapirus terrestris*), la rata de agua ecuatoriana (*Nectomys apicalis*), la raposa de agua (*Chironectes minimus*). Hay muchos grupos de mamíferos que son terrestres, pero que dependen del agua para su alimentación como el capibara (*Hydrochoerus hydrochaeris*), muerciélagos pescadores (*Noctilio leporinus*; Fig. 9B) y otros murciélagos que se alimentan casi exclusivamente de insectos que emergen de ríos y lagunas (*Noctilio albiventris*, *Rhynchonycteris naso*). Para la Amazonía Andina, la diversidad de mamíferos asociados con el agua es aún menor y algunos representantes importantes son la rata pescadora endémica del Ecuador (*Anotomys leander*) y la rata pescadora montana (*Neusticomys monticolus*).

Figura 9.

Mamíferos de la
cuenca del río
Napó.

A. Nutria
gigante,

*Pteronura
brasiliensis*, en
aguas negras,
Cuyabeno,
Ecuador.

B. Murciélago
pescador,
Noctilio

leporinus. Fotos:
Xavier Amigo y
Kelly Swing.



Invertebrados acuáticos

Son un grupo muy conspicuo en las cuencas Andino-Amazónicas (Lessmann *et al.*, 2016), y su taxonomía, ecología y respuesta al cambio climático han sido recientemente estudiadas a lo largo de gradientes de elevación en la cuenca del Napó (Gill *et al.*, 2016; Shah *et al.*, 2017; Atkinson *et al.*, 2018; Polato *et al.*, 2018). Sin embargo, todavía se necesita más trabajo, sobretodo en taxonomía, ya que exhiben altos niveles de diversidad críptica (Gill *et al.*, 2016; Andrade, 2019).

Los ríos Altoandinos de la zona de páramo (> 3500 m) son posiblemente los ríos mejor estudiados tanto en la taxonomía de insectos acuáticos (Domínguez y Fernández, 2008; Sites *et al.*, 2003), como en su ecología (Jacobsen y Dangles, 2017; Ríos-Touma *et al.*, 2012). En estos ríos, la diversidad de macroinvertebrados es baja, pero se observan altos niveles de endemismo que se originan por las enormes diferencias ambientales que caracterizan a los diferentes tipos de ríos de esta región (e.g. ríos termales, ríos glaciares, etc. Capítulo 1; Jacobsen *et al.*, 2014; Andrade, 2019). Además, algunos grupos como las efímeras (familia Baetidae), tienen limitada capacidad de dispersión lo que promueve el endemismo en diferentes montañas (Finn *et al.*, 2016). Los invertebrados más comunes

son efímeras de la familia Baetidae, moscas constructoras de las familias Limnephilidae y Anomalopsychidae (Ríos-Touma *et al.*, 2017), y dípteros de las familias Chironomidae y Simuliidae (Parte III, Hamerlik *et al.*, 2018). Los ríos de la zona de cordillera (entre 2000 y 3500m), tienen un mayor número de especies y los órdenes Ephemeroptera (efímeras), Plecoptera (moscas de la piedra), y Trichoptera (moscas constructoras), tienen alta diversidad críptica, gran cantidad de especies raras y endémicas, y tasas de especiación mucho más altas que estos mismos grupos en la zona templada (Polato *et al.*, 2018). En este rango altitudinal, tricópteros de las familias Leptoceridae, Atriplectididae y Calamoceratidae aparecen por primera vez y, en general, vemos comunidades más complejas. En la zona de piedemonte aparecen dos nuevos órdenes: Hemiptera (chinches acuáticos) y Odonata (libélulas), que estaban ausentes en los ríos de altura. Las familias Caenagrionidae y Polythoridae son muy características de estos ríos piemontanos, con cascadas y aguas rápidas.

En la llanura amazónica (< 600 m), la geomorfología de los ríos cambia radicalmente. Los ríos tienen muy pocas piedras y sus sustratos son más arcillosos y fangosos, con caudales altos, pero poco turbulentos. La diversidad cambia muchísimo con especies

adaptadas a estos nuevos hábitats y flujos de llanura. Encontramos libélulas como Gomphidae y Megapodagrionidae, y efímeras de galerías de las familias Polymitaeridae, Ephemeridae, Euthyplociidae. Las familias Leptohephidae y Leptoblebiidae, presentes también en ríos andinos, tienen diferentes especies en la llanura y son mucho más pequeñas, pero más abundantes. Estudios sobre este grupo sugieren que todavía hay mucha

diversidad por describir en la llanura amazónica (Dos Santos *et al.*, 2018). Los dípteros son mucho más conspicuos y encontramos muchos más individuos de las familias Culicidae, Ceratopogonidae, Tabanidae, entre otros. En el Parte III presentamos una guía fotográfica para su identificación y su uso como bioindicadores de la integridad ecológica de los ríos.

¿Por qué la Amazonía Ecuatoriana es tan diversa en especies dulceacuícolas?

Es difícil explicar las razones detrás del gran número de especies dulceacuícolas presentes en la cuenca amazónica. Sin embargo, entre los mecanismos principales se han sugerido la influencia de los Andes, la presencia de ríos como barreras, cambios en la vegetación, diversidad de hábitats asociados a gradientes altitudinales e inclusive la domesticación (Levis *et al.*, 2017). Para los peces, la principal razón de la alta diversidad en la Amazonía parece estar relacionada al tamaño de la cuenca, la variedad de hábitats acuáticos y su conectividad.

En contraste con las aves, mamíferos y anfibios acuáticos, los cuales tienen mayor capacidad de dispersión a otros sistemas acuáticos a través de la tierra o el aire, las opciones de dispersión de los peces están restringidas al agua, por lo que las conexiones que los ríos han tenido a lo largo de su historia tienen un rol fundamental en los procesos de especiación. Por lo tanto, mientras las cuencas sean más grandes y con mayor heterogeneidad de ambientes acuáticos, mayor es la posibilidad de diversificación de los peces. Esta afirmación coincide con otros trabajos que determinan que la mayor diversidad de peces se da en tierras bajas amazónicas, específicamente en cuencas y ríos más grandes y con mayor cantidad de agua, y en las que se pueden encontrar diferentes zonas de inundación (Galacatos *et al.*, 1996). De ma-

nera complementaria, otros estudios (Pyron y Wiens, 2013) presentan evidencias de que la diversidad de anfibios tropicales es mayor a la de zonas templadas por una diferenciación en las tasas de especiación y extinción (mayor especiación y menor extinción en los trópicos), lo cual concuerda con estudios en invertebrados (Polato *et al.*, 2018). Al parecer, la temperatura, productibilidad y disponibilidad de área en los trópicos tienen el efecto de promover la diversificación de especies y reducir la probabilidad de extinción; esto significa que, en la práctica, las áreas templadas tienen una capacidad de carga de especies menor que las tropicales, debido principalmente a la cantidad y diversidad de recursos disponibles. Finalmente, es también clara la influencia de los Andes como generador de diversidad a través de una increíble complejidad climática y topográfica (Hutter *et al.*, 2013).

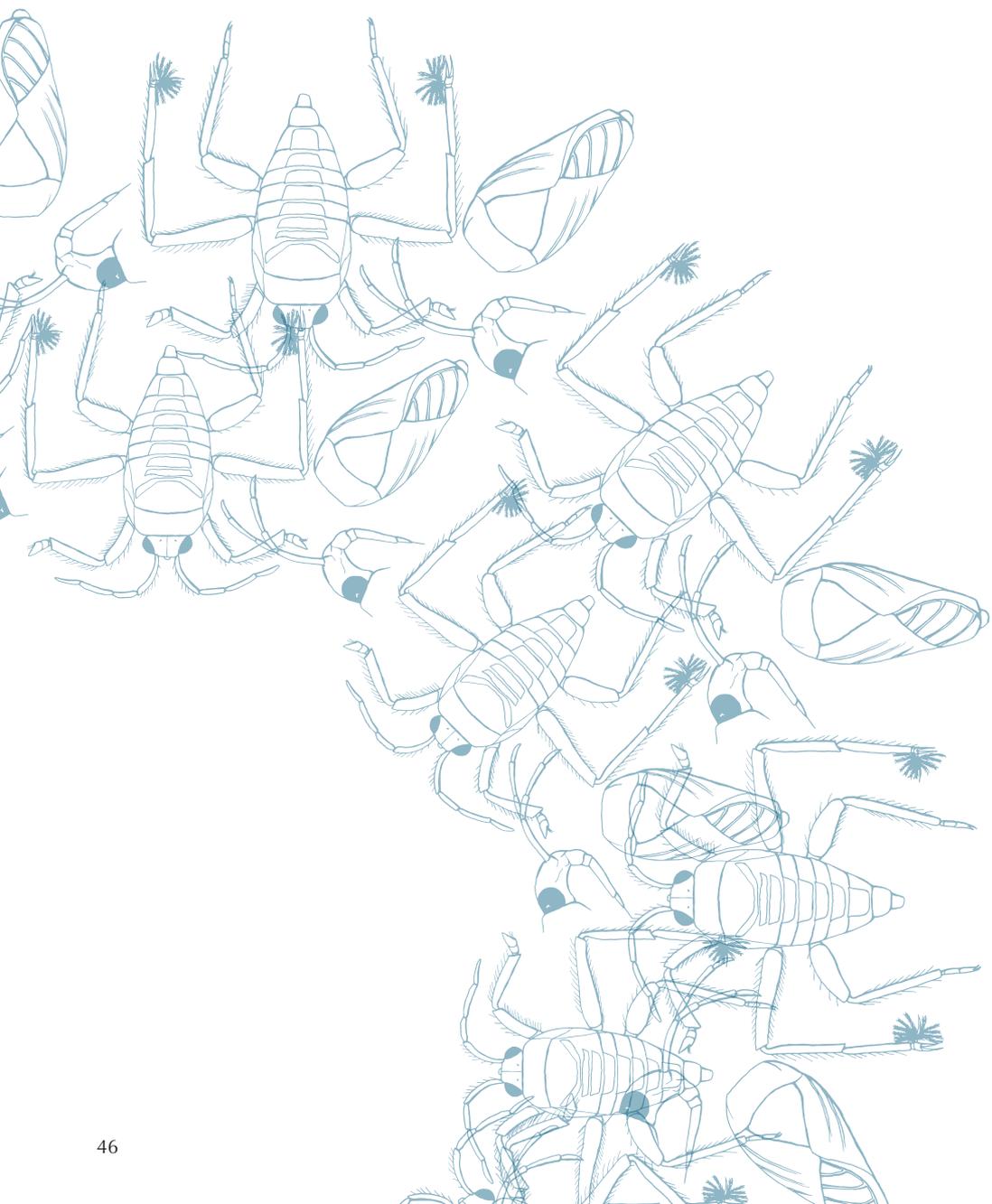


Foto: Andrea Encalada

Conclusiones

La información presentada ilustra, de manera general, la diversidad de especies de peces, anfibios, aves, mamíferos e invertebrados que habitan los ecosistemas dulceacuícolas de la cuenca amazónica del Ecuador. Sin embargo, a nivel global, estos ecosistemas están altamente amenazados (Dudgeon *et al.*, 2006), y es muy posible que este fenómeno se replique en el Ecuador. En las últimas décadas las presiones humanas a los sistemas de agua dulce en la Amazonía del país han aumentado considerablemente, como la actividad petrolera, minería, agricultura, asentamientos humanos, etc. (Capítulo 4). En este contexto, el desarrollo de acciones

de conservación que permitan mitigar los impactos en los ecosistemas de agua dulce en la cuenca amazónica requieren urgentemente de información sobre el estado de conservación, distribución y valoración de la diversidad de especies dulceacuícolas de la región. En Ecuador, los mayores esfuerzos para inventariar a las especies se han dado en los grandes ríos, mientras que las cabecezas y ríos menores han sido menos explorados (WWF/TNC, 2013). Específicamente, los invertebrados, moluscos, cangrejos y plantas acuáticas requieren de más estudios en cuanto a su distribución y taxonomía.





Dimensiones Socio-Ambientales de los Recursos Hídricos de la Región Andino-Amazónica Ecuatoriana

Carlos F. Mena, Patricia E. Martínez, María José Troya y Esteban Suárez

Ecuador, a pesar de ser un país pequeño en área, es un lugar increíblemente rico en ecosistemas acuáticos. Tiene aproximadamente 2000 ríos de diferentes tipos, lo que hace que sea uno de los países con mayor agua dulce disponible en el mundo “por cada ciudadano” y por lo que la Organización Panamericana de la Salud lo llamó “País Capital del Agua” (Terry, 2007). Además de la gran biodiversidad que tienen (Capítulo 2), los ríos del Ecuador se han convertido en un componente importante del capital natural de las poblaciones rurales.

Esta gran riqueza hidrológica, generada a través de millones de años de los ciclos biogeoquímicos y de evolución biológica, se encuentra actualmente bajo grandes presiones humanas en casi todo el país y, en especial, en la Amazonía ecuatoriana. La contaminación industrial, agrícola y urbana, la ejecución de grandes proyectos hidroeléctricos y otro tipo de infraestructura, la falta de información científica y desconocimiento de la población, entre otras, son las principales amenazas a la riqueza hídrica del Ecuador (Capítulo 4) (Alexiades *et al.*, 2019; Anderson *et al.*, 2018; Lessmann *et al.*, 2016).

El objetivo de esta sección es analizar brevemente el estado socioeconómico relacionado con el recurso hídrico en la Amazonía ecuatoriana. Primero, realizaremos una descripción de las principales condiciones socioeconómicas de la población que hace uso de los recursos hídricos; segundo, exploraremos las principales amenazas a las que están expuestas las cuencas hidrográficas y los cuerpos de agua, con énfasis en el petróleo; tercero, haremos una breve descripción de los actores relacionados al manejo del agua en esta región.

La Amazonía ecuatoriana tiene cuencas hidrográficas de gran importancia por su área y caudal (Tabla 1), siendo la más grande la cuenca del Napo con más de 30 000 kilómetros cuadrados. La cuenca del río Pastaza, sin embargo, es la más caudalosa con más de 2000 metros cúbicos por segundo. Estas dos cuencas se solapan con los cantones con mayor crecimiento poblacional y mayores presiones por la actividad extractiva (petróleo y agroindustria). La provincia de Orellana, por ejemplo, ha crecido de 46 000 habitantes en 1990 a 136 000 habitantes en el 2010, es decir se triplicó en 20 años. Este crecimiento no solo implica una mayor necesidad de agua

segura, sino también que se ha triplicado la generación de desechos humanos que llegan a los ríos.

Otro recurso hídrico en el Oriente, que no ha sido explorado a profundidad, son las aguas subterráneas, presentes en acuíferos que difieren en su naturaleza a través de la región. Así, en el norte, los acuíferos son aluviales, en su mayoría con una matriz de arena y grava, mientras que, en la Amazonía central, tienen una matriz de arcillas, areniscas y conglomerados. Estos acuíferos pueden proveer

una gran cantidad de agua dulce, de alta calidad. Mientras tanto en los flancos de la cordillera Oriental, la matriz de los acuíferos está compuesta por lutitas calcáreas, areniscas y rocas calizas. Estos acuíferos proveen muy poca agua subterránea, por la dificultad de perforar en roca volcánica (US Army Corps of Engineers, 1997). En cualquier caso, el uso de las aguas subterráneas es limitado, especialmente en el norte de la Amazonía, por la incertidumbre asociada a la contaminación petrolera que se ha producido en los últimos cuarenta años.

Tabla 1. Cuencas hidrográficas de la Amazonía ecuatoriana

Nombre	Área (km ²)	Precipitación Anual (mm)	Caudal (m ³ /s)
Napo	30 948	3388	424
Santiago	26 176	3127	661
Pastaza	24 296	3255	2051
Curaray	17 159	2883	801
Aguarico	11 065	2175	900
Tigre	6492	2742	265
Morona	6481	1603	632
Mayo-Chinchipe	2844	3354	453
San Miguel-Putumayo	6539	3388	424

Fuente: US Army Corps of Engineers, 1997

Generalidades Socioeconómicas de la Amazonía

En el último censo de la Población y Vivienda del 2010, la población de la Amazonía Ecuatoriana alcanzó 760 000 personas. Según datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos - INEC, se estima que en el 2015 la población será de 859 385 y para el 2020 de 956 699. Actualmente la población urbana representa el 41% de la población y la rural el 59%, mientras que para el 2020 se estima que el 43% de la población será urbana y el 57% rural. Sin embargo, si la Amazonía

ecuatoriana sigue los patrones observados a nivel global, la población urbana podría llegar a ser mucho más grande de lo estimado por el INEC.

En relación con la composición étnica de la población de la Amazonía ecuatoriana, está tiene una representación indígena mucho mayor (33%) que otras regiones del país (Tabla 2). Esto equivale a 277 000 indígenas viviendo en la Amazonía en el 2014, pertene-

cientes a los grupos étnicos Kichwas, Shuar, Ashuar, Siekopai, Cofán, Siona, Woarani, Záparo, Shiviari y Andoa. Esto hace que las poblaciones indígenas, por su número y diversidad cultural, sean un factor de suma importancia al explicar el uso y manejo de los recursos naturales. Históricamente, la gran mayoría de muestras de defensa del recurso hídrico ha venido precisamente de las organizaciones indígenas.

En cuanto al nivel de educación, la población de la Amazonía tiene condiciones similares al promedio nacional, el cuál es bajo (Tabla 2). Sin embargo, la situación es más

grave en cuanto a la instrucción superior o universitaria, donde la Amazonía tiene menos de la mitad que el promedio nacional.

Adicionalmente a las deficiencias en los niveles de educación superior descritas, la Amazonía es la región más pobre del Ecuador (Tabla 3). El 47% de la población de la Amazonía es pobre (pobreza por consumo) y 21.8% es extremadamente pobre. Además, más del 54% de la población no puede satisfacer sus necesidades básicas. A esto se suman los altos niveles de desigualdad, que son los mayores en el país y solo se comparan con los de la Sierra (Tabla 3).

Tabla 2. Nivel de instrucción y Autodefinición Étnica

Región	Nivel de Instrucción del Jefe de Familia				Autodefinición Étnica		
	Primaria (%)	Secundaria (%)	Superior (%)	Indígena (%)	Afroecuatorianos (%)	Mestizo (%)	Otro (%)
Ecuador	39.4	37	14.5	7.7	5.2	77.8	9.2
Sierra	38.8	34.9	17.2	12.2	2.2	83	2.7
Costa	39.4	38.8	12.8	1.1	8.2	74.9	15.8
Amazonía	45.4	37.8	7.1	33.2	2.6	61.8	2.4

Fuente: INEC, 2014

Tabla 3. Pobreza y desigualdad en la Amazonía ecuatoriana

	Pobreza por Consumo		Pobreza Extrema por Consumo		Pobreza por Necesidades Básicas Insatisfechas		Desigualdad por consumo (Coeficiente de Gini)
	No pobre (%)	Pobre (%)	No Pobre extremo (%)	Pobre extremo (%)	No Pobre (%)	Pobre (%)	
Ecuador	74.2	25.8	94.3	5.7	64.2	35.8	0.4077
Sierra	75.5	24.5	94.4	5.6	75.4	24.6	0.4205
Costa	75.2	24.8	95.8	4.2	56.0	44.0	0.3851
Amazonía	52.3	47.7	78.2	21.8	45.9	54.1	0.4272

Fuente: INEC, 2014

Las condiciones de pobreza se hacen evidentes cuando se analizan los niveles de acceso seguro al agua e infraestructura. A pesar de la gran volumen y cantidad de cuerpos de agua en la Amazonía, cerca del 47% de las familias (lo que equivale a 94 000 familias) no tiene acceso a la red pública de agua (Tabla 4). Este es el porcentaje más alto a nivel nacional. Adicionalmente, más del 46% de las familias no efectúa ningún tratamiento al agua, sino la consumen tal y como la obtienen, lo que tiene implicaciones para la salud pública como veremos más adelante.

El principal problema generado por la urbanización rápida y el crecimiento de los asentamientos informales es la falta de servicios básicos y, especialmente, de alcantarillado.

A pesar de que se puede observar un gran mejoramiento en la cobertura de los sistemas de alcantarillado entre 1995 y 2014 (Tabla 5), este incremento no ha ocurrido a la misma velocidad que la del crecimiento poblacional. Como consecuencia, en la actualidad solamente el 44% de hogares de la Amazonía tienen alcantarillado, el peor promedio entre las regiones del Ecuador.

Relacionado con la infraestructura de alcantarillado, está la adecuada eliminación de excretas, proceso que tiene gran importancia para la salud pública y ecosistémica. De alguna manera, los desechos humanos van a los cuerpos de agua y pueden ser consumidos nuevamente, causando enfermedades. A nivel institucional, cabe destacar que la ma-

Tabla 4. Forma de obtención de agua y tratamiento

	Forma de obtención del agua			Tratamiento que se da al agua		
	Total (Hogares)	Red Pública (%)	^(a) Otra (%)	Ninguno, tal como la obtiene (%)	La hierven (%)	^(b) Otro (%)
Ecuador	4 346 026	78.0	22.0	32.5	38.8	28.7
Sierra	2 000 604	84.8	15.2	48.2	36.7	15.1
Costa	2 136 239	74.0	26.0	16.9	41.1	42.0
Amazonía	200 009	53.0	47.0	42.6	35.8	21.6

(a) La categoría Otra Fuente de Obtención de agua incluye otra fuente por tubería, carro repartidor, pozo, grieta, río, vertiente, acequia o canal.
(b) La categoría Otro del Tratamiento de agua incluye ponen cloro, filtran y compran agua purificada.

Fuente: INEC, 2014

Tabla 5. Alcantarillado 1995-2014

Alcantarillado por Red Pública (% Hogares)					
	1995	1998	1999	2006	2014
Ecuador	44.1	41.8	44.4	49.5	60.0
Costa	32.0	29.6	32.4	36.6	49.2
Sierra	59.6	57.9	56.5	64.4	73.2
Amazonía	30.1	32.2		36.0	44.1

Fuente: INEC, 2014

yoría de municipios amazónicos del Ecuador no cuentan con plantas de tratamiento de aguas servidas y todos los desechos se depositan directamente en los ríos (Tabla 6). Así, la Amazonía está más o menos 10 puntos porcentuales por debajo de la media nacional en cuanto a infraestructura de alcantarillado. Es decir, a pesar del progreso desde 1995, más del 20% de familias todavía no tiene una adecuada eliminación de desechos humanos. El resultado inmediato de esta deficiencia es la alta incidencia de enfermedades diarreicas que puede ser causada por el consumo de agua contaminada (Tabla 7). En este aspecto, la Amazonía tiene el nivel más alto del Ecuador y actualmente casi el 25% de la población ha sufrido este tipo de enfermedad diarreica aguda y su pre-

valencia no ha disminuido tanto como en las otras regiones.

En términos de uso del agua, más allá de las ciudades, los mayores usos se relacionan con la actividad agrícola y ganadera. La Amazonía tiene el porcentaje más alto del Ecuador de familias dedicadas a actividades agropecuarias, casi el doble del promedio nacional (Tabla 8). Además, casi el 46% de los terrenos usados para actividades agrícolas y pecuarias no tienen título de propiedad, lo que aumenta el nivel de incertidumbre que tienen los agricultores cuando manejan sus recursos. En teoría, aquellos agricultores que tengan sus títulos de propiedad van a tener una visión al largo plazo que debería beneficiar la conservación de los recursos naturales.

Tabla 6. Adecuada eliminación de excretas 1995-2014

Adecuada eliminación de excretas (% Hogares)					
	1995	1998	1999	2006	2014
Ecuador	74.2	76.0	77.7	82.6	91.4
Costa	74.8	76.0	77.8	80.6	90.1
Sierra	75.5	77.6	77.5	86.5	94.0
Amazonía	48.9	53.7		63.3	79.0

Fuente: INEC, 2014

Tabla 7. Enfermedades diarreicas

Enfermedades Diarreicas (% Población menor de 5 años)				
	1998	1999	2006	2014
Ecuador	25.3	26.1	25.0	16.9
Costa	24.6	28.2	23.3	16.5
Sierra	23.1	23.8	26.0	16.2
Amazonía	32.3		30.7	24.6

Fuente: INEC, 2014

Tabla 8. Actividad agrícola y titulación

	Actividad agropecuaria				Tienen título de propiedad		
	Total (Hogares)	Agropecuaria (%)	Agrícola (%)	Pecuaria (%)	Total Terrenos	Si (%)	No (%)
Ecuador	4 346 026	16.6	3.9	7.4	960 518	69.9	30.1
Sierra	2 000 604	21.5	3.6	5.5	638 466	76.3	23.7
Costa	2 136 239	10.5	3.8	9.1	249 244	57.9	42.1
Amazonía	200 009	32.6	9.5	7.4	71 679	53.8	46.2

Fuente: INEC, 2014

En cuanto a la relación con los ríos, la población rural de la Amazonía ecuatoriana es quizás una de las más dependientes de estos ecosistemas. Un gran porcentaje de la población rural amazónica vive a orillas de ríos como el Napo, Pastaza, Curaray y Tiputini. En ellos, las comunidades indígenas y campesinas han desarrollado una intensa relación con los ríos y con los organismos que los habitan, que va más allá de la provisión de alimentos, e incluye su uso como medio de transporte, como escenario socio-cultural y elemento fundamental de su cosmovisión. Los Kichwa del Napo y del Curaray, por ejemplo, capturan no menos de 60 especies de peces, utilizando una amplia variedad de artes de pesca que se adaptan a las particularidades de diferentes tipos de ríos o lagunas (Jácome, 2011). Más aun, los grupos indígenas de la Amazonía incluso han desarrollado sus propios sistemas de clasificación de los peces y otros organismos acuáticos o semi-acuáticos, que responde a su utilidad y a su rol en la cosmovisión de la etnia (Jácome, 2011).

Otro ejemplo de la importancia socioeconómica de los organismos acuáticos en la vida de la población amazónica es su representación permanente en la dieta de las comunidades y en sus intercambios comerciales. Por ejemplo, de los 1051 kg de carne de monte que se registraron en el mercado de Pompeya en el río Napo entre 2005 y 2007, aproxima-

damente el 30% correspondió a peces, originando un ingreso de al menos USD 6700 por año para los pescadores de la zona (Suárez *et al.*, 2009). A esto debe sumarse la biomasa de peces que entra directamente en la dieta de las familias (Fig. 1). Por ejemplo, en un estudio realizado en el río Napo se estimó que en una comunidad kichwa se consumieron 16 069.5 kg/año de carne silvestre y 20 720.2 kg/año de pescado (WCS, 2007). Estos datos demuestran que los ríos de esta región juegan un papel preponderante en la vida de los pobladores locales y en su economía. Desde esta perspectiva, cualquier deterioro de los ecosistemas acuáticos de la región amazónica del Ecuador tiene consecuencias no solo sobre su biodiversidad, sino también sobre la soberanía alimentaria de las poblaciones que dependen de ella.

Figura 1.

Pescado de río para alimento de la población local.

A. Cachama blanca (*Piaractus brachipomus*) criado en cautiverio para venta local en el mercado.

B. Carachama (*Pterigoplichthys* sp.) de la cuenca bajo del Napo, Perú. Fotos: Kelly Swing y Andrea Encalada.



Amenazas al Recurso Hídrico de la Amazonía Ecuatoriana

El avance de la frontera extractiva suma las amenazas a los recursos hídricos en la Amazonía. El avance de los bloques petroleros y las concesiones mineras es una de las amenazas latentes para el recurso hídrico en Ecuador y en la Amazonía ecuatoriana específicamente (Lessmann *et al*, 2016). La figura 2 indica la evolución de la frontera extractiva relacionada con la exploración y explotación petrolera.

La expansión petrolera y minera, así como la de la agroindustria (por ejemplo, palma africana), no solamente crean impactos negativos directos, como el vertido de químicos en los ríos, sino también efectos indirectos o subyacentes que crean mayores efectos ambientales y sociales. Así, la industria extractiva es un polo de desarrollo que genera infraestructura como vías y caminos que permiten la colonización de áreas vulnerables. En este sentido, la industria se convierte en un “imán” que atrae a poblaciones que migran hacia nuevos asentamientos que no tienen la planificación adecuada para soportar el crecimiento poblacional y los servicios que éste requiere.

Este patrón es evidente cuando se observa que la población tiende a ser mayor en los lugares donde existe mayor cantidad de pozos petroleros (Figura 3). Debido a las características de los campos petroleros, los pozos

se agrupan y alrededor de ellos se produce el desarrollo urbano y agrícola. Es así como estos lugares altamente poblados reciben más efectos negativos de la contaminación por los vertidos de los campos petroleros, pero también por los asentamientos humanos (Figura 4).

Más allá de los efectos directos o indirectos del avance de la frontera extractiva, la región amazónica también está siendo afectada por los llamados “mega” proyectos (por ejemplo, Coca-Codo Sinclair (1500 MW), Iniciativa de Integración Regional de Sudamérica (IIRSA), proyecto de minería Cóndor Mirador) que amenazan la estabilidad ecológica de sus ríos. Estos proyectos cambiarán de manera significativa el paisaje hidrológico de la Amazonía ecuatoriana. El país y las poblaciones locales se encuentran en diferentes encrucijadas. A nivel nacional, el objetivo es el sacar provecho de los recursos hídricos, pero de una manera que considere la salud de los ecosistemas y comunidades locales. Para las comunidades locales, el reto es adaptarse a una nueva realidad, manteniendo su cohesión social, así como sus capitales naturales y económicos.

Figura 2.
Expansión de los bloques petroleros en la Amazonía Ecuatoriana.

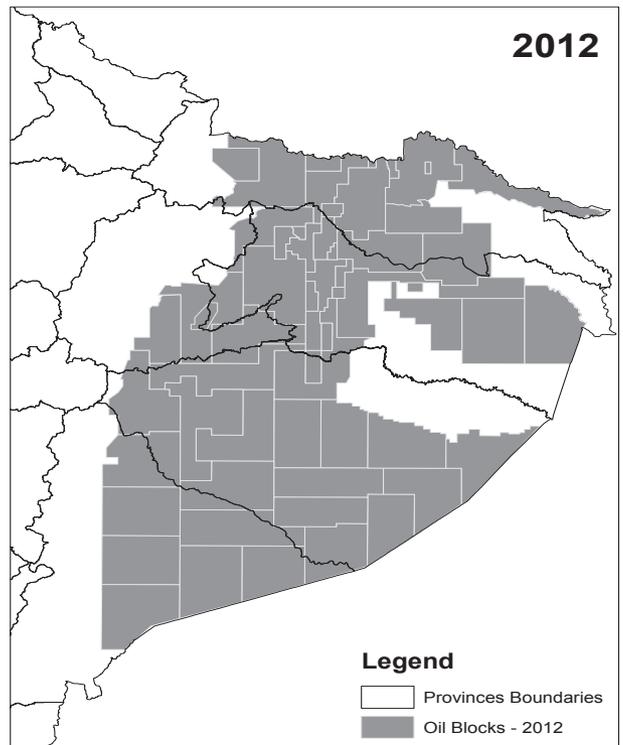
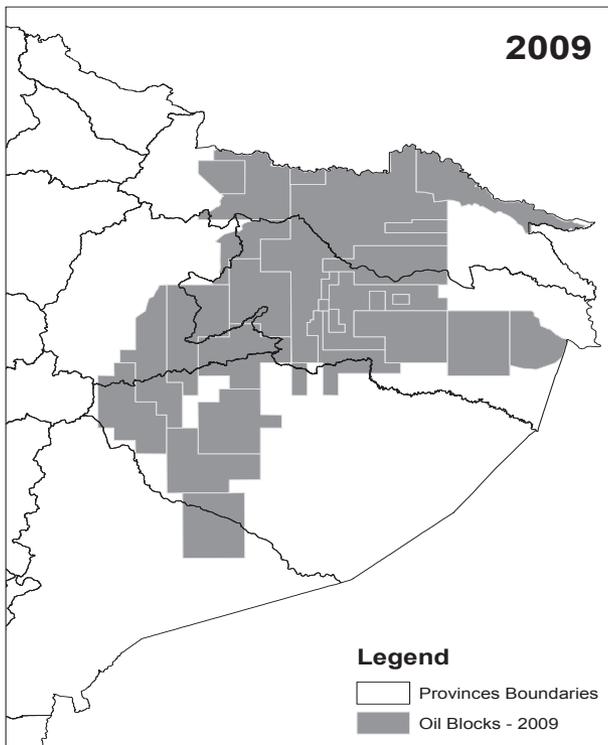
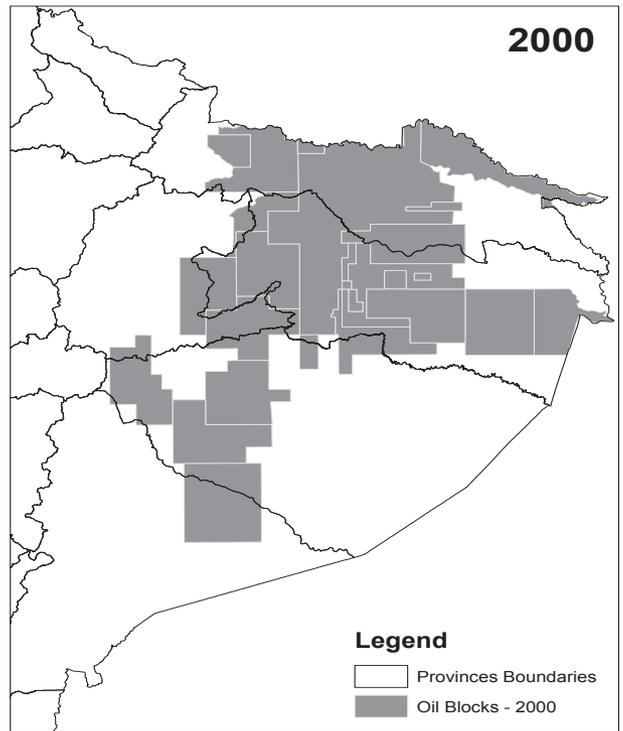
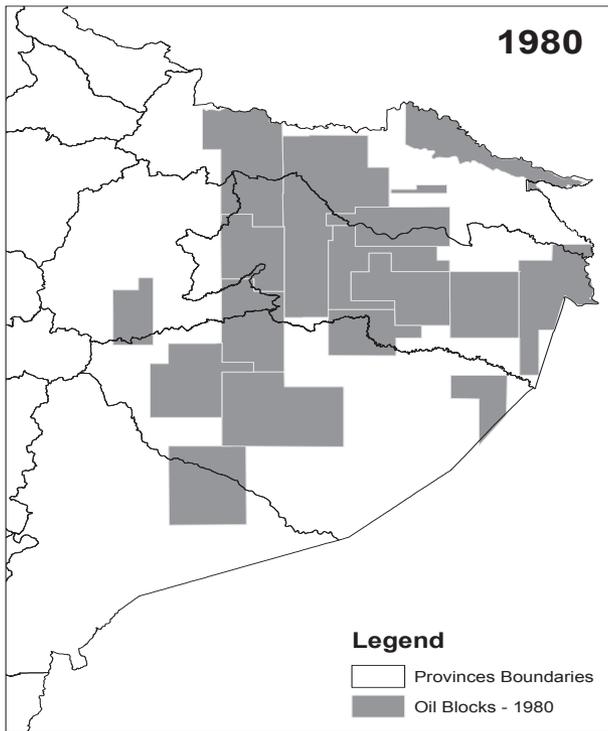


Figura 3.
Densidad poblacional y pozos petroleros en el Nororiente Ecuatoriano.

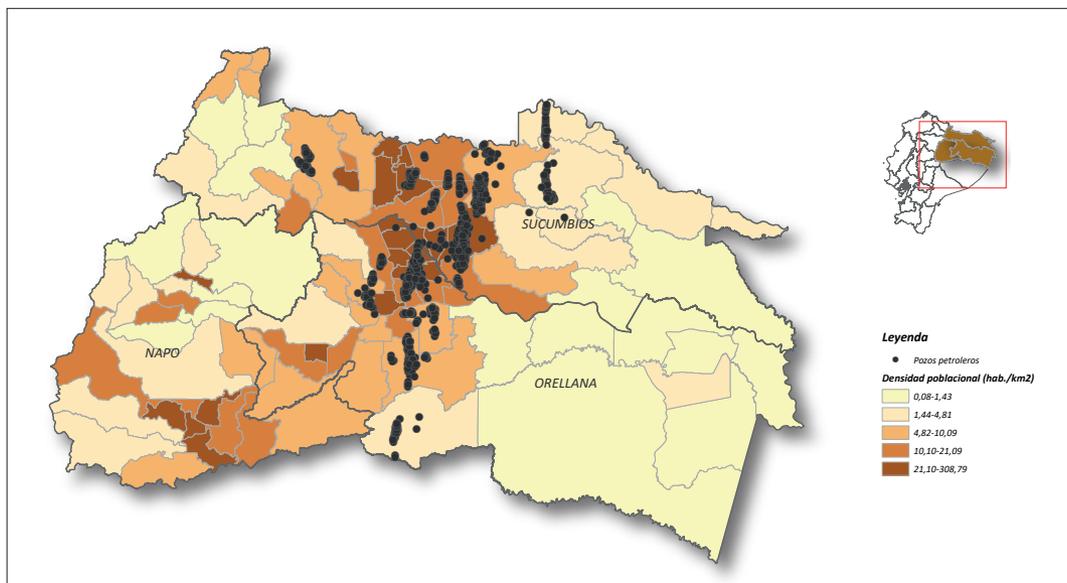
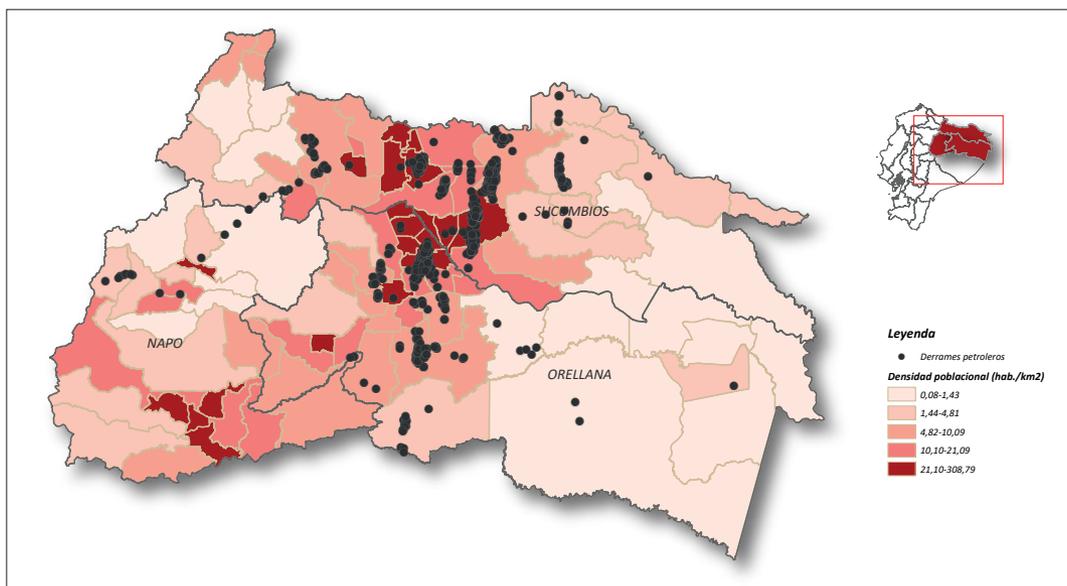


Figura 4.
Densidad poblacional y derrames de petróleo en el Nororiente Ecuatoriano.



Actores de Conservación en la Cuenca del Napo

Un factor crítico para una eficiente estrategia de conservación del recurso hídrico es la participación de actores a diferentes escalas de agregación social y política. Aquí hacemos una breve descripción de los actores relevantes a un nivel institucional y exploramos su grado de influencia en el tema hídrico. Cabe destacar que las relaciones institucionales son muy dinámicas, y esta solo es una visión en un punto en el tiempo.

A través de métodos participativos hemos medido el “mandato” para manejar, la “motivación” para conservar, la “capacidad” para actuar y el “poder” para influenciar (Castillo *et al.*, 2006). Los actores aquí mencionados, han sido calificados a través de entrevistas que se realizaron en las principales ciudades de las provincias de Orellana, Sucumbios y Napo, a individuos representativos y relevantes al uso y manejo de los recursos hídricos.

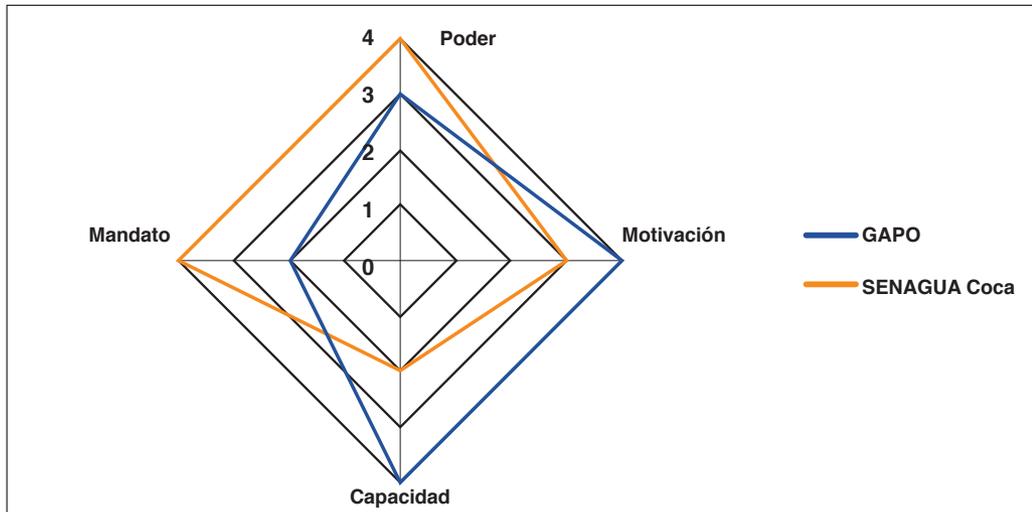


Figura 5.
Fortalezas comparativas de las principales instituciones en Orellana.

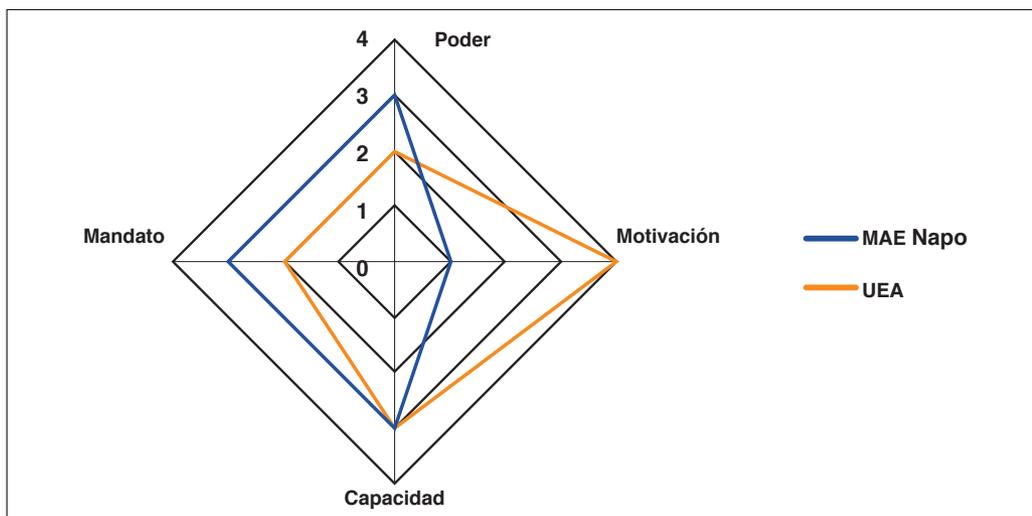


Figura 6.
Fortalezas comparativas de las principales instituciones en Napo.

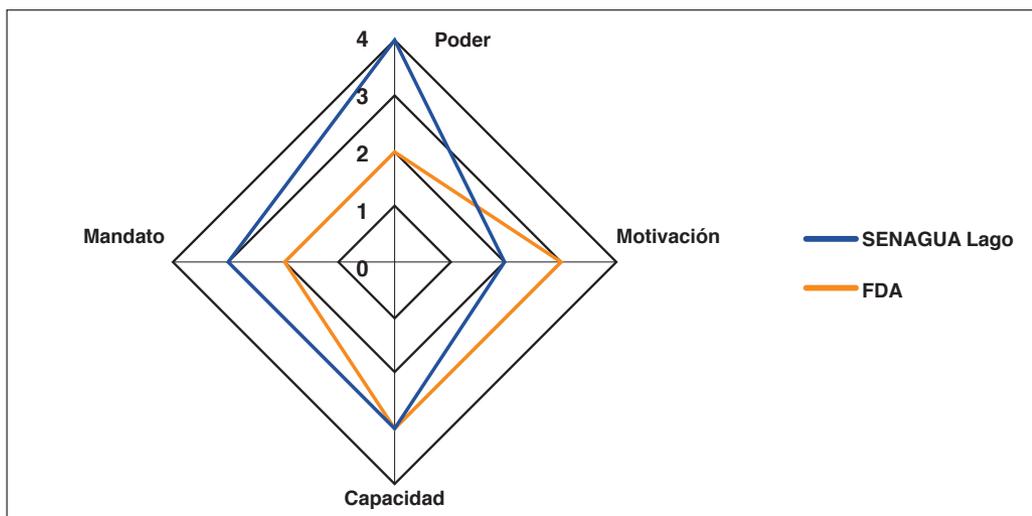


Figura 7.
Fortalezas comparativas de las principales instituciones en Sucumbíos.

En Orellana, son relevantes instituciones como la Secretaría Nacional del Agua - SENAGUA, el Gobierno Autónomo Provincial de Orellana - GAPO, el Fondo Ecuatoriano Populorum Progressio (FEPP), y el Frente de Defensa de la Amazonía. Aquí, se ha pedido a los entrevistados que califiquen del 0 al 4 (siendo 4 el valor más fuerte en la dimensión escogida) a cada uno de los elementos de interés (Mandato, Capacidad, Motivación, Poder) de dos instituciones identificadas como importantes por los actores en Orellana (Figura 5).

En Napo, surgieron como instituciones más relevantes el Ministerio del Ambiente (MAE)

y la Universidad Estatal Amazónica – UEA (Figura 6). Y en Sucumbíos (Figura 7), SENAGUA provincial y el Frente de Defensa de la Amazonía FDA.

Este análisis preliminar de mapeo de actores, en sus dimensiones y alcances, nos indica que no hay una institución que, al menos a los ojos de nuestros entrevistados, tenga fortaleza en todas las dimensiones antes mencionadas. Desde esta perspectiva es evidente que cualquier iniciativa de manejo del recurso hídrico requerirá de alianzas entre diferentes instituciones clave.

Reflexiones Finales: Conocimiento y Organización

En esta corta y exploratoria sección de las condiciones socioeconómicas relacionadas con los recursos hídricos en la Amazonía ecuatoriana, hemos tratado algunos temas importantes como las condiciones de la población local, las amenazas de la expansión de la frontera extractiva y las percepciones de las instituciones locales en la Amazonía ecuatoriana, con un énfasis en el Nororiente.

Podemos concluir que existe un crecimiento demográfico considerable ya que, como región, la Amazonía crece más rápido que las otras regiones. Así mismo, hemos ilustrado como el crecimiento demográfico, que está asociado al crecimiento económico vía migración de poblaciones, también está relacionado con el deterioro ambiental. Las poblaciones crecen o se asientan en los polos de desarrollo y esto genera impactos en los ecosistemas, especialmente en los sistemas hídricos. Pero hay un efecto de retroalimentación negativo, en el que son afectadas las mismas poblaciones vulnerables, como las poblaciones indígenas y los migrantes.

Uno de los problemas más graves de la Amazonía ecuatoriana es la falta de conocimiento

de los recursos naturales y, específicamente, de los recursos hídricos. Es solamente ahora que se empiezan a generar sistemas de monitoreo ambiental como los producidos por el GAPO y FDA. Pero la información científica disponible todavía es insuficiente para comprender el estado real de los sistemas hídricos de esta región. Es necesario que proyectos de investigación, que enlacen los aspectos sociales y ambientales, proveen una mirada multidisciplinaria al problema del agua a diferentes escalas. Adicionalmente, se necesita una participación real y efectiva de la población en los esfuerzos locales para mejorar el manejo del agua.

Desde esta perspectiva, la participación comunitaria es indispensable para cerrar la brecha del conocimiento, y también como herramienta para lograr una mejor adaptación a los cambios sociales y ambientales que se producen (Da Cruz e Sousa y Ríos-Touma, 2018). Una mejor cohesión social, frente a los desafíos de defender y manejar los recursos hídricos, es la única manera de preservar las cuencas donde se vive.





Amenazas provenientes de actividades humanas hacia los ecosistemas de agua dulce en las cuencas Andino-Amazónicas del Ecuador

Carolina Sampedro y Janeth Lessmann

Los impactos asociados a las actividades humanas afectan la integridad ecológica de los ríos, disminuyendo sus capacidades para abastecer de manera sostenible a bienes y servicios derivados de su uso (Norris *et al.*, 2007). Como resultado de tales presiones se han reportado importantes reducciones en poblaciones de muchas especies dulceacuícolas (Dudgeon *et al.*, 2006; Darwall *et al.*, 2008).

Los ecosistemas de agua dulce y los ecosistemas terrestres responden de diferente manera a la presencia de las actividades humanas. La diversidad de especies asociadas a ríos, riachuelos y humedales se encuentra más amenazada que la diversidad de los ecosistemas terrestres (Abell *et al.*, 2002). Por ejemplo, las represas, canalizaciones y extracción de agua causan grandes alteraciones en los ríos, mientras que los ambientes terrestres cercanos a dichas amenazas suelen mantenerse en buen estado (Abell *et al.*, 2002). Por el con-

trario, las carreteras afectan gravemente a los ecosistemas terrestres puesto que producen la degradación de hábitats e incentivan la deforestación, mientras que los impactos de la construcción de vías son relativamente bajos en los ríos (McPherson *et al.*, 2008). Además, los ríos, por ser sistemas muy conectados, no sólo se ven afectados por la presencia de amenazas cercanas a ellos, sino también por las que se encuentran aguas arriba y, en algunas ocasiones, aguas abajo. Esto hace que sean muy vulnerables y que se requieran de estudios detallados para entender cómo las actividades humanas afectan a su integridad ecológica.

Se ha clasificado a las amenazas provenientes de las actividades humanas hacia los sistemas dulceacuícolas en cinco grandes categorías: sobreexplotación de la biodiversidad (ej. pesca excesiva), contaminación del agua, modificación del caudal (ej. represas), destrucción o modificación del hábitat

(ej. agricultura), e invasión de especies exóticas (Dudgeon *et al.*, 2006).

El tener un conocimiento acerca de la ubicación y la magnitud de las amenazas humanas por medio de mapas digitales es una herramienta útil e importante para el manejo y protección de los ecosistemas acuáticos (Norris *et al.*, 2007). Estos mapas permiten identificar los sitios en los que la condición de los ríos podría estar potencialmente afectada, así como priorizar áreas para la implementación de monitoreos que permitan proponer iniciativas de protección y recuperación de los ríos. Además, estos mapas podrían usarse como una guía para delimitar reservas en

áreas con una adecuada salud ecológica que permitan la persistencia de sus especies a largo plazo.

En la región Andino-Amazónica, a pesar de la creciente intervención humana, no existe información actual y sintetizada acerca de cuáles son y donde están las principales amenazas hacia los ecosistemas de agua dulce. Es por esta razón que para este capítulo se desarrolló un mapa de las amenazas que afectan a los ríos de esta región, en el que se integra información relacionada con las diferentes actividades humanas que potencialmente podrían generar una alteración a los ecosistemas de agua dulce.

Construcción de mapa de Amenazas

Para construir el mapa de amenazas seleccionamos los elementos de riesgo o actividades humanas que pudieran tener una influencia negativa en el estado de los sistemas de agua dulce (ríos, riachuelos, zonas inundables, humedales, etc.). En el caso de la Amazonía ecuatoriana identificamos ocho principales fuentes de contaminación: asentamientos humanos, industria minera, industria petrolera, hidroeléctricas, termoeléctricas, actividades de agricultura y ganadería, extracción de agua para diferentes usos y presencia de vías (Tabla 1).

Para cada una de estas amenazas compilamos mapas en formato digital que brindan información detallada sobre su ubicación en la Amazonía y sobre las distintas clases o categorías que la conforman. Por ejemplo, los tipos de uso de suelo como: mosaicos agropecuarios, pastizales y cultivos permanentes. Sin embargo, existen otros tipos de amenazas como la descarga de aguas residuales e industriales, la tala de bosques, la introducción de especies exóticas, entre otras, que tienen gran impacto en los ecosistemas amazónicos, pero para las cuales no fue posible obtener información específica acerca de su ubicación espacial.

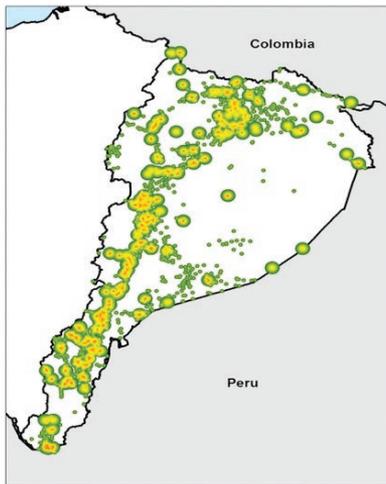
Para cada amenaza construimos un mapa en el que se representó su ubicación, intensidad de impacto y distancia de influencia (Figura 1).

El valor de la intensidad es una medida relativa del impacto negativo que pueden generar las amenazas hacia los ecosistemas de agua dulce en una escala de 0 a 1, en donde 1 corresponde al mayor impacto y 0 a ningún impacto (Tabla 1). Como ejemplo, en comparación con la presencia de vías, la actividad minera genera una cantidad mucho mayor de contaminantes que suelen ser descargados a los ríos. Es por ello que en este ejemplo, a las actividades mineras y petroleras les asignamos un valor de intensidad de impacto más alto que a la presencia de vías.

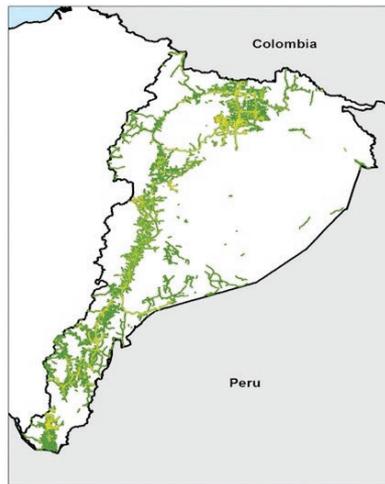
Adicionalmente, las distintas categorías o clases dentro de una amenaza también recibieron distintos niveles de intensidad de acuerdo a su impacto. Como ejemplo, a las hidroeléctricas de menor potencia como el proyecto Quijos con una potencia de 50 MW, y un caudal medio anual de 29 m³/seg (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2015), se le asignó un valor de intensidad menor que a las hidroeléctricas de gran potencia como por ejemplo la

Tabla 1. Descripción de las principales amenazas humanas a los sistemas de agua dulce en la Amazonía ecuatoriana y sus valores de intensidad y distancia de impacto.

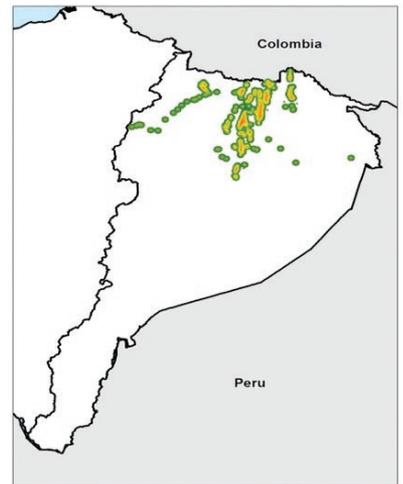
Amenaza	Descripción del impacto	Intensidad de impacto	Distancia de impacto
Asentamientos humanos	Descargue de aguas negras de origen doméstico y de aguas con desechos industriales. Escorrentía de aguas contaminadas a través de vías, estacionamientos, etc. Reorientación y canalización del flujo de los ríos superficiales y subterráneos. Deforestación de la vegetación de ribera.	0.230	10 km urbanos y 3 km rurales
Minería	Contaminación del agua durante el proceso productivo con cianuro, metales pesados, aceites, grasas. Aguas de escorrentía de minería o canteras contribuyen con sedimentos, metales, ácidos, aceites, etc. Deforestaciones, desviación de caudales, alteraciones en la vegetación de ribera.	0.176	5 km
Agricultura y Ganadería	Flujo de contaminantes a las aguas adyacentes, como abonos, fertilizantes, pesticidas y partículas de suelo. Alteración del caudal ecológico por reorientación de las fuentes de agua para riego, dragado, canalización etc. Modificación del ciclo hidrológico local por regadío (entrada de agua mucho mayor que la correspondiente por precipitación).	0.170	5 km
Hidroeléctricas	Las represas alteran la hidrología, la migración de especies y sus cruces entre individuos aguas arriba y aguas abajo, y facilita la invasión de especies exóticas. Los embalses creados por las represas también alteran el hábitat natural.	0.152	30 m
Industria petrolera	Descargue de aguas residuales utilizadas durante las fases de exploración y extracción, las cuales contienen hidrocarburos, metales pesados y sales. Contaminación directa por derrames petroleros.	0.121	Pozos 1500 m Oleoductos 30 m Derrames y Piscinas 5 km
Extracción de agua	Reducción de caudal en los ríos; cambios en el estado físico y químico de las aguas del río.	0.085	1 km
Termoeléctricas	Extracción de aguas para fines de enfriamiento, las cuales son nuevamente descargadas con un aumento de temperatura de unos 4 a 8 °C. El aumento de temperatura produce rápidamente una escasez de oxígeno, ocasionando problemas para los organismos acuáticos. Las aguas residuales de centrales térmicas, sobre todo de las que usan carbón como combustible, pueden contaminar las aguas superficiales.	0.036	2 km
Vías	Incremento del flujo de sedimentos y materiales tóxicos (como derrames de aceites) desde la superficie de las vías a los ríos. Reorientación de los ríos superficiales y subterráneos para la construcción de redes viales.	0.030	1 km



Asentamientos



Vías



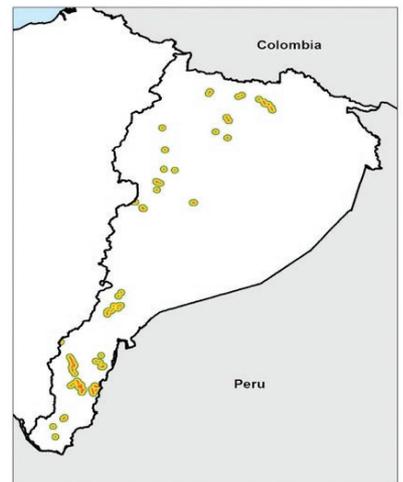
Actividad



Hidroeléctricas



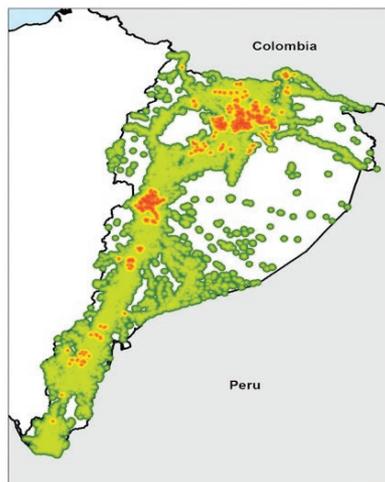
Consumo de agua



Actividad minera



Termoeléctricas



Uso de suelo

Figura 1. Ubicación, intensidad de impacto y distancia de influencia de las amenazas humanas a los ecosistemas de agua dulce. El color rojo representa los lugares que tiene una mayor exposición a la amenaza, y mientras la escala de colores cambia a colores más verdes, estos tienen una menor influencia.

Coca-Codo Sinclair, con una potencia de 1500 MW, y un caudal medio anual de 287 m³/seg (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2015), debido a que evidentemente las primeras afectan en menor intensidad al caudal de los ríos.

Por otro lado, la distancia de influencia representa un aproximado de la máxima distancia sobre la cual la amenaza podría tener un impacto negativo. Como ejemplo, existen estudios que han reportado que la presencia de vías puede afectar a los ríos hasta un kilómetro desde su ubicación (Esselman y Allan, 2011). Por otro lado, los compuestos químicos derivados de la actividad petrolera

y minera pueden ser encontrados hasta 10 kilómetros desde la fuente de origen en una variedad de concentraciones (Bravo, 2007). El proceso de asignación de estos valores de intensidad de impacto y de distancia de influencia para cada amenaza se basó en diferentes referencias científicas y en discusiones con expertos en el área.

Finalmente, los mapas individuales para cada amenaza fueron sumados para presentar un mapa general en el que se muestra la ubicación y la magnitud acumulada de todas las amenazas hacia los sistemas de agua dulce de la Amazonía (Figura 2).

Interpretación del Mapa de Amenazas

En base al mapa de amenazas relacionadas a actividades humanas que fue generado, se observa que aproximadamente un 64% del territorio amazónico presenta algún grado de amenaza a los sistemas de agua dulce. Dichas amenazas suelen encontrarse distribuidas en patrones asociados a los ejes viales, alrededor de los cuales se desarrollan los centros poblados y las actividades económicas.

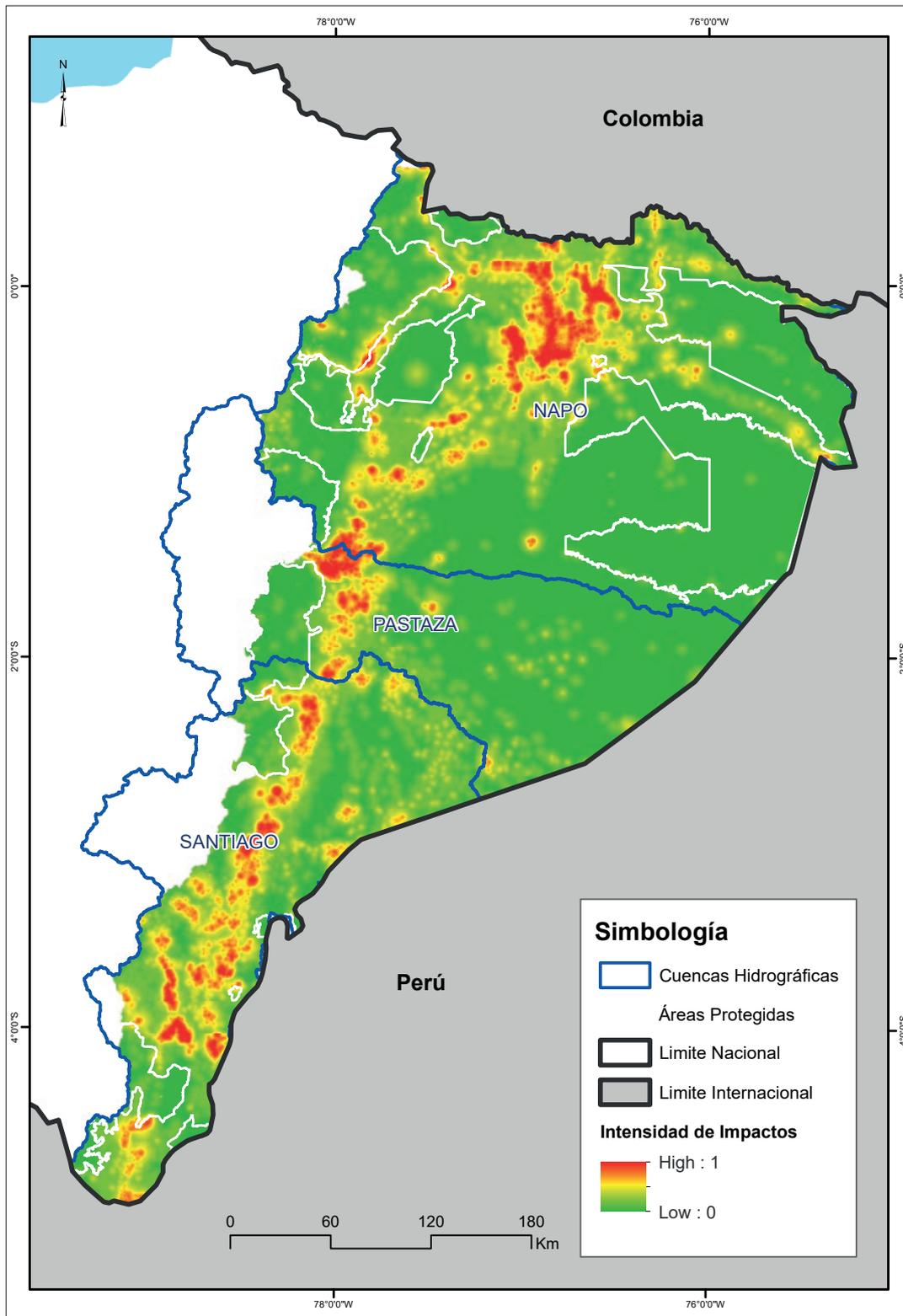
De la totalidad del área amazónica, el 36% no presenta amenazas, y de este porcentaje, el 43% forma parte del sistema nacional de áreas protegidas. Sin embargo, el 40% de los territorios dentro de áreas protegidas de la región como el Parque Nacional Yasuní, la Reserva de Producción de Fauna Cuyabeno, el Parque Nacional Cayambe Coca, la Reserva Ecológica Antisana, el Parque Nacional Sumaco Napo-Galeras, el Parque Nacional Llanganates, el Parque Nacional Sangay y el Parque Nacional Podocarpus, presentan algún grado de amenaza a los sistemas acuáticos. El área restante que no presenta ninguna amenaza y que no forma parte de un área protegida, se encuentra en su mayoría en el extremo oriente del Ecuador, en donde no hay acceso vial y muy poca influencia de

actividades humanas (provincias de Napo, Pastaza y, en menor proporción, en Morona Santiago).

En el mapa de amenazas, se pueden observar valores mayores a 0.35 que indican zonas de alto impacto a los sistemas de agua dulce (zonas en rojo de la Figura 2). Esta área constituye aproximadamente el 9% de la Amazonía ecuatoriana. En la mayoría de estas zonas se observa una coincidencia de distintas amenazas como asentamientos humanos, vías, explotación del suelo, explotación petrolera y minera.

El 56% del territorio amazónico forma parte de la cuenca del río Napo, la cual presenta el 57% de áreas con amenaza de contaminación y un 7% en zonas de alto impacto en especial en los alrededores de las ciudades de Lago Agrío (Nueva Loja), Shushufindi y Coca (Francisco de Orellana). La convergencia de varias amenazas en esta cuenca está vinculada con la actividad económica más importante de la región: la explotación petrolera. Desde 1970, esta industria ha sido responsable de la apertura de vías de acceso a sitios aislados y de delicado balance, facilitando un rápido y muchas veces desorde-

Figura 2. Mapa de amenazas humanas a los sistemas de agua dulce en la cuenca Amazónica del Ecuador en donde se representa la intensidad del impacto de distintas amenazas humanas combinadas: asentamientos humanos, minería, industria petrolera, hidroeléctricas, termoeléctricas, agricultura y ganadería, extracción de agua y vías.



nado crecimiento poblacional (Sierra, 2000; *Finer et al.*, 2008). Las vías también atrajeron a agricultores quienes aprovecharon la apertura de áreas para desarrollar de manera acelerada su actividad económica (*Mainville et al.*, 2006; *Mena et al.*, 2006).

La cuenca del río Pastaza abarca el 20% del territorio amazónico y el 51% de esta presenta algún grado de amenaza a los sistemas de agua dulce. De este 51%, el 5% corresponde a zonas de alto impacto ubicadas en su mayoría alrededor de las ciudades de Puyo, Palora y Macas. En estas ciudades se concentran “focos” de amenazas humanas como consecuencia de las dinámicas de colonización en donde las labores agropecuarias son las actividades económicas que dominan los paisajes de la zona.

En la zona sur de la amazonia ecuatoriana se encuentra la cuenca del río Santiago, la cual constituye el 25% del territorio amazónico ecuatoriano. El 91% del área de esta

cuenca está bajo la presencia de amenazas humanas y dentro de este, un 13% es de alto impacto. Se destacan como zonas muy amenazadas los alrededores de las ciudades de Zamora, General Leónidas Plaza Gutiérrez, Santiago de Méndez, Guaysimi y El Pangui, en donde se destaca la presencia de actividades mineras. Esta actividad tuvo su origen y expansión durante los años 70’s, 80’s y 90’s y ha buscado consolidarse en las últimas décadas (*Moreano, General, y Gómez*, 2002) a través de proyectos de gran escala y cielo abierto como Cóndor Mirador en la provincia de Zamora Chinchipe y San Carlos en Morona Santiago de donde se espera extraer cobre, oro, plata y molibdeno. La actividad minera ha estimulado el desarrollo acelerado y desordenado de las provincias del sur de la Amazonía, así como la actividad petrolera lo hizo en las provincias del norte, asociado a actividades económicas y generadoras de fuentes de empleo que han promovido la colonización y la construcción de infraestructura (*Moreano et al.*, 2002).

Conclusiones

Los sistemas de agua que fluyen a lo largo de la Amazonía Ecuatoriana están expuestos a una variedad de amenazas derivadas de actividades extractivas y de desarrollo humano que suponen un riesgo a la preservación de los ecosistemas acuáticos en esta región y a su vez disminuyen la calidad del agua para diferentes usos.

El monitoreo y seguimiento de la condición de los ríos en áreas adyacentes a zonas altamente amenazadas (9% del territorio amazónico) es de vital importancia. Herramientas que permitan la visualización de zonas impactadas y con riesgo de impactos, como el mapa de amenazas presentado en este capítulo, son de ayuda en las decisiones que permitan reforzar medidas de conservación que apunten a recuperar la integridad ecológica de los ríos Andino-Amazónicos, es decir, recuperar la capacidad de los ríos amazónicos de funcionar saludablemente, a la vez que continúen proveyendo bienes y servicios.

Por otro lado, la difusión visual de esta información aumenta la manera en la que las personas valoran su entorno y comprenden de manera objetiva que la protección del agua, recurso indispensable para la vida, es obligatoria en la prolongación de la salud de los ecosistemas acuáticos.

Adicionalmente, las áreas protegidas de la región Andino-Amazónica han demostrado ser una estrategia capaz de frenar en cierto grado la expansión de amenazas en la Amazonía ecuatoriana, y, por lo tanto, es recomendable considerar la creación de nuevas figuras de protección para la región. Sin embargo, casos como la expansión de los proyectos hidroeléctricos y de la actividad petrolera en la región Sur Oriente del país y en áreas protegidas como en el Parque Nacional Yasuní, constituyen un panorama preocupante para la conservación de los sistemas de agua dulce en esta región.

Referencias

Capítulo 1

- Andrade, D. E. (2019). *Thermal Stream Effects on Macroinvertebrate Diversity (Hyaella spp and Andesiops spp) in an Andean Freshwater System* (Cachiya-cu River Basin, Ecuador). Trabajo de titulación para la obtención de la licenciatura en biología. Universidad San Francisco de Quito, Ecuador.
- Anderson, E. P., Jenkins, C. N., Heilpern, S., Maldonado-Ocampo, J. A., Carvajal-Vallejos, F. M., Encalada, A. C., ... y Salcedo, N. (2018). Fragmentation of Andes-to-Amazon connectivity by hydropower dams. *Science Advances*, 4 (1):eaao1642.
- Atkinson, C. L., Encalada, A. C., Rugenski, A. T., Thomas, S. A., Landeira-Dabarca, A., Poff, N. L. y Flecker, A. S. (2018). Determinants of food resource assimilation by stream insects along a tropical elevation gradient. *Oecologia*, 187:731–744.
- Barthem, R. B., Goulding, M., Leite, R. G., Canas, C., Forsberg, B., Venticinque, E., Petry, P., Ribeiro, M. L., Chuctaya, J. y Mercado, A. (2017). Goliath catfish spawning in the far western Amazon confirmed by the distribution of mature adults, drifting larvae and migrating juveniles. *Scientific Reports*, 7:41784.
- Capps, K. A., Graca, M., Encalada, A. C. y Flecker, A. S. (2011). Leaf-litter decomposition across three flooding regimes in a seasonally flooded Amazonian watershed. *Journal of Tropical Ecology*, 27. 205 - 210. 10.1017/S0266467410000635.
- Cauvy-Fraunie, S., Andino, P., Espinosa, R., Jacobsen, D. y Dangles, O. (2015). Temporal scaling of high flow effects on benthic fauna: Insights from equatorial glacier-fed streams. *Limnology and Oceanography*, 60:1836–1847. 10.1002/lno.10137.
- Eguiguren, A. (2014). Trophic variability of stream macroinvertebrates along an altitudinal gradient and among size groups in the Oyacachi River Basin. Trabajo de titulación para la obtención de la licenciatura en biología. Universidad San Francisco de Quito, Ecuador.
- Flores, C. (2019). *Tipología de Ríos en el Ecuador: Análisis del régimen del caudal*. Trabajo de Titulación para la obtención de grado de Ing. Ambiental. Universidad San Francisco de Quito, Ecuador.
- Gill, B. A., Kondratieff, B. C., Casner, K. L., Encalada, A. C., Flecker, A. S., Gannon, D. G., ... y Thomas, S. A. (2016). Cryptic species diversity reveals biogeographic support for the 'mountain passes are higher in the tropics' hypothesis. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1832). 20160553.
- Hribljan, J. A., Suarez, E., Bourgeau-Chavez, L., Endres, S., Lilleskov, E. A., Chimbolema, S., Wayson, C., Serocki, E. y Chimner, R. A. (2017). Multi-date, multi-sensor remote sensing reveals high density of carbon-rich mountain peatlands in the páramo of Ecuador. *Global Change Biology*, 14: 10.1111/gcb.13807.
- Jacobsen, D. y Dangles, O. (2012). Environmental harshness and global richness patterns in glacier-fed streams. *Global Ecology and Biogeography*, 21:647–656. 10.1111/j.1466-8238.2011.00699.x
- Larson, E. (2019). *The structural and functional consequences of disturbance on biodiversity in tropical and temperate montane streams*. PhD Dissertation Cornell University, Ithaca, NY.
- McClain, M. E. y Naiman, R. J. (2008). Andean influences on the biogeochemistry and ecology of the Amazon River. *Bioscience*, 58(4):325–338. 10.1641/B580408.
- Polato, N. R., Gill, B. A., Shah, A. A., Gray, M. M., Casner, K. L., Barthelet, A., ... y Kondratieff, B. C. (2018). Narrow thermal tolerance and low dispersal drive higher speciation in tropical mountains. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115:12471–12476. 10.1073/pnas.1809326115.
- Puhakka, M., Kalliola, R., Rajasilta, M. y Salo, J. (1992). River Types, Site Evolution and Successional Vegetation Patterns in Peruvian Amazonia. *Journal of Biogeography*, 19(6): 651–665. 10.2307/2845707.
- Ríos-Touma, B., Holzenthal, R. W., Huisman, J., Thomson, R., y Rázuri-Gonzales, E. (2017). Diversity and distribution of the Caddisflies (Insecta: Trichoptera) of Ecuador. *PeerJ*, 5:e2851 <https://doi.org/10.7717/peerj.2851>.
- Shah, A. A., Gill, B. A., Encalada, A. C., Flecker, A. S., Funk, W. C., Guayasamin, J. M., ... y Ghalambor, C. K. (2017). Climate variability predicts thermal limits of aquatic insects across elevation and latitude. *Functional Ecology*, 31(11):2118–2127. 10.1111/1365-2435.12906.
- Sioli, H. (1984). The amazon and its main affluents: hydrography, morphology of the river courses, and river types *En The Amazon: Limnology and Landscape Ecology of a Mighty Tropical River and its Basin* (p. 127-165). Dr. W. Junk. Publishers, Dordrecht, South Holland.
- Utreras, V., Suárez, E., Zapata-Ríos, G. R., Lasso, G., y Pinos, L. (2005). Dry and rainy season estimations of giant otter, *Pteronura brasiliensis*, home-range in the Yasuní National Park, Ecuador. *LAIAM*, 4(2): 191–194. 10.5597/lajam00085.

Capítulo 2

- Andrade, D. E. (2019). *Thermal Stream Effects on Macroinvertebrate Diversity (Hyaella spp and Andesiops spp) in an Andean Freshwater System* (Cachiya-cu River Basin, Ecuador). Trabajo de titulación para la obtención de la licenciatura en biología. Universidad San Francisco de Quito, Ecuador.
- Atkinson, C. L., Encalada, A.C., Rugenski, A. T., Thomas, S. A., Landeira-Dabarca, A., Poff, N. L. y Flecker, A. S. (2018). Determinants of food resource assimilation by stream insects along a tropical elevation gradient. *Oecologia* 187:731–744. Barriga, R. (2012) Lista de Peces de Agua dulce e Intermareales del Ecuador. *Politécnica*, 30, 83-119.
- Barriga, R. (2012) Lista de Peces de Agua dulce e Intermareales del Ecuador. *Politécnica*, 30, 83-119.
- Berger, L., Speare, R., Daszak, P., Green, D. E., Cunningham, A. A., Goggin, C. L., ... y Hines, H. B. (1998). Chytridiomycosis causes amphibian mortality associated with population declines in the rain forests of Australia and Central America. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(15), 9031–9036. 10.1073/pnas.95.15.9031.
- Biofresh (2019). Global Freshwater Biodiversity Atlas | IGB. Recuperado de: <https://www.igb-berlin.de/en/global-freshwater-biodiversity-atlas>.
- Centro Jambatu (2011–2017) *Anfibios de Ecuador*. Fundación Otonga. Quito, Ecuador. Disponible en: <http://www.anfibioswebecuador.ec/anfibiosecuador.aspx>.
- Coloma, L. A., Duellman, W. E., Almendáriz, A., Ron, S. R., Terán-Valdez, A. y Guayasamin, J. M. (2010). Five new (extinct?) species of *Atelopus* (Anura: Bufonidae) from Andean Colombia, Ecuador, and Peru. *Zootaxa*, 2574, 1–54. 10.5281/zenodo.197448.
- Domínguez E. y Fernández, R. H. (2008). *Macroinvertebrados bentónicos Sudamericanos. Sistemática y Biología*. Editorial Fundación Miguel Lillo, Tucumán.
- Dos Santos, D. A., Molineri, C., Nieto, C., Zuñiga, M. C., Emmerich, D., Fierro, P., ... y Salles, F. F. (2018). Cold/Warm stenothermic freshwater macroinvertebrates along altitudinal and latitudinal gradients in Western South America: A modern approach to an old hypothesis with updated data. *Journal of Biogeography*, 45(7):1571–1581. 10.1111/jbi.13234.
- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z. I., Knowler, D. J., Lévêque, C., ... y Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological reviews*, 81(2), 163-182. 10.1017/S1464793105006950.
- Finn, D. S., Encalada, A. C., y Hampel, H. (2016). Genetic isolation among mountains but not between stream types in a tropical high altitude mayfly. *Freshwater Biology*, 61(5), 702-714. 10.1111/fwb.12740.
- Galacatos, K., Stewart, D. y Ibarra, M. (1996). Fish Community Patterns of Lagoons and Associated Tributaries in the Ecuadorian Amazon. *Copeia*, 1996(4), 875-894.
- Gill, B. A., Kondratieff, B. C., Casner, K. L., Encalada, A. C., Flecker, A. S., Gannon, D. G., ... y Thomas, S. A. (2016). Cryptic species diversity reveals biogeographic support for the ‘mountain passes are higher in the tropics’ hypothesis. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1832). 20160553.
- Guarderas, L. y Jácome-Negrete, I. (2013) *Curaray Causac Yacu. Conocimiento y gestión de los humedales del Pueblo Kichwa de la cuenca media y baja del río Curaray desde la visión del Sumac Allpa y del Sumac Causai*. IQBSS, Quito, Ecuador.
- Guayasamin, J. M., Castroviejo-Fisher, S., Trueb, L., Ayarzagüena, J., Rada, M., y Vilà, C. (2009). Phylogenetic systematics of Glassfrogs (Amphibia: Centrolenidae) and their sister taxon *Allophryne ruthveni*. *Zootaxa*, 2100, 1–97.
- Hamerlik, L., da Silva, F. L., y Jacobsen, D. (2018). Chironomidae (Insecta: Diptera) of Ecuadorian Highaltitude Streams: A Survey and Illustrated Key. *Florida Entomologist*, 101(4), 663-676. 10.1653/024.101.0404.
- Heino, J. (2002) Concordance of species richness patterns among multiple freshwater taxa: a regional perspective. *Biodiversity and Conservation*, 11(1), 137-147.
- Hoekstra, J. M., Molnar, J. L., Jennings, M., Revenga, C., Spalding, M. D., Boucher, T. M., Robertson, J. C., Heibel, T. J. y Ellison, K. (2010) *The Atlas of Global Conservation: Changes, Challenges, and Opportunities to Make a Difference* E (ed. J.L. Molnar). University of California Press, Berkeley, <http://maps.tnc.org/globalmaps.html>.
- Hutter, C. R., Guayasamin, J. M., y Wiens, J. J. (2013). Explaining Andean megadiversity: the evolutionary and ecological causes of glassfrog elevational richness patterns. *Ecology letters*, 16(9), 1135-1144. 10.1111/ele.12148.
- IUCN (2011) *IUCN Red List of Threatened Species. Version 2011.1*. Available at: www.iucnredlist.org. (accessed).
- IUCN (2014) *About the Freshwater Biodiversity Unit*. Available at: http://www.iucn.org/about/work/programmes/species/our_work/about_freshwater/ (accessed 15 Abril 2014).
- Jacobsen, D., Cauvy-Fraunie, S., Andino, P., Espinosa, R., Cueva, D., y Dangles, O. (2014). Runoff and the longitudinal distribution of macroinvertebrates in a glacier-fed stream: implications for the effects of global warming. *Freshwater biology*, 59(10), 2038-2050. 10.1111/fwb.12405.

- Jacobsen, D. y Dangles, O. (2017). *Organisms and diversity patterns at high altitudes*. Oxford Univ Press, 198 Madison Avenue, New York, Ny 10016 Usa, Jacobsen, Dean; Univ Copenhagen, Dept Biol, Copenhagen, Denmark.
- Levêque, C., Oberdorff, T., PAUGy, D., Stiassny, M. L. J., y Tedesco, P. A. (2008) Global diversity of fish (Pisces) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595, 545-567.
- Levis, C., Costa, F. R., Bongers, F., Peña-Claros, M., Clement, C. R., Junqueira, A. B., ... y Castilho, C. V. (2017). Persistent effects of pre-Columbian plant domestication on Amazonian forest composition. *Science*, 355(6328), 925-931. 10.1126/science.aal0157.
- Lessmann, J., Guayasamin, J. M., Jácome, I. y Encalada, A. C. (en preparación) Freshwater fauna diversity in Andean-Tropical ecosystems.
- Oberdorff, T., Jézéquel, C., Tedesco, P.A. y Tisseuil, C. (2013) *Global Diversity Patterns in Freshwater Systems*. Available at: atlas.freshwaterbiodiversity.eu (accessed 10 Abril 2014).
- Polato, N. R., Gill, B. A., Shah, A. A., Gray, M. M., Casner, K. L., Barthelet, A., ... y Kondratieff, B. C. (2018). Narrow thermal tolerance and low dispersal drive higher speciation in tropical mountains. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 115:12471–12476. 10.1073/pnas.1809326115.
- Pyron, R. A., y Wiens, J. J. (2013). Large-scale phylogenetic analyses reveal the causes of high tropical amphibian diversity. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1770), 20131622. 10.1098/rspb.2013.1622.
- Ridgely, R. y Greenfield, P. J. (2007) *Aves del Ecuador. Volumen II Guía de Campo*. Fundación Jocotoco, Quito.
- Ríos-Touma, B., Prat, N., y Encalada, A. C. (2012). Invertebrate drift and colonization processes in a tropical Andean stream. *Aquatic Biology*, 14(3), 233-246. 10.3354/ab00399.
- Ríos-Touma, B., Holzenthal, R. W., Huisman, J., Thomson, R., y Rázuri-Gonzales, E. (2017). Diversity and distribution of the Caddisflies (Insecta: Trichoptera) of Ecuador. *PeerJ*, 5, e2851.
- Scheele, B. C., Pasmans, F., Skerratt, L. F., Berger, L., Martel, A., Beukema, W., ... y De la Riva, I. (2019). Amphibian fungal panzootic causes catastrophic and ongoing loss of biodiversity. *Science*, 363(6434), 1459-1463. 10.1126/science.aav0379.
- Shah, A. A., Gill, B. A., Encalada, A. C., Flecker, A. S., Funk, W. C., Guayasamin, J. M., ... y Ghalambor, C. K. (2017). Climate variability predicts thermal limits of aquatic insects across elevation and latitude. *Functional ecology*, 31(11), 2118-2127. 10.1111/1365-2435.12906.
- Stewart, D., Barriga, R. e Ibarra, M. (1987) Ictiofauna de la Cuenca del Río Napo, Ecuador Oriental: Lista Anotada de Especies. *Politécnica*, 12, 9-63.
- Stuart, S. N., Chanson, J. S., Cox, N. A., Young, B. E., Rodrigues, A. S., Fischman, D. L., y Waller, R. W. (2004). Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science*, 306(5702), 1783-1786. 10.1126/science.1103538.
- Tirira, D. (2007) *Guía de Campo de los mamíferos del Ecuador*. Ediciones Murciélago Blanco, Publicación especial sobre los mamíferos del Ecuador 6, Quito.
- Torres-Carvajal, O. y Salazar-Valenzuela, D. (2014). Reptilia WebEcuador. Versión 2014.0. Museo de Zoología QCAZ, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Recuperado de: <http://zoologia.puce.edu.ec/Vertebrados/reptiles/reptilesEcuador>.
- Vences, M. y Kohler, J. (2008) Global diversity of amphibians (Amphibia) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595, 569-580.
- WWF/TNC (2013) *Freshwater Ecoregions of the World*. Available at: <http://www.feow.org/>.

Capítulo 3

- Alexiades, A. V., Encalada, A. C., Lessmann, J., y Guayasamin, J. M. (2019). Spatial prediction of stream physicochemical parameters for the Napo River Basin, Ecuador. *Journal of Freshwater Ecology*, 34(1), 249-263. 10.1080/02705060.2018.1542353.
- Anderson, E. P., Jenkins, C. N., Heilpern, S., Maldonado-Ocampo, J. A., Carvajal-Vallejos, F. M., Encalada, A. C., ... y Salcedo, N. (2018). Fragmentation of Andes-to-Amazon connectivity by hydropower dams. *Science advances*, 4(1), eaao1642.
- Castillo, O., Clark, C., Coppolillo, P., Kretser, H., McNab, R., Noss, A., ... y Walston, J. (2006). Casting for conservation actors: People partnerships and wildlife. *Wildlife Conservation Society*, New York.
- Da Cruz e Sousa, R., Ríos-Touma, B. (2018). Stream restoration in Andean cities: learning from contrasting restoration approaches. *Urban Ecosystems*, 21(2):281–290. 10.1007/s11252-017-0714-x.
- INEC (2014). Encuesta de Condiciones de Vida 2013 – 2014.
- Jácome, I. (2011). *Etnoictiología Quichua de las lagunas de la cuenca baja del río Curaray (Amazonía del Ecuador)*. Máster Universitario en Biodiversidad en Áreas Tropicales y su Conservación. Universidad Internacional Menéndez-Pelayo. España.
- Lessmann, J., Guayasamin, J. M., Casner, K. L., Flecker, A. S., Funk, W. C., Ghalambor, C. K., ... Encalada, A. C. (2016). Freshwater vertebrate and invertebrate

diversity patterns in an Andean-Amazon basin: implications for conservation efforts. *Neotropical Biodiversity*, 2(1), 99–114. <https://doi.org/10.1080/23766808.2016.1222189>.

Suarez, E., Morales, M., Cueva, R., Bucheli, V. U., Zapata-Ríos, G., Toral, E., ... y Olalla, J. V. (2009). Oil industry, wild meat trade and roads: indirect effects of oil extraction activities in a protected area in north-eastern Ecuador. *Animal Conservation*, 12(4), 364–373. 10.1111/j.1469-1795.2009.00262.x.

Terry, M. (2007). Ecuador's Water Crisis: Damming the Water Capital of the World. *World Rivers Review*, 22(4): 8.

US Army Corps of Engineers (1997). *Water Resource Assessment of Ecuador*. US Army Corps of Engineers, Washington DC.

Wildlife Conservation Society (2007). *Evaluación del uso de fauna y su estado de conservación en las comunidades de Nueva Providencia, Añangu y Sani Isla*. Informe Final para el Proyecto CAIMAN. USAID.

Capítulo 4

Abell, R., Thieme, M., Dinerstein, E. y Olson, D. (2002) *A Sourcebook for Conducting Biological Assessments and Developing Biodiversity Visions for Ecoregion Conservation. Volumen II. Freshwater Ecoregions*. World Wildlife Fund, DC, USA.

Bravo, E. (2007) Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad. *Acción Ecológica*. Quito, Ecuador. 1-61.

Darwall, W., Smith, K., Allen, D., Seddon, M., Reid, G. M., Clausnitzer, V., y Kalkman, V. J. (2008) Freshwater biodiversity – a hidden resource under threat. *The 2008 Review of The IUCN Red List of Threatened Species* (ed. by C.H.-T.a.S.N.S. J.-C. Vié). IUCN, Gland, Switzerland.

Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z. I., Knowler, D. J., Lévêque, C., ... y Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological reviews*, 81(2), 163–182. 10.1017/S1464793105006950.

Esselman, P. C., y 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(1), 71–88. 10.1111/j.1365-2427.2010.02417.x.

Finer, M., Jenkins, C. N., Pimm, S. L., Keane, B., y Ross, C. (2008). Oil and gas projects in the western Amazon: threats to wilderness, biodiversity, and indigenous peoples. *PLoS one*, 3(8), e2932.

Mainville, N., Webb, J., Lucotte, M., Davidson, R., Betancourt, O., Cueva, E., y Mergler, D. (2006). Decrease of soil fertility and release of mercury following deforestation in the Andean Amazon, Napo River Valley, Ecuador. *Science of the Total Environment*, 368(1), 88–98. 10.1016/j.scitotenv.2005.09.064.

McPherson, M., Schill, S., Raber, G., John, K., Zenny, N., Thurlow, K., y Sutton, A. H. (2008). GIS-based modeling of environmental risk surfaces (ERS) for conservation planning in Jamaica. *Journal of conservation planning*, 4, 60–89.

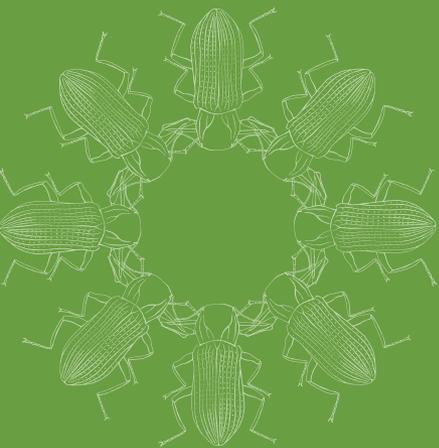
Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (2015). No Title. Programas / Servicios. Retrieved September 13, 2015, from <http://www.energia.gob.ec>.

Moreano, S., General, C., y Gómez, J. A. (2002). Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable en Ecuador. In Centro de Investigación y Planificación del Medio Ambiente (CIPMA); Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (IDRC); Iniciativa de Investigación sobre Políticas Mineras (IIPM) (Ed.), *Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable en América del Sur* (pp. 441–528). MMSD América del Sur.

Mena, C. F., Bilsborrow, R. E., y McClain, M. E. (2006) Socioeconomic Drivers of Deforestation in the Northern Ecuadorian Amazon. *Environmental Management*, 37, 802–815. 10.1007/s00267-003-0230-z.

Norris, R. H., Linke, S., Prosser, I. A. N., Young, W. J., Liston, P., Bauer, N., ... y Thoms, M. (2007) Very-broad-scale assessment of human impacts on river condition. *Freshwater Biology*, 52(5), 959–976. 10.1111/j.1365-2427.2006.01701.x.

Sierra, R. (2000) Dynamics and patterns of deforestation in the western Amazon: the Napo deforestation front, 1986–1996. *Applied Geography*, 20(1), 1–16. 10.1016/S0143-6228(99)00014-4.



Segunda parte

**Manual y herramientas para
el diseño de programas
de monitoreo de
ríos Andino-Amazónicos**





Diseño de Programas de Biomonitordeo

Los ríos son ecosistemas integradores y conectores del paisaje, que tienen una biodiversidad propia, procesos ecológicos críticos y que ofrecen servicios ambientales únicos para seres humanos y para el resto de los organismos vivos en el planeta (Fig. 1). El manejo y la conservación de estos ecosistemas es un tema complejo, debido a su naturaleza unidireccional y a su dinamismo intrínseco. El *biomonitordeo*, entendido como la medición repetida de variables biológicas y ambientales con un objetivo de manejo o ges-

ción, es una herramienta indispensable para evaluar la condición de un río (su integridad ecológica) y sus posibles respuestas a alteraciones antropogénicas o a las actividades de manejo que se pudieran implementar.

En este capítulo, definimos brevemente que es la integridad ecológica y el biomonitordeo, y proponemos un árbol de alternativas para facilitar el diseño y la implementación de programas de biomonitordeo para los diferentes tipos de ríos presentes en las cuencas Andino-Amazónicas.

Figura 1.
Río Oyacachi,
cuena del
Napó, Ecuador.
Foto: A.C.
Encalada.



Integridad Ecológica de los Ecosistemas Lóticos

Los ríos y riachuelos son ecosistemas acuáticos a los que denominamos “lóticos” (Fig.1). Se caracterizan por ser ecosistemas de agua dulce, donde al agua fluye unidireccionalmente, es decir, siempre río abajo. Los riachuelos nacen en las montañas o en vertientes y otros ojos de agua, y luego se unen a otros riachuelos formando ríos más grandes. Estos ríos van siempre en dirección al mar y, durante su trayecto, pasan por diferentes ambientes terrestres, proveyendo agua y otros recursos para esos ecosistemas y para los organismos que los habitan.

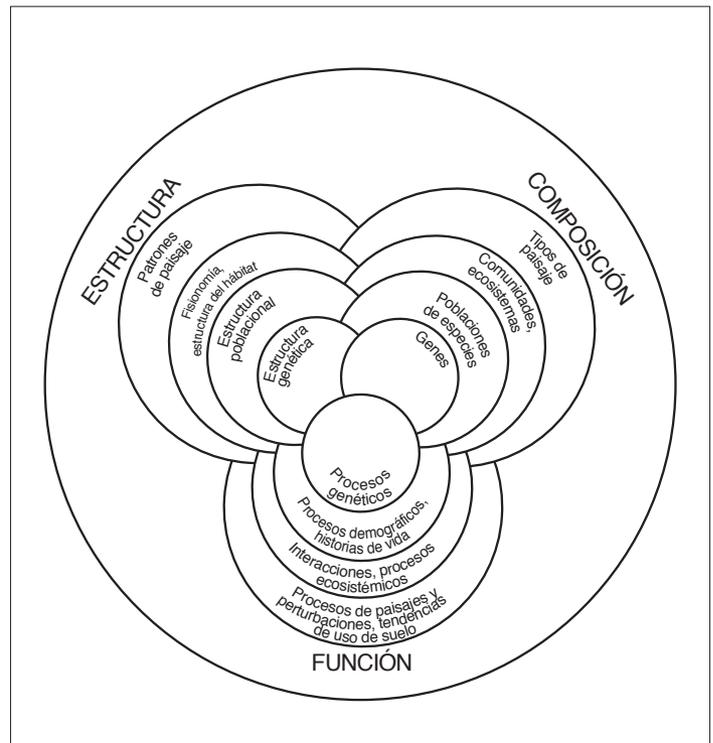
En su paso río abajo, los ríos también cumplen otras funciones esenciales como la erosión y transporte de sedimentos, el lavado, procesamiento y transporte de nutrientes del suelo, la productividad primaria, la descomposición de materia orgánica que cae en el río, y el mantenimiento de hábitat para muchas especies acuáticas. Todos estos procesos son “funciones ecológicas” y muchas de ellas representan servicios ecosistémicos de los que dependen nuestras sociedades.

¿Cómo realizan los ríos estas funciones ecológicas? Las *propiedades físicas*, químicas y biológicas de los ríos definen cómo, cuándo y dónde se dan esas funciones ecológicas. Las propiedades físicas, como la velocidad del agua, la cantidad de agua (caudal) y la inclinación del terreno definen la morfología del canal fluvial, la formación de meandros (curvas del río) y también la zona de inundación. Por su parte, las *propiedades químicas* del río están determinadas por la fuente de origen del río y por la geomorfología de los terrenos que drena. Estas propiedades químicas son esenciales para determinar qué tipo de organismos viven en el río y cómo se puede utilizar esta agua. Por ejemplo, aguas ricas en nutrientes como fósforo y nitrógeno (P y N) pueden promover el crecimiento de algas y también pueden ayudar a fertilizar terrenos agrícolas, pero no serán ideales para algunos organismos o como fuente de agua para uso doméstico. Finalmente, las *propiedades biológicas* de un río se refieren al tipo

y abundancia de los organismos que residen en este hábitat. Existen millares de organismos acuáticos, la mayoría microscópicos como algas, hongos, y bacterias, pero también los macroscópicos como insectos, peces, anfibios y otros vertebrados que usan o viven en estos ambientes (Capítulo 2).

El conjunto de estas especies, su distribución espacial y temporal, es lo que denominamos *biodiversidad* (Karr, 1993). Toda esta biodiversidad acuática cumple roles primordiales en los ecosistemas de ríos. Por ejemplo, los hongos acuáticos se encargan de la descomposición de la materia orgánica y, si no fuera por ellos, toda materia orgánica que entra al río se acumularía. Es así que la salud y la integridad ecológica de los ecosistemas lóticos dependen de un equilibrio entre los parámetros y propiedades físicas, químicas, biológicas y ecológicas de este ecosistema (Fig. 2).

Figura 2. Esquema de Integridad ecológica. Adaptado de Groves, 2003.



En este contexto, definimos la *integridad ecológica* de un ecosistema lótico como la capacidad del ecosistema de mantener comunidades bióticas y organización funcional comparable con los ecosistemas lóticos naturales presentes en la región, donde no exista un alto grado de transformación antropogénica (por actividades humanas).

Un ecosistema de río posee una alta integridad ecológica en la medida en la que conserve su estructura y composición de especies nativas, antes de que existiera un alto grado de transformación antropogénica, y en el que los procesos y funciones ecológicas naturales aún se desarrollen con normalidad (Fig. 2).

¿Qué es el Biomonitoreo?

El biomonitoreo consiste en una serie de observaciones o mediciones de parámetros repetidos en el tiempo (algunos biológicos y otros físicos y químicos), para evaluar las condiciones de un ecosistema. Por tanto, el biomonitoreo puede servir para evaluar: i) los impactos de una actividad antropogénica sobre un ecosistema, y/o ii) los efectos de una actividad de manejo o gestión que se implementa para mitigar los impactos de una actividad antropogénica sobre la integridad ecológica de un ecosistema. De manera esquemática (Fig. 3) el biomonitoreo debe ser visto como una parte integral de cualquier iniciativa de gestión o manejo de ecosistemas, donde los actores necesitan recolectar información sobre la calidad del agua y la integridad ecológica de sus ríos, para determinar su estado o para evaluar la efectividad de medidas de manejo actuales o futuras/potenciales.

Desde esta perspectiva, un buen sistema de monitoreo: i) ayuda a identificar posibles situaciones críticas relacionadas con un proyecto, ii) evalúa el progreso hacia los objetivos definidos, y iii) permite evaluar si el sistema trabaja de la forma en la que nosotros suponíamos (Groves, 2003). Adicionalmente, un buen sistema de monitoreo debe tener una línea base, que es la referencia con la que se mide el avance de un proyecto.

Por ejemplo, si el objetivo de un proyecto es reducir en un 80% la cantidad de coliformes fecales en el agua de un río utilizado para consumo humano, el esquema lógico para lograrlo tendría los siguientes pasos generales:

A. Medir la concentración de coliformes fecales en el agua del río (establecer una línea base).

B. Identificar las fuentes principales que están contaminando el agua con esos coliformes (identificación de la amenaza).

C. Diseñar e implementar actividades para reducir las fuentes principales de coliformes fecales (manejo).

D. Medir la concentración de coliformes fecales durante y después de la implementación de las medidas de manejo (medición de objetivos intermedios), para confirmar si estas tuvieron éxito en términos de reducir las fuentes de contaminación (objetivo final).

En este contexto, el presente Manual describe los métodos propuestos y protocolos para el monitoreo de la calidad del agua y la integridad ecológica de los ecosistemas acuáticos y zonas de ribera de comunidades Andino-Amazónicas. La aplicación sistemática de uno o algunos de estos protocolos generará información periódica para evaluar si las actividades de manejo y control están reduciendo la presión de las amenazas en diferentes riachuelos de cuencas Andino-Amazónicas, y si esa reducción se traduce en una recuperación o mantenimiento de varios indicadores de integridad ecológica de los ecosistemas acuáticos y/o terrestres.

Este Manual está dirigido al personal técnico, gestores comunitarios, ciudadanos y/o estudiantes que tienen interés o mandato

de participar en el manejo del agua y de los ecosistemas en cuencas Andino-Amazónicas. Así, es imperativo que los usuarios de este Manual conozcan a profundidad las zonas geográficas en las que están trabajando y que reciban una capacitación previa sobre los conceptos básicos de monitoreo, incluyendo una revisión práctica de los protocolos de monitoreo que implementarán. También, para que el programa de monitoreo sea exitoso, es importante que el personal tenga capacitación o experiencia en la sistematización y análisis de información ambiental y biológica.

Como es común para todas las iniciativas de manejo de ecosistemas a nivel de paisaje, la utilidad de este sistema de monitoreo depende de tres condiciones fundamentales:

1. Que la información sea colectada sistemáticamente y de forma estandarizada y precisa para permitir la comparación de datos en el tiempo. Desde esta perspectiva es importante promover estabilidad en los equipos de trabajo involucrados en el monitoreo.

2. Que el programa de monitoreo sea concebido como una iniciativa a largo plazo (al menos 5 años) que permita distinguir entre la variabilidad natural de los factores que se están midiendo y su posible respuesta ante la implementación de actividades de control o manejo.

3. Que la información del sistema de monitoreo sea analizada y sistematizada periódicamente y que sus resultados sean transmitidos y asimilados por los otros programas de conservación que tenga la mancomunidad en la zona de interés.

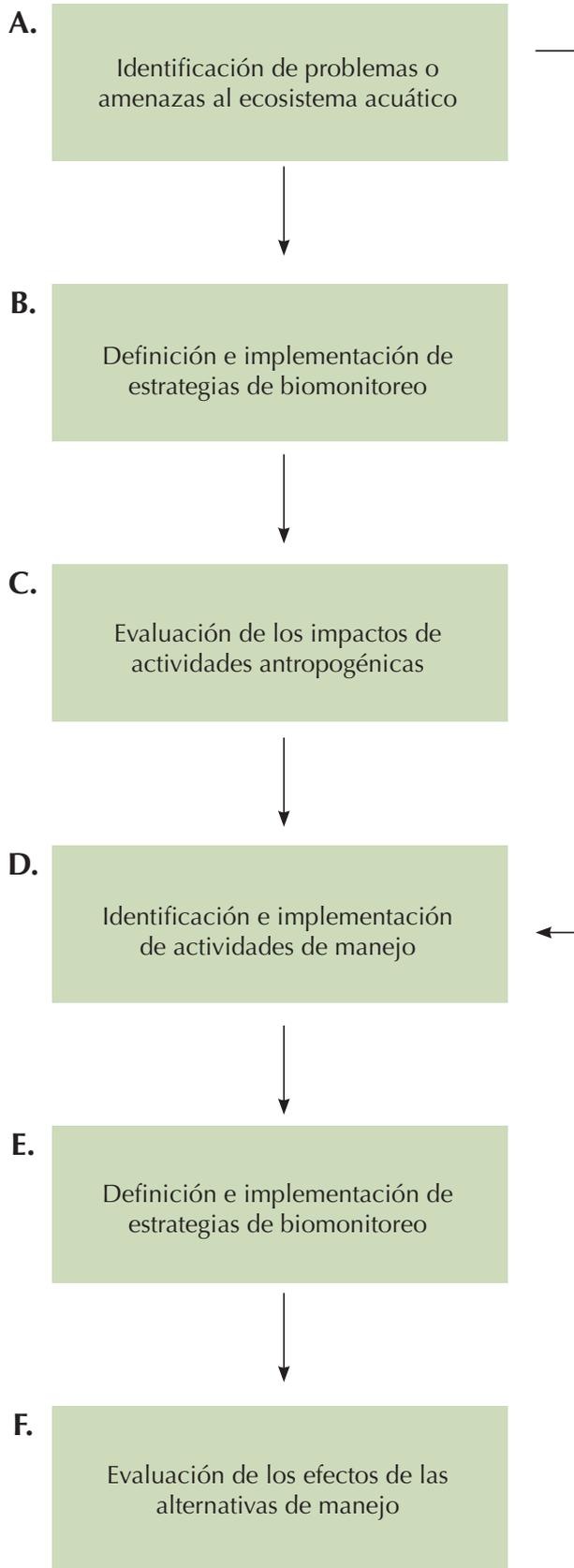


Figura 3.
Pasos generales para la implementación de un programa de monitoreo para manejo adaptativo

Árbol de alternativas de biomonitorio

Debido a la complejidad de los ríos y la enorme diversidad de ambientes por los que transitan, es muy difícil definir un protocolo único que se pueda aplicar a paisajes tan heterogéneos como las cuencas Andino-Amazónicas. Desde esta perspectiva, en este Manual en lugar de ofrecer un protocolo general para diseñar programas de monitoreo de ecosistemas acuáticos, proponemos un “árbol de alternativas” que guíe a los usuarios para explorar el tipo de enfoque de monitoreo y las herramientas que podrían ser los más adecuadas para sus circunstancias específicas.

En términos generales, nuestro enfoque recomienda dos fases principales: i) utilizar un árbol de alternativas para arribar a la lista de

protocolos más apropiados para registrar indicadores de la calidad del agua, el estado del ecosistema, y el estado de la biota nativa del río, y ii) describir la integridad ecológica para cada sitio a partir de esos indicadores.

Por ejemplo, sitios que tengan valores o calificaciones altas en la mayoría de los indicadores, tendrán integridad ecológica alta, mientras que los que tengan valores bajos en la mayoría de los indicadores, tendrán integridad ecológica baja. Aunque estos criterios (alta o baja) pueden ser relativos, pueden fácilmente ser utilizados para comparar entre sitios, o para realizar comparaciones de un solo sitio a través del tiempo.

¿Cómo funciona el árbol de alternativas?

El árbol de alternativas de monitoreo que proponemos está pensado como una herramienta dinámica que se encuentra en la página web del Instituto Biósfera USFQ y pretende guiar a los usuarios de una cuenca en la elección del enfoque de monitoreo que más se ajuste a las condiciones y limitaciones de un escenario específico.

Para utilizar este árbol de alternativas, se necesita analizar cada situación a la luz de tres filtros principales: i) ¿En qué tipo de ecosistema se encuentra el río de interés?; ii) ¿Qué tipo de actor es el que pretende implementar el monitoreo?; y iii) ¿Cuál es la principal actividad antropogénica que afecta al río de interés y cuyos impactos se quieren monitorear? Con base en la respuesta a estas tres preguntas, el árbol de alternativas le conducirá a la lista de protocolos o recomendaciones de monitoreo que son más apropiados para cada situación específica.

Al utilizar este árbol de alternativas por favor tome en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Este árbol de alternativas está principalmente dirigido a ciudadanos o gestores ambientales que tienen interés, necesidad o encargo de monitorear la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos. Este conjunto de protocolos no pretende ser una guía para investigación científica, y fue seleccionado buscando metodologías que rindan información relevante, pero que sean sencillas y de bajo costo.

2. Este árbol está organizado alrededor de dos tipos de actores principales: gestores ambientales, y ciudadanía en general. Para efectos de esta herramienta, un gestor ambiental es cualquier persona que tiene el encargo o necesidad de monitorear la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos, en el marco de las actividades de instituciones como gobiernos locales, organizaciones gubernamentales o no gubernamentales, u otras instituciones de la sociedad civil. Por su parte, la ciudadanía en general incluye a cualquier persona o grupo de personas que por voluntad propia decidan monitorear el agua y los ecosistemas

acuáticos de un sitio, como herramienta para generar información y tomar decisiones sobre el uso y manejo de sus territorios. Este grupo incluiría sobre todo a comunidades locales, colegios, grupos juveniles, etc. Las principales diferencias que asumimos entre estos dos grupos son que los gestores ambientales podrían tener más recursos y un encargo legal o institucional para realizar el monitoreo, mientras que los ciudadanos en general lo harían con menos recursos y solamente por el interés en entender y manejar mejor sus recursos hídricos y los ecosistemas de los que dependen. Sin embargo, el grupo ciudadano podría generar importantes resultados que sirvan de base para solicitar a las autoridades locales que se realicen cambios en el manejo actual de los recursos hídricos.

3. La estructura de este árbol de alternativas reconoce que hay actividades antropogénicas y alteraciones en los ríos que, a pesar de ser muy importantes y de amplia distribución, no pueden ser realísticamente monitoreadas por ciudadanos o gestores que no posean un entrenamiento y capacitación altamente específicos. Las concentraciones de metales pesados, hidrocarburos y otros contaminantes generados por la industria petrolera y la minería, o la abundancia de peces los grandes ríos Amazónicos, son variables que pueden ser esenciales para entender el estado de un río, pero su medición y monitoreo son tareas que requieren un alto nivel de entrenamiento que muchas veces solo está disponible en laboratorios o institutos especializados. En estos casos, nuestra recomendación es buscar la participación de uno de esos centros.

4. La lista de actividades antropogénicas que incluye este árbol de alternativas no es exhaustiva. Solamente hemos considerado las actividades más comunes o prominentes en cada tipo de ecosistema, pero podríamos haber excluido otras actividades que sean importantes en zonas puntuales. En esos casos, nuestra recomendación es identificar qué actividad antropogénica de las incluidas en el árbol, es la más parecida a la actividad de interés de acuerdo con sus impactos sobre el ecosistema, y utilizar o adaptar los protocolos recomendados que correspondan.

5. El árbol de alternativas, y los protocolos correspondientes, están diseñados para ríos de tamaño pequeño (1 a 30 m de ancho) y mediano (31 – 100 m de ancho), sobre todo de primero y segundo orden. Estos ríos pequeños y medianos están en todo el paisaje Andino-Amazónico desde las zonas altas, hasta las zonas bajas de la llanura Amazónica, y por lo tanto se aplica para toda la gradiente. Protocolos para ríos grandes o muy grandes no se incluyen dentro de este Manual.

Árbol de alternativas para diseño de monitoreo

¿Dónde está ubicado usted en la Cuenca Amazónica?

¿A qué tipo de organización representa?

¿Qué problema ambiental le preocupa en su ecosistema acuático?

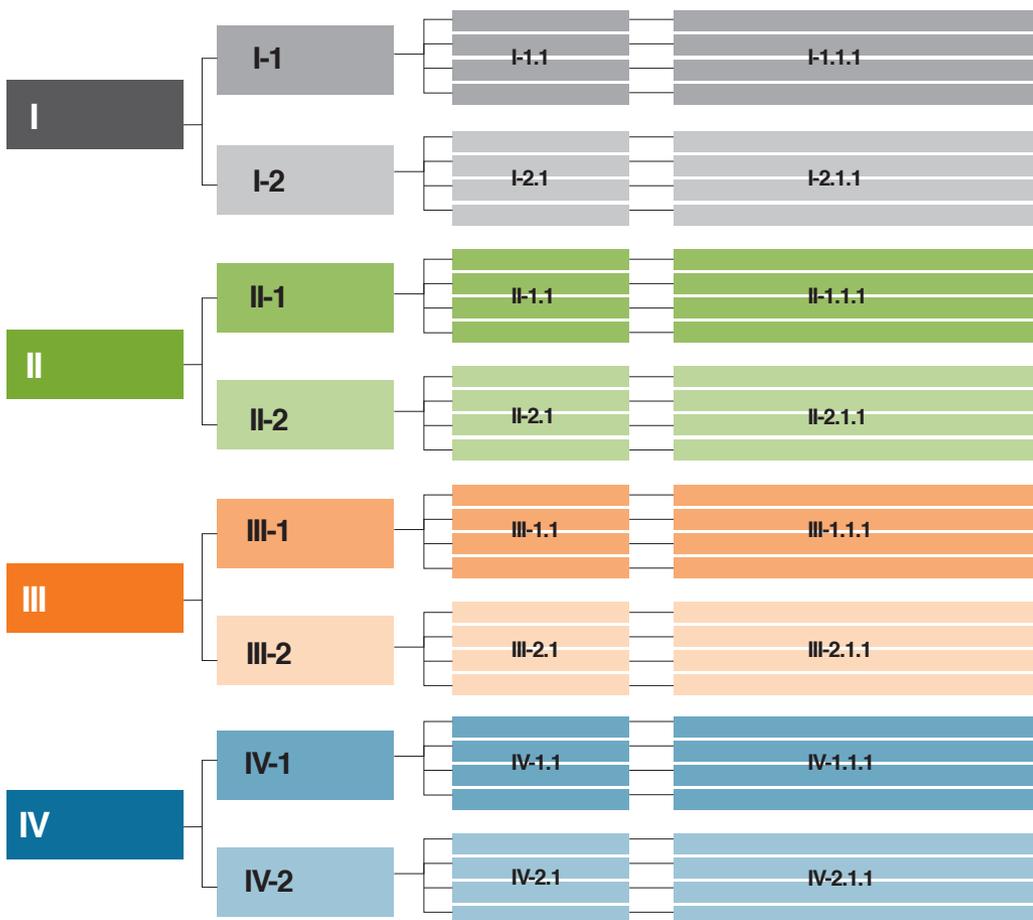
Protocolos y pasos recomendados

I Ríos de región andina (páramo)

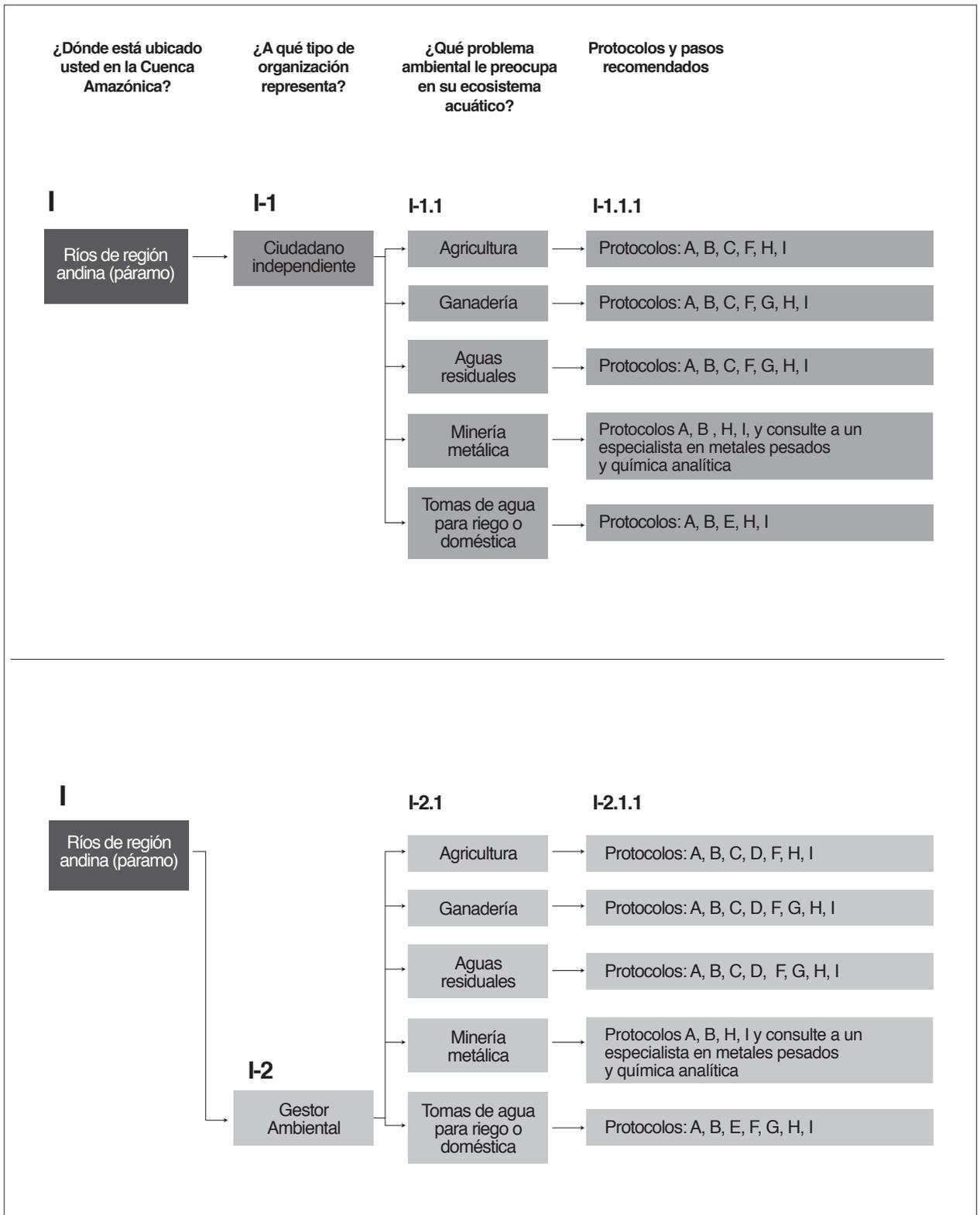
II Ríos de Cordillera y del Bosque Montano

III Ríos de Piedemonte Amazónico

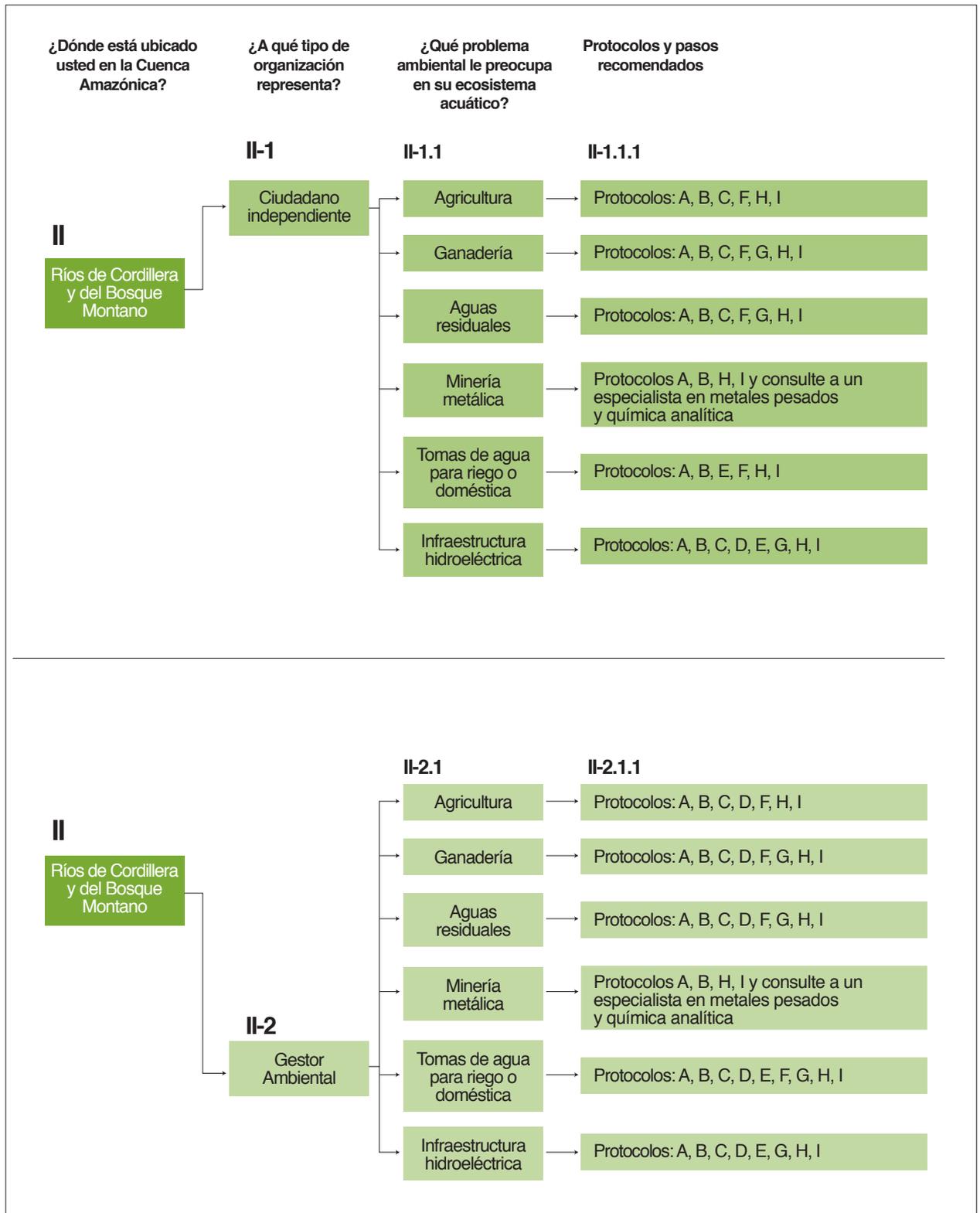
IV Ríos de la Llanura Amazónica



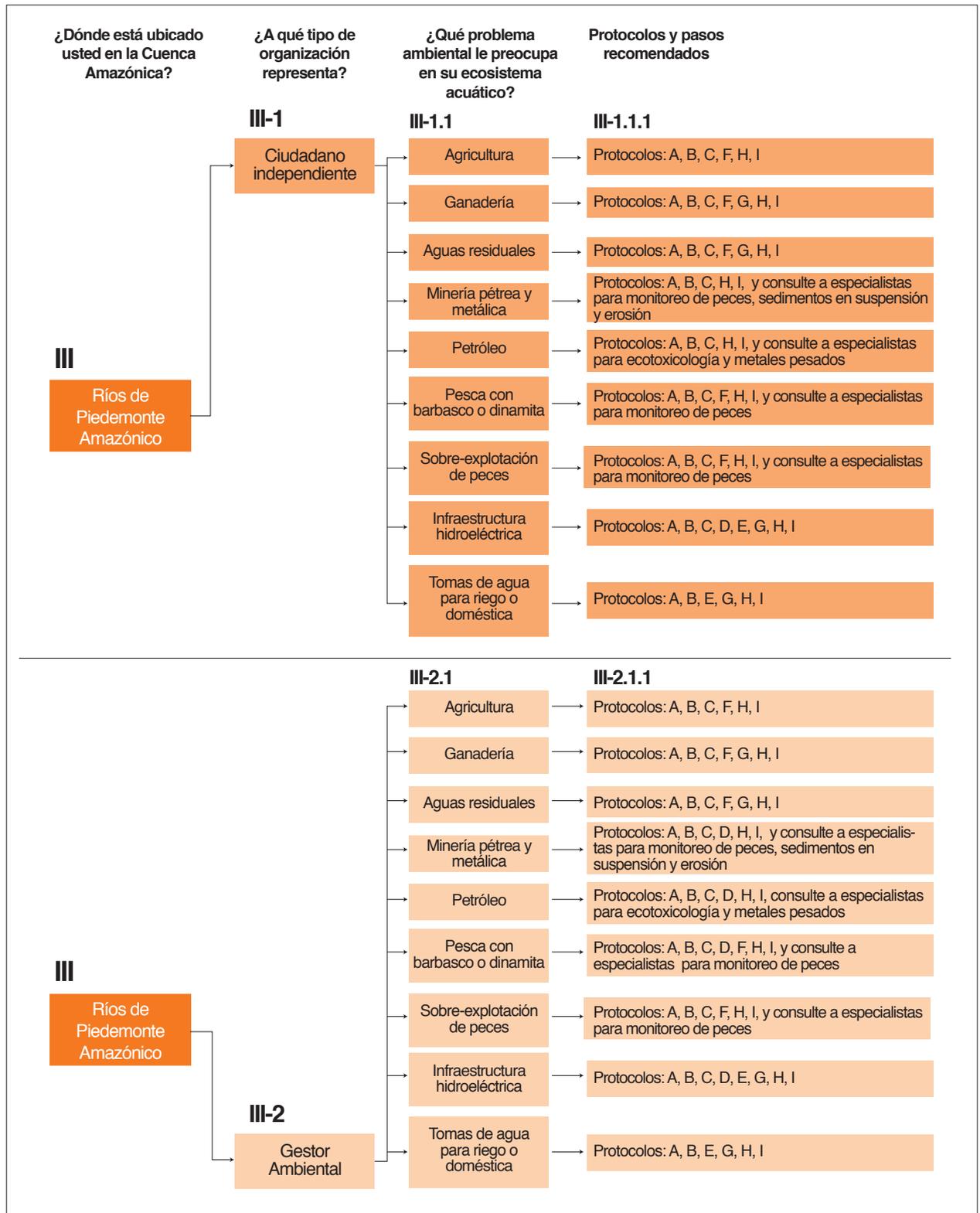
Árbol de alternativas para diseño de monitoreo: Opción I



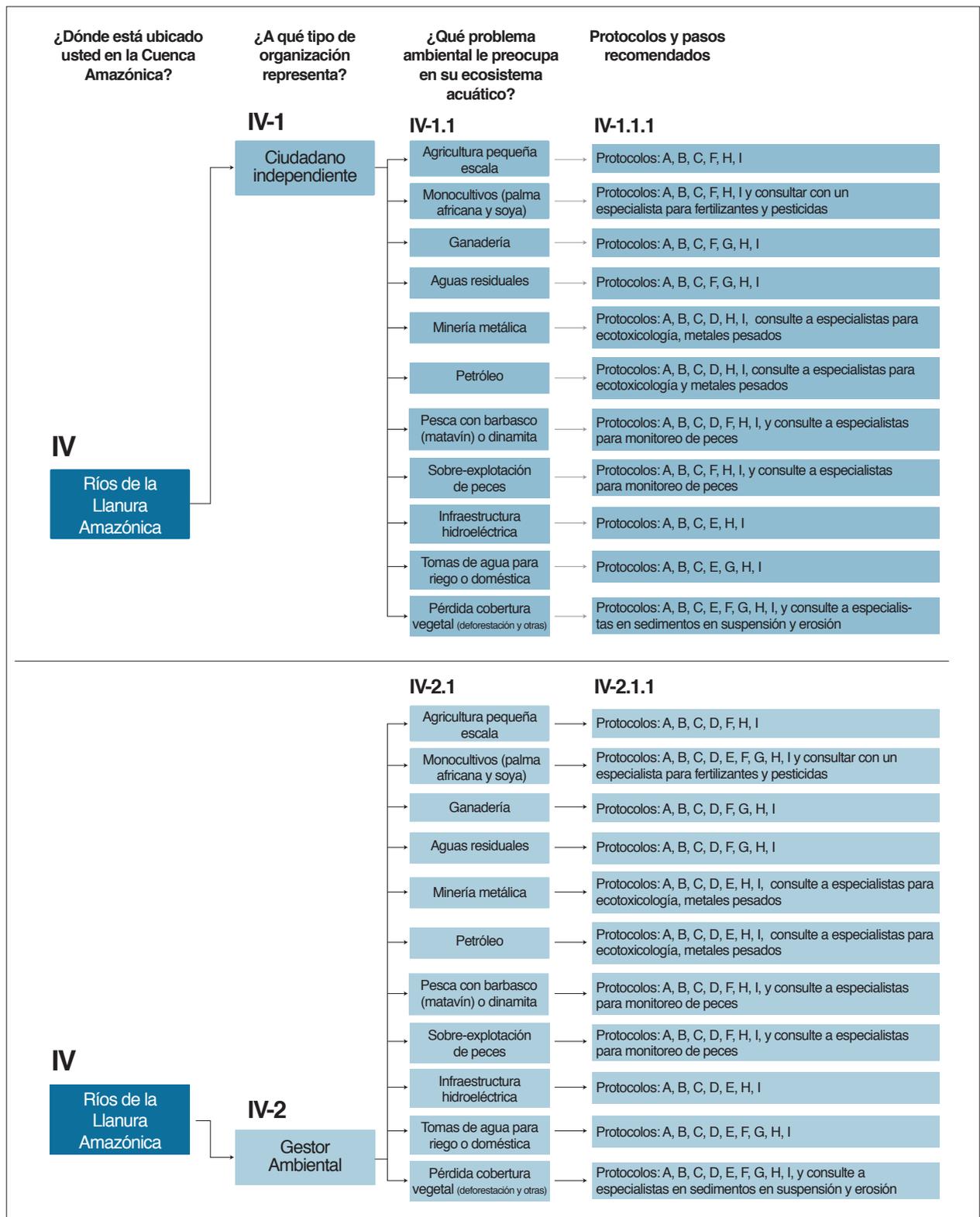
Árbol de alternativas para diseño de monitoreo: Opción II



Árbol de alternativas para diseño de monitoreo: Opción III



Árbol de alternativas para diseño de monitoreo: Opción IV



Establezca su diseño de monitoreo

Una vez realizado el “árbol de alternativas”, y antes de empezar el monitoreo, haga un ejercicio práctico, con su equipo de trabajo, para establecer claramente cuál será su diseño de monitoreo. Ayúdese con este cuestionario:

a. ¿Cuál es el río o los ríos de interés? Zona geográfica específica que quisiera monitorear.

ER: (Ejemplo Respuesta): Haremos monitoreo del río Jatunyacu en la Cuenca del Cosanga cerca de Piedras nuevas, que se encuentra a la elevación de 1650 msnm.

b. ¿Identifique claramente el problema o amenaza al ecosistema acuático?

ER: Hemos analizado y visitado el área y creemos que la fuente de contaminación son las aguas servidas de la comunidad río arriba, tiene mal olor y representa un problema de salubridad para la gente que se baña y que utiliza el río aguas abajo.

c. ¿Qué intervenciones o actividades de manejo se dan o darán en la zona de interés para mejorar el problema en cuestión? ¿Quién las implementará y a qué plazo (aproximado) se espera cambios? Si no hay una intervención planeada, igualmente el monitoreo puede revelar la salud del ecosistema y la urgencia de realizar o no una intervención en el río.

ER: El gobierno local construirá una pequeña planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) para la comunidad río arriba para que el nivel de contaminación orgánica y por aguas servidas baje en el río. La construcción se la planifica para el siguiente año, y por lo tanto posiblemente solo tengamos resultados de esta intervención en el segundo año.

d. ¿Qué protocolos de monitoreo se le recomendó aplicar? ¿Después de revisar los protocolos cuáles puede o desea realizar?

ER: Después de seguir el árbol de alternativas se recomendó los protocolos A,B,C,D,E,F,G. Somos pobladores de la comunidad río abajo y no tenemos equipo, así que realizaremos todos los protocolos excepto el D. Los protocolos C y E los haremos con colaboración del gobierno local, ya que ellos pondrán el equipo de análisis químico de agua y un medidor de

nivel de agua automático, y en tiempo real, para estimar el caudal del río.

e. ¿Con qué frecuencia se realizará la aplicación de los diferentes protocolos? E.g. ¿Cada año? ¿Dos veces al año? Guíese en las respuestas anteriores para definir la frecuencia del monitoreo. Recuerde que diferentes protocolos pueden ser monitoreados con diferentes frecuencias.

ER: Nuestro diseño será antes y después de la intervención y también haremos río arriba y río abajo de la comunidad para ver si la calidad y la integridad ecológica cambian. Ya que la intervención empezará en un año, empezaremos con la línea base en los siguientes tres meses, para tener información de qué tan severa es la contaminación y también para tener datos antes de la intervención. Planificamos monitorear el río dos veces al año (cada 6 meses), la primera con un grupo de ciencia ciudadana de nuestra comunidad, y el segundo con representantes del gobierno local.

f. ¿Por cuánto tiempo puede mantener el programa de monitoreo?

ER: Quisiéramos recuperar el río y utilizarlo para varias actividades recreativas, entonces quisiéramos que se convierta en un monitoreo a largo plazo. Estamos negociando con el gobierno local para involucrar a más gente en la iniciativa de ciencia ciudadana.

g. ¿Puede establecer alianzas con universidades y/o otras instituciones para la aplicación de ciertos protocolos o para capacitación adicional?

ER: Hemos hecho un convenio con una universidad y tendremos una capacitación inicial y luego planificamos tener al menos un encuentro de divulgación al año para aprender mutuamente.

Este ejercicio inicial permitirá identificar el diseño de monitoreo que su grupo de trabajo puede establecer. Sin embargo, el monitoreo tiene que ser adaptativo y responder a los nuevos aprendizajes. Asegúrese de evaluar continuamente el programa para conseguir mejoras si es necesario.



Compendio de Protocolos de Monitoreo

Listos para empezar el monitoreo

Una vez establecido su diseño de monitoreo, usted puede utilizar los protocolos detallados a continuación. Cada uno de estos protocolos incluye una breve definición de cada parámetro y se detallan los pasos para medirlo, incluyendo los protocolos para usar y calibrar el equipo (en caso de ser necesario), los materiales necesarios y la frecuencia con la cual se recomienda medir cada parámetro.

También se describen los pasos para realizar las mediciones en el campo y algunos consejos para evitar errores en las mediciones. Al final de cada sección se incluye el formato de las hojas de campo y se explica cómo llenarlas.

Es importante tomar en cuenta que este Manual describe los protocolos para la preparación, colección, medición y sistematización de una serie de indicadores del estado de los ríos. Sin embargo, es crítico que los usuarios de este Manual organicen los datos de una forma sistemática para que puedan hacer un análisis, evaluación e interpretación de la información generada.

Al final de esta sección, hablamos del análisis, integración e interpretación de la información.

Protocolo A: Preparación y Medidas de Seguridad para el Monitoreo

- Hoja de revisión de materiales para el monitoreo (del protocolo A)

Protocolo B: Presiones antropogénicas al ecosistema fluvial (IPA)

- Hoja de Registro Índice de Presiones Antropogénicas al ecosistema fluvial (IPA) (del protocolo B)

Protocolo C: Físico-química del Ecosistema del Río (Variables Básicas)

- Hoja de registro de caracterización físico-química (Variables Básicas) (del protocolo C)

Protocolo D: Físico-química del Ecosistema del Río (Variables Adicionales Avanzadas)

- Hoja de registro de caracterización físico-química (Variables adicionales avanzadas) (del Protocolo D)

Protocolo E: Caudal y nivel del río a lo largo del tiempo

- Hoja de Registro Caudal y nivel del río a lo largo del tiempo (del protocolo E)

Protocolo F: Invertebrados Acuáticos e Índice AAMBI

- Hoja de Registro Invertebrados Acuáticos e Índice AAMBI (del protocolo F)

Protocolo G: Coliformes, estimación de *Escherichia coli* y Coliformes totales

Protocolo H: Índice de Hábitat Fluvial (IHF)

- Hoja de Registro Índice de Hábitat Fluvial (IHF)

Protocolo I: Índice de Calidad de vegetación de Ribera (QBR)

- Hoja de Registro de Índice de la Calidad de la Vegetación de Ribera (QBR-And, Mon, Am) (del protocolo H)

Protocolo A

Preparación y medidas de seguridad para el monitoreo

Para empezar el monitoreo es importante que Ud.:

- Haga un reconocimiento del sitio o sitios de estudio. Para esto es necesario contar con un dispositivo que marque coordenadas geográficas (e.g. GPS) y mapas de la zona. Alternativamente, se puede utilizar un smartphone con una aplicación de mapas y georreferenciación (ej. Google Maps, Terra Map, etc.).

- En cuanto a mapas, antes de salir al campo, sería excelente (pero no indispensable), generar un mapa de uso del suelo, utilizando sistemas de información geográfica. Este mapa nos puede ayudar a entender mejor las presiones externas que tiene el área, sobretodo río arriba. Cualquier otra información o literatura adicional del área podría ser muy valiosa.

- Lea con anterioridad los protocolos que esté utilizando para la colección de datos en el campo.

- Asegúrese de tener todos los materiales y equipo necesario para el trabajo de campo: Hoja de revisión materiales para el monitoreo (del Protocolo A). Puede hacer una lista a su medida, según los protocolos que vaya a realizar, y revise la lista antes de salir y antes de regresar del sitio de estudio.

- Antes de salir al campo, prepare todos los frascos etiquetados para evitar la confusión de muestras. Esto es especialmente importante para los frascos o recipientes que se utilizarán para coleccionar muestras de agua o especímenes animales.

- Lea sobre el clima de la región y utilice vestimenta apropiada para esas condiciones.

- Utilice zapatos, botas y guantes apropiados para trabajar en un río (Fig. A1A). Material de neopreno es recomendado para los sitios fríos (Fig. A1B).

- Lleve siempre guantes largos (si es posible hasta el hombro) y en caso de sospechar contaminación, utilice también guantes de laboratorio que después pueda descartar.

- Utilice desinfectante de manos luego de trabajar en el río.

Figura A1.

A. Botas altas de neopreno o polipropileno para ríos de variada profundidad.

B. Guantes de Neopreno para trabajar en ríos con aguas frías.

Fotos:

E. Suárez.



Una vez en el río hay que tener las siguientes medidas de seguridad:

- Trabajar en un río es gratificante, pero también puede ser extremadamente peligroso si no se toman las precauciones necesarias. Al caminar en el río, las piedras pueden estar cubiertas de algas que las hacen muy resbalosas, y la fuerza de la corriente desestabiliza muy fácilmente, incluso a personas con experiencia. Para reducir las posibilidades de una caída en el río, camine lentamente, dando pasos cortos y deliberados, y miré muy bien antes de dar un paso. Si es posible, evite pisar la parte superior de las rocas para evitar resbalones, y nunca se interne en zonas profundas del río en las que la corriente supere la altura de sus muslos. Es siempre aconsejable llevar un kit de primeros auxilios para el campo.

- Evalúe visualmente la profundidad, la velocidad y el volumen de agua que pasa por

el canal del río. Si el río es muy turbulento o está experimentando una crecida, no entre en el río y tome los datos que le sean posible desde la orilla. En caso de una gran crecida, es preferible postergar las mediciones hasta que el río vuelva a su caudal normal.

- En ríos medianos y grandes se puede hacer los muestreos desde un bote; si es así, es absolutamente indispensable saber nadar y utilizar un chaleco salvavidas.

- El material de campo debe estar asegurado con piola o soga, porque es muy común que el material se caiga al río y no lo podamos recuperar.

- Después de terminar el muestreo, lave sus redes y otros materiales de campo con agua del mismo río y, más tarde, antes de muestrear el siguiente río, lave las redes y material con un poco de cloro o alcohol para evitar la introducción de material biológico a otros ecosistemas.

Hoja de revisión de materiales para el monitoreo (del protocolo A)

PROTOCOLO	PARÁMETRO / OBJETIVO	MATERIALES NECESARIOS
A	Ubicación general sitio de estudio	Mapas regionales
	Seguridad personal	Botas, guantes, chaleco salvavidas, kit de primeros auxilios, materiales de limpieza, bolsas de basura
	Otros materiales varios	Etiquetas, marcadores, tijeras, lápices, tabla de datos, agua destilada para limpiar equipos, papel secante, todas las Hojas de registro de datos
B	Índice de presión antropogénica IPA	Binoculares, cámara de fotos, cuaderno de campo, lápiz, brújula, mapas de la región
C	Físico-química fluvial (variables básicas)	
	Localización específica y coordenadas geográficas	GPS, mapas, cámara de fotos, o Smartphone, mapas, lápiz,
	Inclinación del terreno y vegetación ribera	Clinómetro, cámara de fotos
	pH	Guantes de nitrilo, pHmetro, soluciones buffers de calibración
	Conductividad	Conductímetro, soluciones buffers de calibración
	O ₂ disuelto (concentración y %)	Medidor de O ₂ disuelto
D	Físico-química fluvial (variables adicionales avanzadas)	
	Cobertura de dosel y sombra en el río	Densiómetro, flexómetro
	Muestras nutrientes Amonio (NH ₄ ⁺), Nitrato (NO ₃ ⁻), Sulfato (SO ₄ ²⁻) y Fosfato (PO ₄ ³⁻)	Botellas de agua estériles y jeringuilla para filtración, filtros Whatman GF/F (0.7 µm), 25mm, aparato de filtración de campo, laboratorio especializado de química analítica*
E	Caudal del río	Flexómetro, velocímetro, regla
	Tipo de sustrato de bentos del río	cámara de fotos
	Nivel del río	Estación de nivel o sensor de profundidad, y cámara de fotos
F	Invertebrados acuáticos	Bandejas, pinzas, redes, guía de Invertebrados, lupa, frascos con etiquetas, alcohol al 96%, hoja de registro invertebrados
G	Cuantificación de Coliformes fecales	Petrifilm ©, Frascos de orina (esterilizados) para tomar las muestras
	Cuantificación de <i>Escherichia coli</i>	Petrifilm ©, Frascos de orina (esterilizados) para tomar las muestras
H	Índice de Hábitat Fluvial (IHF)	Hoja de datos IFH
I	Índice de Vegetación Ribera (QBR)	Hoja de datos QBR

Protocolo B

Presiones antropogénicas al ecosistema fluvial

Las presiones antropogénicas se definen como todas aquellas actividades humanas que pueden alterar la estructura, composición y funcionamiento de los ecosistemas y, en este caso específico, del ecosistema fluvial y de su cuenca hidrográfica.

Las presiones pueden ser clasificadas como *puntuales* o *difusas*. Las presiones puntuales son aquellas que inician su afectación sobre el río en un sitio o sitios específicos y claramente identificables. Por ejemplo, una tubería que descarga aguas negras a un río. Las principales fuentes de contaminación puntual en los ríos suelen estar relacionadas con vertidos industriales y de aguas servidas (Fig. B1A). Otro tipo de presión puntual son las extracciones de agua destinadas para riego, para consumo humano, o para la industria. La extracción de agua de un río podría reducir su caudal hasta niveles que afecten la calidad de su hábitat y su funcionamiento.

Por el contrario, las presiones difusas son aquellas que no entran al río en un sitio puntual, y sus efectos se dispersan ingresando al río a través del continuo de sus orillas. Los

ejemplos más comunes de presiones difusas son la agricultura, ganadería, vías de comunicación y transporte, y ciertos tipos de minería, entre otras (Fig. B1B).

Presiones como la introducción de especies exóticas, las obras de regulación de los ríos y otros tipos de alteración como la construcción de canales, no son estrictamente puntuales o difusas, pero pueden cambiar considerablemente la morfología, estructura, composición y funcionamiento del ecosistema fluvial.

La calidad y la integridad ecológica de un río están relacionadas con la magnitud de las presiones antropogénicas que ocurren en o alrededor del sistema fluvial. Por tanto, identificar estas amenazas, su magnitud y distribución en el sistema fluvial ayudará a establecer objetivos de manejo específicos para poder gestionar, mitigar o remediar problemas específicos.

Hay varias formas de medir las presiones antropogénicas. En este protocolo haremos una descripción cualitativa de las diferentes actividades humanas en y alrededor del sistema

Figura B1.

A. Contaminación puntual al río de vertidos contaminantes de la industria.

B. Presión antropogénica difusa sobre un riachuelo Andino, generado por la ganadería. Foto: E. Suárez. Foto: A. Encalada.



fluvial en estudio. Para esto, utilice la **Hoja de Registro del Índice de Presiones Antropogénicas al Ecosistema Fluvial (IPA)**. Al llenar la Hoja de Registro, tome en cuenta las siguientes consideraciones:

- Llene la información del nombre del río y un código que usted haya acordado con su equipo de trabajo. Es importante guardar la consistencia en los códigos que utilice para después no tener duplicados u omisiones. Registre las coordenadas geográficas del sitio (ver apartado 1 abajo), la elevación, fecha, y hora a la que se lleva a cabo el muestreo. No olvide registrar los nombres de los investigadores que participan. Registre todo lo que considere necesario, por ejemplo las condiciones climáticas, las actividades que se están desarrollando en la zona, etc.
- Haga un dibujo esquemático de la cuenca hidrográfica y del río en estudio. Este es un dibujo a una escala grande, donde el río es parte del paisaje. Añada también la dirección del norte geográfico, y el tipo y distancia aproximada (en metros) de las fuentes de presión antropogénica (si las hay). Haga cualquier anotación que sea necesaria para explicar las presiones en el sitio de estudio.
- Para el cálculo del IPA, los evaluadores hacen una valoración de la presencia de los varios tipos de presiones antropogénicas descritas en el formulario, y a cada una les asignan un valor de intensidad (valores entre 0 y 5) de acuerdo con la escala descrita para cada tipo de presión. Por ejemplo, si una cuenca hidrográfica no tiene infraestructura piscícola, el valor

para esa presión será "0". Si un río presenta una cantidad moderada de basura, recibirá el valor 2.5 para ese impacto. La asignación de estos valores se hace de acuerdo con conocimiento de los evaluadores, pero una entrevista a pobladores locales es altamente recomendada para llenar la hoja de trabajo con la información más relevante y precisa que sea posible. Cuando se vuelva a repetir este protocolo en el tiempo, se recomienda que el mismo evaluador o evaluadores lo hagan para evitar sesgos.

- Finalmente, se obtiene la sumatoria de los valores asignados a cada tipo de presión y el resultado de esta suma representa el índice IPA para ese sitio. Los valores del índice IPA pueden variar entre 0 y 70 (Tabla 1), donde 0 significa que no hay presencia de presiones antropogénicas (un ecosistema prístino) y 70 significa que el sistema fluvial está expuesto a una muy fuerte y diversa presión antropogénica (Tabla 1).

La frecuencia de monitoreo dependerá del tipo de presiones antropogénicas presentes y del tipo de intervención, gestión o manejo en la zona. Como los cambios a nivel de gestión de recursos naturales generalmente son a largo plazo, un monitoreo por año debería ser suficiente para observar potenciales cambios temporales en los valores de este índice. Se recomienda realizar un taller participativo con los actores principales de la cuenca hidrográfica para evaluar los resultados de la línea base en los puntos de muestreo y, a partir de eso determinar la frecuencia del monitoreo de presiones.

Tabla 1. Criterio de evaluación del índice IPA de las presiones antropogénicas sobre los ecosistemas fluviales en cuencas Andino-Amazónicas en Ecuador.

Presión antropogénica	Valores IPA
Baja	Entre 0 y 17
Media	Entre 18 y 35
Fuerte	Entre 36 y 53
Muy Fuerte	Mayor a 54

HOJA DE REGISTRO DEL ÍNDICE DE PRESIONES ANTROPOGÉNICAS AL ECOSISTEMA FLUVIAL (IPA) (del protocolo B)

Nombre del Sitio: _____ Código del Sitio: _____

Cuenca Hidrográfica: _____

Fecha: _____ Hora: _____

Coordenadas Geográficas: _____ Elevación (m): _____

Investigadores: _____

Dibuje a la cuenca hidrográfica y al río en estudio. Añada al dibujo los numerales correspondientes a la presión antropogénica de la tabla de abajo. Añada la dirección del norte geográfico y anote distancias aproximadas a las diferentes presiones en su área de estudio. Haga cualquier anotación que sea necesaria para entender las presiones en el sitio de estudio. Tome fotos del sitio de estudio para ubicación.

Observaciones adicionales: _____

Explicación para calcular el Índice IPA: Anote bajo la columna de “Valor asignado” el valor de magnitud que corresponda a cada presión antropogénica. El evaluador debe escoger la magnitud de la misma de acuerdo a su conocimiento o a lo que observe en la cuenca hidrográfica. Ponga los valores escogidos en la última columna y calcule en índice haciendo la sumatoria final. Interprete los resultados viendo la tabla IPA (Protocolo B).

Presión antropogénica		Magnitud de la Presión Antropogénica				Valor asignado
		Ninguna (0)	Baja (1)	Media (2.5)	Alta (5)	
Presiones Puntuales						
1.	Vertidos industriales		1 industria río arriba	>3 <5 industrias río arriba	> 5 industrias río arriba	
2.	Vertidos de aguas servidas		Población pequeña ($\geq 1.000 \leq 10.000$)	Población mediana Población grande (>50.000)	Población grande (>50.000)	
3.	Extracción de agua, bocatomas		Se extrae entre el 1 al 25% del agua del río	Se extrae entre el 26 al 75% del agua del río	Se extrae más del 75% del agua del río	
4.	Vertidos de piscícolas		Piscicola pequeña	Piscicola mediana	Piscicola grande	
5.	Minería puntual en el lecho del río		Pequeña escala	Media escala	Gran escala	
6.	Basura en el lecho del río		Poco desperdicios	Moderada cantidad de desperdicios	Muchos desperdicios en el río o en las orillas	
Presiones Difusas						
7.	Agricultura		Parcelas de tamaño pequeño (o pocas parcelas)	Extenciones de terreno de tamaño moderado	Extenciones de terreno grandes	
8.	Ganadería		Poco ganado	Moderada cantidad de ganado	Mucha cantidad de ganado	
9.	Minería en la cuenca hidrográfica		Pocos proyectos y/o baja escala	Media escala (y/o número moderado de proyectos)	Alta escala (y/o muchos proyectos)	
10.	Caminos vecinales		Escasos, pequeños y alejados del río	Tamaño intermedio y cercano al río	Tamaño grande y mayor cercanía al río	
11.	Carreteras grandes		Escasa	Intermedios	Común a lo largo del río	
12.	Plantas exóticas en la cuenca hidrográfica		1 especie	2 especies	>3 especies	
Otro tipo de presiones						
13.	Especies introducidas exóticas en el ecosistema fluvial		Densidades bajas	Densidades intermedias	Densidades altas	
14.	Infraestructura, canales de riego		Pequeñas	Intermedias	Grandes	
Índice IPA (sumatoria total de cada apartado)			14	35	70	$\Sigma =$

Protocolo C

Físico-química del ecosistema del río (variables básicas)

Medición de parámetros físicos, químicos y morfológicos del río

Las variables físicas y morfológicas de un río son todas aquellas que definen la forma de su cauce y las características de su corriente. Estas variables están relacionadas con la topografía y geomorfología del paisaje que atraviesa el río, algunas de las más importantes son el número de meandros, el caudal, ancho, profundidad, velocidad de corriente, tipo de sustrato, inclinación del terreno, cantidad de sedimentos, y cantidad de rápidos y pozas, entre otros factores.

En este protocolo describimos las variables básicas que todas las iniciativas de monitoreo deberían implementar, mientras que el **Protocolo D** describe otras variables físico-químicas *adicionales* que se podrían implementar si se dispone de tiempo, equipos y recursos adicionales.

Cuando esté listo para iniciar las mediciones, tome en cuenta las siguientes recomendaciones para empezar a trabajar en el río:

- Ubique en el río un “punto de inicio” para el muestreo y, utilizando un flexómetro, mida un trecho de 100 metros de longitud río arriba, donde se realizarán las mediciones.
- Inicié las mediciones en el “punto de inicio” y continúe aguas arriba realizando paulatinamente las mediciones hasta llegar al final del trecho de 100 m. Esta manera de realizar el muestreo evita que el transitar de los investigadores altere las condiciones o características del río que se requiere medir.
- En general, todas las mediciones se deben realizar por triplicado, comenzando desde el “punto de inicio” y caminando aguas arriba hasta encontrar puntos ade-

cuados para la medición de cada variable (sitios en el río donde el agua está corriendo y no se encuentre estancada).

- La persona que toma las muestras debe tener las manos limpias y usar guantes de látex o nitrilo mientras toma las muestras y realiza las mediciones.

Para la toma de muestras y datos de variables físicas del río registramos los datos en la **Hoja de registro de caracterización físico-química (variables básicas) (del protocolo C)**. A continuación, explicamos en detalle cada uno de los apartados de este formulario que deben ser completados:

Apartado 1. Localización geográfica: la localización geográfica nos informa de una manera precisa dónde nos encontramos en el planeta, mediante el sistema de coordenadas geográficas que incluye la latitud y longitud del sitio en grados, minutos y segundos, y la altura en metros sobre el nivel del mar. La información geográfica del sitio es importante para poder localizarlo precisamente y poder regresar al mismo sitio para posteriores campañas de monitoreo.

Para registrar la posición geográfica de su sitio de muestreo, siga los siguientes pasos:

- Una vez que se encuentre en las orillas de su río, complete la información del nombre del río y un código que usted haya acordado con su equipo de trabajo.
- Utilizando un GPS, *Global Positioning System*, (Fig.C1A), no importa que marca o modelo, busque las coordenadas geográficas y la elevación del sitio, y anótelas en la hoja de datos. También puede grabar esta información en el GPS, creando un punto (*waypoint*), pero en estos casos es importante contar con un código

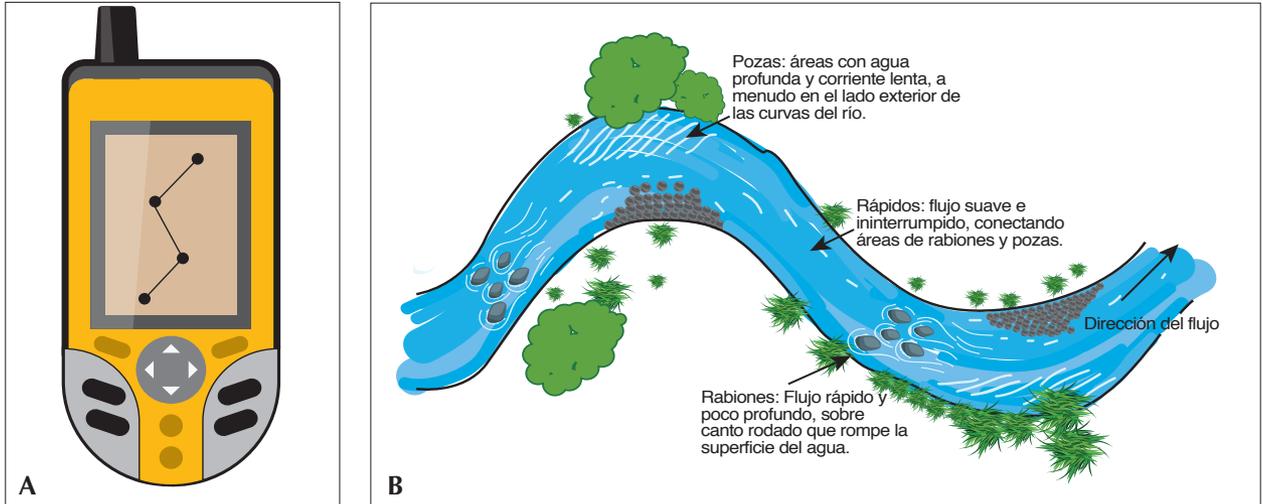


Figura C1. A. GPS, *Global Positioning System*. B. Dibujo del río en estudio. Usted puede adicionar más información, incluso los lugares y puntos de muestreo.

claro y eficiente que permita identificar los puntos y relacionarlos con su respectivo formulario de campo. Es importante que consulte bien la zona UTM en la que se encuentra y que practique como utilizar el GPS antes de llegar al sitio de estudio. Alternativamente, puede utilizar un smartphone con una aplicación de georreferenciación (ej. Google Maps, Terra Map, etc.) para obtener la misma información. Cualquiera sea su método preferido, es importante estar familiarizado con el funcionamiento de su equipo antes de salir al campo.

- Anote la fecha y hora de muestreo.
- Registre los nombres de los investigadores que participan en el monitoreo.
- Adicionalmente, sugerimos tomar algunas fotografías del sitio o cómo llegar para facilitar su ubicación en los próximos muestreos. Realice anotaciones adicionales tales como las condiciones climáticas, las actividades que se están desarrollando en la zona de estudio (si existiesen).

esquema del río nos permite detallar aspectos importantes del río, como sus meandros, zonas rápidas, zonas lentas, la vegetación, el tipo de sustrato y el ancho. Además, nos permite resaltar los 100 metros del sitio de estudio y los transectos donde se realizó la medición del caudal, las muestras de invertebrados, etc.

El dibujo debe realizarse a una escala suficientemente pequeña que permita resaltar detalles de su estructura física y también de su morfología:

- Añada en el dibujo la dirección del norte geográfico.
- Señale los 100 metros del trecho donde realiza el monitoreo, y marque también los transectos del caudal y sustrato, si es que los está caracterizando (ver abajo).
- Dibuje y señale dónde están los meandros, piscinas y rápidos del río.
- Dibuje y señale las características de la vegetación de ribera.
- Dibuje y señale la presencia de infraestructura u otros aspectos importantes para entender al río y sus alrededores inmediatos.
- Haga cualquier anotación que sea necesaria para entender la morfología del río.

Apartado 2. Dibujo del río: un dibujo o esquema del río (Fig. C1B) muestra los detalles importantes del sitio de estudio. El dibujo o

Frecuencia de monitoreo: Este dibujo o esquema del río, se lo tiene que hacer cada vez que uno vaya al río, porque los ríos son sumamente dinámicos y pueden cambiar su curso de acuerdo con las crecidas o a los cambios en la vegetación de ribera. Recomendamos una frecuencia de monitoreo de dos veces al año, especialmente si el sitio de estudio tiene estacionalidad marcada.

Apartado 3. Estructura Física del canal del río:

este apartado trata de caracterizar la forma y otras características físicas del canal del río y está muy relacionado al dibujo del río que se incluye en el Apartado 2. Algunas de las variables que esquematizamos en el dibujo deben ser medidas y registradas en este apartado. Las mediciones de la estructura física son importantes porque los ríos y riachuelos son ecosistemas dinámicos y cambian con frecuencia su curso y otros aspectos geomorfológicos. Las crecidas durante la época lluviosa pueden alterar la geomorfología causando movimiento de sedimentos y rocas en el bentos del río, pero también erosión y recambio en las orillas y zonas de ribera. Además, la estructura física del río es crucial para entender su integridad y su salud, ya que cuando la parte física está deteriorada, los otros componentes (químicos y bióticos) también pueden verse afectados.

En este apartado se miden tres características principales: la morfología o forma del canal del río, las características generales de la corriente, y la inclinación del terreno. Para registrar estas características, caminaremos por la orilla del río, en dirección río arriba, observando el detalle de sus características. Utilizando un flexómetro ubicado longitudinalmente al río, nos detendremos cada 25 metros y registraremos (para esa sección) las características (ver abajo).

Tome en cuenta, además, que la distancia de 100 m para la caracterización de la morfología de un río debe aplicarse solamente a ríos pequeños (e.g. entre 1 y 30 m de amplitud). Para ríos medianos (de 30 a 100 m de ancho), la caracterización se la debe hacer en tramos de ríos de 500 a 1000 m (y sus divisiones co-

rrespondientes). Los ríos más grandes y profundos, como los que ocurren en la llanura Amazónica y el piedemonte Andino suelen formar meandros muy grandes a escalas espaciales mucho más amplias. Como explicamos en la introducción de este capítulo, este Manual no está diseñado para evaluar ríos grandes o muy grandes.

Características para registrar de la estructura física del río:

i) Cantidad de meandros presentes en el canal (Fig. C1B): los meandros son las curvas naturales que tienen los ríos. Su forma y la distancia que los separa responden a varios factores como la velocidad del agua, el caudal, el tipo de rocas y la inclinación del terreno. Los ríos y riachuelos con poca alteración antropogénica tienden a tener un mayor número de meandros en sus canales, con la excepción de ríos que transcurren por pendientes empinadas. En estos casos, la fuerza de la corriente evita la formación de meandros, sin que esto refleje algún nivel de deterioro antropogénico del canal.

ii) Número de pozas, aguas rápidas profundas y aguas rápidas superficiales (Fig. C1B): las pozas son los hábitats en el río donde el agua exhibe muy poco movimiento. Las aguas rápidas profundas tienen alta velocidad, pero la corriente no produce burbujas, mientras las aguas rápidas superficiales forman abundantes burbujas y “splash” al impactar contra las piedras. El número de estos elementos del paisaje fluvial es importante ya que crea heterogeneidad y permite el establecimiento y desarrollo de una mayor diversidad de tipos de organismos.

iii) Inclinación del terreno: la inclinación del terreno es importante para entender la naturaleza y el comportamiento de la corriente del río. Áreas con terrenos muy empinados generan ríos rápidos y turbulentos, altamente oxigenados, y con morfologías más rectas. Por el contrario, terrenos planos dan lugar a canales con aguas lentas y muchos meandros.

Para la medición de inclinación del terreno, cada 25 metros utilizaremos un clinómetro (Fig. C2A, B) para evaluar la pendiente que

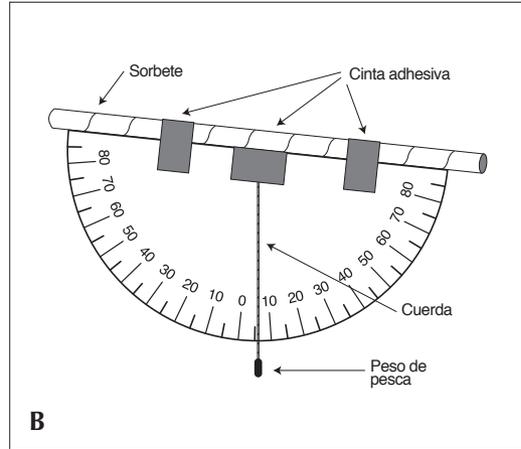
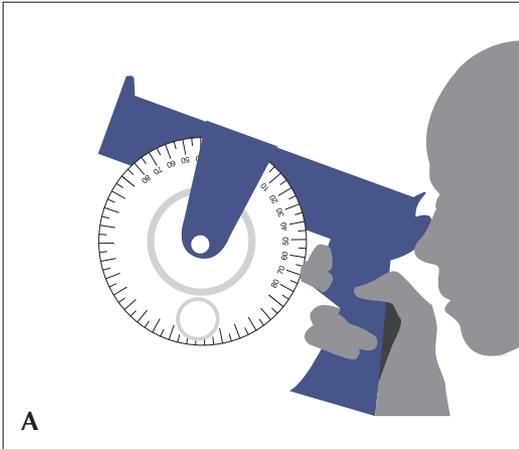


Figura C2.
A. Clinómetro para medir la inclinación del terreno de nuestro río en estudio.
B. Clinómetro casero, donde se muestra la inclinación del terreno en 6%.

tiene el río en estudio. El clinómetro puede ser de cualquier marca y en caso de no tenerlo incluso se puede construir uno casero utilizando un graduador. Para hacer la medición, una persona se ubica en el inicio de la sección (río abajo), y otra persona se ubica a los 25 metros (río arriba). La persona que está río abajo tiene el clinómetro y lo utiliza para “fijar la mira” del instrumento a la altura de la cabeza de su compañero. Esa inclinación se la registra en grados o en porcentaje de inclinación.

Apartado 4. Fotos del río y vegetación de ribera: las fotos nos ayudan a caracterizar al río y a tener un registro visual de cualquier cambio importante en el río o sus riberas. Para tomar fotos que sean útiles, coloque una cinta de marcaje en el “punto de inicio” de la sección del río estudiada y tome varias fotos del río:

- Fotografía 1: foto de la Hoja de Datos, donde se registra la información básica del río y su ubicación geográfica.
- Fotografías 2 – 5: el investigador se sitúa (si es seguro) en la mitad del canal del río y toma fotos río arriba, río abajo, a la derecha y a la izquierda para que se vea la vegetación circundante.
- Fotografía 6: el sustrato del río más representativo.

- Fotografía 7: foto en dirección al cielo. Esta foto se utiliza para registrar la cantidad y el tipo de cobertura de vegetación que podría influir sobre el canal del río.

- Si observa infraestructura, basura, u otros signos de alteración antropogénica, regístrelos con fotografías que luego le ayudarán a caracterizar apropiadamente el sistema.

- Registre el número y nombre de cada fotografía en el Apartado 4.

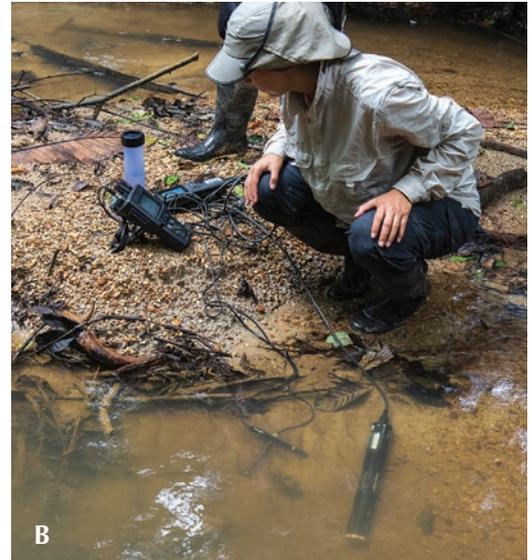
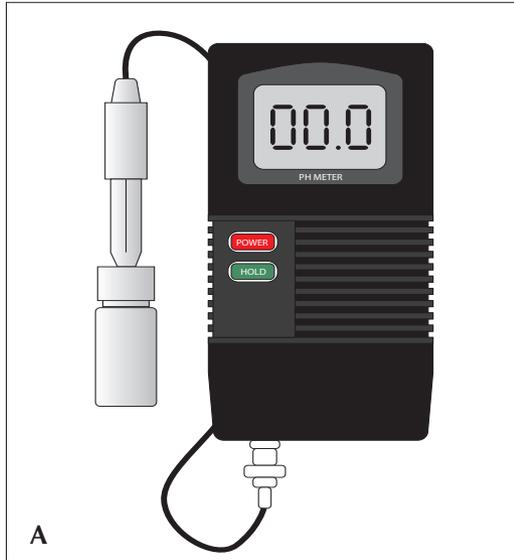
Apartado 5: Parámetros químicos (in situ) del agua del río:

pH: el pH es una medida del potencial de hidrógeno y mide la concentración de los iones de hidrógeno. Su evaluación permite definir qué tan ácida o qué tan básica es el agua del río. El pH tiene valores que fluctúan entre 0 y 14. El pH de 7 es el valor neutro, mientras que valores menores a 7 son ácidos, y valores mayores a 7 son básicos. El criterio de calidad admisible establecido para la preservación de la vida acuática y silvestre en agua dulce está entre valores de pH de 6.5 a 9 (Ministerio de Ambiente, TULSMA 2017).

El pH del agua de los ríos puede ser un indicador de una posible fuente de contaminación. Si el pH es muy alto o muy bajo, es decir está fuera del rango de 5 a 9 podría sospechase contaminación de algún tipo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que algunos ríos Amazónicos drenan extensas

Figura C3.

A. Medidor de pH portátil para medir in situ.
B. Investigador midiendo pH en el agua del río. Foto: Jose Vieira.



áreas de bosques húmedos en los que la rápida descomposición de materia orgánica libera grandes cantidades de ácidos orgánicos y otros metabolitos secundarios de las plantas. Estos productos de la descomposición entran eventualmente a los ríos, disminuyendo el pH del agua sin que esto refleje una alteración antropogénica del sistema.

El pH se registra mediante un medidor de pH (Fig. C3A, B). Cualquier marca o modelo puede ser usado, pero se recomienda leer cuidadosamente las instrucciones sobre su durabilidad, precisión y garantía, porque varía mucho según las marcas. El instrumento **debe ser calibrado** cada vez que va al campo, utilizando las soluciones buffer que se incluyen con el equipo. Lea con atención las instrucciones de calibración de su propio equipo antes de realizar las mediciones.

Para registrar las medidas de pH de los sitios de monitoreo se siguen los siguientes pasos:

- Encienda el instrumento.
- Seleccione la función para medición pH.
- Sumerja el electrodo en el agua, asegurándose de que el sensor no toque el fondo del río.
- Espere hasta el valor de pH desplegado en la pantalla se estabilice y regístrelo en el Apartado 5 de la hoja de campo. Realice la medición de oxígeno disuelto por triplicado (tres veces).

- Registre también la temperatura.

- Lave el sensor con agua destilada antes de guardarlo.

- El pH es un parámetro instantáneo y nos cuenta de las condiciones de ese momento en el río. Además, es muy fácil de medir, por lo que el investigador debería tratar de medirlo cada vez que vaya al río.

Conductividad: la conductividad es una medida que estima la cantidad de iones que tiene el agua. Si un río tiene muchos iones y/o sales disueltas, entonces el agua tendrá una alta capacidad de conducir la electricidad (alta conductividad). Por el contrario, si el agua tiene pocas sales disueltas, la conductividad será baja. El agua de mar tiene mucha sal disuelta y por lo tanto tiene una conductividad muy alta (50 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). El agua destilada, por el contrario, casi no tiene sales disueltas y por lo que su conductividad es baja (cerca a cero). El agua potable generalmente tiene una conductividad entre 50 a 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que los ríos de páramo suelen tener una conductividad típica entre 70 y 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La conductividad nos permite conocer si existe contaminación por iones o sales disueltas que pueden provenir de fertilizantes, heces de ganado, aguas servidas, aguas industriales, u erosión, entre otros. Si la con-

ductividad es más alta que los ríos de una misma zona geológica, nos puede indicar contaminación, aunque existen ríos que tienen altos valores de conductividad por causas naturales.

Para medir la conductividad se utiliza un conductímetro o medidor de conductividad. Se recomienda leer con atención el Manual del equipo previo a su uso y calibración. El instrumento **debe ser calibrado** cada vez que va al campo con la solución de sales conocida. Por favor lea con atención las instrucciones de calibración del Manual de su propio equipo antes de empezar las medidas.

Para registrar las medidas de conductividad de los sitios de monitoreo se siguen los siguientes pasos:

- Encienda el instrumento.
- Seleccione la función para medición conductividad.
- Sumerja el electrodo en el agua, evitando que el sensor toque el fondo del río.
- Espere hasta que el valor de conductividad se haya estabilizado y registre ese valor de conductividad en la hoja de campo. Realice la medición de conductividad por triplicado (tres veces).
- Lave el sensor con agua destilada antes de guardarlo.
- Al igual que el pH, recomendamos hacer esta medición cada vez que se visite el sitio de estudio.

Oxígeno disuelto (O_2): el oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno molecular disuelto en el agua. Normalmente aguas estancadas como las de lagunas y pozas tienen valores bajos de oxígeno disuelto, mientras que el agua en cascadas y rápidos del río tiene valores altos. La temperatura tiene un papel importante en los valores de oxígeno disuelto: el agua caliente tiene menos oxígeno disuelto, mientras que el agua fría tiene mayores concentraciones. En ríos de páramo, los valores típicos de oxígeno disuelto varían entre 5 y 9 mg/L. Valores de concentración de oxígeno disuelto mayores a 80% de saturación están considerados dentro del criterio de calidad admisible para la

preservación de la vida acuática y silvestre en agua dulce (Ministerio de Ambiente, TULSMA 2017). Sin embargo, ciertos ríos Amazónicos de tierras bajas tienen valores de oxígeno disuelto naturalmente bajos y, por lo tanto, no necesariamente es el mejor indicador de la calidad del agua para estos sistemas.

El oxígeno disuelto nos permite tener una idea del estado del río y es una medida indirecta de posibles fuentes de contaminación. Es un parámetro vital tanto para la fauna como la flora de los ríos. Si un río tiene bajos valores de oxígeno disuelto, esto podría estar relacionado con mucha cantidad de heterótrofos descomponedores que consumen el oxígeno. En otros casos, un aumento en la cantidad de nutrientes en el agua como efecto de excesiva contaminación orgánica, podría producir una explosión de autótrofos que en la noche producen condiciones anóxicas y resultan en mortalidad de otros organismos como peces e invertebrados que necesitan oxígeno para su metabolismo.

Para medir el oxígeno disuelto, se utiliza un medidor de O_2 de cualquier marca o modelo; sin embargo, la calidad puede variar y es importante comunicarse con el fabricante para conocer bien las propiedades, durabilidad, estabilidad y garantía del instrumento. Cada vez que se va al río es necesario calibrar el equipo. Para esto, por favor siga las instrucciones del manual de su equipo.

Para registrar las medidas de oxígeno disuelto de los sitios de monitoreo se siguen los siguientes pasos:

- Sumerja la punta de la sonda (el electrodo) en el agua, evitando que el sensor entre en contacto con el fondo del río. Permita que la lectura del instrumento se estabilice durante por lo menos 1 minuto.
- El valor de la medición de oxígeno suele desplegarse en unidades de ppm o % de saturación, junto con una medición de la temperatura del agua.
- Registre el valor de O_2 en la hoja de campo, junto con el valor correspondiente de temperatura. Realice esta medición por triplicado.

HOJA DE REGISTRO DE CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA (Variables básicas) (del protocolo C)

1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL RÍO:

Nombre del Sitio: _____ Código del Sitio: _____

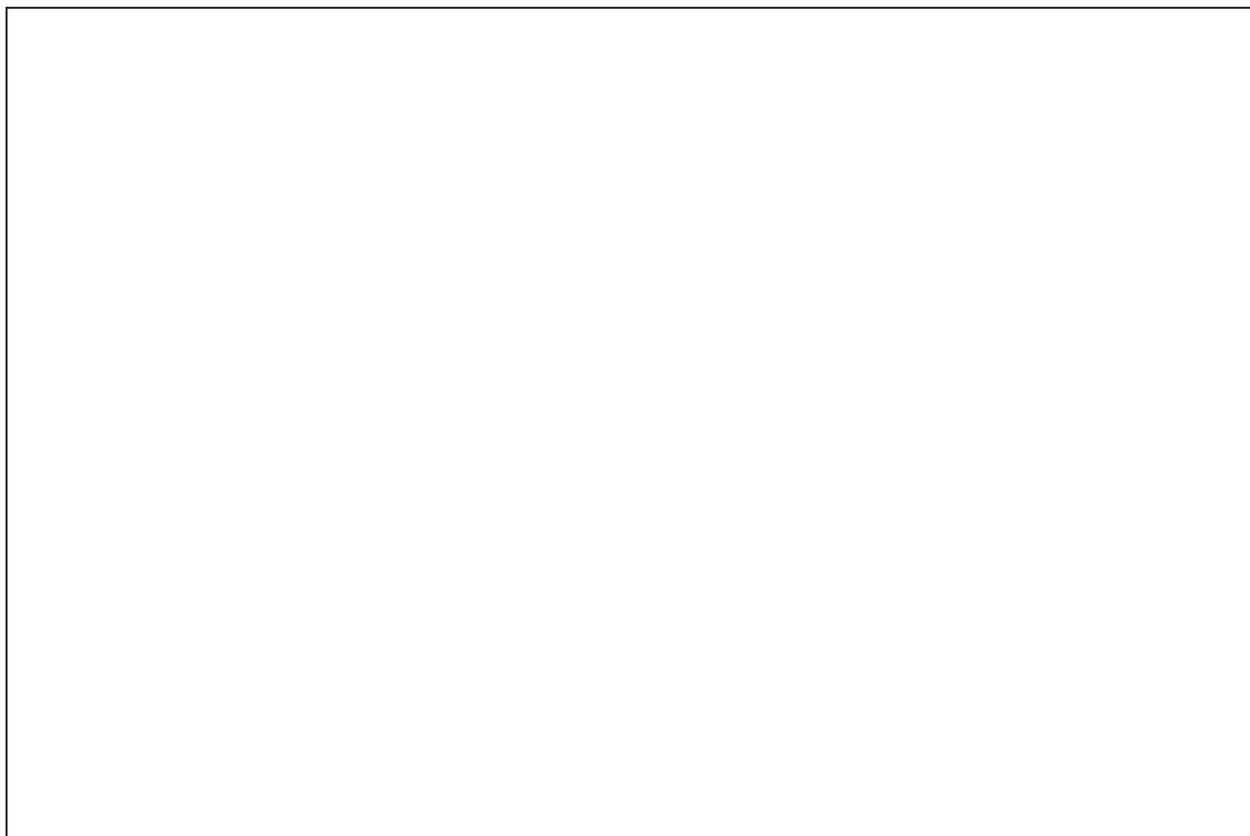
Cuenca Hidrográfica: _____

Fecha: _____ Hora: _____

Coordenadas Geográficas: _____ Elevación (m): _____

Investigadores: _____

2. DIBUJO EL RÍO: Señalar los 100 metros donde realiza el monitoreo, los transectos del caudal y sustrato. Dibuje y señale donde están los meandros y los aspectos de vegetación de ribera, infraestructura u otros aspectos importantes para entender al río y sus alrededores inmediatos.



Observaciones adicionales: _____

3. ESTRUCTURA FÍSICA DEL CANAL DEL RÍO

Longitud área de estudio (metros)	No. meandros	No. de rápidos profundos	No. de rápidos superficiales	No. de pozas o aguas lentas	Inclinación del Terreno (% , °)
0-25 m					
25-50 m					
50-75 m					
75-100 m					
TOTAL					

4. FOTOS DEL RÍO Y VEGETACIÓN DE RIBERA CIRCUNDANTE:

Cámara que se usó:								
	Hoja de datos	Arriba	Abajo	Derecha	Izquierda	Substrato	Cielo	Otras (personas, infraestructura, etc)
No. Fotos								

5. DATOS QUÍMICOS DEL AGUA (*In situ*)

RÉPLICAS	pH	T (°C): pHímetro	Cond. (µs/cm)	Cond. Stand (µs/cm)	O2 Dis. (mg/L)	O2 Dis. (%)	T (°C): Oxímetro	Muestras de agua (si/no)
1								
2								
3								

- Lave el sensor con agua destilada antes de guardarlo.
- Al igual que el pH, recomendamos medir esta variable tan seguido como sea posible.

Temperatura: la temperatura es un parámetro físico que indica qué tan caliente o fría está el agua. En el río, la temperatura del agua fluctúa a lo largo del día con temperaturas bajas en la madrugada y temperaturas más altas a medio día. Este parámetro se mide en conjunto con el pH, la conductividad y el oxígeno disuelto y, por esta razón, lo incluimos en estos apartados de variables in situ. Los ríos de páramo tienen una temperatura típica durante el día entre 4 y 12 °C; los ríos de cordillera entre 8 y 20 °C y los de llanura Amazónica entre 16 y 28 °C; sin embargo, la temperatura depende mucho de la época del año, la hora del día, el clima y el tipo de cobertura de vegetación que exista sobre el río.

La temperatura es un parámetro muy importante porque está relacionado con la altitud y con tasas de reacción de los procesos químicos y biológicos en organismos y en ecosis-

temas. Por ejemplo, temperaturas más bajas o más altas de los valores de tolerancia de algunos peces o invertebrados harán que el organismo deje de comer porque no puede metabolizar los alimentos a temperaturas más extremas. Además, la temperatura en sí misma puede ser un indicador importante de cambio en un ecosistema acuático. Dependiendo la zona geográfica donde se encuentra localizado el ecosistema, cada río tiene un rango de valores que pueden ser considerados normales; por arriba o debajo de ese rango, procesos biológicos y químicos no funcionarán en su nivel óptimo.

Todos los equipos portables para mediciones in situ, tienen un termómetro para la calibración del equipo, ya que los valores químicos varían según la temperatura. Por esta razón cada vez que registremos el pH, la conductividad y el O₂ disuelto, también registraremos la temperatura. Registre la temperatura en el apartado 5 de la Hoja de Registro C. La frecuencia de monitoreo de la temperatura es la misma sugerida para las mediciones de pH, conductividad y O₂ disuelto.

Protocolo D

Físico-química del ecosistema del río (Variables adicionales avanzadas)

Para este protocolo, recomendamos hacer todas las variables del Protocolo C (apartados 1 al 5) y adicionar los parámetros presentados aquí.

Apartado 6: Cobertura de dosel del río: La cantidad de luz que recibe un río está determinada por su ancho y por la cantidad y el tipo de vegetación de sus riberas. En situaciones de poco impacto antropogénico, los riachuelos pequeños suelen tener cantidades equivalentes de zonas sombreadas y zonas bien iluminadas en los tramos donde el río se ensancha. Por el contrario, en los ríos más grandes, la vegetación, incluso en buen esta-

do, solo proyecta sombras sobre la parte del canal que se encuentra cerca de las orillas, mientras que la zona central recibe mucha luz solar de manera constante.

El nivel de cobertura de dosel es importante porque determina la cantidad de luz que llega al río y ayuda a explicar la estructura, composición y funcionamiento del ecosistema lótico. Por ejemplo, las zonas del río que reciben luz tienen más energía solar y mayores temperaturas lo que promueve un mayor crecimiento de organismos autótrofos (algas y macrofitas) y, por lo tanto, mayor producción primaria en el ecosistema. En los lugares sombreados, por el contrario, habrá predo-

minancia de otros organismos, y los procesos de heterotrofia serán más relevantes. Debido a que el porcentaje de luz que entra al río es inversamente proporcional a la cobertura del dosel de los árboles y la vegetación de ribera en general, la mejor manera de medir este parámetro es utilizando un densiómetro esférico (Fig. D1). El densiómetro mide el porcentaje de cobertura de dosel que existe sobre un punto determinado. Estos son los pasos para tomar medidas de porcentaje de luz que entra al río:

- Para medir la cobertura de dosel a lo largo del río, empiece en el “punto de inicio” a 0m, y luego haga mediciones adicionales a 50 y 100 m río arriba. Párese en el medio del río (si es posible) y en cada punto tome cuatro medidas con el densiómetro: río arriba, río abajo, izquierda y derecha del río.

- Para cada medición, sostenga el densiómetro a la altura de la rodilla (Fig. D1) apuntando el densiómetro hacia arriba sin inclinarlo y sin tapar la luz con el cuerpo. La altura de la rodilla es una variación para ríos de zonas altas y de páramo, porque hay pocos árboles y la vegetación cerca del río suele estar dominada por pajonales o arbustos esclerófilos; sin embargo, esta vegetación sí produce sombra importante en los ríos pequeños. Si su río está en una zona más baja, el densiómetro se puede sostener a la altura del pecho.

- Contabilice los cuadrados de la cuadrícula donde existen aperturas de dosel (sin cobertura de árboles).

- Sumar todos los cuadrados de cada dirección y luego multiplicar el total de cuadrados por 1.04 para obtener el porcentaje de área no ocupada por dosel, es decir la densidad de luz.

- Esta medición solo cambiaría si cambia la cobertura vegetal, por lo tanto, se recomienda hacerla una vez al año.

Apartado 7: Medición de Parámetros químicos del río: La mayor parte de los elementos químicos que entran a un río se originan de la meteorización y erosión de suelo y de la roca madre. Por lo tanto, cada zona tendrá

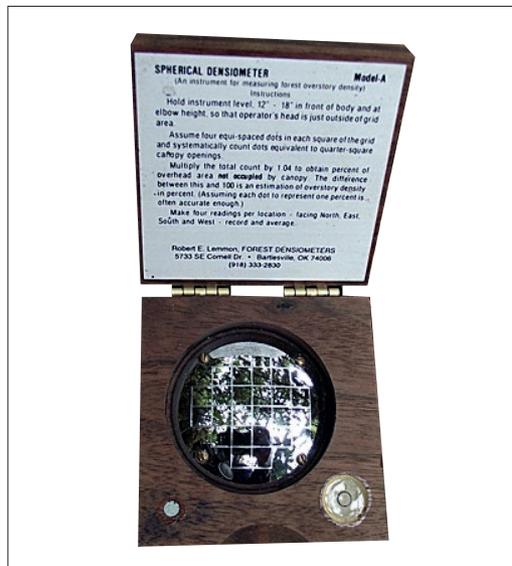


Figura D1. Densiómetro esférico para estimar cobertura de dosel y también porcentaje de luz que entra el río.

diferente química del agua dependiendo de la geología, y también de otros factores como el agua lluvia, la actividad volcánica y las actividades antropogénicas. En el agua, los principales constituyentes son material orgánico e inorgánico suspendido, iones disueltos (e.g. Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , K^+), macro-nutrientes disueltos (N y P), materia orgánica en suspensión y disuelta, gases (N_2 , CO_2 , O_2), y metales traza (Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , etc). La medición de todos estos elementos puede ser muy compleja y requiere de equipos analíticos especializados, por lo que evaluaremos solamente algunos parámetros representativos como el pH, la conductividad, el Oxígeno disuelto (O_2) (medidas en el Protocolo C) y los principales nutrientes: nitrógeno (N) y fósforo (P) (para medir en este protocolo).

Nutrientes: llamamos nutrientes a los elementos químicos que son fundamentales para el desarrollo y funcionamiento de los seres vivos. Los principales son nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre, y magnesio, pero hay muchos más. La cantidad de nutrientes está directamente ligada a la salud de los ecosistemas. Los nutrientes son esenciales para el metabolismo de los seres vivos, por lo que un exceso o un déficit de nutrientes pueden resultar en afectaciones a la salud de los organismos y del ecosistema. Un déficit de nutrientes puede derivar en disminución de poblaciones de flora y fauna en el río. Un

Figura D2.
Filtración de
agua de río
para llevar las
muestras al
laboratorio.
Foto: E Suárez.



exceso de nutrientes favorece el crecimiento de algas y esto puede producir cambios en la productividad de organismos en otros niveles tróficos como macroinvertebrados o peces. Además, el crecimiento excesivo de algas puede ocasionar una considerable disminución en los niveles de oxígeno disuelto, afectando, por ejemplo, a poblaciones de invertebrados acuáticos.

Para medir la cantidad de nutrientes en el agua se utilizan métodos que detectan la presencia de iones formados con estos elementos. Los elementos se juntan entre ellos y forman compuestos con una determinada carga eléctrica que pueden ser detectados durante análisis químicos. En el caso de este Manual de monitoreo se recomienda realizar el análisis de amonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}) y fosfato (PO_4^{3-}) en el agua de los ríos de interés. Existen numerosos métodos para la detección de nutrientes; dada la complejidad del análisis, se recomienda encargarlo a laboratorios especializados. Si bien el análisis puede ser encargado a un laboratorio, la toma de muestras puede ser hecha por el personal técnico. A continuación, se describen las consideraciones que se deben tomar en cuenta al coleccionar muestras para el análisis de nutrientes:

- La sección del río donde puede trabajar podrían ser los mismos 100 metros que explicamos en la descripción de parámetros físicos, u otra sección río arriba.

- Asegúrese de que nadie haya pisado el río aguas arriba porque esto podría modificar los valores de sus mediciones.

- Todas las muestras se deben coleccionar por triplicado.

- La persona que toma las muestras debe tener las manos limpias y usar guantes de látex o nitrilo mientras toma las muestras y realiza las mediciones.

- El punto donde se van a tomar las muestras debe ser un sitio donde el agua está corriendo y no se encuentra estancada.

- Una vez que tomamos los datos estos deben ser registrados en la Hoja de Registro de Caracterización Físico-química (Variables adicionales avanzadas).

Para tomar las muestras se recomienda seguir los siguientes pasos:

- Dos días antes del trabajo de campo, poner en baño de ácido clorhídrico al 1% botellas de plástico Nalgene de 60 mL o más (3 por sitio), y jeringas (1 por sitio).

- Al sacar las botellas del baño ácido, enjuagarlas con agua destilada ultra pura y almacenarlas dentro de fundas con las tapas puestas para evitar contaminación (no utilice ningún tipo de jabón o detergente para lavar estas botellas).

- En el río, lavar la jeringa tres veces con agua corriente del río. Colocar en la punta de la jeringa un filtro Whatman GF/F con tamaño de poro de $0.7 \mu\text{m}$ (se necesitan aproximadamente dos por sitio) y filtrar agua del río en cada botella para enjuagarla (incluyendo su tapa). El filtro debe ser pesado anteriormente en el laboratorio para tener el peso inicial al momento de realizar el análisis. Desechar el agua de enjuague. Posteriormente filtrar más agua hasta llenar las tres botellas al ras del cuello, sin dejar burbujas de aire dentro (Fig. D2).

- Si el filtro se taponan o la suciedad es visible, cambiar el filtro y continuar el proceso.

- Las botellas deben ser transportadas en una hielera con paquetes de hielo hasta llegar al laboratorio donde deben ser almacenadas en el congelador.

- Las muestras deben ser analizadas lo antes posible para evitar alteraciones.

HOJA DE REGISTRO DE CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA (Variables adicionales avanzadas) (del Protocolo D)

1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL RÍO (lo mismo incluido protocolo C):

Nombre del Sitio: _____ Código del Sitio: _____

Cuenca Hidrográfica: _____

Fecha: _____ Hora: _____

Coordenadas Geográficas: _____ Elevación (m): _____

Investigadores: _____

6. COBERTURA DE DOSEL O CARACTERÍSTICAS DE LUZ AL RÍO. Explicación en el Manual.

Distancia	No. de cuadrícula vacías				Total de cuadrículas	% de Luz (x 1.04)	% Cobert. de Dosel
	Arriba	Abajo	Izquierda	Derecha			
0 m							
50 m							
100 m							

7. DATOS QUÍMICOS (NUTRIENTES) DEL RÍO

Sección del río	No. de Frasco	Réplica	Volumen frasco (mL)	Peso del filtro antes (g)	Peso del filtro después (g)
	1	1			
	2	2			
	3	3			
	4	1			
	5	2			
	6	3			
	7	1			
	8	2			
	9	3			

Protocolo E

Caudal y nivel del río a lo largo del tiempo

Apartado 1: Caudal del río: El caudal es el volumen de agua que pasa por un río o quebrada en un tiempo determinado y se la puede expresar en m^3/s o L/s. Los ríos Andino-Amazónicos tienen un amplio rango de caudales; sin embargo, estos ríos o quebradas siempre tienden a aumentar su caudal a medida que bajan de elevación, ya que se unen con otros ríos o son recargados por aguas subterráneas y/o escorrentía.

El caudal en los ríos y quebradas tiene variaciones naturales durante cada año, las mismas que constituyen el régimen de caudal. Dependiendo de su localización geográfica, cada río tiene un régimen de caudal propio. Por ejemplo, en regiones que experimentan las cuatro estaciones, el régimen de caudal de los ríos es muy predecible, con un pico de caudal después del derretimiento de la nie-

ve, aproximadamente en abril o mayo, una disminución paulatina del caudal durante el verano, y una disminución adicional en el invierno como resultado de la congelación que vuelve a acumular el agua en forma de nieve.

En ecosistemas lóticos tropicales, el régimen del caudal es generalmente menos predecible, porque no tenemos las cuatro estaciones y las variaciones están muy relacionadas con la precipitación de la zona, con el tipo de geología y suelo, y la vegetación del ecosistema terrestre donde se encuentre (Fig. E1). Estas variaciones de caudal influyen sobre la fauna y flora que habita en esos ríos, porque los organismos han evolucionado a través de miles o millones de años en ese ambiente dinámico. Es por esta razón que cambios en el caudal del río tendrán efectos directos sobre la disponibilidad de hábitat para los

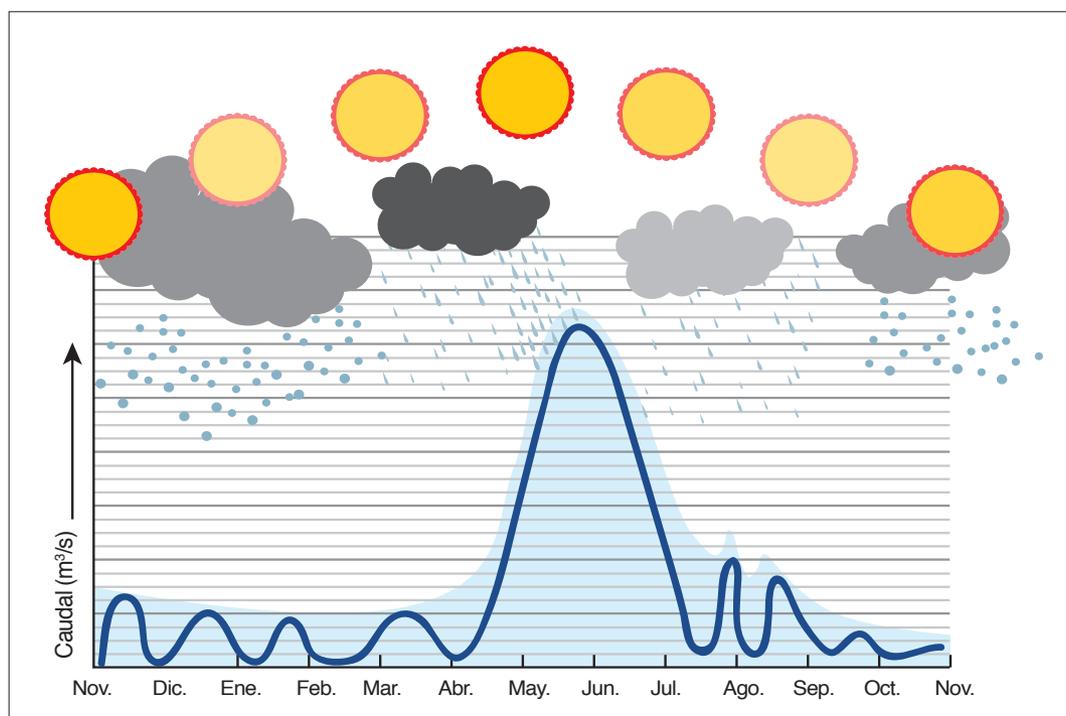


Figura E1.
Hidrográfico anual de un típico río de la zona tropical.

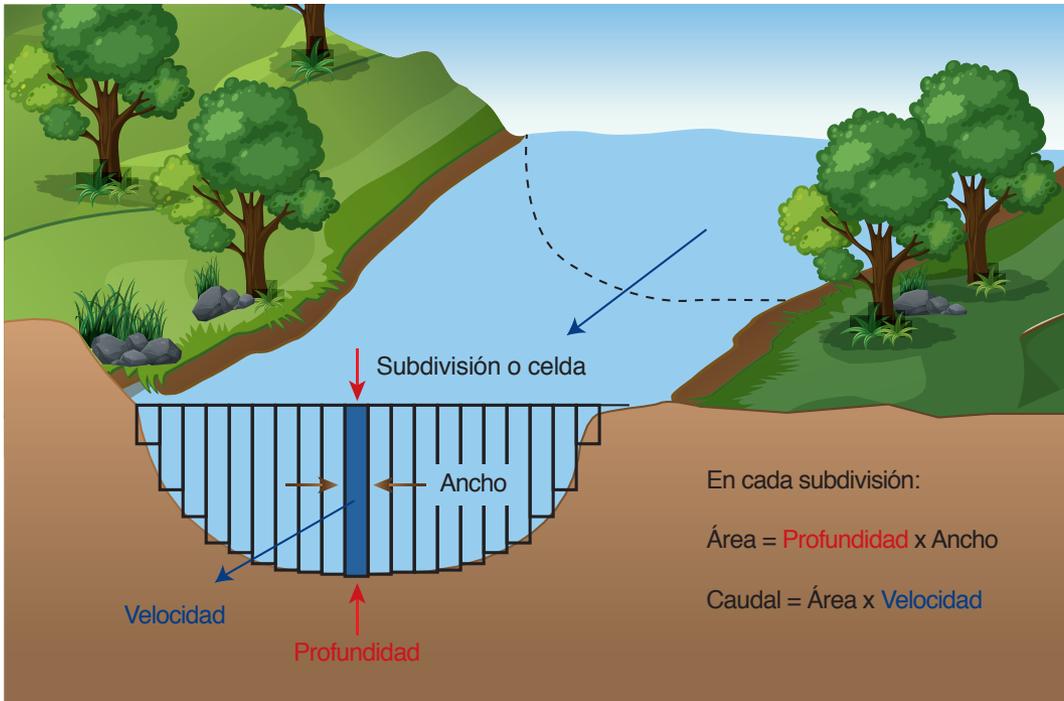


Figura E2. Esquema del río donde se muestra el método de medición instantánea de caudal por aforamiento.

organismos que los habitan, y también para los parámetros físico-químicos, microbiológicos e incluso en los ecosistemas terrestres. Entender los cambios en el caudal nos ayuda a entender mejor las variaciones en otros factores ambientales o ecológicos de los ecosistemas acuáticos.

El caudal puede ser medido de varias maneras y aquí mostramos el **método de aforamiento**, en el cual se mide el caudal instantáneo en el río, es decir el caudal específico en el momento de la medición. Este método consiste en calcular el caudal a partir los datos del área de una sección del río y la velocidad promedio del agua que pasa por ella. Hay otros métodos, sobre todo para ríos más grandes, si su río sobrepasa los 30 m de ancho y es profundo (más de 1 m de profundidad), tiene que buscar asistencia de algún grupo técnico o académico que haga estas mediciones regularmente, pues necesitará equipo especializado.

El siguiente método de aforamiento se aplica para ríos pequeños y/o medianos, y se describen los pasos en detalle, y observaciones para llenar la hoja de datos:

- Registre estos datos en la **Hoja de registro del caudal y nivel del río**. En el Apartado 1, escriba los datos del sitio, localidad e investigadores, como lo ha realizado en los otros protocolos.

- En el Apartado 2, dibuje el río y ponga los detalles suficientes de donde hará los transectos del caudal en el río y donde pondrá la regla de nivel (o el logger de nivel).

- Escoja una sección transversal del río (o transecto) donde el agua corra en todo su ancho (Fig. E2). Las áreas más regulares y planas son apropiadas para reducir errores en las mediciones.

- Coloque una cinta métrica (o flexómetro) desde una orilla del río hasta la otra y registre el ancho total en el Apartado 3.

- Divida imaginariamente el ancho del río en subsecciones homogéneas (del mismo ancho) comenzando desde el filo del río (Fig. E2). Por ejemplo, para un riachuelo de 1 m de ancho puede utilizar celdas o secciones de 10 cm cada una y tendrá un total de 10 celdas en todo el transecto.

- En el Apartado 3 registre el ancho de dichas secciones y, en el punto medio de cada sección, mida y registre la profundidad del agua, utilizando una regla de metal larga (mejor si es de 1 m de longitud).

- Igualmente, en el punto medio de cada sección transversal coloque el velocímetro para medir el promedio de velocidad de agua corriente en ese punto. El molinete (o velocímetro) puede ser de cualquier marca o modelo. Algunos modelos vienen ya incorporados con una regleta fija que posicionan al molinete a 40% de la profundidad del río, lo que ayuda a calcular con precisión la velocidad promedio del río en esa sección.

- Registre el valor promedio de la velocidad de la columna de agua.

- Recuerde que en cada una de las secciones transversales (Fig. E2) hay que repetir lo mismo: anotar el ancho, la profundidad de la celda y la velocidad promedio del agua. Con estos valores usted puede calcular el caudal, (explicación abajo).

- Adicionalmente en el punto medio de cada sección, toque con su mano el sustrato que se encuentra en el fondo del río, y registre el tipo de sustrato presente en el punto medio de cada celda transversal. Para saber el punto medio puede ayudarse con la regla de acero. Los sustratos se clasifican según su tamaño en:

- Limo o arcilla (L): material muy fino, moldeable y hasta pegajoso, menor a 0.25 mm de tamaño.
- Arena (A): partículas pequeñas y ásperas al tacto, de 0.25 a 2 mm de tamaño.
- Grava (G): partículas rocosas que van de 2 a 3 mm.
- Canto rodado (CR): piedras pequeñas entre 3 a 8 cm (como del tamaño del puño de su mano).
- Piedra (P): piedras de tamaño mediano entre 8 y 25 cm.
- Bloque (B): piedras grandes mayores a 25 cm.

- Roca madre (RM): rocas enormes que forman parte del fondo del río.

- Anote en el Apartado 3, el tipo de sustrato que corresponda.

- Igualmente indique si encontró hojarasca en el fondo del río de cada sección. Escriba P para presente, o A para ausente.

Para el cálculo matemático del caudal:

- Primero verifique si los datos de profundidad, velocidad y ancho se encuentran en las mismas unidades. Para distancias utilizar [m] y para velocidad (m/s).

- Se debe calcular el caudal de calibración individual para cada sección de ancho del río, para lo que se utiliza la ecuación a continuación:

$$Q = \left(\frac{p_n + p_{n+1}}{2} \right) * (d_n - d_{n+1}) * \left(\frac{v_n + v_{n+1}}{2} \right)$$

Donde:

$Q_{(n,n+1)}$ = caudal en la sección (n, n+1)

n = sección del río

p_n = profundidad a una sección n

p_{n+1} = profundidad a una sección n+1

d_n = distancia en una sección n

d_{n+1} = distancia a una sección n+1

v_n = velocidad a una sección n

v_{n+1} = velocidad a una sección n+1

- Sumar los caudales individuales de cada sección del ancho del río para obtener el "Caudal Instantáneo" usando la ecuación:

$$Q_t = Q_{n,n+1} + Q_{n+1,n+2} + \dots + Q_{n+x,n+(x+1)}$$

- **Frecuencia de monitoreo:** Idealmente el caudal se debería medir cada día, porque esta variable es muy dinámica y cambia constantemente, y justamente eso es lo que queremos entender del río, esta variabilidad o régimen del caudal. Sin embargo, al ser esto muy difícil, los investigadores se han

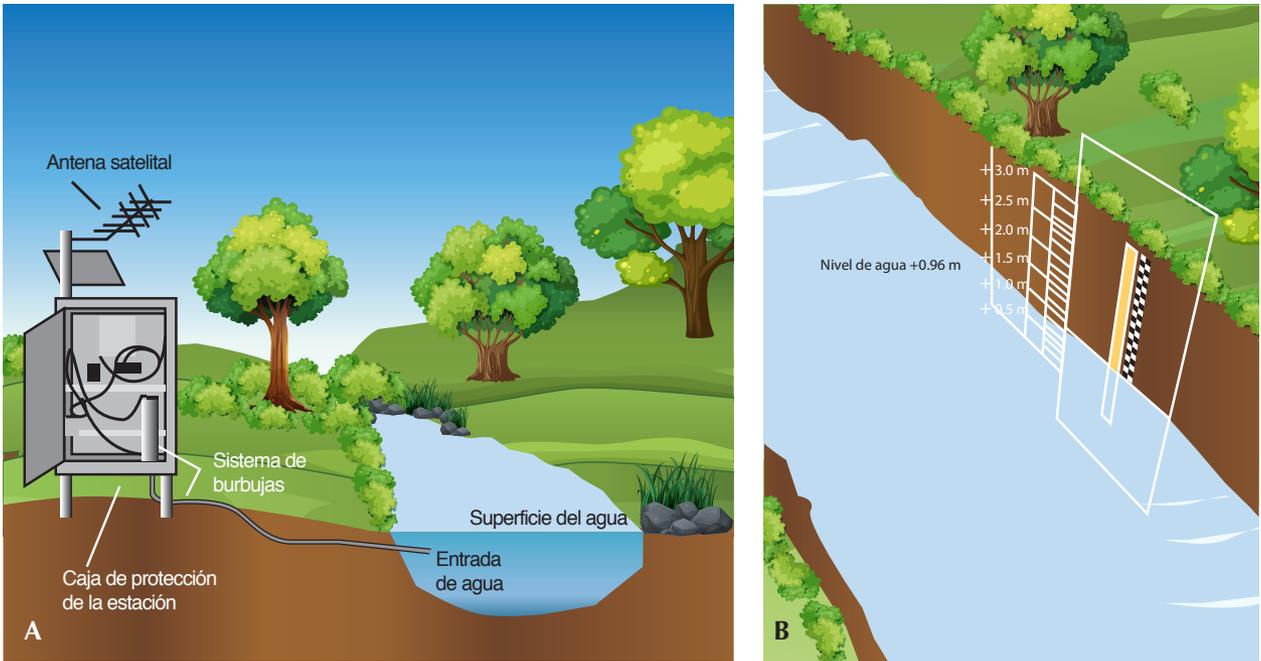


Figura E3. A. Estación de aforo automática, donde se tiene colocado un sensor de profundidad que envía los datos por satélite. B. Regleta fija para medición de la profundidad del río.

ideado formas de hacer este cálculo de otra manera. Abajo detallamos una forma para estimar el caudal a lo largo del tiempo.

Estación de nivel: Una estación de nivel es un lugar específico en el río donde se pone un medidor de profundidad permanente para registrar la variación del nivel (profundidad) del agua durante el tiempo.

Las estaciones de nivel pueden ser muy sofisticadas o muy sencillas, de acuerdo con los objetivos del proyecto, al interés del investigador o de la comunidad, y al dinero disponible para el equipo. Las estaciones con sensores automáticos de profundidad (Fig. E3A) son una excelente opción para no visitar al río con mucha frecuencia, pero son relativamente costosas. Para una instalación de este tipo de equipo hay que asesorarse con la empresa que venda estos equipos para asegurar su correcta instalación. Aquí explicaremos la instalación y uso de una estación de aforo de regleta fija (Fig. E3B). Estas estaciones tienen que ser de material resistente al agua (acero

o metal) y tienen que estar muy bien fijadas al sustrato del río. Una regla de metal puede funcionar muy bien, pero tiene que estar fijada en una varilla metálica fuertemente asegurada a una piedra o a árboles en la ribera del río. Si no está bien fijada, una crecida podría llevársela.

Para el registro de datos, el investigador o monitor visita la regla cada día y registra la fecha, la hora y la profundidad del río. Para esto use el Apartado 4 de la **Hoja de Registro Caudal y Nivel del Río**. La información de los registros diarios de profundidad le permitirá evaluar la variación de la profundidad del agua a través del tiempo. Para convertir estos datos de profundidad en datos de caudal (Q) y saber cuántos litros o metros cúbicos por segundo pasan por ese tramo de río, los investigadores desarrollan una **curva de calibración de caudal**.

Curva de calibración de caudal: para construir una curva de calibración se necesita contar con varias mediciones de caudal ins-

tantáneo, con sus correspondientes mediciones de profundidad del río. A partir de estos datos, la curva de calibración se construye graficando los valores del caudal instantáneo en el eje "Y", y la profundidad en el eje "X", esto se puede realizar manualmente o usando una hoja de cálculo de Excel.

La profundidad es el valor que está dado por la regla fija. En la Fig. E4 se presenta un ejemplo de un posible escenario para un río imaginario. En este gráfico se puede generar una línea de tendencia y obtener la ecuación de la recta como se observa en la Fig. E4.

A continuación, se presenta un ejemplo numérico con valores hipotéticos tomados a partir de la ecuación de la recta presentada en la figura anterior. La ecuación de la recta se vería de la siguiente forma:

Donde:

$$y = \text{Caudal}$$

$$x = \text{Profundidad}$$

Reemplazando los valores del ejemplo hipotético para el río imaginario:

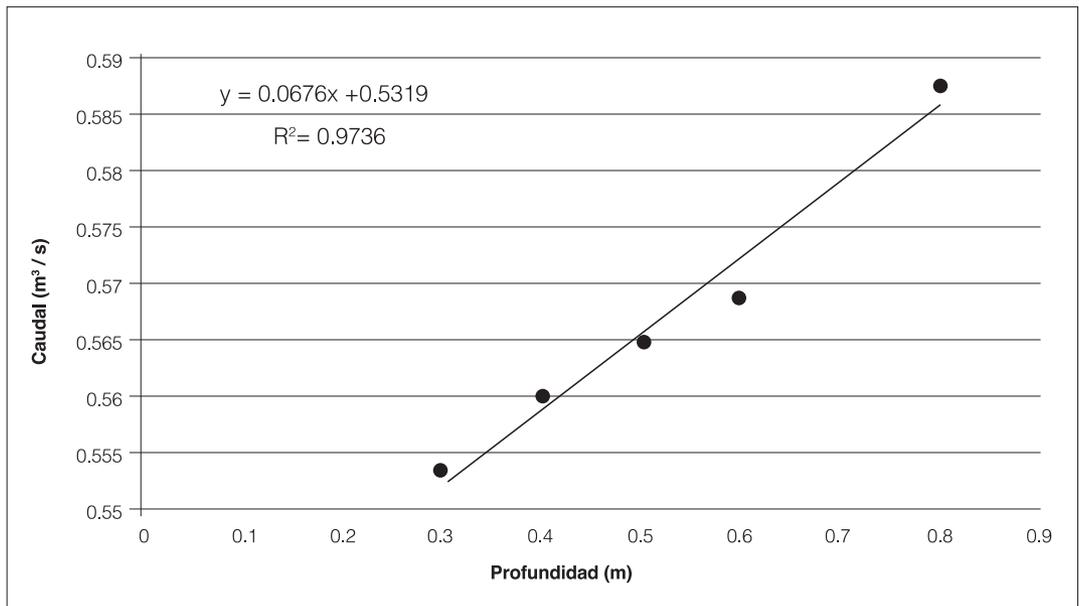
$$y = 0.0677x + 0.5316$$

Esta es la ecuación de la recta que servirá para estimar el valor de caudal a partir de nuestras mediciones de profundidad del agua en la regla para el río imaginario. Suponiendo que obtenemos un valor de medición puntual de profundidad para un día determinado de 0.7 m. Podemos reemplazar los valores en la ecuación de la recta y obtener el valor de caudal de la siguiente forma:

$$y = (\text{pendiente}) x + \text{intersección}$$

$$y = 0.0677 (0.7) + 0.5316 = 0.58 \text{ m}^3/\text{s}$$

Figura E4.
Ejemplo de datos de caudal y profundidad para construir una curva de calibración de caudal.



Profundidad del río (m)	Caudal (m³/s)
0.5	0.565
0.8	0.588
0.6	0.569
0.4	0.56
0.3	0.553

HOJA DE REGISTRO DEL CAUDAL Y NIVEL DEL RÍO (Protocolo E)

1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL RÍO:

Nombre del Sitio: _____ Código del Sitio: _____

Cuenca Hidrográfica: _____

Fecha: _____ Hora: _____

Coordenadas Geográficas: _____ Elevación (m): _____

Investigadores: _____

2. DIBUJO DEL RÍO: Señalar los 100 metros donde realiza los transectos del caudal y sustrato, y donde se pondrá la regla de nivel o el logger de nivel.



3. REGISTRO DE VARIABLES RELACIONADAS AL CAUDAL DEL RÍO. Ver explicación en el Manual.

Caudal 1: Transecto 1: distancia total del transecto=					
Número de celdas a lo ancho	Ancho (m)	Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Tipo de Sustrato (L, A, G, CR, P, B, RM)	Hojarasca (P=presencia o A= ausencia)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					

3. REGISTRO DE VARIABLES RELACIONADAS AL CAUDAL DEL RÍO. Ver explicación en el Manual.

Caudal 2: Transecto 2: distancia total del transecto=					
Número de celdas a lo ancho	Ancho (m)	Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Tipo de Sustrato (L, A, G, CR, P, B, RM)	Hojarasca (P=presencia o A= ausencia)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					

3. REGISTRO DE VARIABLES RELACIONADAS AL CAUDAL DEL RÍO. Continuación....

Caudal 3: Transecto 3: distancia total del transecto=					
Número de celdas a lo ancho	Ancho (m)	Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Tipo de Sustrato (L, A, G, CR, P, B, RM)	Hojarasca (P=presencia o A= ausencia)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					

3. REGISTRO DE VARIABLES RELACIONADAS AL CAUDAL DEL RÍO. Continuación....

Caudal 4: Transecto 4: distancia total del transecto=					
Número de celdas a lo ancho	Ancho (m)	Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Tipo de Sustrato (L, A, G, CR, P, B, RM)	Hojarasca (P=presencia o A= ausencia)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					

3. REGISTRO DE VARIABLES RELACIONADAS AL CAUDAL DEL RÍO. Continuación....

Caudal 5: Transecto 5: distancia total del transecto=					
Número de celdas a lo ancho	Ancho (m)	Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Tipo de Sustrato (L, A, G, CR, P, B, RM)	Hojarasca (P=presencia o A= ausencia)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					

Protocolo F

Invertebrados acuáticos e índice AAMBI

Invertebrados Acuáticos

Los invertebrados son animales sin columna vertebral que están presentes en todo tipo de ecosistemas y son uno de los grupos más diversos de fauna. Se estima que el 97% de los animales que habitan el planeta pertenecen a esta categoría. Su diversidad es muy grande y muchas especies aún no han sido descritas (Pechenik, 2015). En los ecosistemas de agua dulce, los principales grupos de invertebrados incluyen a caracoles, crustáceos, planarias, lombrices, sanguijuelas y varios tipos de insectos (Domínguez y Fernández, 2009). La mayoría de los insectos asociados a ecosistemas acuáticos se encuentran en el agua en su estadio larvario (o ninfa) y los adultos, cuando están listos para reproducirse, emergen fuera del agua, copulan, y regresan al río para poner sus huevos. Los insectos y otros invertebrados acuáticos cumplen roles ecológicos importantes en estos ecosistemas, como descomponedores de materia orgánica, filtradores de detritos, carnívoros, alguivoros y polinizadores de plantas terrestres. Además, los invertebrados y, especialmente, los insectos son el alimento de peces, mamíferos pequeños, aves, anfibios, reptiles y otros invertebrados terrestres, y así son actores claves en las redes tróficas y en los ciclos de nutrientes.

Cada especie de invertebrado acuático está adaptada a las condiciones especiales de los diferentes tipos de ríos y, por lo tanto, tienen diversos niveles de tolerancia a presiones antropogénicas. Este rango de tolerancia o susceptibilidad de las diferentes especies, hacen que, como grupo, los invertebrados sean buenos indicadores de las condiciones y contaminación ambiental en los ecosistemas acuáticos. Además, su identificación hasta un nivel taxonómico alto (e.g. orden o familia) es relativamente simple y, con un

poco de entrenamiento, se los puede utilizar para entender la salud ecológica de los ecosistemas acuáticos donde habitan (Thorp y Rogers, 2015).

Los invertebrados como bioindicadores de calidad del agua e integridad del ecosistema

Se puede asumir que los organismos que viven consistentemente en un ecosistema han evolucionado en él y, por lo tanto, están adaptados a la química, física y biología que tiene ese ambiente. En el caso del río, los invertebrados están adaptados al caudal, la química del río (e.g. pH, conductividad, nutrientes), y a la biología. En otras palabras, están adaptados a las condiciones ambientales del ecosistema y a las interacciones con los otros organismos que viven en él. Por lo tanto, cambios importantes en los factores abióticos y bióticos del sistema impactarán diferencialmente a los organismos, porque siempre habrá algunos que sean más tolerantes que otros al cambio. Algunos invertebrados son muy sensibles a los cambios ambientales y tienden a desaparecer o a disminuir en abundancia cuando las condiciones ambientales se alteran. Otros grupos más tolerantes, por el contrario, podrían aumentar su abundancia. A estas especies se les llama *bioindicadores*, ya que su presencia y abundancia nos puede indicar el estado del ecosistema.

Para poner un ejemplo concreto, en el caso de un río contaminado con aguas servidas, las altas concentraciones de materia orgánica y compuestos nitrogenados beneficiarán especialmente a los organismos descomponedores tanto microbianos (hongos y bacterias), como invertebrados (e.g. lombrices descomponedoras), porque tendrán mucho alimento. A su vez, las altas tasas de

descomposición microbiana implican un aumento de la respiración celular y, por lo tanto, un consumo exagerado de oxígeno disuelto (O_2), perjudicando a otros grupos de invertebrados que no toleran bajas concentraciones de O_2 . De esta manera, este tipo de contaminación beneficia a algunos invertebrados como lombrices descomponedoras que se reproducirán rápidamente ante la alta concentración de comida, pero perjudica a los más sensibles como moscas de la piedra (orden Plecoptera), que son muy sensibles al decrecimiento de la concentración de O_2 en el agua.

Utilizando este enfoque, los científicos han implementado índices de tolerancia (o sensibilidad) a la contaminación ambiental en ríos, que pueden ser utilizados para una evaluación rápida y efectiva de cómo se encuentra el río (Hilsenhof, 1987). En general, para utilizar estos índices hay tres premisas principales: 1) un río sano debería tener una fauna diversa y heterogénea, con muchos tipos de especies, mientras que en un río contaminado, la fauna será menos diversa y dominada por unas pocas especies de organismos tolerantes; 2) diferente taxa (e.g. familias) tienen distintas tolerancias ambientales y, por lo tanto, categorizar a los invertebrados de acuerdo con su nivel de tolerancia (o sensibilidad), ayudará a establecer cómo está el río; y 3) estos índices funcionan en la medida que se utilicen correctamente las comparaciones y se tenga un ecosistema de referencia (o control). Los sitios de referencia o control deberían ser sitios con el menor número de presiones antropogénicas posible, de forma que la diversidad de organismos que exista sea lo más parecido a lo que naturalmente evolucionó en ese sistema en estado prístino. Estos sitios de referencia pueden ser comparados con los sitios de interés para evaluar que tanto se parecen.

Es importante tener en cuenta que los índices son simplificaciones de una realidad que nos permiten hacer una evaluación general y rápida del río, para poder guiar en la toma de decisiones de manejo, uso o conservación. Sin embargo, investigaciones más completas de la dinámica de las poblaciones y comu-

nidades de invertebrados acuáticos en ríos son críticas para el entendimiento de su rol ecológico en el ecosistema. Ese tipo de investigaciones está fuera del ámbito de esta publicación (Polato *et al.* 2018).

Otro aspecto que se debe considerar es que, a pesar de que los invertebrados acuáticos pueden ser excelentes indicadores de la integridad ecológica de ríos, en realidad no sirven para evaluar todo tipo de contaminación. En general, se está evaluando la sensibilidad o tolerancia de estos organismos a cambios físicos y químicos relacionados a la contaminación orgánica, aumento de nutrientes, y ciertos tipos de contaminación industrial. Sin embargo, se sabe menos de cómo es la respuesta de estos grupos a la contaminación por metales pesados y otros compuestos industriales (Chang *et al.*, 2014). En algunos casos, la contaminación da lugar a mortalidad directa de los macroinvertebrados, pero en otras circunstancias los organismos pueden ser bio-acumuladores de estos elementos y el contaminante no causa efectos letales. En estos casos, la contaminación puede afectar la reproducción y crecimiento de los organismos, pero no necesariamente los mata y el efecto del contaminante se magnifica cuando estos son consumidos por otros organismos dentro de la comunidad. Por esta razón, este tipo de contaminación que no mata directamente a los individuos, pero que acumula compuestos tóxicos en sus tejidos, puede causar efectos más fuertes en la salud de los organismos que se encuentran en el tope en las redes tróficas. Desde esta perspectiva, recomendamos este protocolo sobre todo para contaminación orgánica, doméstica, de agricultura y ganadería, y cambios físicos del caudal y geomorfología de los ríos, pero no para casos de contaminación por extracción de minerales y por contaminación con petróleo.

Para este protocolo, recolectaremos invertebrados en los ríos, los separaremos por grupos taxonómicos a nivel de familia y les asignaremos un valor de tolerancia, aplicando el índice AAMBI (Andean-Amazon Biotic Index) adaptado de otros ya diseñados para la región (Ríos-Touma *et al.*, 2014, del BMWP



Roldán-Pérez 2016 y de Acosta 2009). La explicación de la recolección, separación y aplicación del índice están incluidos en los siguientes apartados.

Colectar y clasificar invertebrados acuáticos

La mayoría de invertebrados viven en el bentos o sustrato del río y, por tanto, debemos utilizar redes de malla relativamente fina, remover el lecho del río, y colocarnos río abajo para dejar que la corriente nos traiga los invertebrados a la red (Fig. F1).

Hay muchos modelos de redes y las alternativas de usar uno u otro modelo depende de los objetivos de investigación y el hábitat que se vaya a investigar (Fig. F1). Para los objetivos de este protocolo, queremos utilizar los invertebrados como indicadores de la calidad del agua y de la integridad ecológica de este ecosistema. Por lo tanto, necesitamos tener información de la riqueza de familias de invertebrados y de los niveles de tolerancia de cada una de estas familias. Para esto, la utilización de una red **cuantitativa** (como D net or Kick net) es bastante útil, pues nos permite hacer un muestreo multi-hábitat y obtener una excelente representación de familias de diferentes hábitats del río (Figs. F1B, F1C).

Si quisiéramos un análisis más cuantitativo, necesitamos otro tipo de red, como la red surber (Fig. F1A) o la Hess, que delimitan el área de muestreo y, por lo tanto, nos permiten estimar la abundancia (y densidad) de organismos, y hacer un análisis de ecología de comunidades mucho más completo. Aquí detallamos los pasos para hacer un muestreo multi-hábitat en el río:

- Los investigadores no deben caminar, o alterar las condiciones del río aguas arriba, o donde se va a muestrear. Para este fin, se debe iniciar el muestreo en el tramo ubicado aguas abajo y avanzar con los tramos aguas arriba.
- Los investigadores deben tener las manos limpias (sin repelente) y usar guantes de neopreno, especialmente para aguas frías.
- Antes de empezar el muestreo, localice visualmente 4 o 5 tramos de 20–25 m lineales a lo largo del río.
- Realice un muestreo de 2 min en cada tramo analizado (es importante siempre mantener el mismo esfuerzo de muestreo para poder comparar entre muestras). Para proceder con el muestreo, dentro de cada tramo localice los diferentes tipos de hábitats, y muestree cada hábitat proporcionalmente a

Figura F1.
A. Investigador colectando muestras de invertebrados con la red surber.
B. Investigadores utilizando una red de arrastre, este tipo de red suelen ser usadas por ictiólogos, pero es una buena herramienta para capturar invertebrados grandes en la zona de llanura amazónica.
C. Investigador limpiando el sedimento de una muestra, utilizando un cernidor o cedazo. Fotos: Esteban Suárez y Jose Vieira.



Figura F2. Investigadores escogiendo y separando los invertebrados en el campo, utilizando bandejas blancas con agua del río.
 A. en los ríos piemontanos,
 B. en el páramo,
 C. en ríos de la cordillera. Fotos: Esteban Suárez y Jose Vieira.

su abundancia e importancia en el río. Por ejemplo, si en el primer tramo tengo aproximadamente 80% de zonas rápidas y 20% de zonas lentas, voy a muestrear 1.6 minutos en rápidos y solo 0.4 minutos en zonas lentas.

- Para el muestreo mismo, sumerja la red en el sitio de muestreo, de forma que la apertura esté expuesta hacia la corriente del río. Ubíquese al lado de la red y mueva con la mano la porción del sustrato del río que se encuentra inmediatamente frente a la boca de la red, de forma que el agua corriente empuje el material adentro de la red (Fig. F1A).

- Una vez tomada la muestra, puede guardar el contenido de la muestra en frascos grandes previamente etiquetados y limpiar posteriormente las muestras en laboratorio. Si la muestra va a ser llevada a laboratorio y analizada luego de 24h, es necesario llenar el frasco con alcohol al 96%. Otra opción es limpiar la muestra en bandejas en el sitio de estudio (Figs. F2A, F2B, F2C). Si el día no es lluvioso o demasiado frío, esta es una muy buena opción porque es más fácil ver a los invertebrados vivos que están moviéndose en las bandejas (Fig. F2B). Los invertebrados colectados en cada muestra son guardados en un frasco de alcohol al 96% que esté correctamente etiquetado (Fig. F3A).

- Importante: si va a coleccionar invertebrados, es mandatorio que tenga los permisos pertinentes del Ministerio de Ambiente o agencia reguladora.

- Una vez en el laboratorio, los invertebrados deben ser identificados usando la *Guía de Invertebrados Acuáticos Comunes de las Cuencas Andino-Amazónicas del Ecuador* (pág. 145) y luego se les asigna el código AAMBI. Los datos deben ser ingresados en la **Hoja de Registro de Invertebrados acuáticos**.

- **Frecuencia de monitoreo:** Esto debe ser determinado por los gestores dependiendo de las condiciones de cada lugar. Si nos encontramos en lugares más estacionales (época seca y lluviosa), es importante hacer el monitoreo en cada estación para detectar diferencias intrínsecas en las comunidades de invertebrados. La frecuencia del muestreo de invertebrados también dependerá de los objetivos del monitoreo. Por ejemplo, si la idea es evaluar cómo se recupera el río después de haber hecho una intervención de tratamiento de aguas, puede hacer el monitoreo antes de la intervención y después de ésta, para ver los cambios, y para evaluar si las condiciones se han mantenido estables, o si han mejorado.



Índice AAMBI

El AAMBI, Andean-Amazon Biotic Index, (modificado y adaptado de Ríos-Touma *et al.*, 2014, del BMWP Roldán-Pérez 2016 y de Acosta 2009), es un índice biótico que sirve para evaluar la calidad del agua y la integridad ecológica de ecosistemas acuáticos Andino-Amazónicos. Este índice se aplica asignando valores numéricos entre 1 y 10 a cada familia de invertebrados registrada durante un muestreo, dependiendo de su nivel de tolerancia a la contaminación (Tabla F1). En esta escala, el valor de 1 se asigna a las familias más tolerantes y el de 10 a las familias más sensibles. La suma de los puntajes de todas las familias encontradas en un sitio determinado equivale al puntaje AAMBI total, el cual es un indicador de la calidad de agua de dicho sitio (Tabla F2). Usted puede registrar estos datos en la Hoja de Registro de Invertebrados Acuáticos y comparar su valor con la Tabla F2 (AAMBI) para evaluar cómo está su río.

La principal ventaja del índice AAMBI es que permite utilizar a los invertebrados como indicadores de calidad de agua e integridad ecológica, a partir de información taxonómica a nivel de Familia y es específico para las

zonas Andino-Amazónicas entre 200 y 4000 m de elevación. Además, la metodología requiere solo de datos cualitativos (presencia o ausencia de familias), lo que hace de ella una alternativa económica, sencilla y que requiere de poca inversión de tiempo.

La hoja de registro de invertebrados acuáticos e índice AAMBI (ver abajo) también le permite calcular otros valores con los datos de los invertebrados recolectados, que le ayudarán a entender aún mejor al ecosistema acuático que está evaluando. Usted puede registrar:

- el número total de familias de la muestra (o riqueza específica S), que es la diversidad de invertebrados que hay en el río.

- el número total de individuos en la muestra (o abundancia N), que nos permiten evaluar la abundancia de las diferentes familias.

- el número de familias EPT, que se refiere al número familias que hay de los órdenes Ephemeroptera (E), Plecoptera (P) y Trichoptera (T). Este número es útil porque las familias de estos tres órdenes generalmente son más sensibles a la contaminación y, por tanto, un mayor porcentaje de estas familias puede ser un indicativo general de que el río está en mejor estado.

Figura. F3.
A. Muestras de invertebrados acuáticos en alcohol con la etiqueta donde se anotan los datos referentes a la muestra para poder clasificarlos en el laboratorio.
B. Investigador identificando muestras de invertebrados bajo un estereoscopio.
C. Investigador revisando invertebrados a simple vista.
Fotos: Jose Vieira.

Tabla F1. Familias de invertebrados acuáticos y puntuación del Índice AAMBI (adaptado de Ríos-Touma et al. 2014, del BMWP Roldán-Pérez 2016 y Acosta et al. 2009).

PROTOCOLO AAMBI

Phylum/ Subphylum	Clase	Phylum/ Clase/ Orden	Taxa/ Familia	Puntuación	Orden	Familia	Puntuación
				AAMBI			AAMBI
Platyhelminthes	Turbellaria			5			
Nemata (o Nematoda)	Chromadorea			4	Hemiptera	Belostomatidae	4
Nematomorpha	Gordioidea			1		Nepidae	5
Mollusca	Gastropoda		Ampullariidae	4		Gelastorcoridae	5
			Ancylidae	4	Megaloptera	Corydalidae	9
			Physidae	3	Coleoptera	Gyrinidae	3
			Lymnaeidae	3		Noteridae	4
			Planorbidae	3		Dytiscidae	3
			Thiaridae	0		Scirtidae	5
			Cochliopidae	3		Ptilodactylidae	5
	Bivalvia		Sphaeriidae	3		Psephenidae	5
			Unionidae	4		Elmidae	5
Annelida	Hirudinea			3		Lampyridae	5
	Oligochaeta			2		Hydrophilidae	3
Arthropoda						Staphylinidae	3
Chelicerata	Arachnida	Acari		4	Trichoptera	Philopotamidae	8
Crustacea	Ostracoda			3		Xiphocentronidae	8
	Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	6		Polycentropididae	8
		Decapoda	Atyidae	6		Hydropsychidae	5
			Palaemonidae	8		Hydrobiosidae	8
			Trichodactylidae	6		Glossosomatidae	7
			Pseudothelphusidae	8		Hydroptilidae	6

Phylum/ Subphylum	Clase	Phylum/ Clase/ Orden	Taxa/ Familia	Puntuación	Orden	Familia	Puntuación
				AAMBI			AAMBI
Hexapoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	4		Limnephilidae	7
			Oligoneuriidae	10		Atriplectididae	10
			Leptophlebiidae	10		Odontoceridae	10
			Euthyplociidae	9		Calamoceratidae	10
			Ephemeridae	6		Leptoceridae	8
			Polymitarcyidae	8		Anomalopsychidae	10
			Caenidae	3		Helicopsychidae	10
			Leptohyphidae	7	Lepidoptera	Crambidae	4
		Odonata	Aeshnidae	6	Diptera	Tipulidae	5
			Gomphidae	8		Limoniidae	4
			Libellulidae	6		Blephariceridae	10
			Calopterygidae	8		Psychodidae	3
			Polythoridae	10		Chironomidae	2
			Megapodagrionidae	6		Ceratopogonidae	4
			Coenagrionidae	6		Simuliidae	5
		Plecoptera	Perlidae	10		Dixidae	4
			Gripopterygidae	10		Culicidae	2
		Blattodea	Blaberidae	4		Athericidae	10
		Hemiptera	Pleidae	8		Tabanidae	4
			Gerridae	5		Dolichopodidae	4
			Veliidae	5		Empididae	4
			Mesoveliidae	5		Syrphidae	1
			Hydrometridae	4		Muscidae	2
			Corixidae	5		Stratiomyidae	4
			Notonectidae	5			
			Naucoridae	5			

Tabla F2.
Evaluación de la calidad de agua a partir del puntaje del Índice Biótico Andino-Amazónico (AAMBI).

AAMBI	INTEGRIDAD ECOLÓGICA
> 121	Excelente
90 -120	Muy Buena
50-89	Buena
36-49	Regular
< 35	Mala

Análisis de los datos

Al igual que con otros parámetros, una vez que los investigadores tengan datos para el primer monitoreo o línea base, tienen que organizar la información de una forma sistemática para poder compararlos en el tiempo. Las hojas de registro de datos deben ser guarda-

das en una carpeta segura, pero, sobre todo, los investigadores deben ingresar los datos en una hoja de cálculo (e.g. Excel) y procesarlos para identificar posibles tendencias.

Por ejemplo, el río El Carmen ha sido monitoreado por 5 años consecutivos (Tabla F3) y, después del primer año, se hizo una inter-

Tabla F3.
Ejemplo de ingreso y organización de datos de invertebrados en hoja de cálculo Excel (río El Carmen, datos de ríos del oct 2000, 2001, 2002, 2003 y 2004).

Sitio	Fecha	Datos invertebrados acuáticos				
		Replica	No. Familias (S)	No. Individuos (N)	AAMBI	No. EPT
El Carmen	Oct-00	1	16	423	63	5
El Carmen	Oct-00	2	12	334	65	4
El Carmen	Oct-00	3	13	324	60	5
El Carmen	Oct-00	4	10	213	66	5
El Carmen	Oct-01	1	28	304	95	6
El Carmen	Oct-01	2	20	297	98	8
El Carmen	Oct-01	3	26	382	102	5
El Carmen	Oct-01	4	27	401	90	5
El Carmen	Oct-02	1	32	267	104	10
El Carmen	Oct-02	2	30	234	105	11
El Carmen	Oct-02	3	33	325	111	13
El Carmen	Oct-02	4	33	217	100	14
El Carmen	Oct-03	1	30	278	103	9
El Carmen	Oct-03	2	29	137	104	10
El Carmen	Oct-03	3	33	142	103	11
El Carmen	Oct-03	4	30	216	112	11
El Carmen	Oct-04	1	31	300	100	10
El Carmen	Oct-04	2	30	302	99	11
El Carmen	Oct-04	3	33	208	104	12
El Carmen	Oct-04	4	34	299	112	13

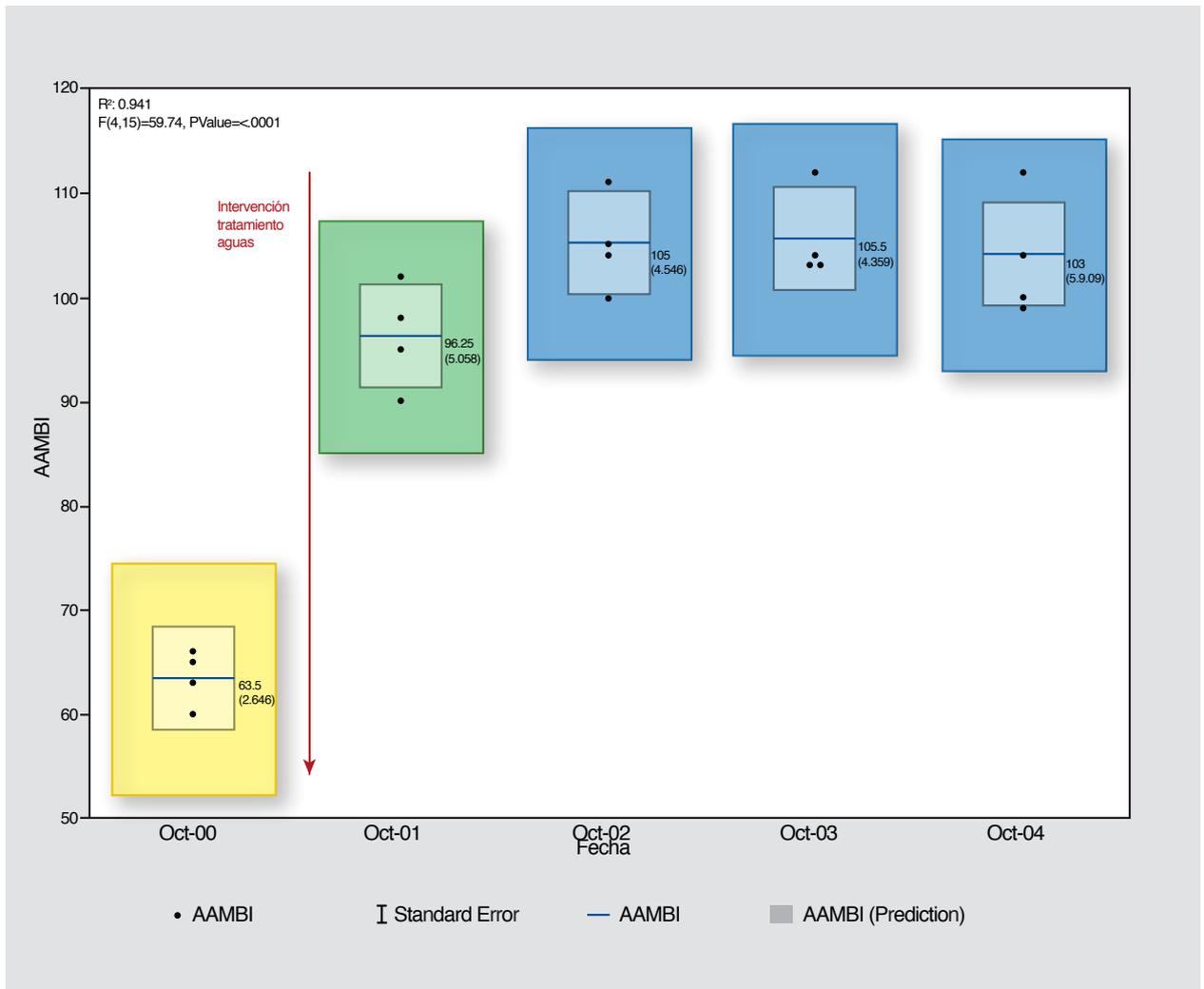


Figura F4. Ejemplo de gráficos de los datos del índice AAMBI de invertebrados del río El Carmen, antes y después de la intervención con la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Los colores de los recuadros están asignados de acuerdo al estado del río sugerido por el índice AAMBI.

vención importante de tratamiento de aguas servidas. Los investigadores ingresaron los datos (Tabla F3) y luego los graficaron para analizar cómo ha cambiado el río después de la intervención (Fig. F4). Las conclusiones principales del monitoreo hasta ese momento son que: i) el estado del río El Carmen en el año 2000 era “Bueno” (según el índice AAMBI), ii) luego de la intervención, su estado pasó a ser “Muy Bueno” en el 2001 y a partir del 2002 pasó a ser “Excelente”.

En este ejemplo hipotético, la gestión de implementar una planta de tratamiento de aguas servidas (PTAR) ayudó a mejorar la integridad ecológica del río, lo cual se refleja en la existencia de más familias de invertebrados relacionados a una mejor calidad del agua.

HOJA DE REGISTRO DE INVERTEBRADOS ACUÁTICOS E ÍNDICE AAMBI

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL RÍO:

Nombre del Sitio: _____ Código del Sitio: _____

Fecha: _____ Hora: _____

Investigadores: _____

No. muestras: _____ Tipo de red utilizada: _____

Clase/Orden	Taxa/Familia	Puntuación	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4	
		AAMBI	No. Ind	AAMBI	No. Ind	AAMBI	No. Ind	AAMBI	No. Ind	AAMBI
Turbellaria		5								
Chromadorea		4								
Gordioidea		1								
Gastropoda	Ampullariidae	4								
	Ancylidae	4								
	Physidae	3								
	Lymnaeidae	3								
	Planorbidae	3								
	Thiaridae	0								
	Cochliopidae	3								
Bivalvia	Sphaeriidae	3								
	Unionidae	4								
Hirudinea		3								
Oligochaeta		2								
Acari		4								
Ostracoda		3								
Amphipoda	Hyalellidae	6								
Decapoda	Atyidae	6								
	Palaemonidae	8								
	Trichodactylidae	6								
	Pseudothelphusidae	8								
Ephemeroptera (E)	Baetidae	4								
	Oligoneuriidae	10								
	Leptophlebiidae	10								
	Euthyplociidae	9								
	Ephemeridae	6								
	Polymitarcyidae	8								
	Caenidae	3								
	Leptohyphidae	7								

Clase/Orden	Taxa/Familia	Puntuación	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4	
		AAMBI	No. Ind	AAMBI	No. Ind	AAMBI	No. Ind	AAMBI	No. Ind	AAMBI
Odonata	Aeshnidae	6								
	Gomphidae	8								
	Libellulidae	6								
	Calopterygidae	8								
	Polythoridae	10								
	Megapodagrionidae	6								
	Coenagrionidae	6								
Plecoptera (P)	Perlidae	10								
	Gripopterygidae	10								
Blattodea	Blaberidae	4								
Hemiptera	Pleidae	8								
	Gerridae	5								
	Veliidae	5								
	Mesoveliidae	5								
	Hydrometridae	4								
	Corixidae	5								
	Notonectidae	5								
	Naucoridae	5								
	Belostomatidae	4								
	Nepidae	5								
	Gelastocoridae	5								
Megaloptera	Corydalidae	9								
Coleoptera	Gyrinidae	3								
	Noteridae	4								
	Dytiscidae	3								
	Scirtidae	5								
	Ptilodactylidae	5								
	Psephenidae	5								
	Elmidae	5								
	Lampyridae	5								
	Hydrophilidae	3								
	Staphylinidae	3								
Trichoptera (T)	Philopotamidae	8								
	Xiphocentronidae	8								
	Polycentropididae	8								
	Hydropsychidae	5								

Clase/Orden	Taxa/Familia	Puntuación	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4	
		AAMBI	No. Ind	AAMBI	No. Ind	AAMBI	No. Ind	AAMBI	No. Ind	AAMBI
Trichoptera (T)	Hydrobiosidae	8								
	Glossosomatidae	7								
	Hydroptilidae	6								
	Limnephilidae	7								
	Atriplectididae	10								
	Odontoceridae	10								
	Calamoceratidae	10								
	Leptoceridae	8								
	Anomalopsychidae	10								
	Helicopsychidae	10								
Lepidoptera	Crambidae	4								
Diptera	Tipulidae	5								
	Limoniidae	4								
	Blephariceridae	10								
	Psychodidae	3								
	Chironomidae	2								
	Ceratopogonidae	4								
	Simuliidae	5								
	Dixidae	4								
	Culicidae	2								
	Athericidae	10								
	Tabanidae	4								
	Dolichopodidae	4								
	Empididae	4								
	Syrphidae	1								
	Muscidae	2								
Stratiomyidae	4									

CALCULO FINAL

Total AAMBI muestra										
Total No. Familias muestra (S)										
Total No. Individuos muestra (N)										
ASPT= AAMBI/No. Familias										
Total No. Familias EPT*										
% EPT= No. Fam.EPT/No. Fam										
* E (Ephemeroptera), P (Plecoptera) y T (Trichoptera)										

Protocolo G

Coliformes: estimación de *Escherichia Coli* y Coliformes Totales

Escherichia coli es una bacteria anaeróbica facultativa y patógena que forma parte de los coliformes y se encuentra en el intestino grueso de muchos animales. Los coliformes totales incluyen a *E. coli* y a otros coliformes patógenos y peligrosos para la salud humana. La presencia de *E. coli* y coliformes totales en el agua se asocia a contaminación por heces de seres humanos y de animales como ganado, osos, venados, peces y otros. Estas bacterias son perjudiciales para la salud humana y su concentración es un buen indicador de la calidad del agua.

Los métodos para medir *E. coli* y coliformes totales generalmente implican el cultivo de una muestra de agua en un medio con polisacáridos para el conteo de colonias de bacterias (Fig. G1). Para este Manual, recomendamos el análisis con placas de 3M™ Petrifilm™ para Recuento Rápido de *E. coli*/Coliformes. Sin embargo, el investigador o técnico puede implementar este análisis con otros métodos o también puede enviar su muestra de agua a un laboratorio especializado. Lo importante es que la recolección de la muestra en el campo sea apropiada, evitando posibles fuentes de contaminación en las muestras. A continuación, se presentan las consideraciones para tomar estas muestras:

- El punto donde se van a coleccionar las muestras debe ser un sitio donde el agua está corriendo y no se encuentre estancada.
- Los participantes en la toma de muestras no pueden caminar, o alterar las condiciones del río aguas arriba.
- La persona que toma las muestras debe tener las manos limpias previamente desinfectadas con alcohol y usar guantes de látex o nitrilo también desinfectados.
- Para cada sitio tener listos tres recipientes como los que se utilizan para coleccionar mues-

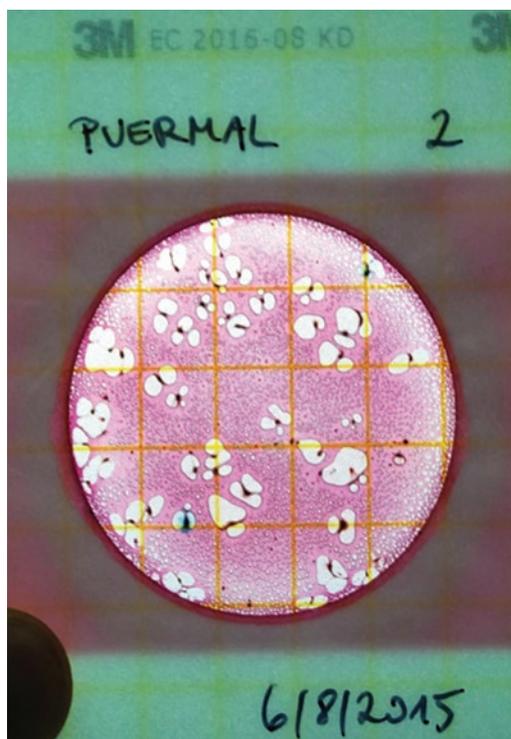


Figura G1. Petrifilm con colonias de *E. coli*. Foto: J. Schrekinge.

tras clínicas de orina (deben estar completamente estériles).

- Abrir un recipiente y llenarlo al ras con agua del río. Tapar el recipiente y repetir el proceso para los otros tres recipientes.
- Asegurar en lo posible que no exista ninguna contaminación externa.
- Almacenar las muestras en una hielera con paquetes de hielo hasta llevarlas al laboratorio. En el laboratorio almacenarlas en una refrigeradora.
- Implementar el procedimiento con Placa 3M™ Petrifilm™ para Recuento Rápido de *E. coli*/Coliformes¹ (o llevar las muestras al laboratorio especializado) máximo hasta 24 horas después de su colección.

¹ Ver página web: <https://multimedia.3m.com/mws/media/4449500/3m-petrifilm-e-coli-coliform-count-plate-interpretation-guide-spanish.pdf>

- Para el conteo de colonias, por favor revise en detalle el protocolo de uso¹ y registre el número de colonias rojas y azules 24 y 48 horas después de la incubación.

- Este protocolo no tiene Hoja de registro, puede registrar sus resultados en cualquier cuaderno de laboratorio.

- Recomendamos que esta medición se realice por lo menos dos veces al año, en época seca y en lluviosa, pero si se hace esfuerzos por reducir la entrada de coliformes fecales en los ríos, se puede hacer estos muestreos más frecuentemente (cada 4 meses) para evaluar si las medidas de gestión están funcionando.

Protocolo H

Índice de Hábitat Fluvial (IHF)

El Índice de Hábitat Fluvial (Pardo *et al.*, 2002) es un índice que evalúa los aspectos físicos del cauce del río como la hidrología, heterogeneidad de hábitats y sustratos, la frecuencia de rápidos y pozas, y el grado de enterramiento del sustrato. Aquí presentamos una adaptación de este índice para zonas Andinas (>3200 m) (IHF- And), de cordillera (3200 – 600 m) (IHF- Cord) y Llanuras Amazónicas (IHF- Am), tomando en cuenta la variabilidad geomorfológica de riachuelos que se forman en los Andes y bajan a la Llanura Amazónica.

El IHF es una herramienta de evaluación visual, sencilla y rápida de los aspectos críticos que definen la calidad de hábitat físico del río. El índice ha sido ampliamente utilizado ya que, a pesar de tener parámetros de evaluación visual, ha demostrado ser robusto porque se relaciona con mediciones de parámetros físicos del río y con otros aspectos ecológicos del ecosistema (Pardo *et al.* 2002).

Para evaluar el IHF, utilizaremos: i) la **Hoja de Registro del Índice de Hábitat Fluvial Andino (IHF-And)** (>3200 m), ii) la **Hoja de Registro del Índice de Hábitat Fluvial de cordillera (IHF-Cord)** (500 – 3100 m), iii) la Hoja de Registro del Índice de **Hábitat Fluvial Amazónico (IHF-Am)** (<500 m).

Cada IHF (And, Cord y Am) consta de siete bloques o apartados en los que se valora de manera independiente la presencia de distin-

tos componentes en el cauce fluvial. La puntuación final del índice es el resultado de la suma de la puntuación obtenida en cada uno de los bloques y nunca puede ser mayor que 100. El valor de 100 indica excelente hábitat fluvial y el valor de 1 significa pésima calidad de hábitat fluvial.

Es ideal que las calificaciones de IHF sean siempre realizadas por la misma persona o equipo de personas para evitar sesgos o apreciaciones distintas de las condiciones del río. Tomar en cuenta las siguientes consideraciones para evaluar cada uno de los índices:

IHF-And y Cord

- Seleccionar un tramo de 100 metros de río para ser evaluado.

- Es mejor evaluar el tramo del río en períodos menos lluviosos de manera que se puedan ver las características del cauce. No evaluar el hábitat inmediatamente después de una crecida.

- Ambos índices tienen los mismos apartados, pero los valores de cada apartado cambian de acuerdo a la región analizada.

- Apartado 1. Inclusión: se refiere el grado en que los componentes del sustrato están enterrados en el lecho del río. En zonas expuestas a mucha erosión, los sedimentos finos tienden a acumularse en las partes más lentas

del río, enterrando las rocas y fijándolas en el lecho del canal.

- Apartado 2. Frecuencia de rápidos: contabiliza la relación entre rápidos y pozas del río, como una manera de evaluar la heterogeneidad de hábitat.

- Apartado 3. Composición de sustrato: cuantifica el porcentaje de sustrato en diferentes rangos de tamaño.

- Apartado 4. Regímenes de velocidad/profundidad: evalúa la heterogeneidad de hábitat. Si el río presenta las cuatro categorías: lento-profundo, lento-superficial, rápido-profundo, rápido superficial, se supone que su canal está en excelente estado.

- Apartado 5. Porcentaje de sombra en el cauce: evalúa la calidad y cobertura de la vegetación de ribera.

- Apartado 6. Elementos de heterogeneidad: evalúa si el río tiene varios tipos de sustrato y de material natural adicional (por ejemplo, troncos) que promueven la diversidad de hábitats y heterogeneidad en el cauce.

- Apartado 7. Cobertura de vegetación acuática: analiza los tipos de vegetación acuática y su porcentaje de cobertura.

- Frecuencia de monitoreo: Se recomienda una frecuencia anual, si no hay cambios.

IHF-Am:

- Seleccionar un tramo de 500 metros de río para ser evaluado.

- Es mejor evaluar el tramo del río en períodos menos lluviosos de manera que se puedan ver las características del cauce. No evaluar el hábitat inmediatamente después de una crecida.

- Apartado 1. Relación río – orilla - bosque: se refiere a la profundidad del canal fluvial, a la variación extrema del nivel del río y a la relación con la inundación de la orilla y el bosque circundante. Cuando no hay modificación del canal, deberíamos esperar una conexión excelente entre el río principal y el riachuelo analizado y, por tanto, en épocas de lluvia, habrá inundaciones de la orilla o

incluso del bosque circundante (zonas de inundación). Se puede evidenciar inundación por la acumulación de sedimento en la orilla o incluso en los árboles.

- Apartado 2. Frecuencia de meandros: contabiliza las curvas naturales del río. Riachuelos en buen estado tienen muchos meandros y esto permite la formación de pozas y zonas más lentas. También habrá zonas con mayor velocidad, pero casi nunca la formación de rápidos (o aguas blancas), porque los ríos de llanura amazónica tienen ausencia de piedras y los lechos son arcillosos y más profundos.

- Apartado 3. Composición de sustrato: cuantifica la presencia de diferentes tipos de sustrato (rangos de tamaño). En general, los ríos amazónicos son arcillosos, limosos o arenosos, y rara vez tienen más de un sustrato que aumenta la heterogeneidad del lecho del río.

- Apartado 4. Regímenes de velocidad-profundidad: evalúa la heterogeneidad de hábitat. Si el río presenta las cuatro categorías: lento-profundo, lento-superficial, mayor velocidad-profundo, mayor velocidad - superficial, esto sugiere que el canal está en excelente estado. Como mencionamos arriba, los ríos de la llanura amazónica tienen zonas más o menos veloces, pero no rápidos propiamente dichos.

- Apartado 5. Porcentaje de sombra en el cauce: evalúa la calidad y cobertura de la vegetación de ribera.

- Apartado 6. Elementos de heterogeneidad: evalúa si el río tiene varios tipos de sustrato y de material natural adicional (por ejemplo, troncos, raíces, ramas) que promueven la diversidad de hábitats y heterogeneidad en el cauce.

- Apartado 7. Cobertura de vegetación acuática: analiza los tipos de vegetación acuática y su porcentaje de cobertura. Debido a que en la llanura amazónica hay muchas aguas blancas (Capítulo 1), la cantidad de sedimento en suspensión generalmente es alta, lo que inhibe el crecimiento de algas.

- Frecuencia de monitoreo: Se recomienda una frecuencia anual, si no hay cambios importantes en el río o alrededores.

HOJA DE REGISTRO ÍNDICE DE HABITAT FLUVIAL ANDINO (IHF-And) (riachuelos >3200 m)

1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL RÍO:

Nombre del Sitio: _____ Código del Sitio: _____

Fecha: _____ Hora: _____

Investigadores: _____

2. IHF-And:

APARTADOS		CRITERIO		PUNTUACIÓN		
Apartado 1.		Inclusión de rápidos-sedimentación pozas		Máxima	Río	
	Rápidos	Inclusión 0 a 30%: Piedras, cantos y gravas no fijadas por sedimentos finos		5		
		Inclusión 30 a 60%: Piedras, cantos y gravas poco fijadas por sedimentos finos		2.5		
		Inclusión >60%: Piedras, cantos y gravas muy fijadas por sedimentos finos		0		
	Pozas	Sedimentación 0 a 40%		5		
		Sedimentación 40 a 70%		2.5		
Sedimentación >70%		0				
Total máximo por apartado				10		
Apartado 2.		Frecuencia de rápidos				
		Alta frecuencia de rápidos		10		
		Mediana frecuencia de rápidos		8		
		Baja frecuencia rápidos		6		
		Muy baja frecuencia de rápidos		4		
		Solo pozas		2		
Total máximo por apartado				10		
Apartado 3.		Composición de sustrato				
	% Bloques y piedras	1-5%		2		
		Mayor al 5%		5		
	% Canto y grava	1-10%		2		
		Mayor al 10%		5		
	% Arena	1-10%		2		
		Mayor al 10%		5		
	% Limo y arcilla	1-10%		2		
		Mayor al 10%		5		
	Total máximo por apartado				20	
	Apartado 4.		Regímenes de velocidad-profundidad (superficial menor a 0.8m y lento menor a 0.3m/s)			
	4 categorías de habitat: lento-profundo, lento-superficial, rápido-profundo, rápido-superficial		10			
	3 de 4 categorías de habitat		8			
	2 de 4 categorías de habitat		6			
	1 de 4 categorías de habitat		4			
	Total máximo por apartado				10	
Apartado 5.		Porcentaje de sombra en el cauce				
	Sombreado con ventanas		10			
	Totalmente en sombra		10			
	Grandes claros		6			
	Expuesto		3			
	Total máximo por apartado				10	
Apartado 6.		Elementos de Heterogeneidad				
	Hojarasca	Mayor a 10% ó Menor a 75%		4		
		Menor a 10% ó Mayor a 75%		2		
	Presencia de troncos y ramas		2			
	Raíces expuestas		2			
	Diques naturales		2			
	Total máximo por apartado				10	
	Apartado 7.		Cobertura de vegetación acuática			
	Algas filamentosas flotantes	Entre 0 y 30%		5		
		Entre 30 y 50%		2		
		Mayor que 50%		0		
	Perifiton (algas y otros microorganismos adheridos a la roca)	Entre 10 y 50%		10		
		Menor que 10 ó mayor que 50%		5		
	Musgos y líquenes en las rocas	Entre 0 a 30%		10		
		Entre 30 a 50%		5		
		Mayor 50%		0		
	Otras plantas acuáticas en el borde del río	Entre 10 y 50%		5		
		Menor que 10 ó mayor que 50%		2		
	Total máximo por apartado				30	
	Suma total				100	

HOJA DE REGISTRO ÍNDICE DE HABITAT FLUVIAL DE CORDILLERA (IHF-Cord)

(riachuelos 500 - 3200 m)

1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL RÍO:

Nombre del Sitio: _____ Código del Sitio: _____

Fecha: _____ Hora: _____

Investigadores: _____

2. IHF-Cord:

APARTADOS		CRITERIO		PUNTUACIÓN	
Apartado 1.	Inclusión de rápidos-sedimentación pozas			Máxima	Río
Rápidos	Inclusión 0 a 30%: Piedras, cantos y gravas no fijadas por sedimentos finos		5		
	Inclusión 30 a 60%: Piedras, cantos y gravas poco fijadas por sedimentos finos		2.5		
Pozas	Inclusión >60%: Piedras, cantos y gravas muy fijadas por sedimentos finos		0		
	Sedimentación 0 a 30%		5		
	Sedimentación 30 a 60%		2.5		
			0		
Total máximo por apartado			10		
Apartado 2.	Frecuencia de rápidos				
	Alta frecuencia de rápidos		10		
	Mediana frecuencia de rápidos		8		
	Baja frecuencia rápidos		6		
	Muy baja frecuencia de rápidos		4		
	Solo pozas		2		
Total máximo por apartado			10		
Apartado 3.	Composición de sustrato				
% Bloques y piedras	1-20%		2		
	Mayor al 20%		5		
% Canto y grava	1-30%		2		
	Mayor al 30%		5		
% Arena	1-10%		2		
	Mayor al 10%		5		
% Limo y arcilla	1-10%		2		
	Mayor al 10%		5		
Total máximo por apartado			20		
Apartado 4.	Regímenes de velocidad-profundidad (superficial menor a 0.5m y lento menor a 0.5m/s)				
	4 categorías de habitat: lento-profundo, lento-superficial, rápido-profundo, rápido-superficial		10		
	3 de 4 categorías de habitat		8		
	2 de 4 categorías de habitat		6		
	1 de 4 categorías de habitat		4		
Total máximo por apartado			10		
Apartado 5.	Porcentaje de sombra en el cauce				
	Sombreado con ventanas		10		
	Totalmente en sombra		7		
	Grandes claros		5		
	Expuesto		2		
Total máximo por apartado			10		
Apartado 6.	Elementos de Heterogeneidad				
Hojarasca	Mayor a 10% ó Menor a 75%		4		
	Menor a 10% ó Mayor a 75%		2		
Presencia de troncos y ramas		2			
Raíces expuestas		2			
Diques naturales		2			
Total máximo por apartado			10		
Apartado 7.	Cobertura de vegetación acuática				
Algas filamentosas flotantes	Entre 0 y 20%		5		
	Entre 20 y 40%		2		
	Mayor que 40%		0		
Perifiton (algas y otros microorganismos adheridos a la roca)	Entre 0 y 20%		10		
	Mayor que 20%		5		
Musgos y líquenes en las rocas	Entre 0 a 20%		10		
	Entre 20 a 50%		5		
	Mayor 50%		0		
Helechos y otras plantas acuáticas en el borde del río	Entre 0 y 50%		5		
	Mayor que 50%		2		
Total máximo por apartado			30		
Suma total			100		

HOJA DE REGISTRO ÍNDICE DE HABITAT FLUVIAL AMAZÓNICO (IHF-Am)

(riachuelos <500 m)

1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL RÍO:

Nombre del Sitio: _____ Código del Sitio: _____

Fecha: _____ Hora: _____

Investigadores: _____

2. IHF-Am:

APARTADOS		CRITERIO		PUNTUACIÓN	
Apartado 1.	Relación río – orilla - bosque			Máxima	Río
		Canal profundo con evidencia de inundación en las orillas, el bosque y el río principal	10		
		Canal superficial con menor evidencia de inundación de las orillas y al bosque	5		
		Canal superficial con poca evidencia de inundación de las orillas	2.5		
		Canal superficial sin inundación	0		
		Total máximo por apartado	10		
Apartado 2.	Frecuencia de meandros (curvas del río)				
		Alta frecuencia de meandros	10		
		Mediana frecuencia de meandros	8		
		Baja frecuencia meandros	6		
		Muy baja frecuencia de meandros	4		
		Solo canal recto	2		
		Total máximo por apartado	10		
Apartado 3.	Composición de sustrato				
		2 categorías de sustrato: limo (arcilla) y cualquiera de las otras (arena, grava, canto, piedras y bloques)	10		
		Solo limo o arcilla (o solo arena)	8		
		Total máximo por apartado	10		
Apartado 4.	Regímenes de velocidad-profundidad (superficial menor a 1 m y lento menor a 0.2 m/s)				
		4 categorías de habitat: lento-profundo, lento-superficial, mayor velocidad-profundo, mayor velocidad-superficial	10		
		3 de 4 categorías de habitat	8		
		2 de 4 categorías de habitat	6		
		1 de 4 categorías de habitat	4		
		Total máximo por apartado	10		
Apartado 5.	Porcentaje de sombra en el cauce				
		Sombreado con ventanas	20		
		Totalmente en sombra	16		
		Grandes claros	8		
		Expuesto	2		
		Total máximo por apartado	20		
Apartado 6.	Elementos de Heterogeneidad				
	Hojarasca	Mayor a 10% ó Menor a 90%	5		
		Menor a 10% ó Mayor a 90%	2		
	Presencia de troncos y ramas	Mayor a 10% ó Menor a 90%	5		
		Menor a 10% ó Mayor a 90%	2		
	Raíces expuestas	Mayor a 10% ó Menor a 90%	5		
		Menor a 10% ó Mayor a 90%	2		
	Diques naturales	Muchos	5		
		Pocos	2		
		Total máximo por apartado	20		
Apartado 7.	Cobertura de vegetación acuática				
	Algas filamentosas flotantes	Entre 0 y 10%	5		
		Mayor que 10%	1		
	Perifiton (algas y otros microorganismos adheridos a la roca)	Entre 0 y 10%	5		
		Mayor que 10%	1		
	Musgos y líquenes en las rocas	Entre 0 a 10%	5		
		Mayor a 10%	1		
	Helechos y otras plantas acuáticas en el borde del río	Entre 0 y 10%	1		
		Mayor a 10 %	5		
		Total máximo por apartado	20		
		Suma total	100		

Protocolo I

Índice de la calidad de la vegetación de ribera (QBR)

El QBR desarrollado por Suárez *et al.* (2002) es un índice cualitativo que evalúa el estado de la vegetación de la ribera y permite monitorear posibles modificaciones del canal, de la vegetación, e introducción de especies, entre otros. Para este Manual modificamos y adaptamos el índice para vegetación altoandina (QBR-And), de bosque montano (QBR-Mon) y para zonas de pie de monte y llanura amazónica (QBR-Am).

El QBR es importante porque provee una calificación rápida del estado de la vegetación de ribera, basada en indicadores obvios y fáciles de medir sin necesidad de utilizar instrumentos ni hacer análisis posteriores. Para evaluar la vegetación de ribera a lo largo del gradiente altitudinal Andino-Amazónico utilizaremos la i) la **Hoja de Registro del QBR Andino (QBR-And)** (>3200), ii) la **Hoja de Registro de Bosque Montano (QBR - Mon)** (500- 3200 m), iii) la **Hoja de Registro del QBR de Llanura Amazónica (QBR-Am)** (< 500 m).

Cada QBR (And, Mon, Am) consta de siete apartados en los que se valora de manera independiente la presencia de distintos componentes de la vegetación de ribera. La puntuación final del índice es el resultado de la suma de la puntuación obtenida en cada uno de los apartados y nunca puede ser mayor que 100. El valor de 100 indica excelente calidad de la ribera y 0 pésima calidad de la ribera. Si es posible, se debe intentar que las calificaciones de QBR sean realizadas siempre por la misma persona o grupo de personas, para evitar sesgos o apreciaciones distintas de las condiciones de la ribera del río.

Utilice el formulario correspondiente según la región donde se encuentra su río y tome en cuenta las siguientes consideraciones para evaluar estos índices:

- Todos los índices tienen los mismos apartados, pero los valores de cada apartado cambian de acuerdo a la región analizada.

- Seleccione un tramo longitudinal de 100 metros de río para ser evaluado para el QBR-And y el QBR-Mon, y de 500 metros para el QBR-Am.

- Evalúe la ribera del río que, para este ejercicio, definimos como la franja de 10 metros de ancho desde el borde del río hacia el interior del ecosistema terrestre, tanto en la zona alta del páramo, como en la zona de bosque montano; y de 20 metros para la zona de llanura amazónica

- También evaluaremos la zona de recarga que será la franja de 30 metros desde el borde del río en el caso de la zona andina, de 50 metros desde el borde del río, en el caso del bosque montano, y de 100 metros para los ríos de la llanura amazónica.

- Apartado 1. Se refiere al grado de cobertura de la ribera (qué porcentaje de la ribera está cubierto por vegetación).

- Apartado 2. Se refiere al porcentaje de cobertura de vegetación de la zona de recarga.

- Apartado 3. La estructura de la ribera se refiere a la composición de diferentes tipos de vegetación característica de esta zona (e.g. arbustos vs árboles vs pajonal)

- Apartado 4. La estructura de la zona de recarga se refiere a la cobertura de diferentes tipos de vegetación en esta zona (e.g. arbustos vs árboles vs pajonal).

- Apartado 5. Se refiere al porcentaje de especies vegetales exóticas introducidas en este ecosistema.

- Apartado 6. Se refiere al grado de naturalidad del canal fluvial y si las orillas y el canal mismo ha sido modificado con infraestructura de algún tipo.

- Apartado 7. Se refiere a modificaciones del canal fluvial o de las orillas de los ríos, pero hasta un kilómetro río arriba de la sección evaluada.

HOJA DE REGISTRO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE RIBERA ANDINA

(QBR-And*) (>3200 m)

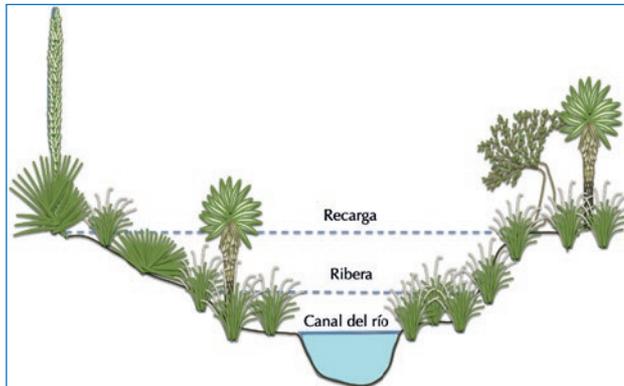
1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL RÍO:

Nombre del Sitio: _____ Código del Sitio: _____

Fecha: _____ Hora: _____

Investigadores: _____

2. QBR-And:



Para evaluar índice QBR-And tomamos los primeros 10 metros al lado derecho y lado izquierdo para evaluación de la ribera, y luego 30 metros más a cada lado como la zona de recarga.

APARTADOS	CRITERIO	PUNTUACIÓN	
		Máxima	Río
Apartado 1	Grado de cubierta de la zona de ribera (0-10m)		
	Más de 80% de cubierta vegetal en la zona de ribera	20	
	De 50 al 80% de cubierta vegetal en la zona de ribera	15	
	De 10 al 50% de cubierta vegetal en la zona de ribera	10	
	Menos de 10% de cubierta vegetal en la zona de ribera	5	
	Total máximo por apartado	20	
Apartado 2	Grado de cubierta de la zona de recarga (10-30m)		
	Más de 80% de cubierta vegetal en la zona de recarga	10	
	De 50 al 80% de cubierta vegetal en la zona de recarga	5	
	De 10 al 50% de cubierta vegetal en la zona de recarga	2.5	
	Menos de 10% de cubierta vegetal en la zona de recarga	1	
	Total máximo por apartado	10	
Apartado 3	Estructura de la cubierta de la zona de ribera (0-10m)		
	Cobertura de arbustos superior al 20% y pajonales altos de al menos el 70%	20	
	Cobertura de árboles mayor al 60%	20	
	Cobertura pajonales del 60-80% y arbustos y árboles inferior al 10%	15	
	Cobertura pajonales 40-60% y no arbustos	10	
	Cobertura pajonales menor al 40% y el resto alfombras de pastos bajos	5	
	Solo alfombras de pastos bajos y almohadillas	2	
Solo suelo descubierto	0		
	Total máximo por apartado	20	
Apartado 4	Estructura de la cubierta de la zona de recarga (0-10m)		
	Cobertura de arbustos superior al 20% y pajonales altos de al menos el 70%	10	
	Cobertura de árboles mayor al 60%	10	
	Cobertura pajonales del 60-80% y arbustos y árboles inferior al 10%	8	
	Cobertura pajonales 40-60% y no arbustos	5	
	Cobertura pajonales menor al 40% y el resto alfombras de pastos bajos	2	
	Solo alfombras de pastos bajos y almohadillas	1	
Solo suelo descubierto	0		
	Total máximo por apartado	10	
Apartado 5	Presencia de especies de árboles exóticos introducidas		
	Ausencia de especies exóticas (Eucaliptos, pinos y otras)	20	
	Mayor al 10% de especies exóticas (Eucaliptos, pinos y otras)	15	
	Mayor al 10-50% de especies exóticas (Eucaliptos, pinos y otras)	10	
	Más del 50% de especies exóticas (Eucaliptos, pinos y otras)	5	
	Total máximo por apartado	20	
Apartado 6	Grado de naturalidad del canal fluvial		
	El canal del río no ha sido modificado	10	
	Modificaciones de las terrazas (y orillas) adyacentes al lecho del río con reducción del canal	8	
	Signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el canal del río	5	
	Río canalizado en la totalidad del tramo	1	
	Total máximo por apartado	10	
Apartado 7	Modificaciones del canal río arriba (hasta 1 km río arriba)		
	No existen modificaciones o construcción del canal del río o en la zona de la orilla	10	
	Modificaciones de terrazas por construcción en las orillas	8	
	Puente de camino vecinal o carretera	5	
	Represa, dique de construcción o bocatomas del río	1	
	Total máximo por apartado	10	
	SUMA TOTAL	100	

* Modificado de Suárez et al. 2002.

HOJA DE REGISTRO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE RIBERA DEL BOSQUE MONTANO (QBR-Mon*) (500 – 3200 m)

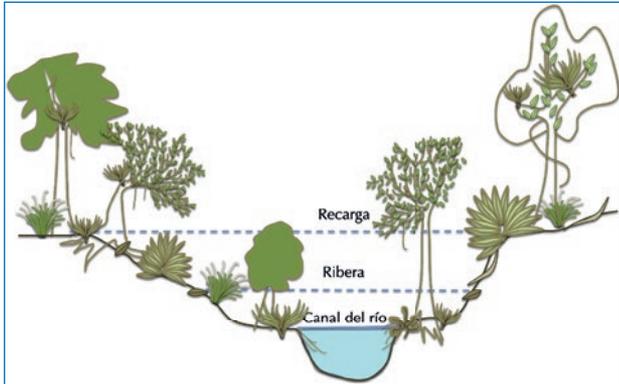
1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL RÍO:

Nombre del Sitio: _____ Código del Sitio: _____

Fecha: _____ Hora: _____

Investigadores: _____

2. QBR-Bosque Montano:



Para evaluar índice QBR-Bosque Montano Alto tomamos los primeros 10 metros al lado derecho y lado izquierdo para evaluación de la ribera, y luego 50 metros más a cada lado de la zona de recarga.

APARTADOS	CRITERIO	PUNTUACIÓN	
		Máxima	Río
Apartado 1	Nivel de cubierta de la zona de ribera (0-10m)		
	Más de 80% de cubierta vegetal en la zona de ribera	20	
	De 50 al 80% de cubierta vegetal en la zona de ribera	15	
	De 10 al 50% de cubierta vegetal en la zona de ribera	10	
	Menos de 10% de cubierta vegetal en la zona de ribera	5	
	Total máximo por apartado	20	
Apartado 2	Nivel de cubierta de la zona de recarga (10-50m)		
	Más de 80% de cubierta vegetal en la zona de recarga	10	
	De 50 al 80% de cubierta vegetal en la zona de recarga	5	
	De 10 al 50% de cubierta vegetal en la zona de recarga	2.5	
	Menos de 10% de cubierta vegetal en la zona de recarga	1	
	Total máximo por apartado	20	
Apartado 3	Estructura de la cubierta de la zona de ribera (0-10m)		
	Cobertura de árboles superior al 60%, arbustos 30% y otra vegetación 10%	20	
	Cobertura de árboles entre el 30-60%, con otra vegetación de bosque secundario	18	
	Cobertura árboles entre 10-30%, con otra vegetación de bosque secundario	15	
	Cobertura de árboles menor al 10%, con otra vegetación de bosque secundario	10	
	Solo arbustos y vegetación secundaria	5	
	Solo hierbas y vegetación rastrera	2	
Solo suelo descubierto	0		
	Total máximo por apartado	20	
Apartado 4	Estructura de la cubierta de la zona de recarga (10-50m)		
	Cobertura de árboles superior al 60%, arbustos 30% y otra vegetación 10%	10	
	Cobertura de árboles entre el 30-60%, con otra vegetación de bosque secundario	10	
	Cobertura árboles entre 10-30%, con otra vegetación de bosque secundario	8	
	Cobertura de árboles menor al 10%, con otra vegetación de bosque secundario	5	
	Solo arbustos y vegetación secundaria	2	
	Solo hierbas y vegetación rastrera	1	
Solo suelo descubierto	0		
	Total máximo por apartado	10	
Apartado 5	Presencia de especies de árboles exóticos introducidas en zona de ribera y de recarga		
	Ausencia de especies exóticas (Eucaliptos, pinos, bambú asiático y otra vegetación)	20	
	Mayor al 10% de especies exóticas (Eucaliptos, pinos, bambú asiático y otra vegetación)	15	
	Mayor al 10-50% de especies exóticas (Eucaliptos, pinos, bambú asiático y otra vegetación)	10	
	Más del 50% de especies exóticas (Eucaliptos, pinos, bambú asiático y otra vegetación)	5	
	Total máximo por apartado	20	
Apartado 6	Grado de naturalidad del canal fluvial		
	El canal del río no ha sido modificado	10	
	Modificaciones de las terrazas (y orillas) adyacentes al lecho del río con reducción del canal	8	
	Signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el canal del río	5	
	Río canalizado en la totalidad del tramo	1	
	Total máximo por apartado	10	
Apartado 7	Modificaciones del canal río arriba (hasta 1 km río arriba)		
	No existen modificaciones o construcción del canal del río o en la zona de la orilla	10	
	Modificaciones de terrazas por construcción en las orillas	8	
	Puente de camino vecinal o carretera	5	
	Represa, dique de construcción o bocatoma del río	1	
	Total máximo por apartado	10	
	SUMA TOTAL	100	

* Modificado de Suarez et al. 2002.

HOJA DE REGISTRO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE RIBERA DE LA LLANURA AMAZÓNICA (QBR-Am*) (>3200 m)

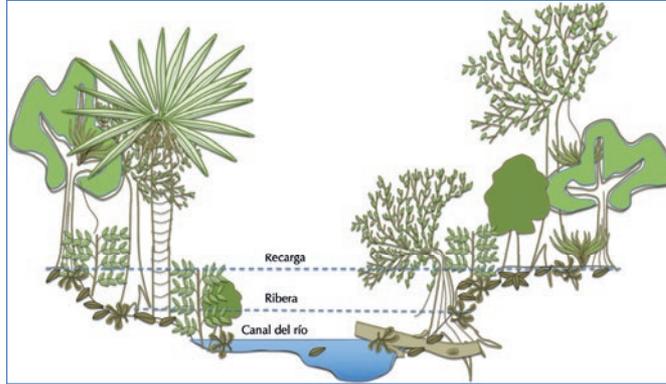
1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL RÍO:

Nombre del Sitio: _____ Código del Sitio: _____

Fecha: _____ Hora: _____

Investigadores: _____

2. QBR-Bosque Montano:



Para evaluar índice QBR-Am tomamos los primeros 10 metros al lado derecho y lado izquierdo para evaluación de la ribera, y luego 100 metros más a cada lado de la zona de recarga.

APARTADOS	CRITERIO	PUNTUACIÓN	
		Máxima	Río
Apartado 1	Nivel de cubierta de la zona de ribera (0-20m)		
	Más de 80% de cubierta vegetal en la zona de ribera	20	
	De 50 al 80% de cubierta vegetal en la zona de ribera	15	
	De 10 al 50% de cubierta vegetal en la zona de ribera	10	
	Menos de 10% de cubierta vegetal en la zona de ribera	5	
	Total máximo por bloque	20	
Apartado 2	Nivel de cubierta de la zona de recarga (20-100m)		
	Más de 80% de cubierta vegetal en la zona de recarga	10	
	De 50 al 80% de cubierta vegetal en la zona de recarga	5	
	De 10 al 50% de cubierta vegetal en la zona de recarga	2.5	
	Menos de 10% de cubierta vegetal en la zona de recarga	1	
	Total máximo por bloque	20	
Apartado 3	Estructura de la cubierta de la zona de ribera (0-10m)		
	Cobertura de árboles superior al 70%, arbustos 20% y otra vegetación 10%	20	
	Cobertura de árboles entre el 30-60%, con otra vegetación de bosque secundario	18	
	Cobertura árboles entre 10-30% , con otra vegetación de bosque secundario	15	
	Cobertura de árboles menor al 10%, con otra vegetación de bosque secundario	10	
	Solo arbustos y vegetación secundaria	5	
	Solo hierbas y vegetación rastrera	2	
Solo suelo descubierto	0		
	Total máximo por bloque	20	
Apartado 4	Estructura de la cubierta de la zona de recarga (10-50m)		
	Cobertura de árboles superior al 70%, arbustos 20% y otra vegetación 10%	10	
	Cobertura de árboles entre el 30-60%, con otra vegetación de bosque secundario	10	
	Cobertura árboles entre 10-30% , con otra vegetación de bosque secundario y monocultivos	8	
	Cobertura de árboles menor al 10%, con otra vegetación de bosque secundario y monocultivos	5	
	Solo arbustos, vegetación secundaria y monocultivos	2	
	Solo hierbas, vegetación rastrera y monocultivos	1	
Solo suelo descubierto	0		
	Total máximo por bloque	10	
Apartado 5	Presencia de especies de árboles exóticos introducidas en zona de ribera y de recarga		
	Ausencia de especies exóticas (Eucaliptos, bambúy otra vegetación)	20	
	Mayor al 10% de especies exóticas (Eucaliptos, pinos y otra vegetación)	15	
	Mayor al 10-50% de especies exóticas (Eucaliptos, pinos y otra vegetación)	10	
	Más del 50% de especies exóticas (Eucaliptos, pinos y otra vegetación)	5	
	Total máximo por bloque	20	
Apartado 6	Grado de naturalidad del canal fluvial		
	El canal del río no ha sido modificado	10	
	Modificaciones de las terrazas (y orillas) adyacentes al lecho del río con reducción del canal	8	
	Signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el canal del río	5	
	Río canalizado en la totalidad del tramo	1	
	Total máximo por apartado	10	
Apartado 7	Modificaciones del canal río arriba (hasta 1 km río arriba)		
	No existen modificaciones o construcción del canal del río o en la zona de la orilla	10	
	Modificaciones de terrazas por construcción en las orillas	8	
	Puente de camino vecinal o carretera	5	
	Represa, dique de construcción o bocatoma del río	1	
	Total máximo por apartado	10	
	SUMA TOTAL	100	

* Modificado de Suarez et al. 2002.



Evaluación de los parámetros para determinar la integridad ecológica del río

Una vez que hemos aplicado los diferentes protocolos, queremos responder varias preguntas. Por ejemplo: ¿Cómo evaluamos integralmente el estado de nuestro río? ¿En qué estado se encuentran la calidad, integridad ecológica y la salud del ecosistema? ¿Están funcionando las intervenciones de gestión y de manejo en el río?

Los datos obtenidos a través de la aplicación de los protocolos son registros de parámetros

ambientales monitoreados en el tiempo y, por lo tanto, pueden ser analizados de varias formas.

Aquí presentamos dos formas básicas para evaluar y analizar estos datos, pero no son las únicas e invitamos a que los usuarios exploren otras formas de comparación y uso de la información que generan estos protocolos.

Evaluación rápida del estado del río utilizando los índices

Para esta evaluación rápida del río, podemos utilizar los puntajes de los tres índices ambientales que ya calculamos (IHF, QBR e IPA), y cruzarlos con el índice de invertebrados AAMBI. Una vez hecho el cruce, podemos hacer una conclusión acerca del estado integral del río. Para realizar esta evaluación, utilizando la tabla adjunta, llene los valores obtenidos del IHF y del QBR (Protocolo H) y del IPA (Protocolo B).

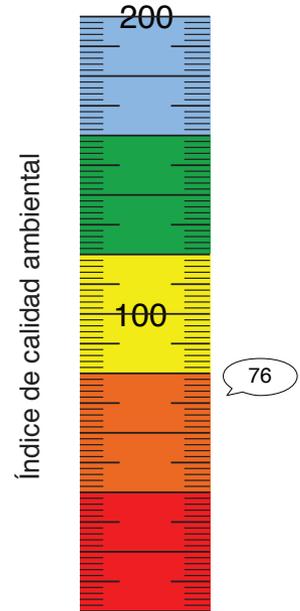
Como posiblemente recuerda, para el IHF y el QBR los valores más cercanos a 100 significan mejor calidad, mientras que para IPA los valores más altos implican un nivel más alto de presiones antropogénicas. Por lo tanto, los valores del IHF y QBR se suman, y del resultado de esa suma se resta el valor de IPA como en el ejemplo abajo. En otras pa-

labras, utilizamos los valores del IHF y QBR para cuantificar la calidad ecológica del río, y luego corregimos esa cuantificación de calidad de acuerdo con el nivel de amenazas presentes en el paisaje, restando el valor del IPA. Luego de hacer esta operación coloque su resultado en la barra de puntaje total de índice de calidad ambiental.

Este puntaje, por sí solo, ya puede utilizarse como un indicador para monitorear la calidad ambiental del río, ya que incluye variables de presiones antropogénicas, de hábitat fluvial y de ribera del río. En el caso de este ejemplo, el valor de 76 implicaría que la calidad ambiental de este río es mala. Sin embargo, si se cuenta con información de invertebrados acuáticos y se ha calculado el índice AAMBI (Protocolo F), entonces se

Índice de calidad ambiental

No.	ÍNDICE	PUNTUACIÓN	Ejemplo
1.	IHF - And	_____ /100	70
2.	QBR - And	_____ /100	60
3.	IPA	_____ / 70	54
Total	IHF+QBR - IPA	_____ /200	76

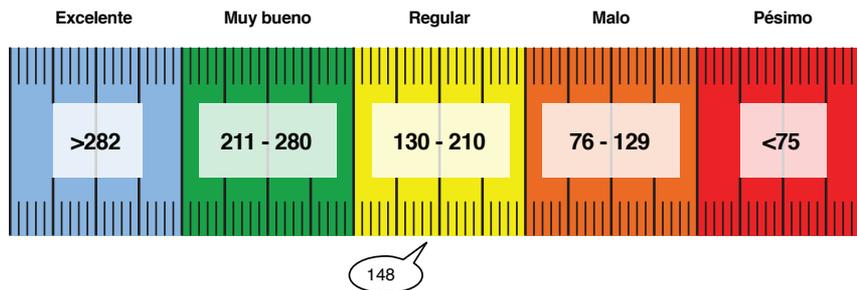


pueden combinar ambas fuentes de información y calcular la integridad ecológica, como se describe a continuación.

Una vez que se ha calculado el índice biológico AAMBI como se indica en el Protocolo F, sumamos el valor del índice de calidad ambiental (arriba) y el valor del índice AAMBI y comparamos el resultado de esa suma con la barra de puntuación correspondiente. En el caso de nuestro ejemplo hipotético:

Índice de calidad ambiental: 76 puntos
 Índice AAMBI: 72 puntos
 Índice de Integridad ecológica: $72 + 76 = 148$

Índice de Integridad ecológica



Por lo tanto, el estado de la integridad ecológica de nuestro río en este caso sería **Regular**. La evaluación evidenció un puntaje bajo tanto en los índices ambientales (que analizan la hidromorfología, la ribera y las amenazas), como en el índice de calidad biológica AAMBI que refleja la diversidad de invertebrados y la tolerancia a la contaminación de las especies encontradas en este río.

Con base en esta evaluación, es evidente que este río no está en buen estado y que posiblemente tenemos que proponer intervenciones de gestión importantes para poder recuperar el ecosistema (ver abajo en diagnóstico integral). A partir de este análisis inicial también se puede buscar más líneas de evidencia con los datos de variables adicionales (ver abajo).

Evaluación a través de comparación con estándares y con estaciones de referencias

Cada una de las variables ambientales medidas en los protocolos puede ser utilizada para desarrollar **líneas de evidencia** para evaluar el ecosistema. Por ejemplo, podemos comparar nuestros datos ambientales con blancos o valores de referencia que por legislación u otras regulaciones ambientales definen como aceptables o como indicadores de contaminación (e.g. Ministerio de Ambiente, TULSMA 2017). Además, un enfoque poderoso es comparar los datos en el tiempo (análisis temporal) y con estaciones de referencia. Las estaciones de referencia pueden ser ríos de la misma región que presentan altos niveles de integridad ecológica y que no han recibido modificaciones graves que alteren sus parámetros ambientales o biológicos (Suárez *et al.*, 2002).

Para poner un ejemplo sencillo, tenemos el caso del mismo río hipotético (del ejemplo de arriba) que sospechamos que tiene contaminación orgánica de lixiviados de basura. Nuestro diseño incluye monitorear (cada dos meses) el río de interés y un río de referencia que está en la misma zona geográfica, pero que no recibe lixiviados de basura. Para ambos ríos aplicamos algunos protocolos inclu-

yendo el protocolo C que evalúa parámetros químicos del río. Según estas mediciones sacamos varios valores de pH (potencial de hidrógeno) (Tabla 1).

Utilizamos los datos de pH para construir un diagrama de barras donde se graficaron los promedios y sus errores estándar (Fig. 4). Podemos observar que en el río de interés el valor de pH fue ácido y los valores oscilaron entre 3.6 y 4.5 en todas las fechas, lo cual es considerado demasiado bajo para aguas superficiales de esta región (Ministerio de Ambiente, TULSMA 2017). Mientras tanto, el río de referencia, que está en la misma región geográfica, siempre tuvo valores de pH alrededor de 7, que está dentro de los criterios de calidad establecidos en la legislación nacional. A través de este monitoreo podemos concluir que las aguas del río de interés tienen un pH más ácido de lo que debería tener un río de esta región geográfica. Por lo tanto, nuestra recomendación general para los gestores es que se debe hacer una intervención para mejorar el manejo de la basura, de manera que los lixiviados no entren directamente al río y permitir la recuperación de sus parámetros ambientales. Por

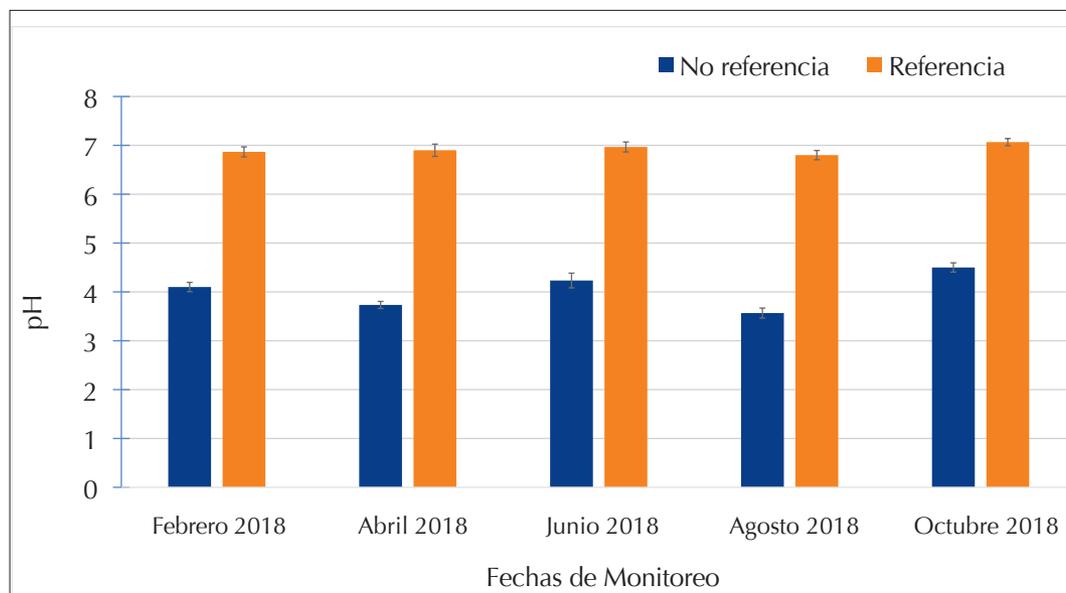


Figura 4. Promedios de valores de pH del río de interés (no referencia) y del río de referencia, en 5 meses diferentes en el año 2018.

simplicidad, para este ejemplo solo utilizamos un parámetro químico, pero se pueden comparar muchas otras variables de manera similar. Además, para este mismo río anali-

zamos los índices IHA, QBR, API y AAMBI (ver sección anterior) y todas estas líneas de evidencia sugieren que el río está alterado en su integridad ecológica.

Tabla 1.

Datos de pH que obtuvimos del monitoreo en el río de interés (modificado) y el río de referencia (no modificado). Ejemplo hipotético para explicar análisis de los datos.

Río	Tipo de río	Fecha	Parámetros ambientales		
			Réplica	pH	Temperatura (°C)
Iyarina	No referencia	Feb-18	1	4.1	21
Iyarina	No referencia	Feb-18	2	4	23
Iyarina	No referencia	Feb-18	3	4.2	22
Iyarina	No referencia	Apr-18	1	3.7	21
Iyarina	No referencia	Apr-18	2	3.8	23
Iyarina	No referencia	Apr-18	3	3.7	24
Iyarina	No referencia	Jun-18	1	4	21
Iyarina	No referencia	Jun-18	2	4.2	22
Iyarina	No referencia	Jun-18	3	4.5	22
Iyarina	No referencia	Ago-18	1	3.5	21
Iyarina	No referencia	Ago-18	2	3.7	24
Iyarina	No referencia	Ago-18	3	3.5	25
Iyarina	No referencia	Oct-18	1	4.6	24
Iyarina	No referencia	Oct-18	2	4.4	23
Iyarina	No referencia	Oct-18	3	4.5	21
Salto	Referencia	Feb-18	1	6.8	18
Salto	Referencia	Feb-18	2	7	17
Salto	Referencia	Feb-18	3	6.8	15
Salto	Referencia	Apr-18	1	6.7	18
Salto	Referencia	Apr-18	2	7	15
Salto	Referencia	Apr-18	3	7	17
Salto	Referencia	Jun-18	1	7.1	19
Salto	Referencia	Jun-18	2	6.9	18
Salto	Referencia	Jun-18	3	6.9	17
Salto	Referencia	Ago-18	1	6.8	16
Salto	Referencia	Ago-18	2	6.7	18
Salto	Referencia	Ago-18	3	6.9	17
Salto	Referencia	Oct-18	1	7.1	17
Salto	Referencia	Oct-18	2	7	18
Salto	Referencia	Oct-18	3	7.1	19



Diagnóstico integral para el manejo adaptativo

Como dijimos al principio de este Manual, toda iniciativa de monitoreo parte de la necesidad de cuantificar los efectos de una actividad antropogénica sobre el ecosistema, o de evaluar si una actividad de gestión o manejo está siendo efectiva. En este contexto, debemos utilizar nuestro monitoreo dentro del contexto de manejo adaptativo (Fig. 5). Todo proceso debe iniciar con la identificación del problema o problemas que están afectando la calidad del agua o la integridad del ecosistema del río (Fig. 5). Por ejemplo, una comunidad de agricultores podría detectar que el agua del río que siempre han utilizado ha adquirido un olor desagradable y que han aumentado los casos de problemas gastro-intestinales entre los miembros de la comunidad (Fig. 5; Paso A). Los comuneros sospechan que el cambio en el agua del río se debe a un nuevo sistema de alcantarillado en el pueblo aguas arriba que descarga aguas servidas directamente en el río. Por lo tanto, siguiendo el árbol de alternativas, seleccionan varios protocolos y entre esos el Protocolo E de este Manual para la cuantificación de coliformes totales y *Escherichia coli* (Paso B).

Con la ayuda de la junta parroquial, los comuneros implementan el Protocolo por primera vez y confirman que el agua del río tiene altos niveles de coliformes totales y de *E. coli* (Paso C). Con estos datos, inician un proceso de trabajo con la alcaldía del pueblo y el consejo provincial y logran obtener fondos para la construcción de una pequeña planta de tratamiento de aguas residua-

les (PTAR) para el sistema de alcantarillado del pueblo (Paso D). Al cabo de 2 años, la PTAR está construida y entra en funcionamiento. Los comuneros implementan nuevamente los protocolos (incluyendo el Protocolo G) y confirman que la cantidad de coliformes totales y *Escherichia coli* ha bajado con relación a la primera medición que se hizo antes de la construcción de la planta. Con estos datos, se concluye que la PTAR ha sido eficiente para reducir la contaminación en el río (Pasos E y F). Los comuneros pueden ahora usar el agua del río con confianza, pero, como medida de precaución, deciden continuar implementando el Protocolo de coliformes totales y *Escherichia coli* cada 6 meses, para confirmar que la planta sigue funcionando y que no han aparecido nuevas fuentes de contaminación (Paso G).

Aunque este es un ejemplo muy simplificado y poco realista sobre la complejidad de los problemas ambientales que afectan a los ríos y a sus usuarios, es útil para visualizar los pasos que idealmente se deberían seguir para mejorar el manejo y conservación de estos ecosistemas. En este contexto, la evaluación y monitoreo integral de cualquier río debería tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Trate de identificar los problemas que son más importantes o relevantes para su situación particular. Ningún programa de gestión o manejo de un río puede enfrentar todos los problemas o amenazas al mismo tiempo y es mejor comenzar con los más preocupantes.

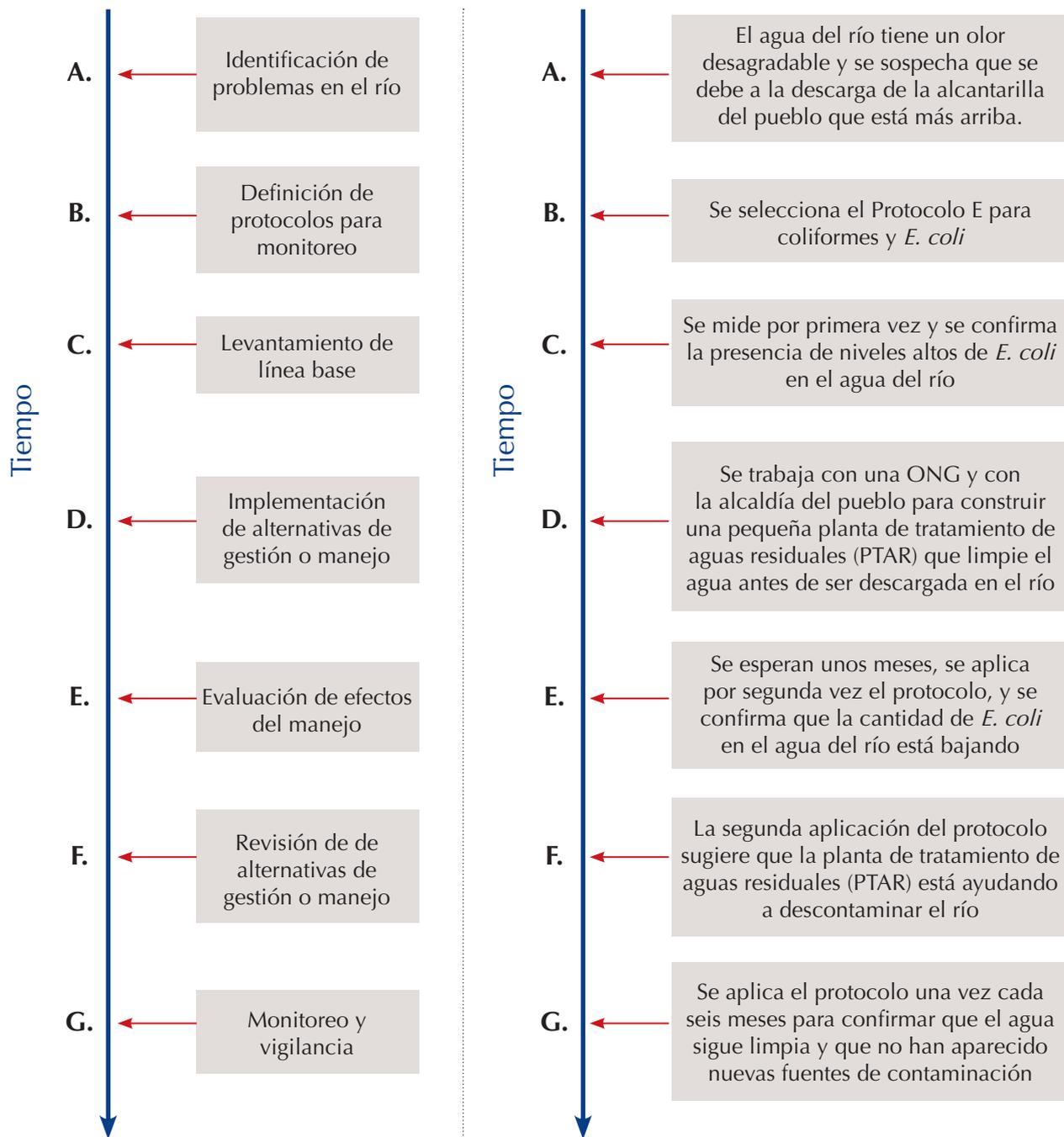


Figura 5. Ejemplo de la evaluación integral del río y como interpretar los datos obtenidos durante el monitoreo.

2. Un programa de biomonitoreo no tiene sentido si no está ligado a una iniciativa de gestión o manejo orientada a reducir algún problema que está afectando al río o a sus usuarios. La información de biomonitoreo debe utilizarse para visualizar un problema en el río (por ejemplo, un nivel de contaminación) y promover alguna iniciativa de gestión o manejo encaminada a mitigar ese problema. Una vez que se ha implementado el manejo, el monitoreo servirá para evaluar si las soluciones implementadas están siendo eficientes en términos de recuperar la calidad del agua del río o su integridad como ecosistema.

3. Sin importar qué método o protocolo se está utilizando, una sola medición siempre

será insuficiente. La idea de todo buen programa de biomonitoreo es generar suficiente información a través del tiempo para poder determinar si una variable está cambiando o no como respuesta a una iniciativa de manejo o gestión.

4. Pueden existir muchas circunstancias en las que el gestor o ciudadano no pueda implementar un protocolo o interpretar sus resultados. Más aun, existen variables que no pueden ser medidas sin la participación de un laboratorio especializado. En estos casos, recomendamos que los actores de la cuenca busquen ayuda y colaboraciones con instituciones académicas, centros de investigación, u otras organizaciones que puedan facilitar la medición e interpretación de esas variables.

Foto: Esteban Suárez





Foto: A.C. Encalada

Referencias

- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M., y Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28(1), 035-64.
- Chang, F. H., Lawrence, J. E., Ríos-Touma, B., y Resh, V. H. (2014). Tolerance values of benthic macroinvertebrates for stream biomonitoring: assessment of assumptions underlying scoring systems worldwide. *Environmental monitoring and assessment*, 186(4), 2135-2149.
- Domínguez E. y Fernández, R. H. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos Sudamericanos. Sistemática y Biología*. Editorial Fundación Miguel Lillo, Tucumán.
- Groves, C. R. (2003). *Drafting a Conservation Blueprint*. Island Press, Washington, D.C. 457 pp.
- Hilsenhoff, W. L. (1987). An improved biotic index of organic stream pollution. *Great Lakes Entomologist*, 20, 30-39.
- Karr, J. R. (1993). Measuring biological integrity: lessons from streams. *Ecological integrity and the management of ecosystems*, 83, 87-91.
- Ministerio del Ambiente (2017). Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente.
- Pardo, I., Álvarez, M., Casas, J., Moreno, J. L., Vivas, S., Bonada, N., ... y Robles, S. (2002). El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat. *Limnetica*, 21(3-4), 115-133.
- Pechenik, J. A. (2015). *Biology of the invertebrates*. McGraw-Hill, New York, USA.
- Polato, N. R., Gill, B. A., Shah, A. A., Gray, M. M., Casner, K. L., Barthelet, A., ... y Kondratieff, B. C. (2018). Narrow thermal tolerance and low dispersal drive higher speciation in tropical mountains. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 115:12471-12476. 10.1073/pnas.1809326115
- Ríos-Touma, B. P., Acosta, R., y Prat i Fornells, N. (2014). The Andean Biotic Index (ABI): revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation. *Revista de Biología Tropical*, 62, p. 249-273.
- Roldán-Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40 (155), 254-274.
- Suárez, M., Gutiérrez, V. A., Rosario, M., Sánchez-Montoya, M. D. M., Alba Tercedor, J., Álvarez, M., ... y Munné i Torras, T. (2002). Las riberas de los ríos mediterráneos y su calidad: el uso del índice QBR. *Limnetica*, 21(3-4), p. 135-148.
- Thorp, J. y Rogers, C. D. (2015). *Ecology and General Biology: Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates (4ta ed.)*. Academic Press.



Tercera parte

**Guía de invertebrados acuáticos
comunes de las cuencas
Andino-Amazónicas
del Ecuador**

Índice Guía

151	Phylum Platyhelminthes Clase Turbellaria (planarias)
152	Phylum Nemata (o Nematoda) Clase Chromadorea (nemátodos, gusanos redondos)
153	Phylum Nematomorpha Clase Gordioidea (gusanos pelo de caballo)
154	Phylum Mollusca
154	Clase Gastropoda (caracoles, babosas)
154	• Familia Ampullariidae (caracoles manzana)
155	• Familia Ancyliidae
155	• Familia Physidae (caracoles)
156	• Familia Lymnaeidae (caracoles de río)
156	• Familia Planorbidae (caracoles planos)
157	• Familia Thiaridae (caracoles trompetas)
157	• Familia Cochliopidae
158	Clase Bivalvia (almejas, conchas, mejillones)
158	• Familia Sphaeriidae (conchas de río)
159	• Familia Unionidae (mejillones de río)
160	Phylum Annelida
160	Clase Hirudinea (sanguijuelas)
161	Clase Oligochaeta (lombrices)
162	Phylum Arthropoda
162	Subphylum: Chelicerata Clase Arachnida (ácaros) Subclase Acari
163	Subphylum: Crustacea Clase Ostracoda (pulgas de agua dulce)
164	Clase Malacostraca
164	Orden Amphipoda
164	• Familia Hyalellidae
165	Orden Decapoda (camarones, cangrejos)
165	• Familia Atyidae (camaroncitos)
166	• Familia Palaemonidae (camarones de río)
166	• Familia Trichodactylidae (cangrejos gordos)
167	• Familia Pseudohelphusidae (cangrejos de río)

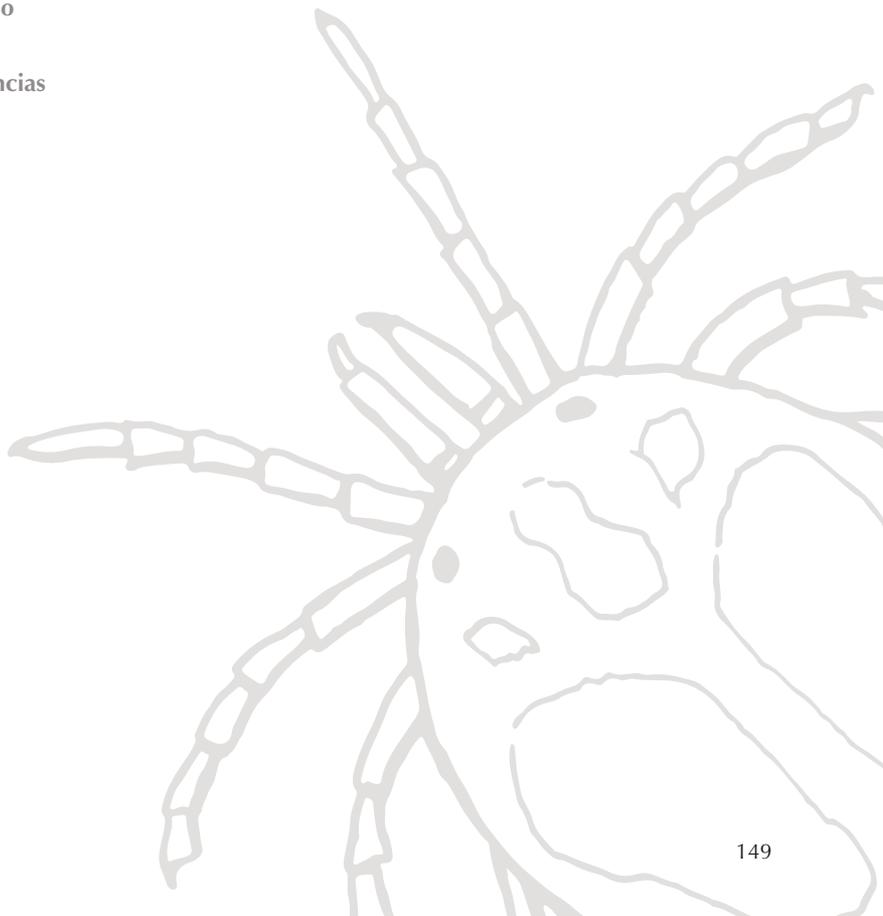
169	Clase Insecta (insectos) Subphylum: Hexapoda
170	Orden Ephemeroptera (efímeras)
171	• Familia Baetidae
171	• Familia Oligoneuriidae
172	• Familia Leptophlebiidae
172	• Familia Euthyplociidae
173	• Familia Ephemeridae
173	• Familia Polymitarcyidae
174	• Familia Caenidae
174	• Familia Leptohiphidae
175	Orden Odonata (libélulas, corta pelos)
175	Infraorden Anisoptera
176	• Familia Aeshnidae
176	• Familia Gomphidae (libélulas topo)
177	• Familia Libellulidae
177	Infraorden Zygoptera
178	• Familia Calopterygidae
178	• Familia Polythoridae
179	• Familia Megapodagrionidae
179	• Familia Coenagrionidae
180	Orden Plecoptera (moscas de las piedras)
181	• Familia Perlidae
181	• Familia Gripopterygidae
182	Orden Blattodea (cucarachas acuáticas)
183	Orden Hemiptera (chinchas de agua)
184	• Familia Pleidae
184	• Familia Gerridae (patinadores)
185	• Familia Veliidae (patinadores)
185	• Familia Mesoveliidae (patinadores)
186	• Familia Hydrometridae
186	• Familia Corixidae
187	• Familia Notonectidae
187	• Familia Naucoridae

188	• Familia Belostomatidae
188	• Familia Nepidae
189	• Familia Gelastocoridae
190	Orden Megaloptera (perros de agua)
191	• Familia Corydalidae
192	Orden Coleoptera (escarabajos)
193	• Familia Gyrinidae
194	• Familia Noteridae
195	• Familia Dytiscidae (escarabajos buceadores)
196	• Familia Scirtidae
196	• Familia Ptilodactylidae
197	• Familia Elmidae (escarabajos de agua)
198	• Familia Psephenidae
198	• Familia Lampyridae
199	• Familia Hydrophilidae (escarabajos de plata)
200	• Familia Staphylinidae
201	Orden Trichoptera (moscas constructoras)
202	• Familia Philopotamidae
202	• Familia Xiphocentronidae
203	• Familia Polycentropodidae
203	• Familia Hydropsychidae
204	• Familia Hydrobiosidae
204	• Familia Glossosomatidae
205	• Familia Hydroptilidae
205	• Familia Limnephilidae
206	• Familia Atriplectididae
206	• Familia Odontoceridae
207	• Familia Calamoceratidae
207	• Familia Leptoceridae
208	• Familia Anomalopsychidae
208	• Familia Helicopsychidae
209	Orden Lepidoptera
210	• Familia Crambidae (polillas acuáticas)

211	Orden Diptera (moscas y mosquitos)
212	• Familia Tipulidae (zancudos gigantes)
212	• Familia Limoniidae (zancudos)
213	• Familia Blephariceridae
213	• Familia Psychodidae (arenillas)
214	• Familia Chironomidae (mosquitos no picadores)
214	• Familia Ceratopogonidae (moscas sables)
215	• Familia Simuliidae (moscas negras)
215	• Familia Dixidae
216	• Familia Culicidae (mosquitos picadores)
216	• Familia Athericidae
217	• Familia Tabanidae (tábanos)
217	• Familia Dolichopodidae
218	• Familia Empididae (moscas bailarinas)
218	• Familia Syrphidae (sírfidos)
219	• Familia Muscidae (moscas comunes)
219	• Familia Stratiomyidae

221 **Glosario**

223 **Referencias**



Phylum Platyhelminthes

Clase Turbellaria | Familia Planariidae



- **Nombre común**

Planarias / Gusanos Planos.

- **Características generales**

Los turbelarios se distinguen principalmente por tener un cuerpo alargado y plano, sin extremidades ni segmentos. Su tamaño varía desde 1 mm hasta 60 cm. Estos organismos carecen de sistemas respiratorios y circulatorios diferenciados, por lo que dependen de la difusión celular para el intercambio de gases y el transporte de nutrientes. A pesar de la simetría del cuerpo, la cabeza se distingue por la presencia de dos pequeños ojos

- **Distribución geográfica**

Se las encuentra en ambientes acuáticos y terrestres con alta humedad alrededor del mundo, con excepción de los polos. Las planarias son más abundantes en ríos de páramo.

- **Biología y diversidad**

La mayoría de las especies son depredadoras y se reproducen sexualmente.

- **Puntaje AAMBI: 5**

Phylum Nemata (o Nematoda)

Clase Chromadorea



- **Nombre común**

Nemátodos / Gusanos Redondos.

- **Características generales**

Los nemátodos son un grupo muy diverso cuya forma se asemeja a la de un fino cordón sin segmentos. La gran mayoría son microscópicos, pero hay especies que pueden crecer varios centímetros. Debido a su tamaño, su identificación solo se la puede hacer con magnificación de microscopio y por lo tanto solo se clasifican a nivel de Clase.

- **Distribución geográfica**

Cosmopolita.

- **Puntaje AAMBI: 4**

- **Biología y diversidad**

Estos pueden tener distintas formas de vida como parásitos de animales y plantas, o de vida libre en ecosistemas marinos, terrestres o dulceacuícolas. Asimismo, su dieta es muy variada según la especie; pueden ser carnívoros, alimentarse de plantas, hifas, sustrato, etc. Existen aproximadamente un millón de especies de nemátodos, de las cuales apenas 27 000 han sido descritas y gran parte de ellas son de vida libre. Los nemátodos de agua dulce son muy resilientes, por lo que pueden sobrevivir desde ambientes lóticos, como ríos o riachuelos, hasta pozas temporales de agua.

Phylum Nematomorpha

Clase Gordioidea



- **Nombre común**

Gusanos pelo de caballo.

- **Características generales**

Los gordioides son nematomorfos con aspecto de gusano alargado, sin segmentos y con colores que varían entre blanco o amarillo pálido hasta marrón oscuro. La mayoría, en su estadio larvario son parásitos de invertebrados terrestres o acuáticos, y de adultos son de vida libre en cuerpos de agua dulce. Pueden medir desde pocos centímetros hasta un metro de longitud. Muchos están relacionados a lugares con contaminación orgánica. Su clasificación es complicada a simple vista y por lo tanto se lo clasifica solamente hasta el nivel de Clase.

- **Puntaje AAMBI: 1**

- **Distribución geográfica**

Cosmopolita con excepción de Antártica.

- **Biología y diversidad**

Se los puede encontrar sobre el sustrato en las orillas de lagunas o riachuelos. Algunas especies son semi-acuáticas y viven en suelos húmedos. Se han descrito aproximadamente 326 especies de agua dulce y se estima que hay un total de 2000 especies a nivel global.



Phylum Mollusca

Clase Gastropoda

- **Nombre común**

Caracoles / Babosas.

- **Características generales**

Dentro de los moluscos, los gasterópodos son el grupo más diverso y uno de los mejor conocidos. La mayoría son fácilmente reconocibles por estar protegidos por una concha en forma de espiral, que se puede abrir hacia el lado izquierdo (levógiro) o derecho (dextrógiro) según la familia. Sin embargo, familias como Ancyliidae presentan una sola concha terminada en punta. A pesar de lo familiarizados que estamos con los gasterópodos terrestres como caracoles y babosas, la mayor diversidad de este grupo vive en el mar y en ecosistemas de agua dulce.

- **Distribución geográfica**

Se encuentran en ambientes terrestres y acuáticos alrededor del mundo.

- **Biología y diversidad**

La biología de los gasterópodos varía dependiendo del grupo. Los caracoles de agua dulce se alimentan en su mayoría de algas, pero también existen especies detritívoras y filtradoras. A nivel mundial, se han descrito alrededor de 4000 especies.



Familia Ampullariidae

Phylum Mollusca | Clase Gastropoda | Orden Architaenioglossa

- **Nombre común**

Caracoles Manzana.

- **Características generales**

Tienen una concha gruesa en forma de espiral con la punta poco pronunciada. Presentan cuatro tentáculos, dos de los cuales son muy alargados. Algunos están adaptados a sobrevivir sequías sellándose en su caparazón, pegados a una superficie plana. Su tamaño es muy variable.

- **Hábitat**

Se los puede encontrar pegados a raíces de plantas acuáticas, en ecosistemas lenticos o lóticos.

- **Puntaje AAMBI: 4**



Familia Ancyliidae

Phylum Mollusca | Clase Gastropoda | Orden Basommatophora



• Características generales

Tienen una concha muy delgada con la forma de un sombrero puntiagudo. Poseen un pie ovalado y un solo par de tentáculos no retráctiles en cuya base se encuentran los ojos. El tamaño de la concha alcanza los 15 mm.

• Hábitat

A estos gasterópodos se los puede encontrar en zonas poco contaminadas. Se adhieren a troncos o palos flotantes, a detritos o a la vegetación acuática. Son más comunes en arroyos y lagunas, pero también se los puede encontrar adheridos a rocas en ríos corrientosos.

• Puntaje AAMBI: 4



Familia Physidae

Phylum Mollusca | Clase Gastropoda | Orden Basommatophora



• Características generales

Esta familia presenta una concha en espiral, ovalada, lisa y brillante semejante a vidrio. La abertura es hacia el lado izquierdo (levógira) y la punta de la concha es muy pronunciada.

• Hábitat

Se encuentran en una gran variedad de hábitats que incluyen ríos de montaña turbulentos, lagos, lagunas y pequeños arroyos. Viven adheridos a piedras y en la vegetación de las orillas.

• Puntaje AAMBI: 3





Familia Lymnaeidae

Phylum Mollusca | Clase Gastropoda | Orden Basommatophora



- **Nombre común**

Caracoles de Río.

- **Características generales**

Esta familia se caracteriza por tener tentáculos muy amplios y triangulares. La concha es espiral y alargada con una punta pronunciada y la abertura hacia el lado derecho (dextrógira).

- **Hábitat**

Se encuentran en aguas limpias con poca corriente y abundantes plantas acuáticas. Prefieren las aguas profundas lóxicas o lénticas.

- **Puntaje AAMBI: 3**



Familia Planorbidae

Phylum Mollusca | Clase Gastropoda | Orden Basommatophora



- **Nombre común**

Caracoles Planos.

- **Características generales**

Se caracterizan por tener una concha en espiral plana lateralmente.

- **Hábitat**

Se encuentran en una amplia variedad de hábitats como ríos, arroyos, lagos y lagunas. Evitan zonas de rápidos y cascadas, y suelen encontrarse en la vegetación periférica.

- **Puntaje AAMBI: 3**

Familia Thiaridae

Phylum Mollusca | Clase Gastropoda | Orden Neotaenioglossa



- **Nombre común**
Caracoles Trompeta.

- **Características generales**

Esta familia de gasterópodos dulceacuícolas fue introducida desde Malasia y, debido a su alta tasa de reproducción, representa una gran amenaza para especies nativas al desplazarlas de sus nichos. Además, son transmisores de tremátodos que parasitan peces de importancia comercial. Su concha es alargada, cónica y puntiaguda.

- **Hábitat**

Están tanto en aguas rápidas como lentas, de temperatura alta y se encuentran enterrados en las orillas.

- **Puntaje AAMBI: 0**



Familia Cochliopidae

Phylum Mollusca | Clase Gastropoda | Orden Littorinimorpha



- **Características generales**

Este grupo presenta una gran variedad de conchas que pueden ser cónicas, globosas, discoideas y alargadas. Anteriormente Cochliopidae estaba clasificado como sub familia de Hydrobiidae, porque morfológicamente son muy parecidas. Todas las especies son acuáticas.

- **Hábitat**

Habitan en lagunas o ríos de corriente fuerte. Algunos se encuentran en sustratos duros o vegetación acuática a profundidades muy variadas (desde unos pocos centímetros hasta los 38 metros de profundidad).

- **Puntaje AAMBI: 3**





Clase Bivalvia

- **Nombre común**

Almejas / Conchas / Mejillones.

- **Características generales**

Animales acuáticos protegidos por un caparazón compuesto por dos valvas (conchas) unidas por un ligamento elástico. No presentan cabeza o tentáculos diferenciados.

- **Distribución geográfica**

Se encuentran en todos los ambientes acuáticos.

- **Biología y diversidad**

Suelen encontrarse enterrados en el fondo de los cuerpos de agua o adheridos a rocas. Las especies que se mueven lo hacen mediante un músculo denominado pie. Son animales filtradores que respiran mediante uno o dos pares de branquias. Muchas especies son utilizadas como fuente de alimento. En ambientes contaminados, tienden a acumular metales pesados y compuestos orgánicos en sus tejidos. En este grupo existen más de 9000 especies en todo el mundo, la mayoría marinas.



Familia Sphaeriidae

Phylum Mollusca | Clase Bivalvia | Orden Veneroida



- **Nombre común**

Conchas de Río.

- **Características generales**

Esta familia es exclusiva de ecosistemas de agua dulce. Las conchas tienen una forma redondeada-ovalada y se caracterizan por tener valvas frágiles y pequeñas (menos de 10 mm), con superficie lisa. El borde interno de la valva izquierda, cerca del umbo, posee dos dientes co-marginales y la valva derecha solo uno. Estas últimas características son observables con la ayuda de un estereomicroscopio.

- **Hábitat**

Se pueden encontrar en el sustrato de ríos, lagos, arroyos y lagunas o adheridos a las raíces de plantas acuáticas.

- **Puntaje AAMBI: 3**

Familia Unionidae

Phylum Mollusca | Clase Bivalvia | Orden Unionoida



- **Nombre común**

Mejillones de Río.

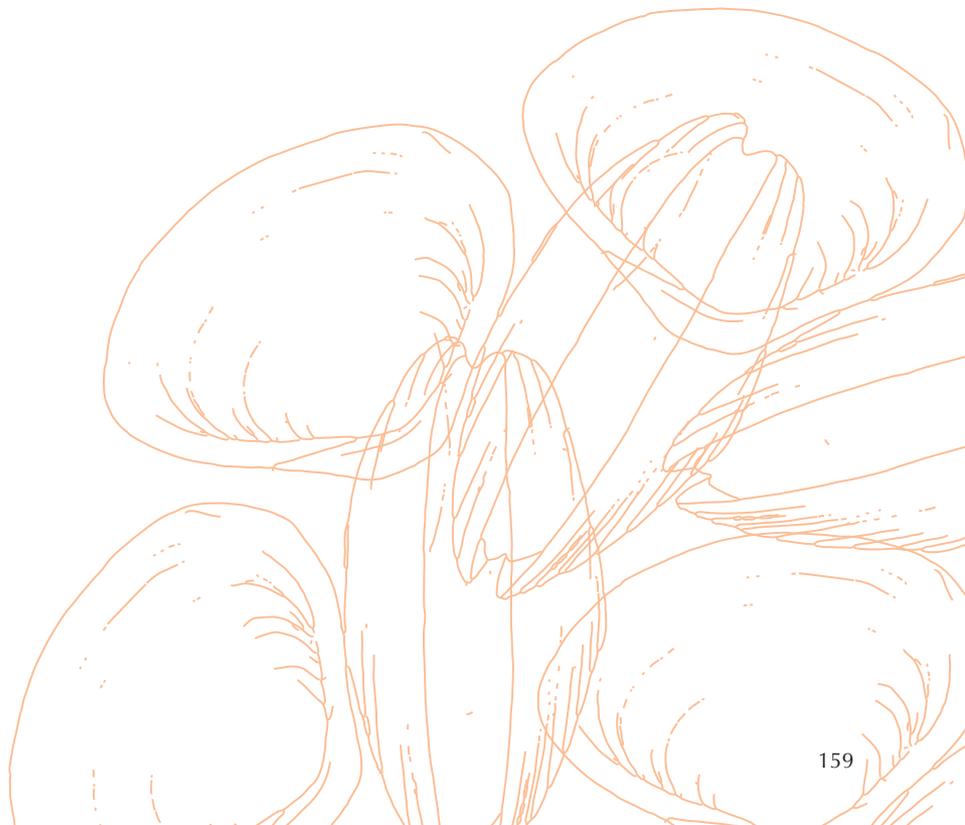
- **Características generales**

Estos bivalvos grandes habitan en ecosistemas de agua dulce de todo el mundo, siendo más diversos en Norteamérica. Pueden medir entre 3 cm a 25 cm y tienen formas muy variadas (triangulares, circulares, ovaladas, romboides). Sus colores varían entre tonos amarillos-verdosos y café oscuro.

- **Hábitat**

Se los puede encontrar en una variedad de ambientes lóticos y lénticos, enterrados a aproximadamente 40 cm en sustratos gruesos como la arena o finos como el limo.

- **Puntaje AAMBI: 4**



Phylum Annelida

Clase Hirudinea



- **Nombre común**

Sanguijuelas.

- **Características generales**

Las sanguijuelas tienen cuerpos aplanados con dos ventosas, una en la parte anterior y una en la posterior.

- **Distribución geográfica**

Se encuentran a nivel mundial con excepción del Ártico y Antártida.

- **Biología y diversidad**

Tienen hábitos terrestres y acuáticos, encontrándose en ecosistemas húmedos y de agua dulce de todo el mundo. Se alimentan de sangre (hematófagas) o hemolinfa de insectos, por lo que se las puede encontrar adheridas a animales acuáticos como peces, tortugas o invertebrados. En el mundo se han descrito casi 700 especies y existe una gran diversidad en zonas tropicales.

- **Puntaje AAMBI: 3**

Clase Oligochaeta



- **Nombre común**

Lombrices / Cuicas.

- **Características generales**

Las lombrices se caracterizan principalmente por sus cuerpos alargados, segmentados y sin extremidades. En su mayoría presentan un collar evidente (clitelo) que es importante para su reproducción.

- **Puntaje AAMBI: 2**

- **Distribución geográfica**

Tienen hábitos terrestres y acuáticos, encontrándose en los ambientes húmedos y de agua dulce de todo el mundo, menos en el Ártico y Antártida.

- **Biología y diversidad**

La mayoría de lombrices son terrestres, aunque también existen especies marinas, de agua dulce y parásitas. Muchas se alimentan de detritus, pero también hay especies filtradoras y depredadoras.



Phylum Arthropoda

Subphylum Chelicerata | Clase Arachnida | Subclase Acari



- **Nombre común**

Ácaros.

- **Características generales**

Dentro de los arácnidos, los ácaros son los únicos grupos adaptados a una vida completamente acuática, aunque la mayoría son terrestres. Los ácaros son diminutos y sólo alcanzan a tener pocos milímetros de longitud. La forma de su cuerpo puede ser circular u ovoide. Pueden ser opacos o de colores brillantes como el rojo, verde, azul o amarillo.

- **Distribución geográfica**

Cosmopolita.

- **Biología y diversidad**

Los ácaros son comunes en ríos, arroyos y lagunas, especialmente cerca de la vegetación acuática. La mayoría son depredadores, pero también existen especies fitófagas, detritívoras y parásitas. Se han descrito más de 50 000 especies en el mundo entre acuáticas y terrestres.

- **Puntaje AAMBI: 4**





- **Nombre común**

Ostrácodos / Camarones de Concha.

- **Características generales**

Los ostrácodos son crustáceos con forma similar a una almeja. Su cuerpo está protegido por dos conchas. Se distinguen porque normalmente se puede observar sus largas antenas por fuera de la concha, las que son utilizadas como patas o remos para moverse.

- **Puntaje AAMBI: 3**

- **Distribución geográfica**

Tienen hábitos acuáticos, encontrándose en ecosistemas de agua dulce y marinos de todo el mundo.

- **Biología y diversidad**

La mayoría se reproduce partenogénicamente. Habitan tanto en ambientes marinos como de agua dulce. Pueden ser carnívoras, herbívoras, filtradoras y carroñeras. Globalmente se han descrito más de 70 000 especies, de las cuales la inmensa mayoría son fósiles (65 000).



Clase Malacostraca

Orden Amphipoda

- **Nombre común**

Pulgas de Agua Dulce.

- **Características generales**

La mayoría de estos organismos se encuentran en el mar, aunque algunas especies son dulceacuícolas. Tienen el cuerpo lateralmente comprimido, el cual está dividido en 13 segmentos que se pueden agrupar en cabeza-tórax-abdomen. En el primer segmento torácico se encuentra fusionado con la cabeza y lleva un par de antenas y ojos bien desarrollados. Presentan agallas en sus segmentos torácicos.

- **Distribución geográfica**

Son cosmopolitas y existen alrededor de 800 especies en el mundo que viven en ecosistemas de agua dulce.

- **Biología y diversidad**

Se encuentran en una variedad de hábitats: lagos, lagunas, arroyos, ríos. La mayoría de especies son detritívoras. Su tamaño depende de la disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua, entre menos oxígeno más pequeña es la especie.



Familia Hyalellidae

Phylum Arthropoda | Clase Malacostraca | Orden Amphipoda



- **Características generales**

Esta familia se caracteriza por tener un telson (último segmento antes de la cola) entero y por tener un par de apéndices en cada segmento del tórax. Miden desde 2,5 hasta 20 mm. Los machos pueden diferenciarse por tener la segunda pata notoriamente más grande que las demás.

- **Hábitat**

Se pueden encontrar en lagos, charcas, ríos, manantiales, aguas termales y hasta aguas subterráneas.

- **Puntaje AAMBI: 6**

Clase Malacostraca

Orden Decapoda

- **Nombre común**

Camarones / Cangrejos.

- **Características generales**

Son animales con un exoesqueleto grueso, cinco pares de patas motoras, pueden presentar o no patas natatorias y pueden tener un abdomen alargado o corto. Su coloración varía entre las especies. Para la identificación a nivel de familia es importante observar la forma del caparazón y las diferentes formas de las patas motoras. Estos organismos generalmente pasan su vida en el agua, con algunas excepciones.

- **Distribución geográfica**

Los decápodos tienen una distribución global en ambientes de agua salada y dulce, con algunos representantes adaptados a la vida en tierra firme en zonas húmedas.

- **Biología y diversidad**

Normalmente viven en ríos limpios con poca o media corriente, en pozas generadas por la zona de inundación de ríos, y en lagunas. Pueden estar en sitios con presencia o ausencia de vegetación acuática.

Familia Atyidae

Phylum Arthropoda | Clase Malacostraca | Orden Decapoda

- **Características generales**

Son camarones medianos y pequeños con un cuerpo robusto y un rostro corto. Su tercer par de patas suele estar engrosado y sus dos primeros pares están modificados para la alimentación.

- **Hábitat**

Se los encuentran en ecosistemas de agua lenta dulce, salobre y de estuario. Mayormente viven en lagos y piscinas.

- **Puntaje AAMBI: 6**



Familia Palaemonidae

Phylum Arthropoda | Clase Malacostraca | Orden Decapoda



- **Características generales**

Son camarones de gran tamaño que pueden medir de 5 cm hasta 30 cm. La punta del rostro suele ser larga y presentan el segundo par de patas caminadoras engrosadas con pinzas al final de las mismas.

- **Hábitat**

Se los encuentra en aguas lentas dentro de cuevas o metidos entre las piedras. Tienen hábitos nocturnos.

- **Puntaje AAMBI: 8**

Familia Trichodactylidae

Phylum Arthropoda | Clase Malacostraca | Orden Decapoda



- **Características generales**

Son cangrejos de tamaño muy variable. Se caracterizan por su cuerpo robusto en forma de cofre o caja, y muchas veces los machos tienen una pinza más grande que la otra. Son un grupo estrictamente acuático.

- **Hábitat**

Se los encuentra en aguas lentas formadas por crecidas de ríos, pozas y lagunas con abundante vegetación acuática.

- **Puntaje AAMBI: 6**

Familia Pseudothelphusidae

Phylum Arthropoda | Clase Malacostraca | Orden Decapoda

- **Características generales**

Son cangrejos de tamaños variables. Se caracterizan por su cuerpo aplanado y ancho y sus pinzas de tamaño similar. Además, son un grupo adaptado a respirar en tierra firme.

- **Hábitat**

Se los puede encontrar desde ríos pequeños de aguas lentas en zonas bajas hasta ríos andinos. También pueden pasar tiempo en tierra firme.

- **Puntaje AAMBI: 8**



- **Nombre común**

Insectos / Bichos.

- **Características generales**

Los insectos adultos se caracterizan principalmente por tener un cuerpo segmentado (cabeza, tórax y abdomen), exoesqueleto, tres pares de patas, ojos compuestos y un par de antenas. Las larvas tienen formas muy diversas.

- **Distribución geográfica**

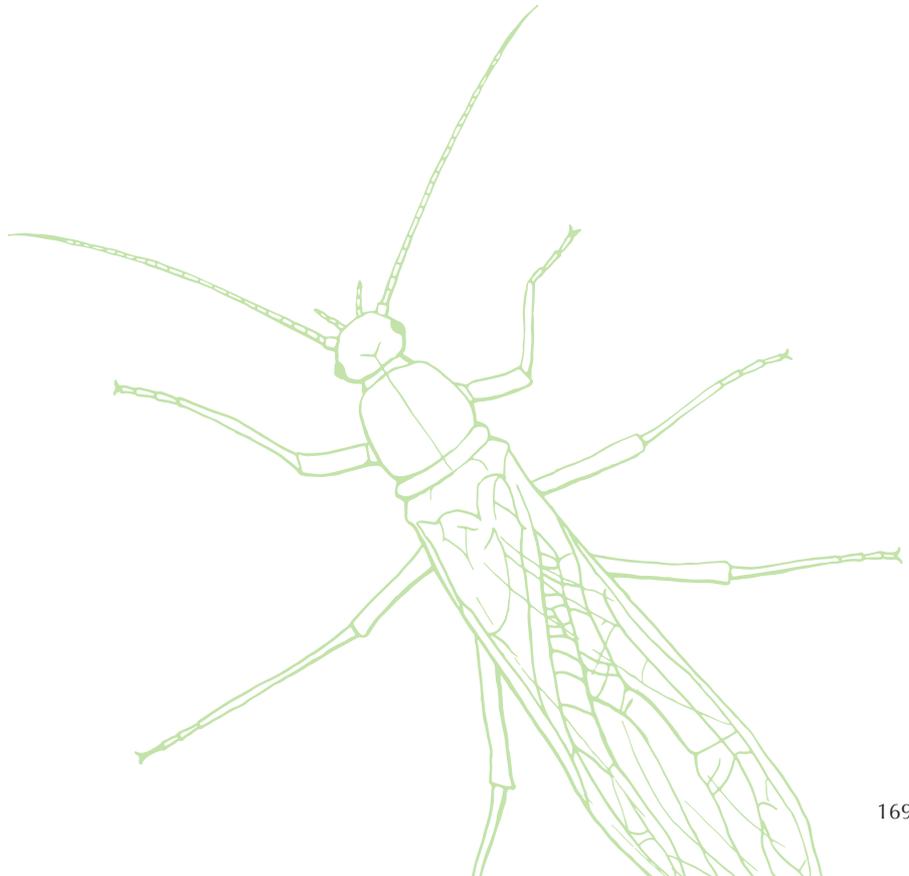
Se encuentran en todos los hábitats del planeta, aunque son relativamente escasos en los océanos y áreas con fríos extremos durante todo el año.

- **Biología y diversidad**

Los insectos son el grupo de animales más diverso del planeta y se estima que representan aproximadamente el 90% de las especies de animales. Aunque se han descrito más de un 1 millón de especies, se estima que su diversidad varía entre los 2.6 y 7.8 millones de especies.

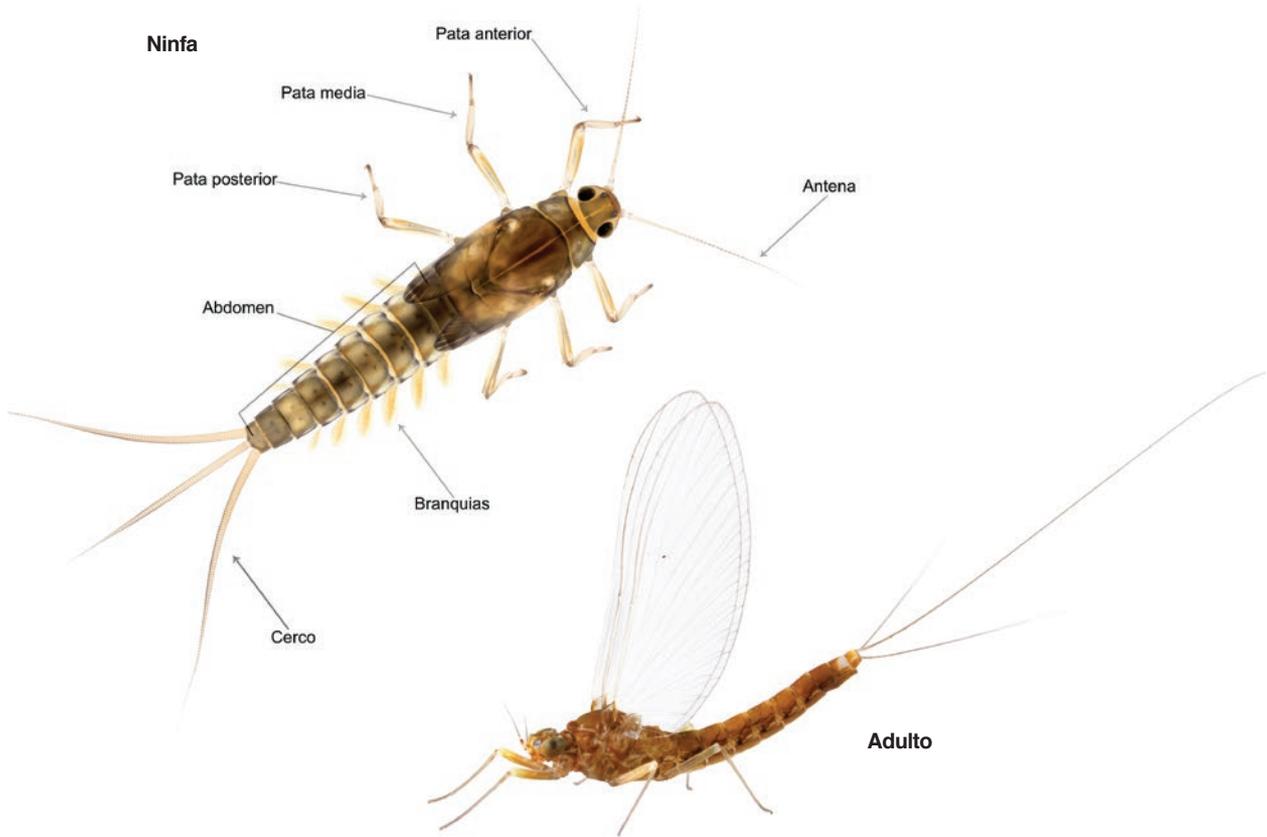
En los ecosistemas acuáticos, es común encontrar una gran abundancia de insectos, la mayoría de los cuales se encuentran en su fase larvaria o ninfa (juvenil).

Solo los órdenes Coleoptera (caracoles) y Hemiptera (chinches acuáticos) también pueden encontrarse en el agua en su fase adulta. Los demás órdenes una vez que han crecido y han completado su fase larvaria o ninfa, emergen fuera del agua, estiran sus alas, vuelan, copulan y regresan al agua a poner sus huevos.





Orden Ephemeroptera



- **Nombre común**

Efímeras / Moscas de mayo.

- **Características generales**

Reciben este nombre debido a su vida corta o “efímera” que tienen como adultos, la cual puede tener una duración desde cinco minutos hasta cuatro días. En esta etapa alcanzan la madurez sexual y se reproducen. Los efemerópteros depositan sus huevos mayormente en la superficie del agua, los cuales se hunden al fondo del río y se fijan al sustrato por medio de estructuras especiales. Durante su estadio acuático, respiran a través de agallas abdominales, las cuales varían en forma y número de acuerdo con la familia, género y especie. Esta guía solo es hecha para la identificación de los estadios ninfales (juveniles) que se encuentran en el agua.

- **Distribución geográfica**

Son cosmopolitas, es decir que se encuentran en casi todo el mundo, exceptuado algunas pequeñas islas.

- **Biología y diversidad**

Durante su estadio acuático viven mayormente en aguas corrientes y limpias con alta oxigenación, por lo que son consideradas indicadores de buena calidad de agua. Existen pocas especies que toleran ciertos niveles de contaminación. La mayor parte de las ninfas están adheridas a rocas, vegetación sumergida o troncos; pocas especies se encuentran enterradas en los fondos arenosos. Son herbívoras, y se alimentan de algas y tejidos de plantas acuáticas. Representan una parte importante en la dieta de ciertos peces.

Familia Baetidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Ephemeroptera



• Características generales

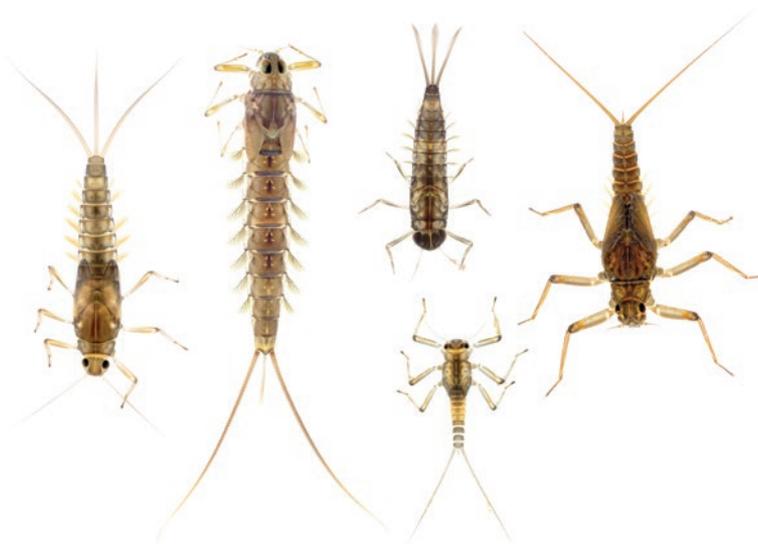
Tienen entre 1 y 10 mm de longitud, sin contar la cola.

Tienen agallas abdominales ovaladas y con forma de corazón. Los machos generalmente tienen los ojos muy grandes.

• Hábitat

Se encuentran mayormente en aguas rápidas, debajo de troncos, rocas, hojas y adheridos a vegetación sumergida; las ninfas son buenas nadadoras. Dependiendo del género, su tolerancia varía a diferentes grados y tipos de contaminación.

• Puntaje AAMBI: 4



Familia Oligoneuriidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Ephemeroptera



• Características generales

Estas larvas tienen el cuerpo robusto. Se caracterizan por tener una doble fila de pelos en el interior de las patas anteriores y por sus agallas pequeñas ubicadas dorsalmente.

• Hábitat

Se encuentran en fondos arenosos, sustratos pedregosos, troncos y vegetación de ribera.

• Puntaje AAMBI: 10





Familia Leptophlebiidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Ephemeroptera



- **Características generales**

Miden entre 4 y 15 mm y poseen branquias bifurcadas. La mayoría tienen forma aplanada.

- **Hábitat**

Se encuentran en todo tipo de ríos desde el nivel del mar hasta los 4500 metros de altura.

- **Puntaje AAMBI: 10**



Familia Euthyplociidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Ephemeroptera



- **Características generales**

Son larvas de gran tamaño, con sus mandíbulas modificadas como colmillos largos y cubiertos de pelos.

- **Hábitat**

Se encuentran mayormente en ríos y quebradas de zonas bajas.

- **Puntaje AAMBI: 9**

Familia Ephemeridae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Ephemeroptera



- **Características generales**

Larvas grandes con mandíbulas modificadas como colmillos largos y curvados hacia arriba. Sus patas son fosoriales, es decir, están adaptadas para cavar en el sedimento, y poseen branqueas bifurcadas, con aspecto plumoso.

- **Hábitat**

Habitan en lagos, lagunas y ríos grandes, comúnmente enterradas en el sedimento.

- **Puntaje AAMBI: 6**



Familia Polymitarcyidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Ephemeroptera



- **Características generales**

Son larvas pequeñas con mandíbulas cortas bien desarrolladas, patas modificadas para excavar y branquias plumosas.

- **Hábitat**

Se encuentran mayormente dentro de troncos o en el sustrato de ríos.

- **Puntaje AAMBI: 8**





Familia Caenidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Ephemeroptera



• Características generales

Su tórax es robusto y tienen patas cortas. Poseen branquias de un filamento en el primer segmento abdominal. Las branquias del segundo segmento abdominal son grandes, cuadradas, con una protuberancia en forma de Y y cubren a las restantes (segmentos abdominales 3-6).

• Hábitat

Se encuentran mayormente en aguas lentas de ríos, lagos y pozas rápidas, debajo de rocas, hojas y adheridos a vegetación sumergida.

• Puntaje AAMBI: 3



Familia Leptohipidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Ephemeroptera



• Características generales

Este grupo solo se encuentra en América. Miden entre 2 a 10 mm. Su tórax es robusto y tienen patas cortas. No poseen branquias en el primer segmento abdominal, mientras que las branquias del segundo segmento abdominal son grandes y cubren a las restantes (segmentos abdominales 3-6).

• Hábitat

Se encuentran en ríos con corriente lenta, en diferentes tipos de sustratos.

• Puntaje AAMBI: 7



- **Nombre común**

Libélulas / Corta Pelos.

- **Características generales**

Este orden de insectos cosmopolita y hemimetábolos es uno de los más antiguos. Su vida larvaria se desarrolla en el agua, mientras que de adultos son voladores.

Son insectos de tamaño mediano a grande. Las larvas pueden ser robustas o delgadas y alargadas, dependiendo de la especie. Una de sus características principales es la forma de su labio inferior desplegable que se extiende hasta un cuarto del tamaño de su cuerpo.

Filogenéticamente se clasifican en dos infraordenes: Anisoptera y Zygoptera.

En esta guía solo identificaremos estadíos ninfales que se encuentran en el agua.

- **Distribución geográfica**

Cosmopolita.

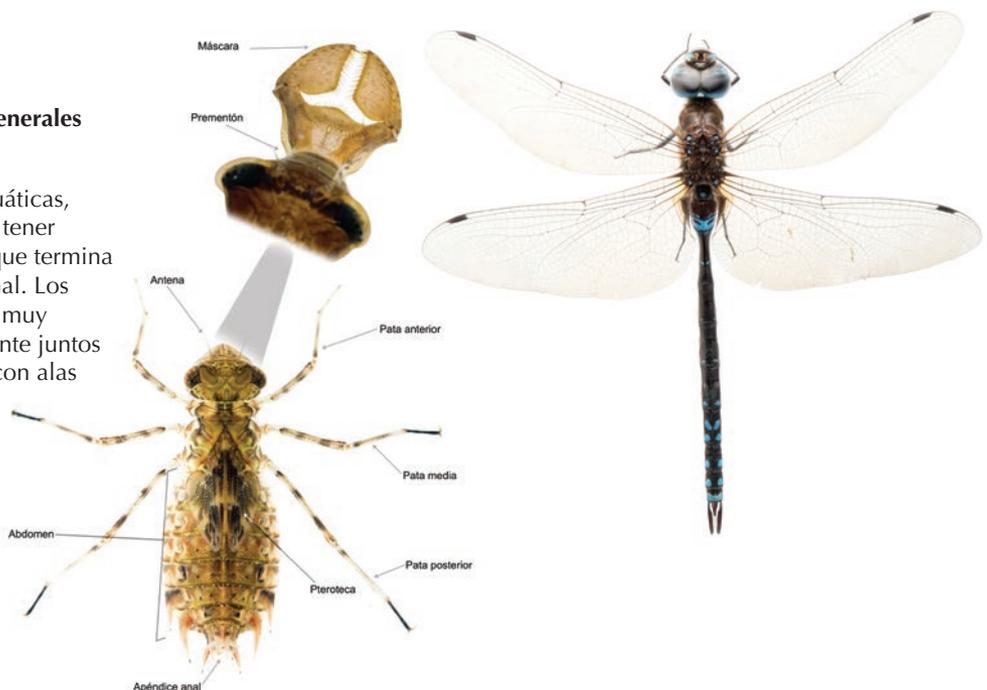
- **Biología y diversidad**

Las larvas se encuentran, por lo general, sumergidas entre la vegetación acuática en ríos, lagunas y arroyos, aunque no son muy comunes en ambientes contaminados. Son buenos predadores, utilizando su labio inferior para cazar otros organismos acuáticos. Los adultos viven cerca del agua puesto que las hembras depositan sus huevos entre las plantas acuáticas.

Se han descrito aproximadamente 6000 especies (1768 del neotrópico) y se cree que hay entre 1000 a 1500 más por descubrir.

- **Características generales**

Las ninfas, que son completamente acuáticas, se caracterizan por tener abdomen robusto que termina en una pirámide anal. Los adultos tienen ojos muy grandes, normalmente juntos y cuerpos gruesos con alas grandes.



Infraorden Anisoptera





Familia Aeshnidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Odonata



- **Características generales**

Poseen ojos grandes y un cuerpo robusto. Su cabeza es aplanada y ancha, con antenas tipo cerdas muy delgadas. Cuerpo robusto, pero elongado, prementon plano, antenas de 6 a 7 segmentos.

- **Hábitat**

Se encuentran en aguas lentas con bastante vegetación.

- **Puntaje AAMBI: 6**



Familia Gomphidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Odonata



- **Características generales**

Larvas de tamaño grande (30 - 45 mm) y con cuerpo robusto. Pueden tener tubérculos a lo largo del abdomen. Prementon plano, antena robusta de max. 4 segmentos

- **Hábitat**

Se los encuentra enterrados en los lechos arenosos o lodosos de arroyos o ríos.

- **Puntaje AAMBI: 8**

Familia Libellulidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Odonata



• Características generales

Es una de las familias más diversas, cuyos miembros miden entre 18 y 42 mm. Poseen un abdomen robusto, con una terminación triangular. Prementón en forma de cuchara, primordios alares paralelos.

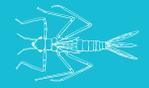
• Hábitat

Se encuentran en aguas lóxicas y lénticas en una variedad de microhábitats.

• Puntaje AAMBI: 6

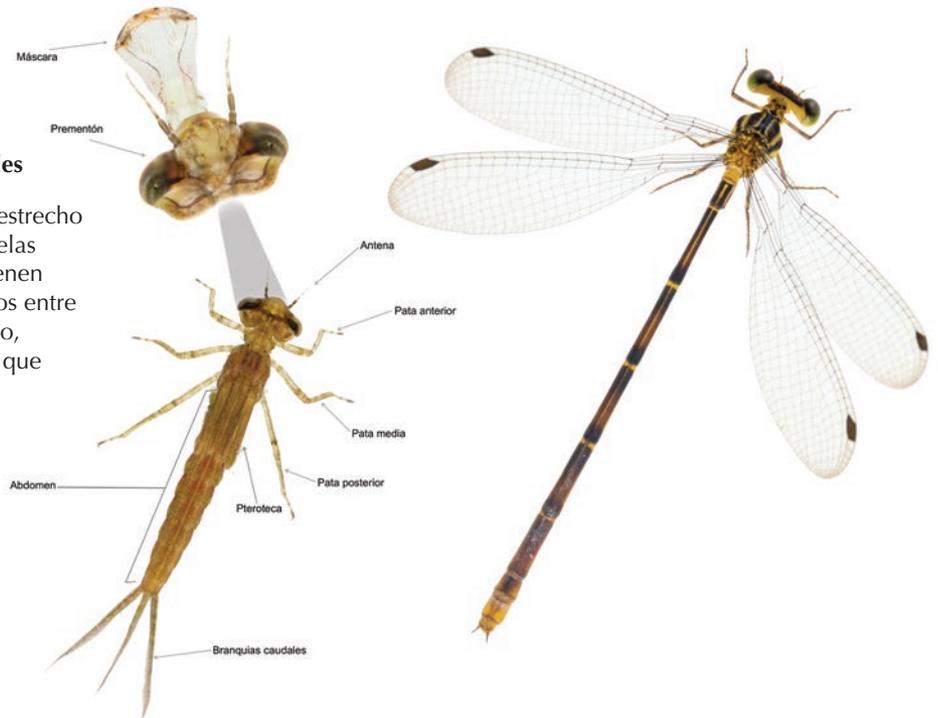


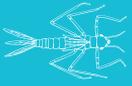
Infraorden Zygoptera



• Características generales

Presentan un abdomen estrecho que termina en tres lamelas caudales. Los adultos tienen ojos pequeños, separados entre sí y un abdomen delgado, normalmente más largo que las alas.





Familia Calopterygidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Odonata



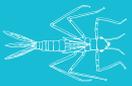
- **Características generales**

Tienen el cuerpo, las antenas y las patas alargadas. Se caracterizan por el primer segmento de la antena que es tan largo o más largo que la longitud combinada de los segmentos restantes; sin embargo, en estadios tempranos está característica no es muy notoria.

- **Hábitat**

Se encuentran aferradas a la vegetación sumergida en ríos de flujo rápido.

- **Puntaje AAMBI: 8**



Familia Polythoridae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Odonata



- **Características generales**

Esta familia no es muy común y se encuentra solo en América. Tienen la cabeza ancha y sus agallas caudales en forma de globos, con o sin espinas. Miden alrededor de 14 - 15mm.

- **Hábitat**

Se encuentran en ríos y arroyos sobre troncos en descomposición y con poca agua.

- **Puntaje AAMBI: 10**

Familia Megapodagrionidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Odonata



• Características generales

Las larvas son de tamaño mediano o grande, con cuerpo robusto y agallas caudales en forma de sacos, con o sin espinas. Algunas se pueden encontrar en arroyos de bosque montano o selva tropical.

• Hábitat

Se los puede encontrar en ríos y arroyos de agua clara con fondos rocosos o arenosos, entre la vegetación acuática o debajo de rocas.

La clasificación de esta familia está en revisión y diferentes tratados han dividido a esta familia en varias (Dijkstra *et al.*, 2013).

• Puntaje AAMBI: 6



Familia Coenagrionidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Odonata



• Características generales

Son larvas con cuerpo delgado y alargado. Miden entre 11 y 14 mm sin contar la cola. Las tres agallas caudales se caracterizan por tener forma de hoja. Son ágiles, de movimiento rápido y depredadoras.

• Hábitat

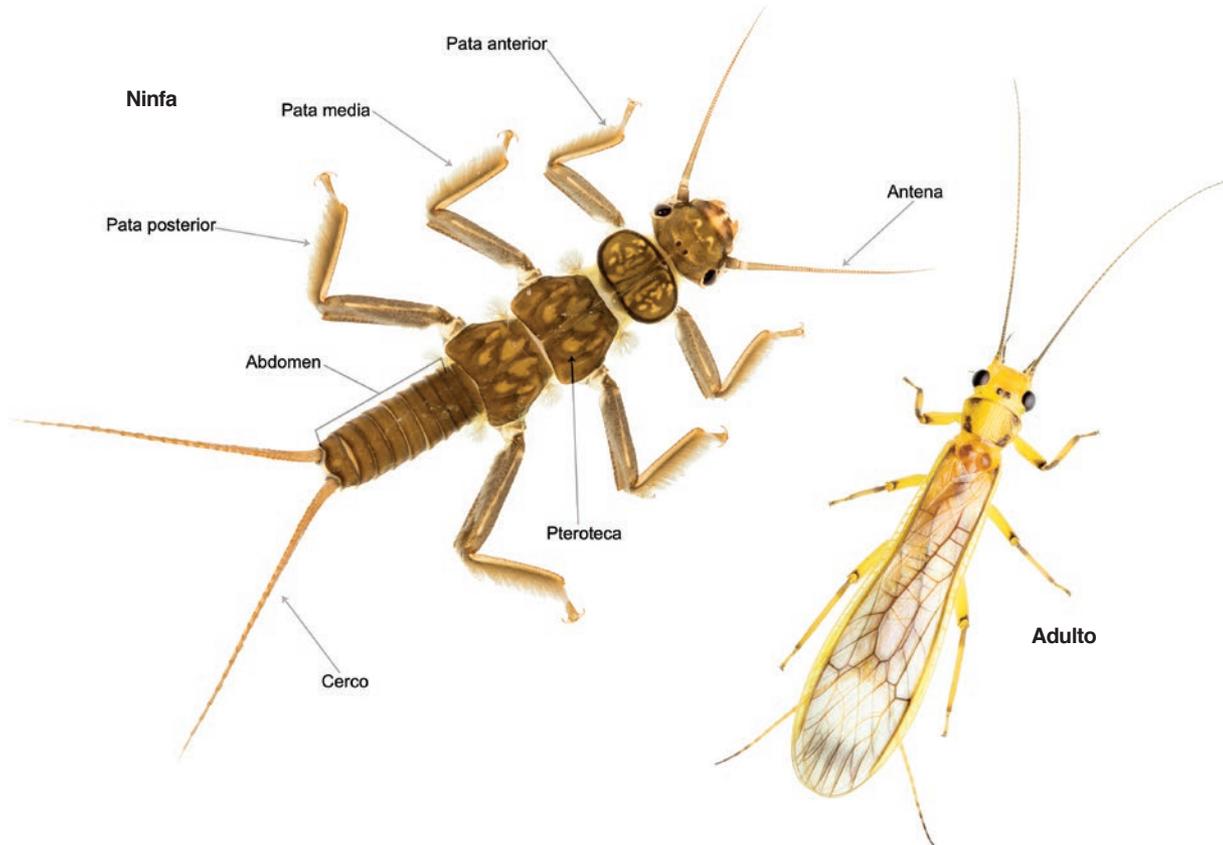
Se encuentran en aguas lólicas y lénticas entre la vegetación acuática.

• Puntaje AAMBI: 6





Orden Plecoptera



- **Nombre común**

Moscas de las Piedras.

- **Características generales**

Estos insectos pasan su vida larvaria en el agua y de adultos son voladores.

Las larvas se caracterizan por tener un par de cerci (colas) largas al final del abdomen, patas bien desarrolladas, agallas ventrales o laterales y antenas largas. Miden alrededor de 6 - 50 mm (sin antenas y cerci). Su coloración es opaca de tono amarillo, café o gris. Para su identificación a nivel de familia, es importante observar la posición de sus agallas y la forma de su boca.

- **Distribución geográfica**

Los plecópteros tienen una distribución global con excepción de Antártica, pero existe mayor diversidad en zonas templadas como Norteamérica.

- **Biología y diversidad**

Estos organismos viven en ríos limpios con un alto contenido de oxígeno disuelto. Se les suele encontrar adheridas a rocas o vegetación acuática. Por lo general son depredadores de otros organismos acuáticos.

Se han descrito aproximadamente 4000 especies, 542 del neotrópico.

Familia Perlidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Plecoptera



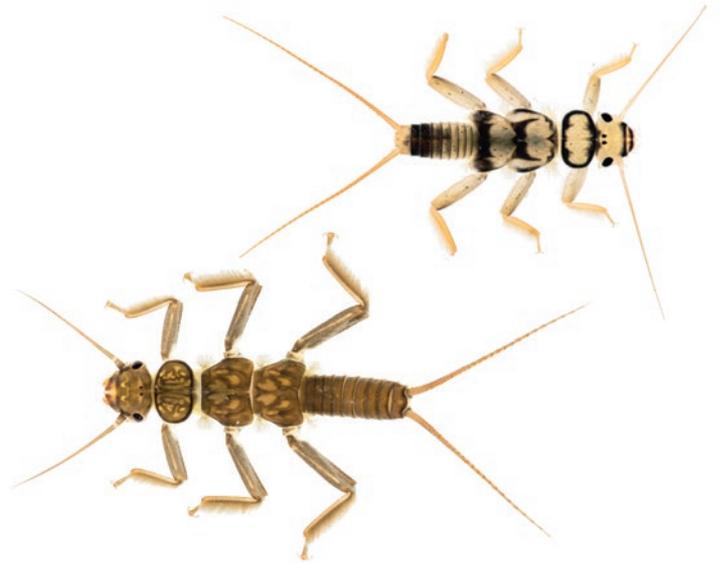
- **Características generales**

Son larvas de tamaño grande, que miden alrededor de 20 y 50 mm. Poseen branquias ramificadas en el tórax y son sensibles a contaminación, por lo que son buenos indicadores de calidad de agua.

- **Hábitat**

Se encuentran en ríos pequeños y grandes, debajo de troncos y piedras. Los adultos, comúnmente, se encuentran posados sobre rocas o vegetación ribereña.

- **Puntaje AAMBI: 10**



Familia Gripopterygidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Plecoptera



- **Características generales**

Son larvas pequeñas, miden alrededor de 3 y 10 mm. Tienen agallas en la parte caudal. Son de color amarillo blanquecino.

- **Hábitat**

Se encuentran en ríos pequeños con abundante oxígeno disuelto.

- **Puntaje AAMBI: 10**



Orden Blattodea



- **Nombre común**

Cucarachas.

- **Características generales**

Este orden se caracteriza por ser muy diverso y adaptable. Pueden presentar tamaños desde menos de 1 cm hasta más de 7 cm. Se caracterizan por tener un cuerpo aplastado, y un tegumento liso con pocos pelos y sin espinas, a excepción de las patas. En el tórax suelen presentar un pronoto amplio en forma de escudo que suele cubrir la cabeza.

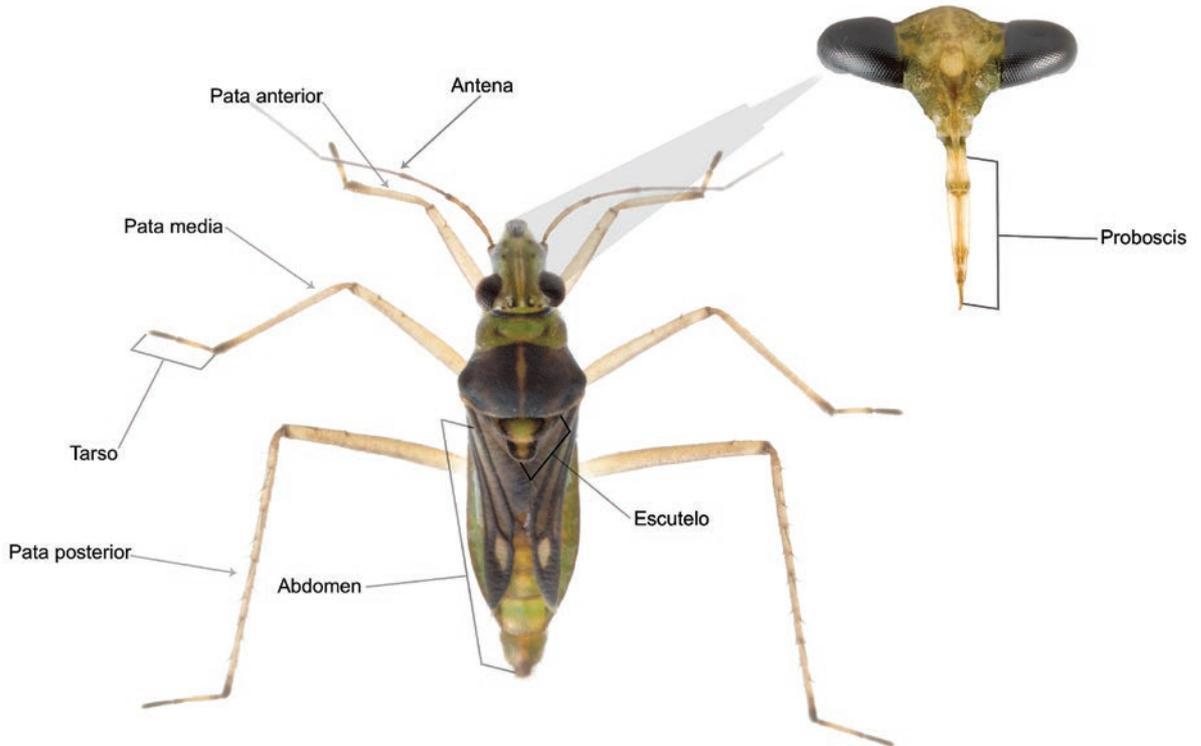
- **Puntaje AAMBI: 4**

- **Distribución geográfica**

Cosmopolita.

- **Biología y diversidad**

La mayoría de cucarachas son omnívoras y muy buenas descomponedoras de materia orgánica, y muy pocas son herbívoras. Prefieren ambientes húmedos, dentro de arbustos o en la hojarasca. La mayoría son terrestres. Existen algunas especies de la familia Blaberidae que viven en ambientes acuáticos y semi-acuáticos (Bell *et al.*, 2007).



- **Nombre común**

Chinches / Chinches de Agua / Patinadores.

- **Características generales**

Este grupo se caracteriza por tener una boca modificada en forma de pico para succionar. Poseen alas anteriores endurecidas, mientras que las alas posteriores son membranosas. Cuentan con adaptaciones para tomar el oxígeno de la atmósfera, como tubos anales y espiráculos en el dorso. Su ciclo de vida es huevo-ninfa-adulto. Para su identificación a nivel de familia es importante ver la forma de su cuerpo, la segmentación de sus antenas y patas, y la posición y forma de sus garras.

- **Distribución geográfica**

Cosmopolita.

- **Biología y diversidad**

Se los encuentra en aguas lentas como remansos de ríos, lagos y lagunas ya que no son muy resistentes a corrientes rápidas. Son predadores y se alimentan de otros organismos acuáticos. Algunas especies son totalmente acuáticas mientras que otras semi-acuáticas, pero la mayoría de especies son terrestres. Existen alrededor de 700 especies en el trópico americano.



Familia Pleidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Hemiptera

- **Características generales**

Son pequeños, con cuerpo de forma ovoide. Sus patas tienen garras y ninguna está modificada para nadar.

- **Hábitat**

Se encuentran mayormente entre la vegetación de aguas lentas.

- **Puntaje AAMBI: 8**



Familia Gerridae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Hemiptera

- **Características generales**

Son insectos de tamaño variable (1 - 36 mm). Sus patas medias y posteriores son muy largas y delgadas, y alejadas de sus patas anteriores. También se los distingue por tener un mesotórax bastante prolongado.

- **Hábitat**

Se los encuentra sobre la superficie del agua en varios hábitats acuáticos.

- **Puntaje AAMBI: 5**



Familia Veliidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Hemiptera



- **Características generales**

Son insectos de tamaño pequeño, miden alrededor de 1 y 10 mm. Su cuerpo está cubierto por pequeños pelos. Tienen los ojos grandes y la cabeza corta y ancha.

- **Hábitat**

Se los encuentra en su mayoría en aguas lentas con vegetación flotante sobre la superficie del agua.

- **Puntaje AAMBI: 5**



Familia Mesoveliidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Hemiptera



- **Características generales**

Son insectos de tamaño pequeño, miden alrededor de 1 y 10 mm. Tienen los ojos grandes, y la cabeza corta y ancha. La separación entre la unión de las patas izquierdas y derechas es pequeña.

- **Hábitat**

Se los encuentra en su mayoría en aguas lentas con vegetación flotante sobre la superficie del agua.

- **Puntaje AAMBI: 5**





Familia Hydrometridae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Hemiptera



• Características generales

Son insectos de tamaño entre 8 y 15 mm. Tienen un cuerpo muy alargado y delgado, al igual que su cabeza. Sus ojos suelen estar en la mitad de la longitud de la misma. Sus patas son largas y le permiten movilizarse en la superficie del agua.

• Hábitat

Se encuentran principalmente en las orillas de lagos, estanques y aguas calmadas, cerca de la vegetación de ribera.

• Puntaje AAMBI: 4



Familia Corixidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Hemiptera



• Características generales

Miden alrededor de 1,5 y 15 mm. Tienen el cuerpo aplanado y las patas posteriores en forma de remos. Las patas anteriores son cortas mientras que las patas medias son largas y delgadas. Su cabeza es ancha y triangular.

• Hábitat

Se encuentran en ríos con corriente lenta en donde existe vegetación sumergida.

• Puntaje AAMBI: 5

Familia Notonectidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Hemiptera



- **Características generales**

Miden entre 3,5 y 20 mm. Se los distingue por sus patas posteriores como remos y su cuerpo de forma navicular. Sus patas medias y anteriores son cortas y tienen los ojos grandes.

- **Hábitat**

Se encuentran en su mayoría en charcos, lagos o lagunas; no son muy comunes en ríos. Son tolerantes a la contaminación.

- **Puntaje AAMBI: 5**



Familia Naucoridae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Hemiptera



- **Características generales**

Miden alrededor de 5 y 20 mm. Tienen el cuerpo ovalado y aplanado. Sus patas anteriores son anchas y tienen el rostro corto y robusto sin antenas visibles.

- **Hábitat**

Se los encuentra en ríos pedregosos y arroyos, en aguas de corriente moderada. También hay especies que viven en charcos, lagos y lagunas con bastante vegetación acuática.

- **Puntaje AAMBI: 5**





Familia Belostomatidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Hemiptera



• Características generales

Pueden tener tamaños variados entre 12 a 110 mm. Tienen el cuerpo ovalado y robusto. Algunos tienen la cabeza que termina en forma cónica. Algunas especies presentan las patas posteriores aplanadas y sus patas frontales están modificadas para la depredación.

• Hábitat

Se los encuentra en aguas lentas y profundas con bastante vegetación acuática.

• Puntaje AAMBI: 4



Familia Nepidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Hemiptera



• Características generales

Pueden tener un cuerpo ancho y plano, o largo y delgado. Tienen patas anteriores raptoras para la captura de presas, y presentan apéndices respiratorios al final del abdomen.

• Hábitat

Se los encuentra en aguas lentas y profundas con bastante vegetación acuática.

• Puntaje AAMBI: 5

Familia Gelastocoridae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Hemiptera



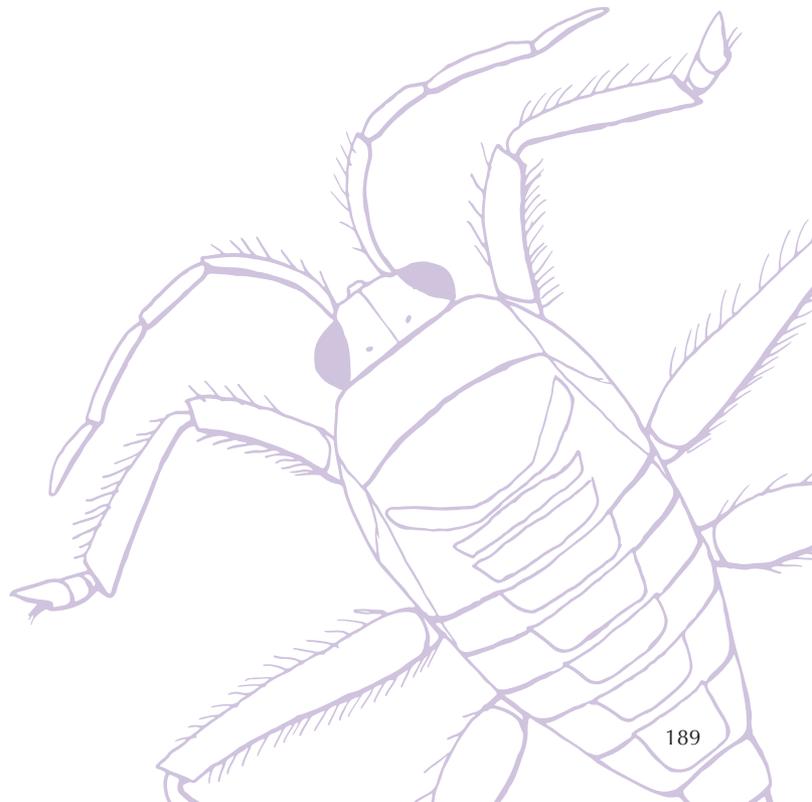
- **Características generales**

Son insectos pequeños de forma ovalada. Sus ojos son prominentes hacia los lados de la cabeza. Sus patas delanteras son raptoras, adaptadas a la depredación. Se caracterizan por saltar para movilizarse.

- **Hábitat**

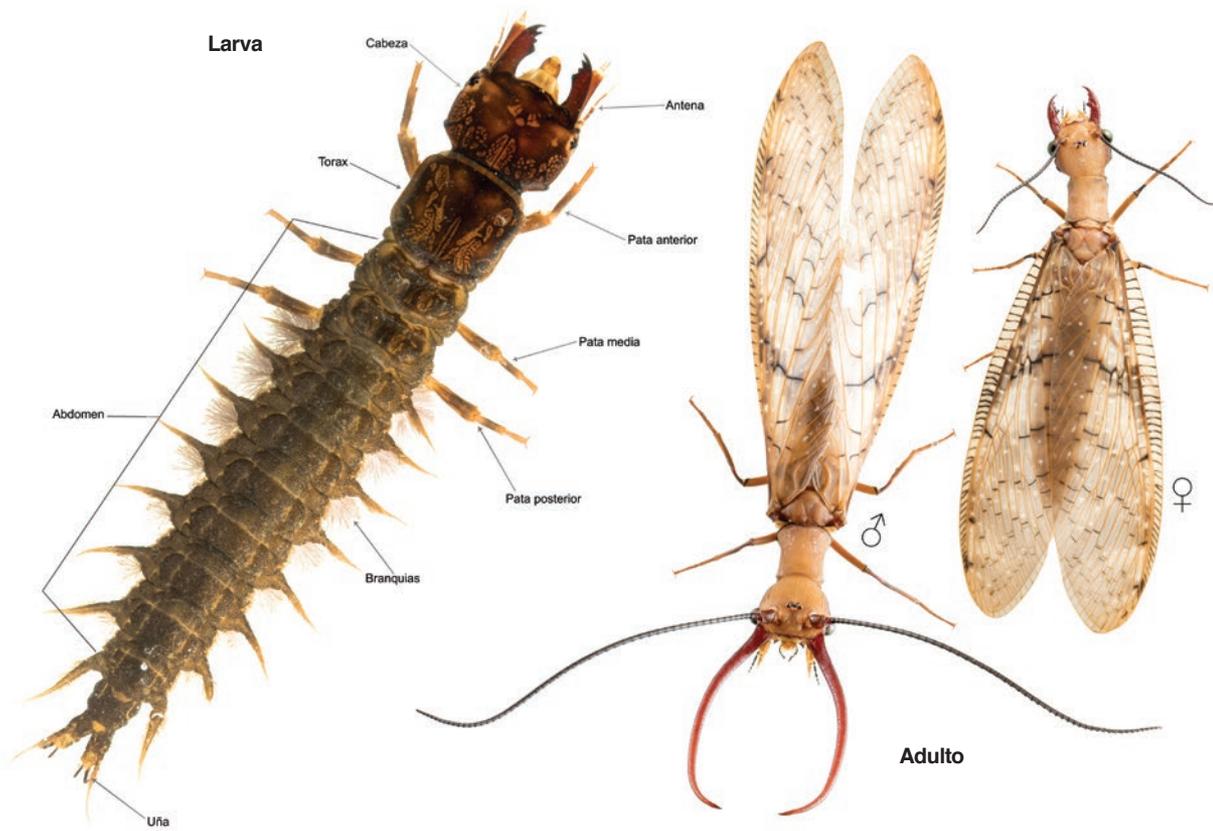
Se los encuentra en las orillas de ríos y lagunas, depredando a otros invertebrados.

- **Puntaje AAMBI: 5**





Orden Megaloptera



- **Nombre común**

Perros de Agua.

- **Características generales**

Las larvas son estrictamente acuáticas, las pupas y los adultos son terrestres.

Son insectos de gran tamaño que presentan un estado larvario depredador, carroñero y en algunos casos se ha observado canibalismo.

- **Distribución geográfica**

Se encuentran en toda América, Sudáfrica y Australia.

- **Biología y diversidad**

Habitan principalmente en arroyos caudalosos bajo las piedras y también en zonas con corrientes más lentas y fondos arenosos.

Familia Corydalidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Megaloptera



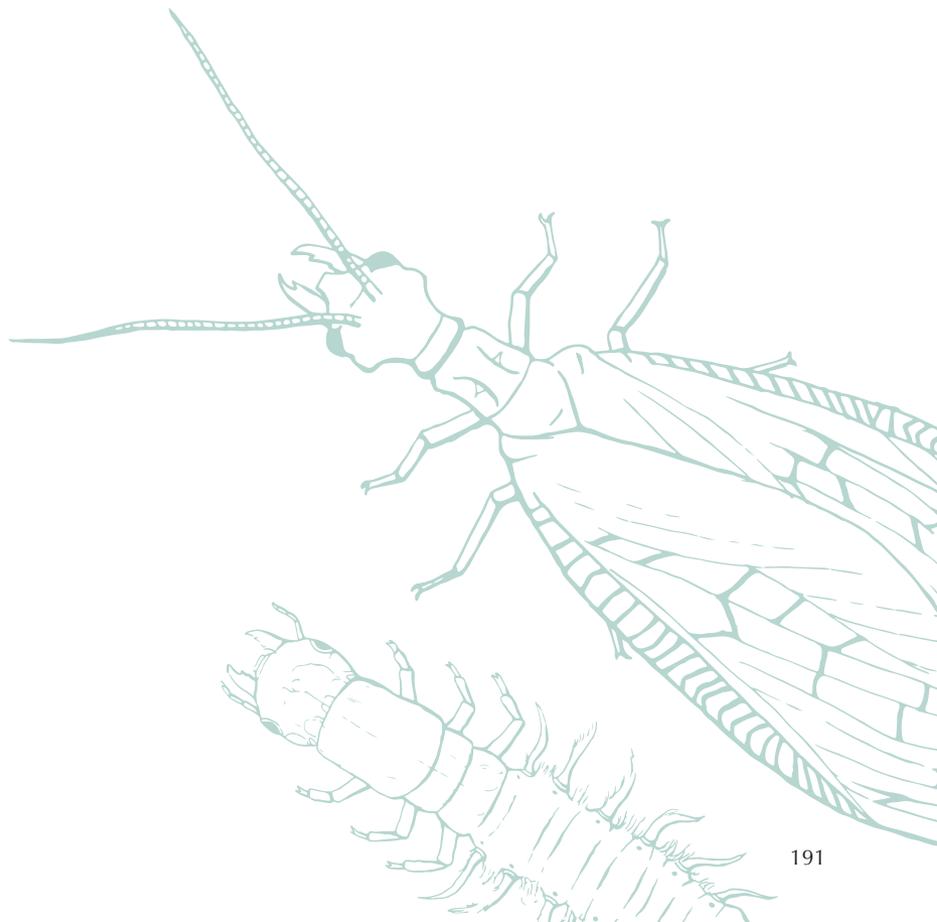
- **Características generales**

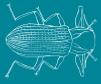
Son larvas grandes de colores oscuros, negro o café. Presentan grandes mandíbulas y apéndices a lo largo del abdomen, con branquias en las bases de cada uno. También poseen un par de apéndices con dos ganchos cada uno, en el extremo anal.

- **Hábitat**

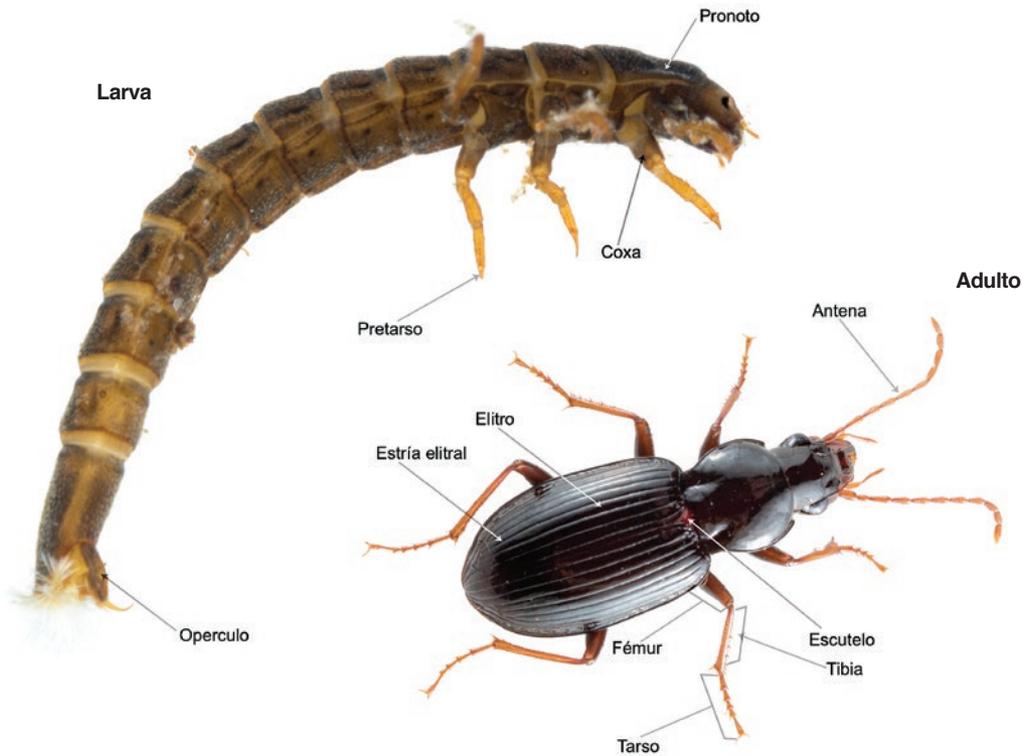
Se los encuentra principalmente en aguas rápidas en el fondo rocoso. Suelen estar quietos esperando a sus presas.

- **Puntaje AAMBI: 9**





Orden Coleoptera



- **Nombre común**

Escarabajos / Catzos de agua.

- **Características generales**

Es uno de los órdenes más grandes y complejos debido a que existen especies semi-acuáticas y especies donde el adulto es completamente terrestre. Los coleópteros se desarrollan mediante la metamorfosis completa que consiste en el siguiente ciclo: huevo, larva, pupa y adulto. Todo el ciclo de vida puede durar de 1 a 2 años.

Los huevos de las especies acuáticas son depositados en el agua sobre diferentes sustratos (vegetación, rocas, grava).

Las larvas acuáticas tienen diversas formas. Sus partes bucales son visibles y presentan una cápsula de consistencia dura en la cabeza. El abdomen puede presentar agallas laterales o ventrales y segmentos endurecidos (esternitos).

Los coleópteros acuáticos adultos poseen un cuerpo compacto, con antenas visibles que varían de acuerdo al taxa en su forma y número de segmentos. El número de segmentos de cada tarso (fórmula tarsal), es muy importante para la clasificación de la familia. El primer par de alas están modificadas en una coraza llamada élitros, que generalmente cubren el segundo par de alas, el tórax y el abdomen.

- **Distribución geográfica**

Cosmopolita.

- **Biología y diversidad**

La mayor parte de coleópteros acuáticos viven en aguas dulces continentales, tanto de corriente rápida como lenta. Viven principalmente en aguas limpias con altas concentraciones de oxígeno y temperatura media. Están ubicados en varios niveles tróficos ya que pueden ser herbívoros, carnívoros o detritívoros.

Los escarabajos son el orden más diverso entre los insectos, con aproximadamente 400 000 especies descritas, de las cuales un pequeño porcentaje (18 000 especies) son acuáticas. No obstante, esto también los convierte en el orden más diverso entre los invertebrados acuáticos.

Familia Gyridae (adulto)

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Coleoptera



• Características generales

Son estrictamente acuáticos y miden alrededor de 2 y 15 mm. Tienen los ojos divididos en dos partes (superior e inferior), lo cual les permite ver dentro y fuera del agua al mismo tiempo. Son de color oscuro y pueden tener reflejos metálicos.

• Hábitat

Normalmente se encuentran sobre la superficie del agua, aunque también son buenos buceadores. Durante la pupación se los puede ver enterrados en el sustrato de ríos y arroyos.

• Puntaje AAMBI: 3



Familia Gyridae (larva)

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Coleoptera



• Características generales

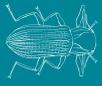
Miden alrededor de 6 – 30 mm. Las larvas se caracterizan por tener dos pares de ganchos al final del abdomen, que consiste en 10 segmentos. Poseen branquias laterales.

• Hábitat

Se encuentran en los sustratos de ríos de aguas claras con corriente lenta o lagos.

• Puntaje AAMBI: 3





Familia Noteridae (adulto)

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Coleoptera



• Características generales

Los adultos son predadores de pequeño tamaño, entre 1 y 5,8 mm. Su cuerpo tiene forma ovalada y se distinguen por tener una placa triangular en el vientre, entre el segundo y tercer par de patas.

• Hábitat

Se los puede encontrar entre la vegetación acuática en aguas lénticas.

• Puntaje AAMBI: 4



Familia Noteridae (larva)

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Coleoptera



• Características generales

Las larvas han sido poco estudiadas, pero muchas tienen cuerpo cilíndrico y robusto, con terminación cónica y patas cortas.

• Hábitat

Las larvas suelen enterrarse en el sedimento, adherirse a plantas acuáticas y rara vez se las encuentra cerca de la superficie. Prefieren aguas lénticas.

• Puntaje AAMBI: 4

Familia Dytiscidae (adulto)

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Coleoptera



- **Nombre común**

Escarabajos buceadores.

- **Características generales**

Se los conoce como los escarabajos buceadores y es el grupo más numeroso de coleópteros acuáticos en el mundo. Los adultos tienen un color oscuro. Su tamaño es muy variable, pueden medir entre 1 y 50 mm dependiendo de la especie. La mayoría de especies tienen una forma aplanada, pero también pueden ser globosos.



- **Hábitat**

Se encuentran en una gran variedad de hábitats (charcos, lagunas, lagos, ríos, arroyos, aguas subterráneas).

- **Puntaje AAMBI: 3**

Familia Dytiscidae (larva)

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Coleoptera



- **Características generales**

Las larvas son predadoras, tienen el cuerpo alargado y mandíbulas bien desarrolladas. Sus patas anteriores y medias son cortas. Miden alrededor de 2 - 70 mm.

- **Hábitat**

Se encuentran en una gran variedad de hábitats (charcos, lagunas, lagos, ríos, arroyos, aguas subterráneas).

- **Puntaje AAMBI: 3**





Familia Scirtidae (larva)

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Coleoptera



- **Características generales**

Solamente las larvas de esta familia son acuáticas, mientras los adultos son terrestres. Las larvas son aplanadas, alargadas y tienen antenas bastante largas. Miden alrededor de 5 a 15 mm.

- **Hábitat**

Se encuentran en aguas lentas, aguas estancadas en troncos y plantas epífitas.

- **Puntaje AAMBI: 5**



Familia Ptilodactylidae (larva)

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Coleoptera



- **Características generales**

Se sabe muy poco del estadio larvario de esta familia. Tienen el cuerpo cilíndrico, alargado y antenas largas. Pueden tener sifones terminales. Los adultos son terrestres.

- **Hábitat**

Se los encuentra en ríos y arroyos enterrados en el sustrato, en madera podrida u hojarasca.

- **Puntaje AAMBI: 5**

Familia Elmidae (adulto)

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Coleoptera



• Características generales

En América, la familia Elmidae tiene cerca de 55 géneros. Los élmidos pueden variar entre 1 y 15 mm de longitud y suelen ser de colores oscuros. Las antenas de los adultos son más grandes que su cabeza y sus patas tienen cinco segmentos.

• Hábitat

Se encuentran mayormente en aguas rápidas y poco profundas. Los adultos pueden salir ocasionalmente a la tierra, por lo que pueden ser atraídos con trampas. No son nadadores, y donde la corriente es moderada se adhieren a rocas, grava, troncos y hojas. Son herbívoros y detritívoros. En días calurosos se los puede encontrar fuera del agua sobre rocas o troncos.



• Puntaje AAMBI: 5

Familia Elmidae (larva)

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Coleoptera



• Características generales

Las larvas no han sido bien estudiadas en América del Sur. Su abdomen es generalmente duro y tiene nueve segmentos. El noveno segmento tiene un opérculo ventral. Se cree que su respiración es una combinación entre cutánea y por medio de branquias anales. Se alimentan de algas y su ciclo de desarrollo es lento, entre uno y dos años.

• Hábitat

Se los puede encontrar en el mismo ambiente que los adultos, y a orillas de ambientes lóticos.



• Puntaje AAMBI: 5



Familia Psephenidae (larva)

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Coleoptera



- **Nombre común**

Moneditas de agua.

- **Características generales**

Las larvas tienen el cuerpo ovalado o circular. Son aplanadas y poseen branquias traqueales.

Los adultos no son acuáticos, pero viven cerca del agua. Son de pequeño tamaño, colores oscuros y cuerpo pubescente (cubierto de pelos finos y suaves).

- **Hábitat**

Las larvas se encuentran adheridas debajo de rocas en ríos y arroyos.

- **Puntaje AAMBI: 5**



Familia Lampyridae (larva)

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Coleoptera



- **Características generales**

Se conoce muy poco acerca de esta familia. La mayoría de especies son terrestres.

Las larvas que son acuáticas tienen el cuerpo ligeramente aplanado y tienen una cabeza parcialmente retráctil dentro del tórax. Algunas especies pueden poseer branquias. Los adultos tienen antenas largas, cuerpo blando, colores claros, usualmente con bandas longitudinales y órganos bioluminiscentes en el abdomen (producen luz).

- **Hábitat**

Se la encuentra en ríos o sobre vegetación flotante.

- **Puntaje AAMBI: 5**

Familia Hydrophilidae (adulto)

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Coleoptera



- **Características generales**

Los adultos son acuáticos y miden alrededor de 1 a 50 mm. Se caracterizan por tener las antenas ensanchadas en las puntas, con tres segmentos y por tener cerdas en sus patas posteriores para nadar.

- **Hábitat**

Se encuentran en ríos con corriente lenta, lagos o lagunas.

- **Puntaje AAMBI: 3**



Familia Hydrophilidae (larva)

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Coleoptera



- **Características generales**

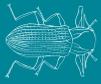
Las larvas son predatoras y se caracterizan por tener mandíbulas bien desarrolladas dirigidas hacia adelante. Su cuerpo es alargado y ligeramente aplanado dorso-ventralmente.

- **Hábitat**

Se encuentran en ríos con corriente lenta, lagos o lagunas. La mayoría se arrastran en el sustrato o en plantas acuáticas.

- **Puntaje AAMBI: 3**





Familia Staphylinidae (adulto)

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Coleoptera

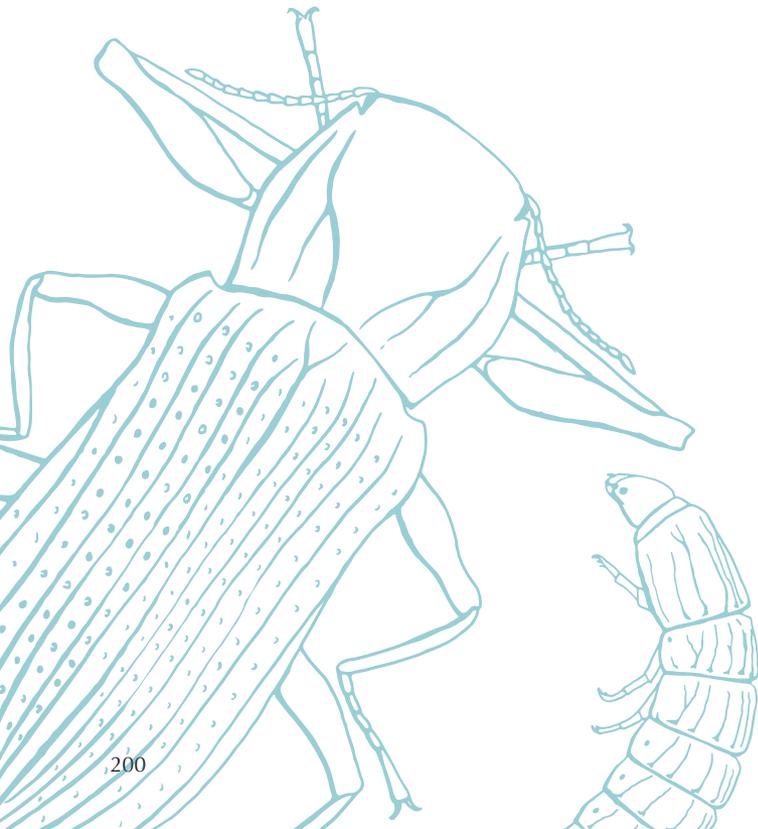
- **Características generales**

La mayoría de especies son terrestres, pero existen algunas pocas que son acuáticas o subacuáticas. Los adultos se distinguen por sus élitros cortos (alas modificadas en una coraza).

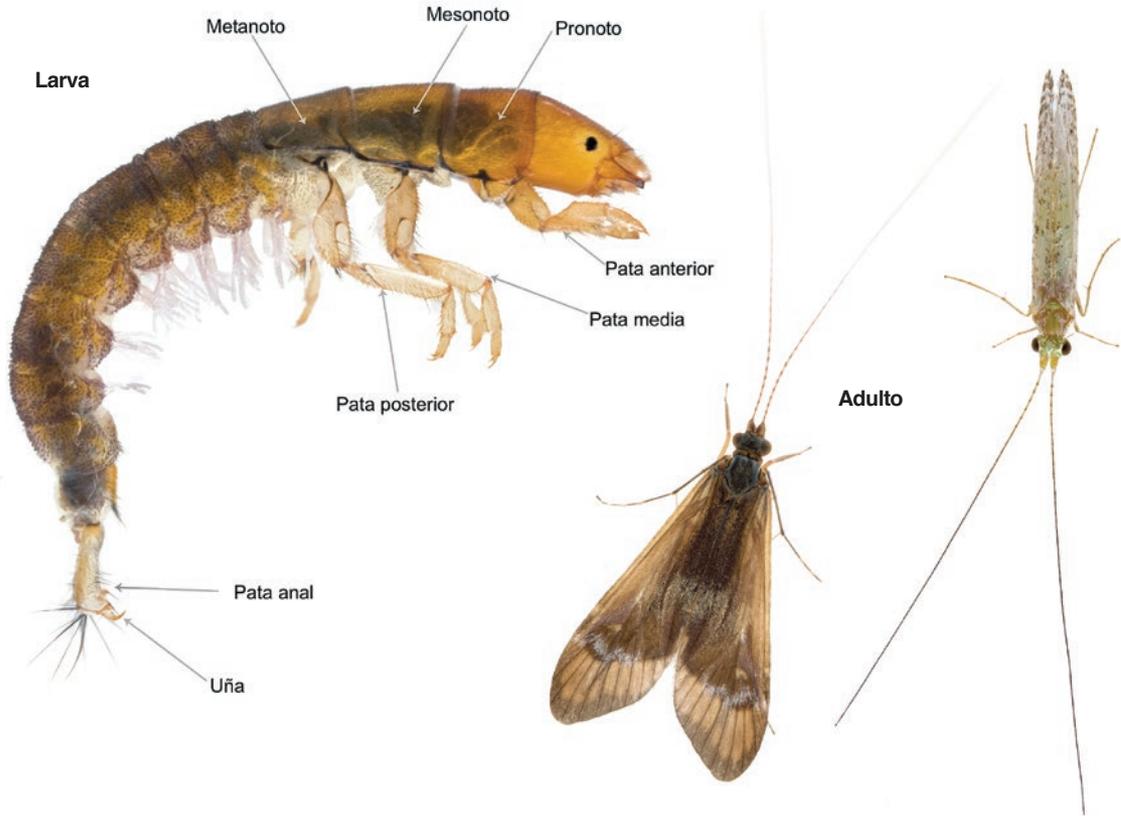
- **Hábitat**

Se las puede encontrar sobre la superficie del agua en ríos.

- **Puntaje AAMBI: 3**



Orden Trichoptera



- **Nombre común**

Moscas constructoras de casitas.

- **Características generales**

Son insectos que realizan metamorfosis completa, que consiste en el siguiente ciclo: huevo, larva, pupa y adulto. La mayoría de los tricópteros pasan por sus diferentes estadios a lo largo de uno o dos años de desarrollo. Sus larvas pueden vivir tanto en hábitats lóticos (corrientes rápidas) como lénticos (corrientes lentas); se alimentan principalmente de algas y materia vegetal, aunque algunos también son depredadores. La etapa pupal dura de dos a tres semanas, al cabo de las cuales sale el adulto. Los adultos son muy activos en las primeras horas de la noche. Las hembras depositan los huevos en el agua y muchas veces los encierran en una masa gelatinosa.

En su estado larval, los tricópteros se caracterizan por construir casas o refugios de formas muy variadas, dependiendo de la especie.

- **Distribución geográfica**

Cosmopolita.

- **Biología y diversidad**

Generalmente viven en aguas limpias y con bastante oxigenación, debajo de piedras, troncos y material vegetal. Pocas especies viven en aguas quietas y remansos de ríos y quebradas. Son buenos indicadores de aguas oligotróficas (aguas claras, bajas en nutrientes y de buena calidad).

Son un grupo bastante diverso, con aproximadamente 15 000 especies descritas. Para el neotrópico se han descrito familias, géneros y especies endémicas de la región.



Familia Philopotamidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Trichoptera



- Larvas de vida libre

- Características generales

Miden alrededor de 10 – 12 mm. Su cuerpo es alargado y blando. Tienen la cabeza y el pronoto esclerotizados. Su labro visto dorsalmente tiene forma de "T". Construyen redes en forma de dedo de guante.

- Hábitat

Se los encuentra en aguas corrientes y oxigenadas debajo de piedras u hojarasca.

- Puntaje AAMBI: 8



Familia Xiphocentronidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Trichoptera



- Larvas de vida libre

- Características generales

Son pequeños y delgados, miden 4 a 8 mm. Tienen el pronoto esclerotizado. Su tibia y tarso están fusionados. Tienen la uña anal curva. Construyen casas tubulares hechas de arena.

- Hábitat

Se los encuentra en ríos y arroyos bien oxigenados y con fondos pedregosos, por encima de la superficie de agua o incluso en habitats semi-terrestres.

- Puntaje AAMBI: 8

Familia Polycentropodidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Trichoptera



- Larvas de vida libre

- Características generales

Miden alrededor de 15 a 17 mm. Tienen la cabeza alargada y el pronoto esclerotizado. Sus patas anales se caracterizan por tener una marca en forma de X. Construyen casas tubulares de seda, con aperturas en ambos extremos y cubiertas de escombros.

- Hábitat

Se los encuentra en ríos o arroyos con aguas lentas. También se los puede ver en corrientes rápidas entre la vegetación de ribera.

- Puntaje AAMBI: 8



Familia Hydropsychidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Trichoptera



- Larvas de vida libre

- Características generales

Dependiendo del género, pueden medir entre 4 y 17 mm. Tienen agallas abdominales ramificadas de un tallo central. A pesar de ser una familia de vida libre, las larvas construyen casas en forma de red para capturar alimento, y en la pupación construyen casas con rocas, muy similares a las de Glossosomatidae.

- Hábitat

Viven en aguas corrientes con mucha vegetación. Toleran aguas con contaminación moderada. Son indicadores de aguas oligotróficas (aguas claras y de buena calidad) y eutróficas (aguas más turbias por la presencia de algas, alto contenido de nutrientes y poco oxígeno).

- Puntaje AAMBI: 5





Familia Hydrobiosidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Trichoptera



- Larvas de vida libre

- Características generales

Son depredadores que miden entre 10 y 12 mm. Sus primeras patas son bastante robustas, y no construyen casas.

- Hábitat

Se encuentran en aguas corrientes frías y bastante oxigenadas. Las larvas están mayormente adheridas a sustratos pedregosos con poco material vegetal. Son indicadoras de aguas oligotróficas (aguas claras y de buena calidad).

- Puntaje AAMBI: 8



Familia Glossosomatidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Trichoptera



- Larvas constructoras de casas

- Características generales

Miden alrededor de 4 mm. Tienen la uña de la pata anal con 5 dientes en forma de racimo. Las casas de las larvas están construidas con piedras, en forma de tortuga y están adheridas fuertemente al sustrato.

- Hábitat

Se encuentran mayormente en aguas de mucha corriente, bastante oxigenadas, adheridos a piedras, ramas u hojas. Son indicadoras de aguas oligotróficas (aguas claras y de buena calidad).

- Puntaje AAMBI: 7

Familia Hydroptilidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Trichoptera



- Larvas constructoras de casas

- Características generales

Miden de 2 a 4 mm de largo. Tienen el abdomen carente de agallas branquiales, y solamente con dos a tres pelos en la base de la uña anal. Construyen casas portátiles en forma de sacos contruidos con finos granos de arena o material vegetal.

- Hábitat

Viven mayormente en aguas corrientes lénticas. Son indicadores de aguas oligotróficas (aguas claras y de buena calidad).

- Puntaje AAMBI: 6



Familia Limnephilidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Trichoptera



- Larvas constructoras de casas

- Características generales

De tamaño grande, los adultos pueden medir hasta 15 mm de largo. Las larvas se alimentan de detrito y construyen casas o refugios en forma de cilindros, de diferentes materiales, como materia vegetal y minerales. Tienen la antena situada entre el ojo y el margen anterior de la cabeza, y poseen un cuerno prosternal.

- Hábitat

Viven en lagos y ríos de aguas frías, aunque también se los puede encontrar en lagos y lagunas, asociados a rocas o sedimentos arenosos.

- Puntaje AAMBI: 7





Familia Atriplectididae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Trichoptera



- **Larvas constructoras de casas**

- **Características generales**

Tienen la característica única en el grupo donde la cabeza, el pronoto y el mesonoto son delgados, alargados y retráctiles, debido a que se alimenta de cadáveres en el río.

- **Hábitat**

Se los encuentra en ríos correntosos, en zonas bien oxigenadas y de sustrato pedregoso.

- **Puntaje AAMBI: 10**



Familia Odontoceridae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Trichoptera



- **Larvas constructoras de casas**

- **Características generales**

Estos insectos construyen casas cónicas de arena y piedra. Sus patas anales poseen pequeñas espinas. Miden alrededor de 9 a 10 mm.

- **Hábitat**

Se los encuentra en ríos o arroyos con corriente rápida, entre depósitos de arena y piedra, donde a veces se entierran.

- **Puntaje AAMBI: 10**

Familia Calamoceratidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Trichoptera



- Larvas constructoras de casas

- Características generales

Se reconocen fácilmente por sus casas de forma aplanada hechas de hojarasca caída de la vegetación de ribera.

- Hábitat

Se las encuentra en aguas con corriente lenta entre acumulaciones de hojarasca.

- Puntaje AAMBI: 10



Familia Leptoceridae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Trichoptera



- Larvas constructoras de casas

- Características generales

Miden alrededor de 7 a 15mm. Tienen patas posteriores muy prolongadas, mandíbulas bien desarrolladas y antenas relativamente largas. Construyen capullos cónicos y alargados con materiales diversos como piedras, arena, hojas o simplemente seda.

- Hábitat

Se las encuentra en ríos con corriente lenta.

- Puntaje AAMBI: 8





Anomalopsychidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Trichoptera



- Larvas constructoras de casas

- Características generales

Tienen el pronoto alargado. La uña anal es larga y recta. Construyen capullos en forma de cono de distintos materiales como piedras y arena, y se alimentan de algas.

- Hábitat

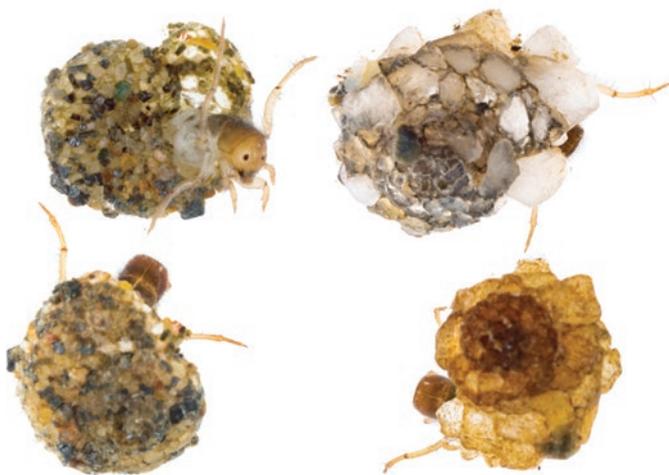
Se los encuentra en ríos y arroyos entre rocas.

- Puntaje AAMBI: 10



Familia Helicopsychidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Trichoptera



- Larvas constructoras de casas

- Características generales

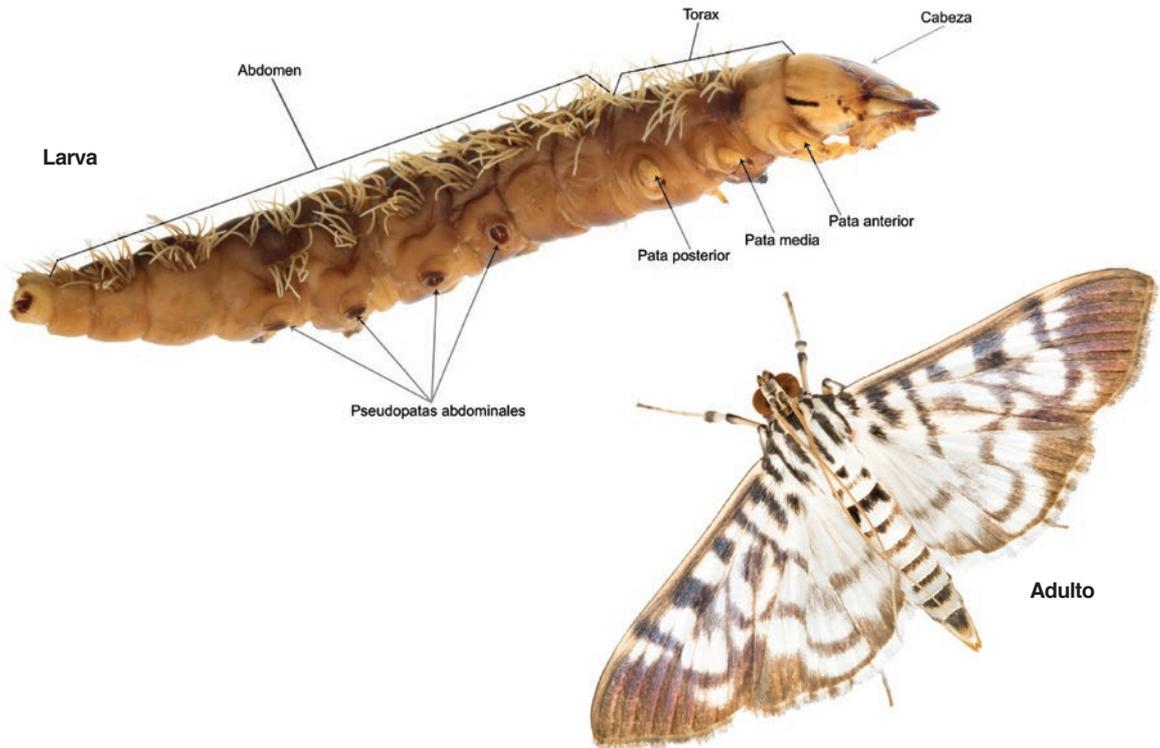
Se los distingue fácilmente porque construyen capullos en forma de caracol. Tienen el pronoto y el mesonoto bien esclerotizados. Su uña anal tiene forma de peine.

- Hábitat

Se los encuentra en aguas con fondos rocosos y diferentes tipos de corriente. Son tolerantes a aguas calientes.

- Puntaje AAMBI: 10

Orden Lepidoptera



- **Nombre común**

Polillas acuáticas.

- **Características generales**

Este grupo de insectos en su mayoría son terrestres, pero existen algunas especies cuyas larvas son acuáticas y semi-acuáticas. Los lepidópteros realizan metamorfosis completa y los adultos se conocen comúnmente como mariposas y polillas.

Las larvas acuáticas en sus estadios tempranos tienen un color blanquecino. Algunas especies pueden presentar branquias o espiráculos en el tórax y abdomen para poder respirar.

- **Distribución geográfica**

Cosmopolita.

- **Biología y diversidad**

Las larvas semi-acuáticas se encuentran en la vegetación de ribera y se alimentan de ésta, por lo que, a veces, se las considera como plagas. Las larvas acuáticas viven sumergidas totalmente en el agua en ambientes lénticos entre raíces de plantas.

Son el tercer orden más diverso de insectos, con aproximadamente 157 000 especies descritas, de las cuales la mayoría son terrestres.



Familia Crambidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Lepidoptera



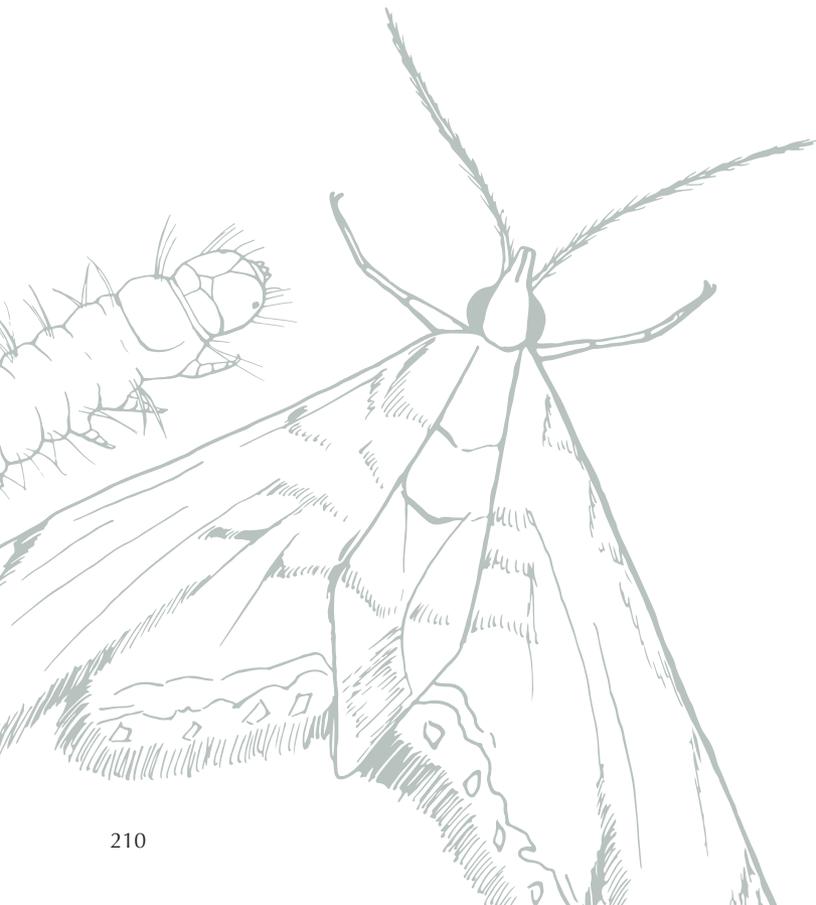
- **Características generales**

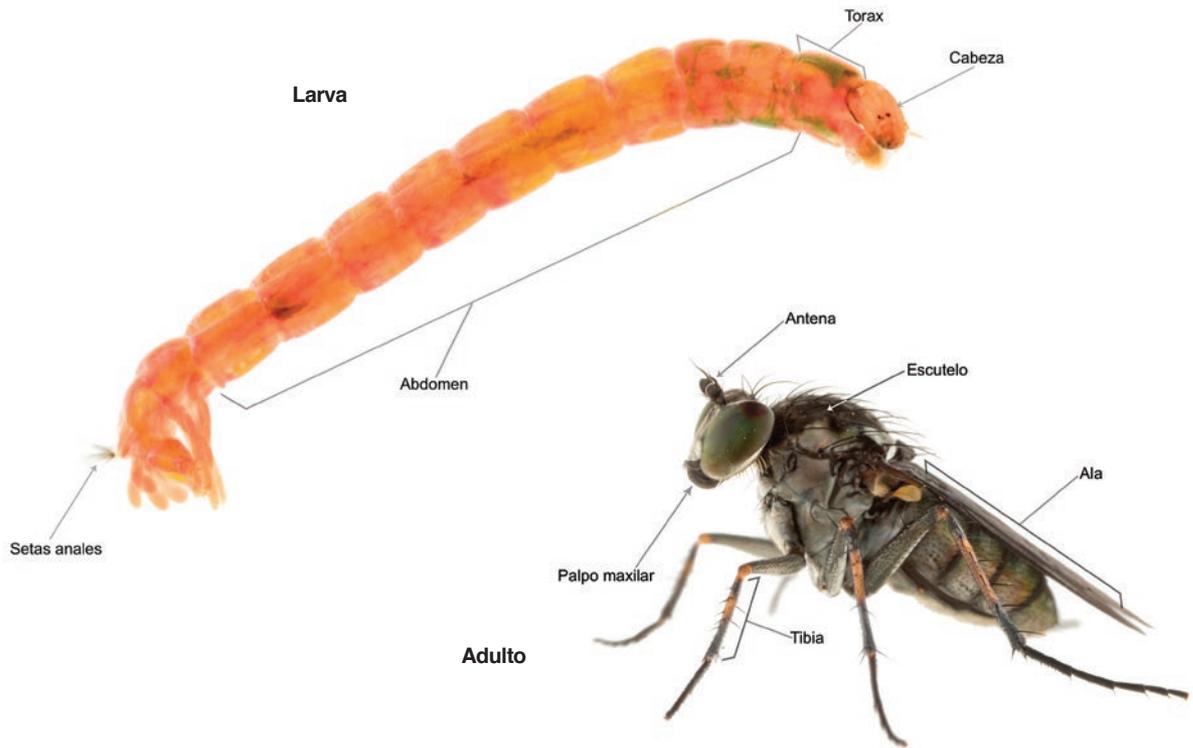
Miden entre 3 y 35 mm. Se los distingue de especies terrestres por la presencia de pseudo patas (patas falsas) y ganchos pequeños en su abdomen. Algunas especies acuáticas tienen branquias.

- **Hábitat**

Se los encuentra entre la vegetación acuática en ríos, arroyos, lagunas y lagos, o formando un capullo de seda en pequeños huecos de rocas sumergidas.

- **Puntaje AAMBI: 4**





- **Nombre común**

Moscas / Mosquitos / Zancudos.

- **Características generales**

Son insectos que realizan metamorfosis completa. Las hembras colocan los huevos bajo la superficie del agua, sobre vegetación flotante o rocas. El desarrollo larval puede durar desde una semana hasta un año, dependiendo de la familia. Las larvas se caracterizan por no poseer patas torácicas. Su cuerpo está formado por tres segmentos torácicos y nueve abdominales, y por lo general es de consistencia blanda y cubierto de cerdas o ganchos (falsas patas) que ayudan a la locomoción o adhesión al sustrato. Son de color amarillento, blanco o negro. Respiran a través de la cutícula, sífonos, agallas traqueales o pigmentos respiratorios para poder sobrevivir en zonas con muy poco oxígeno. Existen dos subordenes: Nematocera y Brachycera.

- **Distribución geográfica**

Cosmopolita.

- **Biología y diversidad**

Su hábitat es muy variado y se los puede encontrar en ríos, arroyos, quebradas, lagos y aguas estancadas. También son muy comunes en ambientes artificiales que almacenen incluso mínimas cantidades de agua estancada. Hay familias herbívoras y carnívoras. Existen especies indicadoras de aguas limpias, como la familia Simuliidae, o de aguas muy contaminadas como la familia Chironomidae. Con aproximadamente 153 000 especies descritas en el mundo (31 000 del neotrópico), son uno de los órdenes de insectos más diversos. Además, presentan una alta variabilidad dentro de mismas especies.



Familia Tipulidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Diptera | Suborden Nematocera



• Características generales

Tienen forma alargada y gruesa, y se caracterizan por presentar 6 apéndices carnosos (raramente 8) al final del segmento anal. Miden alrededor de 6 a 15mm.

• Hábitat

Se los encuentra en ríos y arroyos entre materia orgánica en descomposición.

• Puntaje AAMBI: 5



Familia Limoniidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Diptera | Suborden Nematocera



• Características generales

Tienen forma alargada y gruesa, y se caracterizan por presentar de 2 a 5 apéndices carnosos (raramente 7) al final del segmento anal.

• Hábitat

Se encuentran mayormente adheridas al sustrato de piedra en diversos hábitats acuáticos.

• Puntaje AAMBI: 4

Familia Blephariceridae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Diptera | Suborden Nematocera



• Características generales

Miden de 7 a 8 mm. La cabeza, el tórax y el primer segmento abdominal están fusionados, formando una sola división del cuerpo, con una fila de discos succionadores situados ventralmente, que sirven para adherirse a la superficie de las rocas.

• Hábitat

Viven en ríos, cascadas, aguas muy oxigenadas y limpias. Son indicadores de aguas oligotróficas (aguas claras, bajas en nutrientes y de buena calidad).

• Puntaje AAMBI: 10



Familia Psychodidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Diptera | Suborden Nematocera



• Características generales

Miden alrededor de 5 a 8 mm. Tienen la cabeza bien marcada. Al final del abdomen presentan sifones respiratorios, normalmente con cuatro apéndices carnosos.

• Hábitat

Se los encuentra en aguas lénticas y lólicas entre materia orgánica en descomposición.

• Puntaje AAMBI: 3

Adulto



Larva



Familia Chironomidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Diptera | Suborden Nematocera



• Características generales

Miden entre 2 a 10 mm. Las larvas tienen el cuerpo alargado y tubular, sin cerdas. Tienen la cabeza bien definida, y normalmente uno o dos pares de patas falsas que le permiten movimiento. Nadan de forma ondulatoria y pueden presentar una coloración roja brillante en aguas poco oxigenadas.

• Hábitat

Viven en lagos y ríos, en fango y arena con abundante materia orgánica en descomposición.

• Puntaje AAMBI: 2



Familia Ceratopogonidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Diptera | Suborden Nematocera



• Características generales

Miden de 6 a 14 mm. La mayoría tienen forma de gusano muy delgado, con la cabeza diferenciada pero igual de delgada que el resto del cuerpo.

• Hábitat

Dependiendo del género pueden vivir en ríos o lagunas.

• Puntaje AAMBI: 4

Familia Simuliidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Diptera | Suborden Nematocera



- **Características generales**

Miden de 3 a 15 mm. Tienen la cabeza esclerotizada, manchas dorsales oscuras, el final del abdomen se encuentra engrosado y presentan apéndices en forma de pestañas en la cabeza para alimentarse.

- **Hábitat**

Viven en aguas corrientes debajo de rocas y troncos. Son indicadoras de aguas con pocos nutrientes.

- **Puntaje AAMBI: 5**



Familia Dixidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Diptera | Suborden Nematocera



- **Características generales**

Larvas con cuerpo cilíndrico. Su cabeza y segmentos torácicos están bien diferenciados. Tienen uno o dos pares de patas falsas en el abdomen y presentan un apéndice con pelos al final del mismo. Miden alrededor de 4 – 8 mm.

- **Hábitat**

Se los encuentra en arroyos rocosos o en lagos, adheridos a piedras o vegetación.

- **Puntaje AAMBI: 4**





Familia Culicidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Diptera | Suborden Nematocera



• Características generales

Se distinguen por tener la zona anterior ensanchada, con largos pelos y el abdomen angosto con un sifón respiratorio al final. Nadan con un característico movimiento ondulante. En los adultos, muchas especies se alimentan de néctar (tanto hembras como machos). Sin embargo, en algunas especies, las hembras son hematófagas (se alimentan de sangre) y los machos son nectarívoros. Algunas especies contagian enfermedades importantes como el zika, malaria, dengue, entre otras.

• Hábitat

Se los encuentra en aguas lentas o empozadas con materia orgánica en descomposición.

• Puntaje AAMBI: 2



Familia Athericidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Diptera | Suborden Brachycera



• Características generales

Larvas alargadas y puntiagudas en su parte anterior. Tienen sus siete primeros segmentos con patas abdominales (propatas) y apéndices dorsales y laterales. El último segmento abdominal tiene dos proyecciones alargadas.

• Hábitat

Se los encuentra en aguas con corriente rápida y entre la vegetación acuática.

• Puntaje AAMBI: 10

Familia Tabanidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Diptera | Suborden Brachycera



- **Características generales**

Su cuerpo carece de apéndices, pero poseen anillos de pequeños tubérculos en los segmentos torácicos. Pueden presentar patas falsas en el abdomen. Miden alrededor de 20 mm.

- **Hábitat**

Se los encuentra en ríos y arroyos, y en aguas estancadas entre la vegetación en descomposición.

- **Puntaje AAMBI: 4**



Familia Dolichopodidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Diptera | Suborden Brachycera



- **Características generales**

Pueden medir de 6 a 13 mm. Tienen el cuerpo cilíndrico, donde el último segmento abdominal termina en apéndices con forma de dedos cortos.

- **Hábitat**

Viven en corrientes lentas, adheridos a la vegetación. Son indicadores de aguas con pocos nutrientes.

- **Puntaje AAMBI: 4**





Familia Empididae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Diptera | Suborden Brachycera



- **Características generales**

Miden de 4 a 6 mm. Tienen el cuerpo cilíndrico, con patas falsas a lo largo del mismo. El último segmento abdominal es diferente al resto y termina en dos apéndices.

- **Hábitat**

Viven en corrientes lentas, adheridos a la vegetación. Son indicadores de aguas con pocos nutrientes.

- **Puntaje AAMBI: 4**



Familia Syrphidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Diptera | Suborden Brachycera



- **Características generales**

Tienen formas muy variadas. Algunas especies tienen forma alargada y robusta con una cola larga y delgada, mientras otras especies presentan propatas (patas abdominales).

- **Hábitat**

Se los encuentra en una gran variedad de hábitats, desde aguas limpias hasta aguas muy contaminadas.

- **Puntaje AAMBI: 1**

Familia Muscidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Diptera | Suborden Brachycera



- **Características generales**

Tienen forma alargada pero gruesa, con separaciones marcadas en cada segmento y el segmento anal tiene dos falsas patas.

- **Hábitat**

Viven en zonas de agua quieta, como agua estancada, donde hay abundante materia orgánica en descomposición. Son altamente tolerantes a contaminación orgánica.

- **Puntaje AAMBI: 2**



Familia Stratiomyidae

Phylum Arthropoda | Clase Insecta | Orden Diptera | Suborden Brachycera



- **Características generales**

Son larvas alargadas y aplanadas con segmentos bien marcados. La cabeza no suele ser visible por estar retraída en el tórax.

- **Hábitat**

Se los encuentra a los márgenes de ríos, arroyos o pantanos sobre vegetación flotante.

- **Puntaje AAMBI: 4**





Anaeróbico: Organismo que no requiere de oxígeno para sobrevivir. Existen anaeróbicos obligados que no pueden vivir con la presencia de oxígeno, anaeróbicos aerotolerantes que no usan oxígeno para crecer, pero toleran su presencia en el ambiente, y anaeróbicos facultativos que pueden vivir y desarrollarse con o sin oxígeno.

Anóxico: Un sistema que no contiene oxígeno disuelto, y que puede ser el resultado de estancamiento de agua, exceso de materia orgánica o temperaturas muy altas. La mayoría de plantas y animales no puede sobrevivir en estas condiciones, pero algunas bacterias y virus sí.

Autótrofo: Organismo que obtiene los elementos esenciales para su metabolismo (energía y nutrientes) de sustancias inorgánicas (luz solar, agua, compuestos químicos). Estos organismos no se alimentan de otros seres vivos ya que producen sus propios alimentos y representan la base de una red alimenticia; por ejemplo, plantas y algas.

Carroñero: Animal que se alimenta principalmente de otros animales muertos.

Coliformes: Grupo de bacterias que viven principalmente en el intestino de seres humanos y otros animales de sangre caliente, por lo que se consideran buenos indicadores de contaminación fecal. Sin embargo, los coliformes también existen naturalmente en suelos y vegetación.

Cosmopolita: Ser vivo que habita o puede habitar en la mayor parte de los climas y lugares.

Detritívoro: Organismo que se alimenta de detrito o materia orgánica en descomposición

Difusión celular: Transporte de partículas a través de la membrana celular de zonas de mayor a menor concentración.

Discoideo: Con forma de disco.

Exoesqueleto: Piel o parte de ella engrosada y muy endurecida, que puede surgir de dos formas. Puede ser producto de: 1) la acumulación de materias quitinosas o calcáreas sobre la epidermis, frecuentemente en forma de conchas o caparazones, como en los celentéreos, moluscos y artrópodos, o 2) piezas calcificadas u osificadas de la dermis, como son las escamas de los peces o las placas óseas cutáneas de muchos equinodermos, reptiles y mamíferos.

Fitófago: Organismo que se alimenta de materias vegetales.

Globoso: Con forma de globo.

Hemimetábolo: Insecto que presenta una metamorfosis sencilla, que consiste en tres fases: huevo, ninfa y adulto. Sus ninfas presentan morfología muy similar a la de los individuos adultos.

Heterótrofo: Organismo que no puede producir su propio alimento y usa otros seres vivos como fuente de nutrientes y energía. Estos representan a los consumidores en una red alimenticia, como son los animales y hongos.

Hifa: Filamento formado por la unión de células en los hongos.

Holometábolo: Insecto que tiene metamorfosis completa, que consiste en el ciclo: huevo, larva, pupa y adulto.

Ictiofauna: Todas las especies de peces que habitan en una región.

Integridad ecológica: La capacidad de un ecosistema de mantener comunidades bióticas y organización funcional comparable con los ecosistemas naturales presentes en la región, donde no exista un alto grado de transformación por actividades humanas.

Léntico: Concierna las aguas quietas, como por ejemplo las aguas de un lago.

Lótico: Concierna los hábitats de aguas corrientes, tanto ríos como arroyos.

Macrófita: Planta acuática que se puede ver a simple vista, a diferencia de micrófitos que son de tamaño microscópico (bacterias, algas).

Meandro: Una curva en el cauce de un río, formada por la erosión del agua en un lado de la orilla y la deposición del mismo material en el lado opuesto. Los meandros causan la forma serpentina de los grandes ríos en las llanuras con poca pendiente, como por ejemplo los ríos Curaray, Putumayo o Aguarico.

Metamorfosis: Resurgimiento o desarrollo de la larva de un animal que se transforma en un adulto sexualmente maduro. La metamorfosis puede ser completa (especies holometábolos) o sencilla (especies hemimetábolos)

Meteorización: Desgaste y desintegración de una piedra expuesta a los agentes atmosféricos (temperaturas extremas, viento, etc.), el agua y los agentes biológicos (líquenes, raíces de árboles, etc.).

Neotrópico: Región tropical del continente americano.

Producción primaria: La producción de materia orgánica desde compuestos inorgánicos (agua, luz solar, compuestos químicos) que realizan los organismos autótrofos mediante fotosíntesis o quimiosíntesis.

Reproducción asexual: Tipo de reproducción en la que participa solamente un progenitor, que produce una descendencia genéticamente idéntica por gemación o división de una única célula o de la totalidad del organismo en dos o más partes.

Reproducción sexual: Tipo de reproducción en el cual dos progenitores originan una descendencia que tiene una única combinación de genes heredados de los gametos de los dos progenitores.

Retráctiles: Parte del cuerpo de un organismo que puede retraerse, quedando oculta.

Servicios ambientales: También conocidos como “servicios ecosistémicos”, son los bienes y servicios generados por los ecosistemas y que benefician a los seres humanos. Estos incluyen agua potable, energía hidroeléctrica, regulación del clima, polinización de cultivos, farmacéuticos, entre otros.

Super-páramo: La zona más elevada de los páramos, donde las condiciones climáticas adversas permiten el desarrollo de vegetación especializada con plantas pequeñas, como musgos, líquenes, pequeños arbustos y frailejones.

- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M. y Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28 (1): 35-64. 2009.
- Bell, W.J., Roth, L.M., Nalepa, C.A. (2007). *Cockroaches: ecology, behavior, and natural history*. The Johns Hopkins University press. Baltimore.
- Chang, F.-H., Lawrence, J.E., Ríos-Touma, B., Resh, V.H. (2014). Tolerance values of benthic macroinvertebrates for stream biomonitoring: assessment of assumptions underlying scoring systems worldwide. *Environmental Monitoring and Assessment* 186:2135–2149.
- Dijkstra, K.-D. B., Bechly, G., Bybee, S. M., Dow, R. A., Dumont, H. J., Fleck, G., Ware, J. (2013). The classification and diversity of dragonflies and damselflies (Odonata). In: Zhang, Z.-Q. (Ed.) *Animal Biodiversity: An Outline of Higher-level Classification and Survey of Taxonomic Richness* (Addenda 2013). *Zootaxa*, 3703(1), 36.
- Domínguez, E., y Fernández, H. R. (Eds.). (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología* (1ra ed.). Tucumán: Fundación Miguel Lillo.
- Hilsenhof, W. L. (1987). An Improved Biotic Index of Organic Stream Pollution. *The Great Lakes Entomologist*. Volume 20: 1-14.
- Pechenik, J. A. (2015). *Biology of the invertebrates* (Seventh edition). New York, NY: McGraw-Hill.
- Polato, N., et al. (2018). Narrow thermal tolerance and low dispersal drive higher speciation in tropical mountains. *PNAS*: 115 (49) 12471-12476; <https://doi.org/10.1073/pnas.1809326115>
- Roldán-Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155), 254-274.
- Ríos-Touma, B., Acosta R. y N. Prat. (2014). Distribution of macroinvertebrate families and their tolerance to pollution in high Andean tropical streams: the development of the Andean Biotic Index (ABI). *Revista de Biología Tropical*. 62:249-271.
- Thorp J. H. y D. C. Rogers. (2015). *Ecology and General Biology of Freshwater Invertebrates*. Academic Press, Amsterdam.



Editado por Trama Ediciones, junio 2019.
www.trama.ec



Partnership for Enhanced Engagement in Research (PEER)



Fomentado por el:



en virtud de una resolución del Parlamento de la República Federal de Alemania

ISBN 978-9942-60-603-5

