



Ecohidrología y su implementación **en Ecuador**

Marco Albarracín
José Gaona
Luis Chícharo
Maciej Zalewski



Marco Albarracín

es coordinador del Programa de Ecohidrología de INGERALEZA S.A. en Quito, Ecuador. Coordinador (ad honorem) del Sitio Demos-trativo de Ecohidrología Paltas-Catacota. Es Biólogo (Universidad del Azuay, Ecuador), especialista en Gestión Ambiental (Maastricht School of Management, Países Bajos) y M.Sc. en Ecohidrología (UNESCO-IHE, Holanda). Es miembro-fundador de la Sociedad Internacional de Ecohidrología. Miembro activo del grupo de trabajo regional de ecohidrología del Programa Hidrológico Internacio-nal (PHI) de UNESCO. Fue docente-investigador de la Universidad Internacional SEK de Quito.



José Gaona

es Ecólogo (Universidad Javeriana de Bogotá) con Maestría en Ge-rencia de Recursos Hídricos (Uni-versidad de Wageningen, Países Bajos). Es consultor y asistente técnico de Ecohidrología del Pro-grama Hidrológico Internacio-nal de UNESCO en Bogotá y París. Es miembro y co-fundador de Emerging Professionals Global Network in Ecohydrology, una iniciativa para fortalecer las capacidades de pro-fesionales involucrados en la diseminación del con-cepto de ecohidrología.



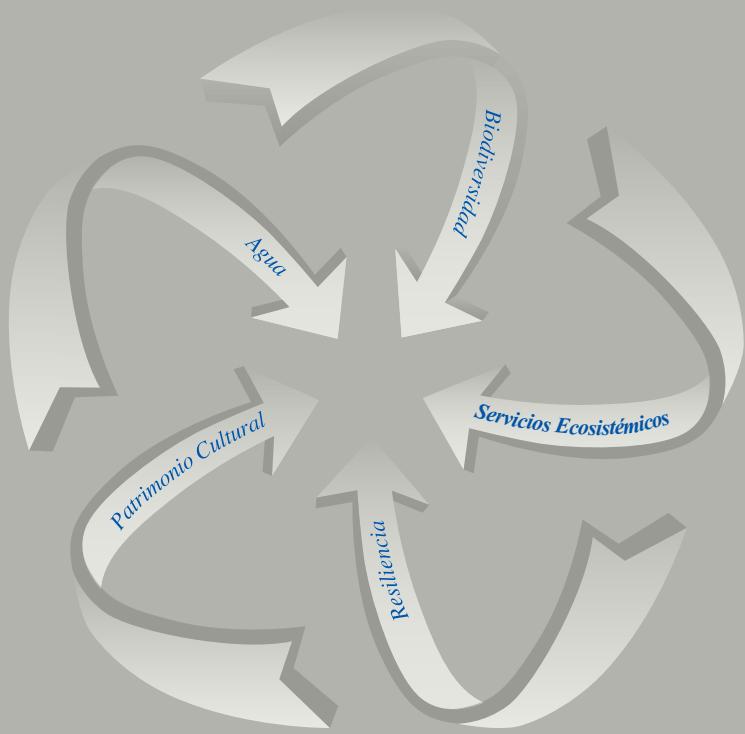
Prof. Luis Chícharo

Ph.D. es Profesor de Ecohidrolo-gía en la Universidad de Algar-ve, Coordinador de la Cátedra UNESCO en Ecohidrología: agua para ecosistemas y sociedades. Coordinador del M.Sc. Erasmus Mundus en Ecohidrología y Direc-tor del Centro Internacio-nal de Eco-hidrología Costera, bajo los auspicios de UNESCO. Ha publicado 92 artículos científicos y es co-autor y editor de tres libros internacionales de Ecohidrología.



Prof. Maciej Zalewski

Ph.D. es Director del Centro Re-gional Europeo de Ecohidrología de la Academia de Ciencias de Polonia, bajo los auspicios de la UNESCO. Es el precursor del con-cepto de Ecohidrología y un res-pe-tado experto internacional en este campo. Es catedrá-tico en programas universitarios en todo el mundo. Es Pre-sidente del Comité Directivo del Programa de «Eco-hidrología» de UNESCO PHI. Actualmente posee un índice-h de Google Scholar 40 y ha sido citado más de 6618 veces en diversas publicaciones científicas.



Ecohidrología

y su implementación **en Ecuador**

Ecohidrología y su implementación **en Ecuador**

Marco Albarracín, M.Sc.

Coordinador del Programa de Ecohidrología

INGERALEZA S.A.

Coordinador (ad honorem) del Sitio Demostrativo de Ecohidrología Paltas-Catacocha

Quito – Ecuador

José Gaona, M.Sc.

Consultor de UNESCO

Bogotá – Colombia

Luis Chícharo, Ph.D.

Coordinador de la Cátedra UNESCO "Ecohidrología:
agua para ecosistemas y sociedades".

Universidad del Algarve

Faro – Portugal

Maciej Zalewski, Ph.D.

Director del "Centro Regional Europeo para Ecohidrología
de la Academia de Ciencias de Polonia".

Universidad de Lodz

Lodz - Polonia

Todos los derechos reservados. Se prohíbe su reproducción total o parcial por cualquier mecanismo, físico o digital, sin el permiso escrito de los autores o de la editorial.

1^a. Edición

© Marco Albarracín, José Gaona, Luis Chícharo y Maciej Zalewski. 2018.

Cita sugerida:

Si cita toda la obra:

Albarracín, M., Gaona, J., Chícharo, L., & M. Zalewski. (2018). Ecohidrología y su implementación en Ecuador. Eds. Corporación Naturaleza y Cultura Internacional, GAD Municipal de Paltas, Universidad Técnica Particular de Loja e INGERALEZA, S.A. – Ecuador

En caso de citar el aporte de un capítulo

con autor indicado o de una caja de autor invitado:

Autor(es). (2018). Título del aporte o capítulo. Pp. 00-00. En: Albarracín, M., Gaona, J., Chícharo, L., & M. Zalewski. Ecohidrología y su implementación en Ecuador. Eds. Corporación Naturaleza y Cultura Internacional, GAD Municipal de Paltas, Universidad Técnica Particular de Loja e INGERALEZA, S.A. – Ecuador.

Corrección de estilo: Jaime Muñoz Mantilla

Revisión Técnica: Fabián Rodas López, Francisco González y Giuseppe Arduino

Diseño de portada: Esteban Torres Díaz

Diseño gráfico y maquetación: Santiago Calero Flores, zonasiete.net, Quito.

Fotografía: Santiago Calero Flores (excepto donde se indica)

Impresión: EDILOJA Cía. Ltda.

Registro de Derecho Autoral:

ISBN: 978-9942-35-805-9

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todas las personas que generaron inspiración y apoyaron la elaboración de este libro.

Por la motivación y aliento para realizar esta obra, agradecemos especialmente al Dr. Giuseppe Arduino de UNESCO en París, Francia; a Miguel de França Doria de UNESCO en Montevideo, Uruguay; al Blgo. Fabián Rodas, Coordinador de la Escuela del Agua y del Programa Austro de Naturaleza y Cultura Internacional en Cuenca, Ecuador; a Freddy Cáceres, Presidente de INGERALEZA, S.A. en Quito, Ecuador; y, al Arquitecto Ramiro Maita Sánchez, Alcalde del Cantón Paltas, Ecuador.

A todos los colegas invitados a participar en esta obra: Edyta Kiedrzyńska, Katarzyna Izydorczyk, Wojciech Frątcz, Miguel de França Doria, Lauren Zielinski, Rahmah Elfithri, Marcos Villacís, Eduardo Toral, Galo Ramón, Ramiro Maita, Mariana Yumbay Yallico, Noémi d' Ozouville, Rolando Célleri, Patricio Crespo, Valerie Oullet, Fabián Rodas y Freddy Cáceres, quienes respondieron con sus aportes, dándole una característica de alto nivel a este libro.

A SENAGUA, en especial al Lcdo. Humberto Cholango, a la Dra. Mariana Yumbay Yallico, a la Ing. Diana Ulloa y al Tlgo. Helder Solís, por su apoyo para la implementación y diseminación de los conceptos de ecohidrología en el Ecuador.

El financiamiento para la publicación de este libro fue gracias a la contribución de las siguientes instituciones: Corporación Naturaleza y Cultura Internacional, la Escuela del Agua, el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Paltas, la Universidad Técnica Particular de Loja e INGERALEZA S.A.

De manera especial, agradecemos a las siguientes instituciones y personas:

Naturaleza y Cultura Internacional, a Renzo Paladines, Fabián Rodas, José Romero y Felipe Sánchez.

Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Paltas, en especial al Alcalde Arq. Ramiro Maita Sánchez y todos sus concejales del Cabildo. A los ciudadanos: Jandry Saraguro, Fabricio Baculima, Enrique Astudillo, Wilma Collaguazo, Julio Carrión, Nicandro Sedamano, Janneth Rosero, Galo Ramón, Janina Jaramillo, Wilman Luzón, Tiziano Cagigal y todos aquellos que contribuyeron con esta obra.

Universidad Técnica Particular de Loja, a su Rector, Dr. José Barbosa Corbacho y los docentes-investigadores: Aminael Sánchez, Omar Malagón, María Fernanda Tapia y María Dolores Rodas.

INGERALEZA S.A., en especial a Freddy Cáceres y Danny Aguilar.

Marco Albarracín y José Gaona desean dedicar esta obra a sus compañeras de vida Isabel Valverde y Virginia Martín, así como también a sus pequeños hijos Gabriel Albarracín Valverde y Simón Gaona Martín que son el motivo, causa, color y esencia de sus vidas.



Laguna Cubillín, Ozogoche, Ecuador. Foto: Fabián Rodas

PRESENTACIÓN

Por Humberto Cholango, SENAGUA

La Constitución ecuatoriana establece al agua como un derecho humano, un recurso estratégico y prohíbe su privatización. Aunque somos uno de los países con mayor abundancia de recursos hídricos por área en Sudamérica, no se han cubierto totalmente las necesidades de agua que demandan sus ciudadanos.

En la construcción de la sociedad del *Sumak Kawsay* o del *Buen Vivir*, el desafío de garantizar el derecho humano al agua lo estamos tomando muy en serio, porque es fundamental e irrenunciable.

Los retos que tenemos son muchos y lo sabemos. Las estadísticas sobre el abastecimiento del agua tanto para riego, como para consumo humano evidencian carencias significativas. Cerca del 50% del área potencial productiva agrícola, tiene deficiencias en su infraestructura de riego; solamente un tercio tiene las condiciones necesarias para asegurar la continua utilización de los regantes.

Con respecto al consumo humano, a pesar de que el 94% del sector urbano está abastecido con alguna fuente de agua, el 76% dispone de agua potable con la calidad requerida. En el sector rural, el 70% está abastecido, pero solo el 50% tiene algún tipo de tratamiento básico, como la aplicación de cloro.

El porcentaje de población con saneamiento es mucho menor. En la formulación de la Estrategia Nacional de Agua Potable y Saneamiento (ENAS), la información disponible corresponde a la Evaluación Básica Municipal del Banco de Desarrollo B.P. del año 2009, reflejando que el 58% de los cantones del país (124 de los 221) no cuentan con planta de tratamiento de aguas residuales y el 28% (60 de los 221) tienen redes de alcantarillado en mal estado.

La falta de sistemas de saneamiento incide en la cantidad de aguas residuales vertidas en las fuentes hídricas. Esta situación menoscaba directamente la condición de los ecosistemas y la calidad de vida de las zonas urbanas, perjudicadas por aguas contaminadas, afectando a poblaciones a lo largo de las cuencas de los ríos y desembocando en los mares sin tratamiento previo.

Como consecuencia de esta dramática situación, el 23% de los niños y niñas ecuatorianas sufren desnutrición crónica y más de 300 millones de dólares son utilizados cada año para enfrentar las enfermedades de origen hídrico.

Cambiar este escenario es indispensable para que Ecuador alcance el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 6, referido a Agua Limpia y Saneamiento, y de manera particular las metas 6.1 y 6.2 que persiguen al año 2030 un acceso a los servicios de saneamiento e higiene, adecuados para todos y todas. Por ello, es fundamental que el saneamiento esté gestionado de manera segura con el fin de proteger la salud de las personas, las comunidades y el ambiente.

Aunado a lo anterior, los recursos hídricos del país se han deteriorado por los efectos del cambio climático. El volumen de nuestros glaciares ha disminuido con mayor rapidez en los últimos años, afectando la disponibilidad de agua en varias zonas. Al mismo tiempo, el aumento de la temperatura del agua ha contribuido a la proliferación de enfermedades producidas por vectores.

Para atender esta compleja problemática, el Estado ecuatoriano inició años atrás el fortalecimiento institucional para enfrentar estos desafíos. En la actualidad está ejecutando el *Programa Agua Segura y Saneamiento para Todos* y el *Plan Nacional del Agua*; además está elaborando el *Plan Nacional de Riego y Drenaje*, todo esto como pilares fundamentales para la gestión del recurso.

Al mismo tiempo, se están fortaleciendo los espacios y mecanismos de participación para la creación del Fondo Nacional del Agua para conservar las fuentes y zonas de recarga hídrica. Es importante señalar que como resultado de la Consulta Popular, realizada en febrero del 2018, se está trabajando en la delimitación, restricción y eliminación de actividades de minería metálica a gran escala en áreas protegidas, debido a las potenciales afectaciones en las fuentes de agua.

En la búsqueda por hacer un buen manejo del recurso agua, estamos comprometidos en la construcción de *alianzas público comunitarias y privadas*, dirigidas a fortalecer la soberanía alimentaria y la productividad, sin complicar este recurso para las nuevas generaciones.

En cuanto al fortalecimiento de capacidades para la gestión del agua, la Secretaría del Agua (SENAGUA), lidera la *Escuela del Agua* que es un espacio de formación y capacitación continua dirigido a funcionarios públicos, gestores comunitarios y público en general, robusteciendo su labor en el manejo de los recursos hídricos. Esta iniciativa cuenta con el apoyo de varias instituciones académicas y de cooperación, tales como la Universidad Técnica Particular de Loja, la Corporación Naturaleza y Cultura Internacional, el Fondo del Agua de la Cuenca del río Paute (FONAPA) y el Fondo Regional del Agua (FORAGUA).

Quiero agradecer a los autores y todos los involucrados en la elaboración del presente texto, constituyéndose en una herramienta holística para la gestión del recurso hídrico mediante el uso de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN), sistematizadas dentro de la nueva disciplina denominada Ecohidrología.

Como se explica en detalle en este texto, la Ecohidrología utiliza como herramientas la relación existente entre la parte biótica e hidrológica de una cuenca y además basa sus resultados en cinco parámetros multidimensionales que

son el agua, la biodiversidad, los servicios ecosistémicos, la resiliencia y el patrimonio cultural, denominados por sus siglas en inglés WBSR-C. Todos ellos deben tomarse en cuenta al momento de reforzar la capacidad de carga de ecosistemas modificados.

Los fundamentos antes citados se aplican en el Sitio Demostrativo de Ecohidrología Paltas-Catacocha, que fue recientemente reconocido por el Programa Hidrológico Internacional de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), el cual es mencionado en el presente texto.

En la medida que aprendamos a trabajar junto a la naturaleza, en lugar de enfrentarla mediante la construcción de obras de infraestructuras costosas y en algunos casos ineficientes, estaremos más cercanos a una relación armónica entre el ser humano y la naturaleza. Todos estos esfuerzos demuestran que estamos comprometidos por garantizar los *derechos de la naturaleza*.

Estoy seguro que este documento servirá de base para la implementación de la Ecohidrología en nuestro país, pero sobre todo para impulsar la gestión sostenible de nuestros recursos hídricos.

Humberto Cholango
SECRETARIO DE AGUA
SENAGUA REPÚBLICA DEL ECUADOR



Laguna del Quilotoa, Provincia de Cotopaxi, Ecuador

PRÓLOGO

Por Dr. Giuseppe Arduino, UNESCO

La ecohidrología ha sido un componente muy importante en el Programa Hidrológico Internacional desde hace mucho tiempo. Desde 1999 se empezó a considerar el potencial de los sitios demostrativos, el cual fue presentado en el curso de capacitación en ecohidrología en 1999 en Lodz, Polonia. Luego en 2005, 10 proyectos fueron presentados en París en una reunión para tratar específicamente el tema del desarrollo de los sitios demostrativos en las oficinas locales de la UNESCO-PHI. En 2011, 32 sitios demostrativos respondieron a un llamado para convertirse en un sitio demostrativo de ecohidrología. Por diferentes motivos, algunos de los sitios dejaron de funcionar o no tuvieron la financiación necesaria para avanzar. Recientemente, en el periodo 2015-2018, se ha venido tejiendo una red de 23 sitios demostrativos en 18 países, cuatro de los cuales están en la Región de Latino América y el Caribe (LAC). Ha sido un camino complejo y esperamos que la red crezca, haciendo énfasis en África y LAC.

La ecohidrología, tema central de esta publicación, proporciona nuevas y potentes herramientas para lograr la sostenibilidad y para aumentar el potencial ecológico en los ecosistemas en términos de recursos hídricos, biodiversidad, servicios ecosistémicos y resiliencia al cambio global y antropogénico (WBSR-C por sus siglas en inglés, para Agua, Biodiversidad, Servicios Ecosistémicos, Resiliencia y Patrimonio Cultural).

A comienzos de 2018, le dimos la bienvenida a un sitio demostrativo de Ecuador, cuya importancia fue mencionada en el discurso inaugural del Foro Mundial del Agua en Brasilia por la Sra. Audrey Azoulay, Directora General de la UNESCO. Este sitio tiene un gran componente cultural y estamos seguros que podrá mejorar la calidad de vida de las comunidades que se benefician de la mayor cantidad de agua disponible gracias a la rehabilitación de los sistemas ancestrales y su contribución a la vida cotidiana de la comunidad.

Los autores tienen estrechos vínculos con UNESCO y el programa de ecohidrología. Celebro personalmente que hayan concretado esta publicación y espero que sigan adelante con otras más. Espero que esta publicación sirva como punto de referencia para aquellas instituciones que estén interesadas en hacer parte de la red de sitios demostrativos de ecohidrología de la UNESCO-PHI.

Deseándoles muchos éxitos a los autores.

Dr. Giuseppe Arduino

Jefe de Sección de Ecohidrología, de la Calidad del Agua y de Educación relativa al Agua. División de Ciencias del Agua.
PROGRAMA HIDROLÓGICO INTERNACIONAL- UNESCO



Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación,
la Ciencia y la Cultura



Programa
Hidrológico
Internacional



Contenidos

Parte 1

Introducción a la ecohidrología como herramienta de gestión de recursos hídricos.	21
---	----

Capítulo 1

El ser humano, el agua y la ecohidrología.	23
1.1. Que encontrar en este libro.	25

Capítulo 2.

La gestión integrada de recursos hídricos y la ecohidrología.	29
---	----

Capítulo 3

Fundamentos teóricos de la ecohidrología.	33
3.1. Evolución del concepto de ecohidrología.	33
3.2. Principios del enfoque ecohidrológico.	35
3.3. Parámetros multi-dimensionales de la ecohidrología.	37
3.4. Alcances y límites de la ecohidrología.	39

Capítulo 4

Casos de implementación de la ecohidrología.	43
4.1. Biotecnologías ecohidrológicas para la mitigación de contaminantes agrícolas no puntuales.	43
4.2. Biotecnologías ecohidrológicas: purificación del agua de lluvia urbana.	44
4.3. Sistemas híbridos ecohidrológicos para la mejora de plantas de tratamiento de aguas residuales.	45

Parte 2

Un acercamiento a la ecohidrología en el contexto internacional.	49
--	----

Capítulo 5

Ecohidrología como marco para la mejora del potencial de sostenibilidad de cuencas hidrográficas.	51
5.1. Resumen.	51
5.2. Introducción.	51
5.3. Ecohidrología – evolución de un paradigma.	52
5.4. Ecohidrología: la dimensión terrestre y acuática.	53
5.5. Principios de Ecohidrología: un marco para implementar soluciones basadas en la naturaleza.	53

5.6. Ecohidrología: aspectos novedosos de las soluciones sistémicas para las ciencias ambientales.	56
5.7. Perspectivas futuras y límites de la Ecohidrología.	57

Capítulo 6

Biotecnologías ecohidrológicas: soluciones basadas en la naturaleza para aguas continentales y mejoramiento de la calidad de las aguas residuales municipales.	61
6.1. Introducción	61
6.2. Llanuras aluviales del río para retención de agua y mejora de la calidad: un enfoque de solución basada en la naturaleza para el futuro.	62
6.3. Sistemas híbridos de biofiltración secuencial: un enfoque de solución basado en la naturaleza para aguas residuales.	64

Capítulo 7

Biotecnologías ecohidrológicas como medidas complementarias para la mitigación de la contaminación de fuentes no puntuales de las zonas rurales.	69
7.1. Introducción	69
7.2. Medidas agrícolas para reducir la pérdida de nutrientes.	69
7.3. Soluciones basadas en la naturaleza para reducir la transferencia de nutrientes del paisaje al agua dulce.	70
7.4. Biotecnologías ecohidrológicas para la regulación efectiva de procesos biogeoquímicos.	72
7.5. Aspectos políticos y socioeconómicos.	74

Capítulo 8

Ecohidrología costera: el caso del estuario del río Guadiana, Portugal.	79
8.1. Introducción.	79
8.2. Problemática hidro-ecológica en el estuario del río Guadiana.	80
8.3. Las soluciones ecohidrológicas.	83
8.4. Conclusiones.	87

Capítulo 9

Ecohidrología como parte del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO.	91
9.1. Las Cátedras UNESCO en Ecohidrología.	94
9.2. Maestría Erasmus Mundus en Ecohidrología.	96
9.3. Centros Regionales de Ecohidrología.	97
9.4. La Red de Sitios Demostrativos de Ecohidrología.	99

Parte 3

Gestión de los recursos hídricos en el Ecuador.

107

Capítulo 10

Características climáticas, hidrológicas y demográficas del Ecuador.

109

10.1. Generalidades de la climatología e hidrología del Ecuador.

110

10.2. Demografía del Ecuador.

110

Capítulo 11

Los recursos hídricos del Ecuador.

113

11.1. Cuencas hidrográficas del Ecuador.

113

11.2. Recursos hídricos superficiales.

113

11.3. Recursos hídricos subterráneos.

114

Capítulo 12

Problemáticas inherentes al manejo de recursos hídricos en Ecuador.

119

12.1. Institucionalidad y gobernanza.

121

12.2. Desarrollo de capacidades profesionales y técnicas.

124

12.3. Cambio Climático.

125

Capítulo 13

Herramientas jurídicas para la gestión de recursos hídricos en Ecuador.

127

13.1. La Constitución de la República del Ecuador y los recursos hídricos.

127

13.2. La GIRH dentro de la Ley de Aguas del Ecuador.

128

13.3. Integración de la ecohidrología como herramienta de apoyo a la GIRH en el contexto jurídico Ecuatoriano.

128

Parte 4

Implementación de la ecohidrología en el Ecuador.

131

Capítulo 14

Sitio demostrativo de ecohidrología Paltas – Catacocha.

133

14.1. Antecedentes.

133

14.2. Descripción técnica del sitio demostrativo de ecohidrología Paltas-Catacocha.

136

14.3. Análisis de la aplicación del enfoque ecohidrológico en el Sitio Demostrativo Paltas-Catacocha.

139

14.4. Doble regulación.

139

14.5. Parámetros multidimensionales (WBSR-C).

140

14.4. Reseña histórica de la creación del Sitio Demostrativo.

147

Capítulo 15	
Sitios donde se desarrolla la aproximación ecohidrológica en Ecuador.	155
15.1. Municipio de Santa Cruz, Galápagos.	155
15.2. Gestión de los recursos hídricos de Santa Cruz, Galápagos.	158
15.3. Cuenca del Río Chone (Manabí).	160
Capítulo 16	
Programas de investigación científica sobre ecohidrología en Ecuador.	165
Capítulo 17	
Organizaciones que apoyan al desarrollo de Ecohidrología en Ecuador.	173
17.1. Organizaciones sin fines de lucro.	173
17.1.1. UNESCO.	173
17.1.2. Naturaleza y Cultura Internacional.	174
17.2. Empresa privada.	176
Ultílogo	179

Figuras

Figura 2.1. El ciclo de gestión de la planificación e implementación, basado en el aprendizaje mediante la práctica.	30
Figura 3.1. Regulación-Dual entre la Hidrología y la Biota en el enfoque ecohidrológico.	34
Figura 3.2. Mapa conceptual de los principios de la Ecohidrología.	35
Figura 3.3. Parámetros multi-dimensionales (WBSR-C) de la ecohidrología.	38
Figura 3.4. Eficiencia de soluciones de bajo costo propuestas por la ecohidrología y SbN.	39
Figura 5.1. Principios de la ecohidrología.	55
Figura 5.2. Esquema del enfoque ecohidrológico para mejorar los recursos hídricos.	57
Figura 6.1. Diseño de un Sistema de Biofiltración Secuencial (SBS) híbrido.	64
Figura 7.1. Zonas de amortiguación mejoradas como medidas para la reducción de la contaminación difusa.	73
Figura 8.1. Promedio anual del caudal del río Guadiana.	81
Figura 8.2. Ciclo de migración reproductiva de la <i>Engraulis encrasiculus</i> (anchoa o boquerón).	82
Figura 8.3. Cambio en el área de las marismas antes y después del funcionamiento de la presa de Alqueva.	83
Figura 8.4. Esquema de la cadena alimenticia de estuario en el modelo ecohidrológico Guadiana.	84
Figura 8.5. Distribución a lo largo del canal de la biomasa prevista de fitoplancton (<i>Chl a</i>) en el estuario del Guadiana.	84
Figura 8.6. Porcentaje medio de partículas en cada sección de estuario y escenarios de descarga.	85
Figura 8.7. Esquema que destaca la necesidad de considerar las compensaciones entre los usos del agua corriente.	86
Figura 8.8. Marco conceptual de las soluciones ecohidrológicas para la toma de decisiones.	87
Figura 9.1. Representación de la "Familia" UNESCO para ecohidrología.	91
Figura 9.2. Treinta y seis centros establecidos relacionados con el agua, 4 relacionados con Ecohidrología.	99
Figura 9.3. Plantilla de la representación del sistema socio-ecohidrológico en las cartas resumen.	104
Figura 9.4. Localización de los 23 sitios demostrativos de Ecohidrología de la UNESCO PHI.	105
Figura 10.1. Ubicación, límites y regiones geográficas del Ecuador.	109
Figura 10.2. Densidad poblacional (hab/km ²) de los países suramericanos.	111
Figura 11.1. Mapa de cuencas hidrográficas del Ecuador.	114
Figura 11.2. Mapa de los recursos hídricos superficiales de Ecuador.	116
Figura 11.3. Recursos hídricos subterráneos de Ecuador.	117
Figura 14.1. Ubicación geográfica de la micro-cuenca del río San Pedro Martir.	137
Figura 14.2. La laguna Pisaca, antes y después de su restauración.	138

Figura 14.3. Tajamares para la reducción de escorrentía y recuperación de hábitat.	139
Figura 14.4. El Vainillo Paltense o Tara (<i>Caesalpinea spinosa</i>).	143
Figura 14.5. Particularidad de un petroglifo asociado a la cultura aborigen de la zona de Paltas.	145
Figura 14.6. Iglesia matriz de la ciudad de Catacocha.	146
Figura 14.7. Representación zoomorfa de una serpiente. Petroglifo de Ánganuma, Cantón Quilanga.	146
Figura 14.8. Excavaciones en roca que representarían una inter-conexión entre lagunas.	147
Figura 15.1. Sistema de bombeo y desalinización de agua subterránea salobre.	158
Figura 15.2. Humedal seco artificial para el tratamiento de aguas residuales.	159
Figura 15.3. Obras de infraestructura para abastecimiento de agua de riego y potable.	161
Figura 15.4. Cuenca del río Chone y ubicación del Sitio RAMSAR Ciénega de “La Segua”.	162
Figura 17.1. Los seis temas del Plan Estratégico (2014-2021) de la Fase VIII de UNESCO – PHI.	173

Tablas

Tabla 1.1. Posibles sitios donde se puede aplicar los conceptos de ecohidrología en Ecuador .	26
Tabla 3.1. Descripción de los principios de implementación de la ecohidrología.	36
Tabla 8.1. Áreas (ha) de cultivos de regadío en la parte portuguesa de la cuenca del Guadiana.	80
Tabla 9.1. Descripción del contenido de las cartas-resumen de los sitios demostrativos de ecohidrología.	102
Tabla 11.1. Principales cuencas hidrográficas en Ecuador.	114
Tabla 12.1. Oferta académica de tercer nivel en temas relacionados a la gestión de recursos hídricos.	124
Tabla 14.1. Servicios ecosistémicos identificados en la microcuenca del río San Pedro Mártir.	142
Tabla 16.1. Temas de tesis con componente ecohidrológico de alumnos de postgrado de la Universidad de Cuenca.	169

Autores Invitados

Una perspectiva del Programa Hidrológico Internacional (PHI – UNESCO) sobre ecohidrología en la región de América Latina y el Caribe (LAC).	
Miguel de França Doria	92
Cátedra UNESCO de Ecohidrología: agua para los ecosistemas y las sociedades de la Universidad del Algarve.	
Luis Chicharo	95
La Maestría Erasmus Mundus en Ecohidrología.	
Lauren Zielinski	97
La experiencia del Sitio Demostrativo de Ecohidrología Lago y Humedales de Putrajaya, Malasia.	
Rahmah Elfithri	101
Situación actual, vacíos y retos en el manejo de los recursos hídricos en el Ecuador.	
Marcos Villacís	120
La experiencia de manejo de agua en la ciudad de Cuenca y el FONAPA- Fondo de agua para la conservación de la cuenca del río Paute.	
Eduardo Toral	122
Recuperación de saberes ancestrales de los Paltas para el manejo del agua en Catacocha.	
Galo Ramón Valarezo	134
Importancia del apoyo político al manejo integrado de recursos hídricos en Paltas.	
Ramiro Maita Sánchez	149
Extracto del discurso presentado en el lanzamiento oficial del "Sitio Demostrativo de Ecohidrología Paltas – Catacocha".	
Mariana Yumbay Yallico	151
Ecohidrología de la isla Santa Cruz, Galápagos.	
Noémi d'Ozouville	156
Una maestría en hidrología con mención en ecohidrología.	
Rolando Célleri / Patricio Crespo	165
La red Ecohydrology Emerging Professional Global Network (Ecohydrology-EPGN)	
Valerie Ouellet	174
La Escuela del Agua: formando capacidades locales para la gestión de recursos hídricos.	
Fabián Rodas	174
La vinculación de la empresa privada en el desarrollo de la ecohidrología en Ecuador, el caso de INGERALEZA S.A.	
Freddy Cáceres	176

Abreviaturas

CAN	Comunidad Andina de Naciones
COMUNIDEC	Comunidades y Desarrollo del Ecuador
DH	Demarcación Hidrográfica
DHM	Demarcación Hidrográfica de Manabí
EH	Ecohidrología
EPMAPS	Empresa Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito, Ecuador.
EPN	Escuela Politécnica Nacional, Quito - Ecuador
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil - Ecuador
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba - Ecuador
FONAG	Fondo del Agua de Quito
FONAPA	Fondo del Agua de la Cuenca del Río Paute
FORAGUA	Fondo Regional del Agua
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
GADMP	Gobierno Autónomo Descentralizado del Municipio de Paltas
GIRH	Gestión Integrada de Recursos Hídricos
ICIWaRM	Centro Internacional para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos
iDRHICA	Dto. de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales de la Universidad de Cuenca
IHE	Institute for Water Education, Delft – Países Bajos
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
MAE	Ministerio del Ambiente de Ecuador
NCI	Corporación Naturaleza y Cultura Internacional
ONG	Organización no gubernamental
PHI	Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO
SAC	Comité Asesor Científico para el Programa de Ecohidrología de la UNESCO-PHI
SbN	Soluciones basadas en la Naturaleza
SENAGUA	Secretaría Nacional del Agua de Ecuador
<i>sp</i>	Especie
<i>spp</i>	Especies
TULAS	Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria
UALG	Universidad del Algarve de Faro, Portugal
UASB	Universidad Andina Simón Bolívar, Quito - Ecuador
UCE	Universidad Central del Ecuador, Quito - Ecuador
UCuenca	Universidad de Cuenca, Ecuador.
UTPL	Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
WBSR-C	Sigla en Inglés para los Parámetros Multidimensionales de la Ecohidrología (Agua, Biodiversidad, Servicios Ecosistémicos, Resiliencia y Patrimonio Cultural).



Parte 1

**Introducción a la ecohidrología
como herramienta de gestión
de recursos hídricos.**





Capítulo 1

El ser humano, el agua y la ecohidrología.

El agua, al igual que la religión y la ideología, tiene el poder para mover millones de personas.

Desde el nacimiento mismo de la civilización humana, la gente se ha movilizado para asentarse cerca del agua.

La gente se moviliza cuando hay muy poca agua.

La gente se moviliza cuando hay demasiada agua.

La gente viaja en el agua.

La gente escribe, canta y baila por el agua.

La gente pelea por ella.

Y todos nosotros, donde sea y cada día, necesitamos agua...

Así como nosotros somos movidos por el agua, ahora debemos movilizarnos, para salvarla.

Mikhail Gorbachev, Rusia

Premio Nobel de la Paz, 1990

Parece una paradoja: “*aunque se ha practicado ancestralmente, la ecohidrología es un campo relativamente nuevo en el Ecuador*”. Más adelante veremos que en el sur del país, la cultura nativa preinca “palta”, tenía en sus territorios complejos sistemas de manejo del agua, que eran, a la vez amigables con el medio ambiente y fundamentales para el desarrollo de las comunidades primitivas. Los paltas conocían a profundidad los ciclos de lluvias y sequías y utilizaron ese conocimiento para extender la disponibilidad de agua en épocas de poca precipitación, mediante la construcción de humedales artificiales, prolongando así las actividades agrícolas al tiempo que mantenían la diversidad biológica de la zona. El manejo de la hidrología para obtener resultados en la biota (y viceversa), es el principio fundamental de la ecohidrología.

Mucha de la sapiencia milenaria de los paltas se perdió en el devenir de los años, por procesos relacionados con el expansionismo del imperio incaico y el colonialismo español; también por el desarrollo de prácticas latifundistas y la agricultura intensiva o la ganadería a gran escala, prácticas inefficientes en el período republicano. Estas circunstancias, sumadas a continuos estiajes en la zona debido a factores climáticos, han originado,

en los tiempos actuales, una crisis de abastecimiento de agua para consumo humano y para riego. Ante esta desventurada situación, la comunidad que actualmente ocupa el ancestral territorio de los paltas, junto a sus autoridades, decidieron aumentar el acceso a sus escasos recursos hídricos mediante la retención de agua lluvia en humedales artificiales y mejorando la cobertura vegetal, con el objetivo de recargar los acuíferos y así aumentar la disponibilidad de líquido vital para la actual ciudad de Catacocha. Este novedoso modelo de manejo de recursos hídricos en el Ecuador, está basado en las prácticas ancestrales de los habitantes aborigenes de la zona. Veremos también, más adelante, que el patrimonio cultural debe ser un parámetro incluido en el manejo integrado de recursos hídricos, tal como lo considera la práctica de la ecohidrología que en este texto presentamos.

El desarrollo de la sociedad y la disponibilidad de agua, ha sido una relación fundamental para el progreso de la población en la zona andina de Ecuador; esto ocurre también para el *Homo sapiens* en todo el mundo. A lo largo de la historia, son varios los ejemplos de portentosos sistemas hidráulicos construidos a nivel global. Tales han sido los grandes asentamientos humanos,



como los aztecas en Centroamérica y Norteamérica, los incas en Los Andes de Sudamérica, o las majestuosas ciudades del Imperio Romano en Europa, el Chino y el Hindú en Asia, como también la milenaria cultura egipcia en África. Todos ellos contaron con sistemas complejos de manejo del agua. A pesar de que esas culturas no disponían de la tecnología que al momento está a nuestro alcance (como los grandes avances en sistemas de información geográfica, la geología, la biogeoquímica, los software de hidrología e hidráulica, las predicciones climáticas, etc.) los ingenieros primitivos ya fueron capaces de manejar impresionantes sistemas hidrológicos e hidráulicos que, a la larga, fueron un condicionante favorable para que las comunidades se desarrollasen.

En el mundo moderno, las grandes obras de tecnología e ingeniería utilizadas para aprovechar el potencial de servicio del agua, han derivado tanto en resultados positivos, como también negativos. Es así que algunas prácticas de manejo y utilización de recursos hídricos, aunque sin duda tuvieron buenas intenciones para realizarse, al final han generado consecuencias negativas como el caso de grandes diques que represan el agua de ríos con fines multipropósitos, tales como la producción de energía eléctrica, reservorios de agua para riego, turismo acuático, etc., pero que, lamentablemente, provocan al mismo tiempo la interrupción de procesos ecológicos y de movimiento de nutrientes a lo largo de sus caudales; incluso, en algunos casos, cortando definitivamente los ciclos de vida y reproductivos de algunas especies acuáticas, y/o contaminando el agua con procesos de eutrofización. En suma, una obra de infraestructura que involucre recursos hídricos, podrá tener resultados favorables para el ser humano pero en muchos casos desfavorables para la naturaleza, e incluso para el mismo ser humano aguas abajo.

El crecimiento exponencial de la población y los pronósticos poco alentadores de cambio climático que se hacen en la actualidad, exigen a la comunidad

científica, tecnológica y política, buscar soluciones ante la falta de agua en cantidad y calidad. Es así que para complementar, y en algunos casos substituir la proliferación de costosas mega obras, el uso de tecnologías y soluciones alternativas basadas en el profundo conocimiento de los procesos naturales, se han convertido en nuevos paradigmas para el manejo de recursos hídricos en los tiempos en que el ser humano es el mayor promotor de los cambios en la biosfera y, por lo tanto, el responsable de vivir en un ambiente sano o contaminado.

En el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos - 2018: soluciones basadas en la naturaleza (SbN) para la gestión del agua (WWAP/ONU-Agua, 2018), se menciona a la ecohidrología como un concepto compatible con esta definición. En dicho reporte se habla, por ejemplo, de los contaminantes emergentes y la limitada información disponible que cuantifique la capacidad de muchas especies de plantas hidrófilas de los humedales para eliminar algunas sustancias tóxicas asociadas con pesticidas, vertidos industriales y actividades extractivas (Skov, 2015). Los humedales naturales y artificiales pueden eliminar de un 20% a un 60% de los metales contenidos en el agua y atrapar y retener entre 80% y 90% de los sedimentos de la escorrentía. Adicionalmente, las especies hidrófilas, tienen la capacidad de biodegradar e inmovilizar toda una gama de contaminantes emergentes y nutrientes (P y N) provenientes de actividades humanas. La eficacia de los humedales artificiales para eliminar diversos productos farmacéuticos se ha demostrado en Ucrania (UNESCO, In press; Vystavna, Frkova, Marchand, Vergeles, & Stolberg, 2017). Éstos y otros resultados sugieren que, para algunos de estos contaminantes emergentes, las SbN funcionan mejor que las soluciones grises, y en algunos casos pueden ser la única solución (UNESCO-WWAP/ONU-agua).

1.1. Que encontrar en este libro.

El presente documento tuvo dos objetivos para su elaboración. En primer lugar, se buscó difundir los conceptos de ecohidrología, como una herramienta de apoyo a la gestión integrada de recursos hídricos. Se presentan, además, las actividades e iniciativas que se han desarrollado y se están desarrollando a nivel global en el programa de Ecohidrología del Programa Hidrológico Internacional (PHI) Fase VIII de la UNESCO. En segundo lugar, se analizó el contexto particular que presenta el Ecuador para la integración del enfoque ecohidrológico como una herramienta de gestión integrada de los recursos hídricos. Así, se presentarán en varios capítulos de este texto, algunos ejemplos prácticos de cómo se puede aplicar y cuantificar las prácticas ecohidrológicas y se reconocen acciones que en el país se vienen realizando con respecto a la ecohidrología, como herramienta de manejo del agua.

Adicionalmente, en este trabajo hemos invitado a varios profesionales, tanto extranjeros como nacionales, para que participen con sus experiencias, casos y ejemplos específicos, que ayudarán al lector a un mejor entendimiento tanto de los conceptos como de las acciones de implementación de la ecohidrología.

Es importante, también, resaltar que este documento se elaboró hacia el mismo momento en que se obtenía el reconocimiento del Programa Hidrológico Internacional de UNESCO al manejo del agua con conocimientos ancestrales, que se viene realizando en el municipio de Paltas, específicamente en la microcuenca del río San Pedro Mártir. La UNESCO-PHI reconoció a este esfuerzo de varios años de la comunidad paltense, integrándolo dentro de la Red Mundial de Sitios Demostrativos de Ecohidrología. Este reconocimiento es muy relevante a nivel regional, puesto que al día de hoy, existen solo 23 sitios demostrativos activos de ecohidrología en todo el mundo.

De éstos, cuatro (incluyendo a Paltas-Catacocha) se encuentran en la región de Latinoamérica y el Caribe y, el de Ecuador es el primero y único dentro de la Comunidad Andina de Naciones. Por tal motivo, presentamos en este documento al Sitio Demostrativo de Paltas – Catacocha (ver Capítulo 9, Figura 9.4. y Capítulo 14), para verificar cómo los conceptos de ecohidrología se cumplen y se aplican. Aunque existan muchas actividades por ejecutarse a fin de fortalecer el conocimiento generado en el Sitio Demostrativo de Ecohidrología Paltas-Catacocha, (por ejemplo, investigación y monitoreo del sistema para generar datos cuantitativos y cualitativos de cómo funciona la relación dual entre la hidrología y la biota de la cuenca) confiamos que este documento pueda servir como una línea de base para la gestión de la microcuenca del río San Pedro Mártir y para comparar con las actividades que se generen de aquí en adelante, en términos de la aplicación de los conceptos de ecohidrología.

Adicionalmente, en la parte final del documento, se presenta una serie de iniciativas que se vienen desarrollando en el país y que tienen relación directa o indirecta con los conceptos y preceptos del enfoque ecohidrológico. Desde esta perspectiva, la forma de seleccionar las iniciativas que presentamos en este libro y que se relacionan directamente con la implementación de la ecohidrología desde el enfoque de la UNESCO en Ecuador, se basó en que los proyectos o iniciativas de manejo del agua incluyan dos características básicas de dicho enfoque y que son: primero, que se manifieste el concepto de “regulación dual”, y segundo, que se consideren como objetivos de cuantificación de manejo ecohidrológico los “parámetros multidimensionales de la ecohidrología” (Agua, Biodiversidad, Servicios ecosistémicos, Resiliencia y Patrimonio Cultural). Así, analizaremos brevemente los casos de la Isla Santa Cruz de Galápagos y del Cuenca del Río Chone, en donde existe la posibilidad de aplicar los conceptos de la ecohidrología



para su manejo. Los principales problemas que podrían ser solucionados por las herramientas de

la ecohidrología en estos sitios, se presentan en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Ejemplo de sitios donde se puede aplicar los conceptos de ecohidrología en Ecuador y su problemática a ser atendida con enfoque ecohidrológico.

Nombre	Región geográfica	Principales problemas a ser solucionados con herramientas ecohidrológicas								
		Pérdida de hábitat	Inundaciones	Secuías	Uso intensivo de la tierra	Contaminantes y nutrientes	Especies invasivas	Pérdida de la capacidad de retención de la vegetación	Sobre-abstracción del agua	Otros
Islas Galápagos	Insular	X		X	X	X	X	X	X	
Cuenca del Río Chone	Costa		X	X		X			X	

Elaborado por los autores

Además presentamos, brevemente, las iniciativas que incluyen directamente la palabra “ecohidrología”, como su actividad principal, y que son la base para fortalecer la implementación de los conceptos ecohidrológicos en el país, como una herramienta para la GIRH, y complementaria a las grandes obras de infraestructura gris, que, en determinados casos, no resultan ser una solución eficiente ante los problemas del agua para la sociedad.

Es menester indicar que somos conscientes de que en Ecuador existen varios proyectos e iniciativas

relacionadas a la ecohidrología y que no se consideraron en este libro, puesto que la intención de esta publicación es la de exponer a los lectores los conceptos y fundamentos de la ecohidrología como una herramienta práctica para lograr las metas del Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la UNESCO. De cara al futuro, este trabajo tiene la intención de sentar las bases para que en el país se asuma el reto de integrar a la ecohidrología como una práctica de manejo de recursos hídricos, amigable con el ambiente y eficiente para los seres humanos.

Referencias

Skov, H. (2015). UN Convention on Wetlands (RAMSAR): Implications for Human Health Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences: Elsevier.

UNESCO. (In press). Emerging Pollutants in Water and Wastewater of East Ukraine: Occurrence, Fate and Regulation. UNESCO Emerging Pollutants in Water Series. París: UNESCO.

UNESCO-WWAP/ONU-agua. (2018). Soluciones basadas en la natu-

raleza para la gestión del agua.

Vystavna, Y., Frkova, Z., Marchand, L., Vergeles, Y., & Stolberg, F. (2017). Removal efficiency of pharmaceuticals in a full scale constructed wetland in East Ukraine. *Ecological Engineering*, 108, 50-58. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.08.009>





Capítulo 2.

La gestión integrada de recursos hídricos y la ecohidrología.

La Gestión Integrada de Recursos Hídricos (en adelante GIRH), se ha constituido en el marco conceptual indispensable para los encargados del gerenciamiento de los recursos hídricos, en el cual deben considerarse todas las interacciones ser humano - ciclo hidrológico (Naiman *et al.*, 2007). De acuerdo con la Sociedad Mundial por el Agua (GWP, por sus siglas en inglés) el concepto más aceptado de GIRH y reconocido a nivel global se define:

“La Gestión Integrada de Recursos Hídricos es un proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinados del agua, el suelo y los otros recursos relacionados, con el fin de maximizar los resultados económicos y el bienestar social de forma equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales” (GWP, 2017)

Dado que en cada región del mundo varía la disponibilidad y posibilidad de acceso al agua, los preceptos de la GIRH deben ser tratados de manera local y éstos atender a las particularidades y problemáticas que se presenten en cada sitio. Sin embargo, de manera conceptual, la implementación de la GIRH resulta factible cuando existen cuatro condiciones básicas: (1) un entorno favorable que permita la confluencia sinérgica de las herramientas del GIRH; (2) que existan estructuras institucionales consolidadas y proactivas; (3) que se desarrollen correctamente los instrumentos de gestión; y (4) que se cuente con la posibilidad de desarrollar infraestructura para el manejo integrado de los recursos hídricos (ver Figura 2.1.).

En este contexto y bajo el paraguas de la GIRH, la ecohidrología se constituye como una sub discipli-

plina de la hidrología (McClain *et al.*, 2012; Naiman *et al.*, 2007; Zalewski *et al.*, 2008) que produce, mediante el método científico, una serie de instrumentos de gestión probados en el campo y que utiliza los procesos de los ecosistemas para alcanzar las metas de gestión de recursos de agua dulce, desde una perspectiva de cuenca hidrográfica (UNESCO-IHP, 2016; Zalewski, 2002).

Al igual que los hidrólogos deben ser capacitados dentro de un contexto multidisciplinario, para que adquieran las destrezas y habilidades que les permita participar y liderar esfuerzos que busquen la solución de problemas ambientales (McClain *et al.*, 2012); también, los ecólogos acuáticos deben ser formados adecuadamente en principios hidrológicos, que puedan ser usados durante todas las fases del manejo de ríos, lagos y otros ecosistemas acuáticos (DuBowy, 2014).

Al mismo tiempo, se deben considerar otras disciplinas para formar ecohidrólogos, por ejemplo la biogeoquímica, la hidráulica, sistemas de posicionamiento global, gestión integrada de recursos hídricos, etc. El resultado será un ecohidrólogo con una visión holística y un pensamiento sistémico¹, que le permitan desarrollar soluciones a los problemas socio-ambientales relacionados con el agua.

La GIRH, a nivel latinoamericano, ha de apreciarse desde el punto de vista de los Planes de Manejo de Cuenca. Para lo cual se debe tener en cuenta la voluntad política del ente rector y considerar

¹ El pensamiento sistémico en el contexto de GIRH es importante por tres razones principales: Obtener una visión amplia del sistema, alinear diferentes perspectivas y aprender (van Slobbe, 2012).

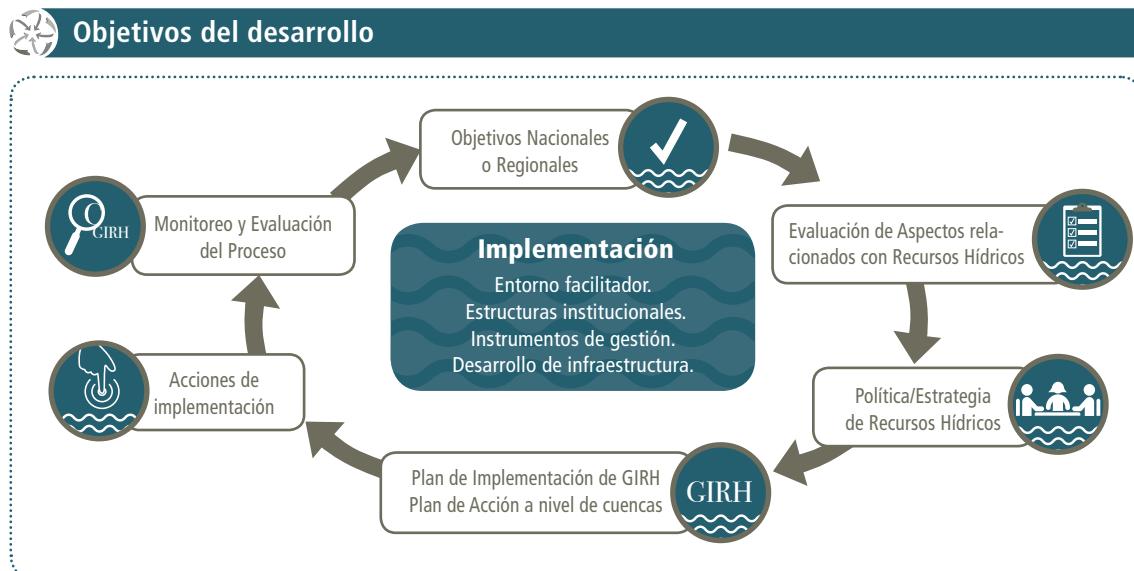


planes de financiamiento a largo plazo. El enfoque de «toda la cuenca» permite evaluar el impacto a nivel de sistema y resolver controversias aguas arriba, aguas abajo (para un río) y de región a región - para un lago o el agua subterránea (GWP, I. 2009). Las macro cuencas conviene dividirlas en micro cuencas (o proyectos, como hidroeléctricas), siempre incluyendo a todos los actores involucrados en el manejo integrado de los recursos hídricos.

El enfoque ecosistémico, es una herramienta que sirve para la evaluación de ecosistemas y sus

servicios ecosistémicos; se constituyen también como una estrategia para la gestión integrada de los recursos hídricos, la tierra y los recursos vivos, tales como semillas, plantas, animales, etc., promoviendo la conservación y el uso sostenible de dichos recursos, de una manera equitativa (Smith & Maltby, 2003). El manejo adaptativo hace parte de este enfoque, el cual, bajo la lupa del concepto ecohidrológico, se desempeña como una herramienta para la gestión integrada de cuencas, generalmente involucrando múltiples actores y relacionándolos con el contexto (ver Figura 2.1.).

Figura 2.1. El ciclo de gestión de la planificación e implementación, basado en el aprendizaje mediante la práctica.



Fuente: (GWP, I., 2009)

Existen algunas recomendaciones dadas por la GWP para ser eficientes en la aplicación de la GIRH. Así, la adopción de un enfoque de GIRH, unido deliberadamente a los procesos de planificación de desarrollo nacional apropiados, permitirá que todo el potencial de gestión hídrica contribuya al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU. Adicionalmente, para que la GIRH sea efectiva, debe tener un defensor claramente

identificable dentro del gobierno para proporcionar dirección estratégica al proceso. Finalmente, un elemento clave para la implementación del enfoque de GIRH, es asegurar que todos aquellos interesados en el uso del agua jueguen un papel en su gestión. Estos enfoques deben ser involucrados de una forma estructurada y deben incluir disposiciones para el arbitraje de disputas que surgirán inevitablemente.

Volviendo al contexto latinoamericano, una de las principales problemáticas actuales es la desigualdad, que lastimosamente se ha instalado y, además, tiene una tendencia muy consistente a crecer. Sin embargo, no es la principal presión sobre el recurso hídrico, pero la gestión integrada de los recursos hídricos será una forma de disminuir la desigualdad. En América Latina, la problemática para el manejo de recursos hídricos está relacionada con la extracción excesiva del agua (especialmente para el riego agrícola), la impermeabilización (infraestructura urbana) y la deforestación (Araya, 2010). Por otro lado, la producción per cápita de residuos sólidos se ha duplicado en los últimos 30 años, casi el 90% de los residuos sólidos se recogen pero más del

40% no se disponen correctamente, lo que contribuye a contaminar la tierra y el recurso hídrico; tal es el caso de los lixiviados. Suponiendo la transferencia del problema en el espacio y en el tiempo, precisamente sobre acciones al final del tubo; a pesar de las grandes inversiones, se tienen problemas de coordinación interinstitucional y poca efectividad (Galvis, 2009). “A través del fortalecimiento de la cooperación Sur-Sur surge el reto de lograr definir agendas propias de investigación y generar procesos de apropiación del conocimiento, midiendo su impacto a través de resultados concretos y sostenibles” (Obando & de Costa Rica, 2010).

Referencias

- Araya, J. A.** (2010). El rol de la investigación en las Universidades Latinoamericanas en la Gestión Integrada del Recurso Hídrico. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, (9).
- DuBow, P. J.** (2014). A primer of ecohydrology: fundamentals and applications. Erasmus Mundus Master of Science Programme in Ecohydrology Special Publication 2014-1.
- Galvis, A.** (2009). Development of a Technology Selection Model for Pollution Prevention and Control in the Municipal Water Cycle: UNESCO-IHE. Delft, the Netherlands.
- GWP.** (2017). What is the IWRM ToolBox? Tomado de: http://www.gwp.org/en/learn/iwrm-toolbox/About_IWRM_ToolBox/What_is_the_IWRM_ToolBox/
- GWP, I.** (2009). A handbook for Integrated Water Resources Management in basins. Global Water Partnership, Stockholm.
- McClain, M. E., Chicharo, L., Fohrer, N., Novillo, M. G., Windhorst, W., & Zalewski, M.** (2012). Training hydrologists to be ecohydrologists and play a leading role in environmental problem solving. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(6), 1685-1696. doi:Doi 10.5194/hess-16-1685-2012
- Naiman, R. J., Bunn, S. E., Hiwasaki, L., McClain, M. E., Vörösmarty, C. J., & Zalewski, M.** (2007). The science of flow-ecology relationships: Clarifying key terms and concepts. Paper presented at the Earth System Science Partnership Open Science Conference, Beijing.
- Obando, J. A. A., & de Costa Rica, T.** (2010). El rol de la investigación en las Universidades Latinoamericanas en la Gestión Integrada del Recurso Hídrico. Ingeniería de Recursos Naturales, 9.
- Smith, R. D., & Maltby, E.** (2003). Using the ecosystem approach to implement the convention on biological diversity: key issues and case studies: IUCN.
- UNESCO-IHP.** (2016). Ecohydrology as an Integrative Science from Molecular to Basin Scale.: UNESCO/SC/HYD (Ed.)
- van Slobbe, E.** (2012). [System Thinking in Water Management].
- Zalewski, M.** (2002). Ecohydrology—The use of ecological and hydrological processes for sustainable management of water resources/Ecohydrologie—La prise en compte de processus écologiques et hydrologiques pour la gestion durable des ressources en eau. *Hydrological Sciences Journal*, 47(5), 823-832.
- Zalewski, M., Harper, D. M., Demars, B., Jolánkai, G., Crosa, G., Janauer, G. A., & Pacini, N.** (2008). Linking biological and physical processes at the river basin scale: the origins, scientific background and scope of ecohydrology. In D. M. Harper, M. Zalewski, & N. Pacini (Eds.), *Ecohydrology—Processes, Models and Case Studies*, edited by: Harper, D., Zalewski, M., and Pacini, N., CABI, Oxfordshire (pp. 1-17).



Reserva Ecológica Cayambe-Coca, Ecuador

Capítulo 3

Fundamentos teóricos de la ecohidrología.

3.1. Evolución del concepto de ecohidrología.

En su desarrollo conceptual, a la ecohidrología se le han dado varias definiciones diferentes, ninguna de ellas aún en diccionarios impresos. Las raíces de eco, hidro y logía, son claras; todas provienen del griego, *oikos*, *hudōr* y *logos*, que significan: casa, agua y ciencia, respectivamente. Por lo tanto, la eco-hidro-logía es la ciencia que estudia, en conjunto, al agua y a la ecología (Zalewski *et al.*, 2008). La ecohidrología es una disciplina nueva entre las ciencias; como tal, tiene sus fundamentos científicos, principios, pruebas de hipótesis y demás metodologías que exige la comunidad académica global.

La ciencia de la ecohidrología, se ha desarrollado en la comunidad científica desde la perspectiva de tres enfoques diferentes, aunque complementarios.

La primera temática de investigación se centra en las dinámicas planta-agua en ecosistemas terrestres y acuáticos (Baird & Wilby, 1999), pudiendo dirigirse al estudio de una sola especie, (por ejemplo cultivos de pino), el tipo de vegetación (por ejemplo pastos, bosques naturales, etc.) o paisajes y sus microclimas (e.g. bosque seco, páramo, bosque húmedo Montano Bajo, etc.) y sus impactos sobre la cantidad y calidad del agua. El segundo enfoque de investigación científica de la ecohidrología, también conocida como hidro-ecología, propuesta por Acreman (2001), se relaciona a la cuantificación de agua dentro del ciclo hidrológico y el impacto que ocasionan los eventos de disminución o aumento de los flujos hídricos sobre la ecología y comunidades bióticas de los ríos y otros cuerpos de agua. La tercera temática es incluyente de las dos primeras, pero

procura una visión integrada de los procesos físicos y bióticos que actúan como los principales impulsores de una evolución dinámica en las cuencas hidrográficas, con el objeto de usar el conocimiento como herramienta de gestión de recursos hídricos (Zalewski *et al.*, 2008).

La Ecohidrología es una ciencia nueva e integradora, que estudia la interacción entre hidrología y biota a diferentes escalas, y utiliza procesos naturales como herramientas de gestión para reforzar los servicios ecosistémicos, en una amplia gama de paisajes (por ejemplo, áreas costeras, urbanas y agrícolas). Dicho de otro modo, la ecohidrología es una comprensión de cómo los procesos hidrológicos se integran con los ecológicos y, a la inversa, cómo los procesos ecológicos pueden regular posteriormente los hidrológicos. Como ciencia integradora, interrelaciona el conocimiento de esos dos procesos, dentro de una cuenca hidrográfica, entendiendo su capacidad de modificación e integración sinérgica, para amortiguar los impactos antrópicos con el objetivo final de preservar, mejorar, o restaurar la capacidad de los ecosistemas acuáticos de la cuenca para su uso sostenible (Zalewski *et al.*, 2008).

De acuerdo con Naiman *et al.*, (2007), la ecohidrología se define desde dos puntos de vista que provienen, por un lado, de una perspectiva acuática; y por el otro, de una perspectiva terrestre.

Desde la perspectiva acuática, Naiman *et al.*, (2007) sugieren que la ecohidrología utiliza los procesos ecosistémicos, considerando fundamentalmente las interrelaciones funcionales que se producen entre la hidrología y su biota dentro de un ecosistema acuático, como herramientas



para alcanzar las metas de manejo del recurso agua. Por ejemplo, se puede mejorar los procesos naturales de retención de nutrientes, mediante la creación de humedales artificiales, para evitar la eutrofización en lagos o reservorios artificiales. Siguiendo este sentido de pensamiento, Zalewski *et al.*, (2008) plantean que la ecohidro-

logía propone encontrar una “regulación dual” (ver Figura 3.1.) de un sistema acuático dado, usando simultáneamente los procesos hidrológicos y ecológicos para fortalecer y mejorar la integridad del sistema y, de esta manera, confrontar alteraciones dañinas de origen antropogénico.

Figura 3.1. Regulación dual entre la Hidrología y la Biota en el enfoque ecohidrológico.



Fuente: (Zalewski y Naiman, 1985; UNESCO-IHP, 2016)

La estrategia de la ecohidrología es la de proveer una serie de herramientas de gestión para que sean incorporadas en los planes y programas de los encargados del manejo de recursos hídricos. Estas herramientas ecohidrológicas surgen de un riguroso análisis del sistema. Luego de identificar y entender en el campo procesos ecosistémicos útiles, estos pueden ser manejados e implementados, para que aumenten la resiliencia del ecosistema y se pueda enfrentar perturbaciones, que afectan el ciclo hidrológico y la calidad y cantidad de agua (Naiman *et al.*, 2007).

Por otra parte, desde la perspectiva terrestre, la ecohidrología estudia los procesos ecológicos que se encuentran inmersos dentro del ciclo hidrológico, como por ejemplo la capacidad de

retención de agua, a manera de reservorio que pueden tener, comparativamente hablando, diferentes biomas (Naiman *et al.*, 2007). Desde este punto de vista, se puede estudiar la relación agua-planta de una sola especie, como un monocultivo de eucalipto, por ejemplo, o las alteraciones que ocurren dentro de un ecosistema como el páramo y sus efectos sobre la disponibilidad del recurso agua. Adicionalmente, se puede estudiar lo que ocurre cuando se alteran los ciclos hidrológicos y/o caudales en una cuenca específica, y su afectación en los componentes, como la producción primaria, de un sistema acuático (Zalewski *et al.*, 2008).

3.2. Principios del enfoque ecohidrológico.

El enfoque ecohidrológico suma el conocimiento de las relaciones entre los procesos hidrológicos y ecológicos y usa este entendimiento para buscar soluciones innovadoras a los problemas de

degradación de una cuenca hidrográfica, causados por nuestra sociedad (Zalewski *et al.*, 2008). Desde este punto de vista Chícharo, Wagner, Łapinska, & Zalewski (2009) indican que el enfoque ecohidrológico tiene tres principios que son expresados en componentes secuenciales (ver Figura 3.2.).

Figura 3.2. Mapa conceptual de los principios de la Ecohidrología

Fuente: (Zalewski, 2000; Chícharo y Zalewski *et al.*, 2009)



Como indica la Figura 3.2., de una manera aplicada, la ecohidrología procura poseer una secuencia que tiene como punto de partida, la comprensión de cómo los procesos hidrológicos se integran con los procesos ecológicos y viceversa (marco conceptual); en segundo lugar, se identifica cómo estos procesos ecológicos e hidrológicos pueden regularse entre sí (objetivo); y, finalmente, la información generada mediante la observación de

campo y el método científico, proveerán de herramientas que pueden ser utilizadas para la gestión de una cuenca hidrográfica (metodología). Para mayor detalle de los principios de la ecohidrología, se puede observar la Tabla 3.1. Es importante anotar que estos principios están relacionados estrechamente a la construcción de sitios demostrativos de ecohidrología, de lo cual hablaremos en los próximos capítulos.

**Tabla 3.1.** Descripción de los principios de implementación de la ecohidrología

#	Nombre	Descripción General	Descripción Detallada
I	Hidrológico (Marco conceptual):	Cuantificación de los procesos hidrológicos a escala de cuenca y el mapeo de los impactos.	<p>Marco conceptual^{1a-1b} Se conceptualiza la cuenca como un “súper organismo” de manera similar al concepto Gaia - del planeta como un “súper organismo” (Lovelock, 1995). Una jerarquía de factores influyen en este “súper organismo”:</p> <p>Escala - el ciclo a mesoescala de la circulación del agua dentro de una cuenca es una plantilla para la cuantificación de procesos ecológicos;</p> <p>Dinámica – El agua y la temperatura son las fuerzas impulsoras de los ecosistemas terrestres y de agua dulce;</p> <p>Jerarquía de factores - procesos abióticos (por ejemplo, hidrológicos) son dominantes en la regulación del funcionamiento del ecosistema. Las interacciones bióticas pueden manifestarse cuando los factores abióticos son estables y predecibles.</p> <p>Hidrológico²: La cuantificación del ciclo hidrológico de una cuenca, debe ser la plantilla para la integración funcional de los procesos hidrológicos y biológicos.</p>
II	Ecológico (Objetivo):	Identificación de áreas potenciales para la mejora del potencial de sostenibilidad (incluyendo la capacidad de carga).	<p>Objetivo^{1a-1b} El “superorganismo” conceptual puede ser visto en un estado natural como poseedor de resistencia y resiliencia al estrés. Frente a los crecientes cambios globales (como el aumento de la población, el consumo de energía, el cambio climático global), es necesario aumentar la capacidad de carga de los ecosistemas y su resistencia y resiliencia para absorber los impactos inducidos por el ser humano.</p> <p>Ecológico²: Los procesos integrados a escala de cuencas hidrográficas pueden ser dirigidos de una manera tal como para mejorar la capacidad de carga de la cuenca y sus servicios ecosistémicos.</p>
III	Ingiería Ecológica (Metodología):	Gestión de biota para el control de procesos hidrológicos y viceversa.	<p>Metodología^{1a-1b} La Ecohidrología usa las propiedades de los ecosistemas como una herramienta de gestión. Se aplica mediante el uso de la biota para controlar los procesos hidrológicos y viceversa, utilizando la hidrología para regular la biota. Las bases científicas para la metodología del uso de la biota en pos del mejoramiento de la calidad del agua ha avanzado significativamente, mediante la ingeniería ecológica (por ejemplo, Mitsch & Jorgensen, 2004).</p> <p>Ingeniería ecológica²: La regulación de los procesos hidrológicos y ecológicos, basada en un enfoque de sistema integrador, es una nueva herramienta para la Gestión Integrada de la Cuenca y la Gestión Costera Integrada.</p>

^{1a} Zalewski, M. (2000).^{1b} Zalewski, M. (2002).² Chicharo, L. et. al., (2009).

3.3. Parámetros multi-dimensionales de la ecohidrología.

De acuerdo a Zalewski (2014), con el fin de aumentar la capacidad de carga de las cuencas hidrográficas, y que éstas tengan un efecto en el mejoramiento de la sostenibilidad, tanto en los ecosistemas como en la población humana, se explican, a continuación, los parámetros multidimensionales de la ecohidrología que son: **agua** en cantidad y calidad, **biodiversidad** de hábitats y especies, **servicios ecosistémicos** para la sociedad, **resiliencia** a los cambios climáticos, y adicionalmente el **patrimonio cultural** (en adelante: WBSR-C, por sus siglas en Inglés), como se puede ver en la Figura 3.3.

Agua

En la actualidad, y en el futuro cercano, las afectaciones al agua son de diversa índole. El ciclo hidrológico se verá afectado por el incremento en la duración e intensidad de los flujos altos y bajos, originados por la cantidad y amplitud de eventos extremos, como sequías e inundaciones catastróficas. La velocidad del transporte de nutrientes entre las fases terrestre y acuática se verá modificada. Por lo tanto, el suministro global de agua dulce y los mecanismos biogeoquímicos, inherentes al ciclo hidrológico, se verán, también, modificados (Wagner, 2008). Por lo tanto, es menester entender las posibles afectaciones y actuar en pro de la mejora de los procesos relacionados con el ciclo hidrológico. La utilización de la ecohidrología debe tener resultados que atienda a la problemática del agua, en cantidad y calidad.

Biodiversidad

Los documentos especializados en ecología hablan de los diferentes tipos de diversidad (i.e diversidad de ecosistemas, de especies y de genes) y cómo se pueden ver reducidas por una falencia en la población de determinadas especies para

recuperarse de una mortandad originada en una perturbación con intensidad y frecuencia alta o reducirse por una exclusión competitiva (Ricklefs & Miller, 2000). Para efectos prácticos, la biodiversidad es entendida en este documento como la variedad de organismos vivos de cualquier especie y, adicionalmente, la diversidad de ecosistemas.

Servicios ecosistémicos

Con la aplicación de la regulación dual, mediante la utilización de las herramientas propuestas por el enfoque ecohidrológico, se potenciarán los servicios ecosistémicos que ofrece una cuenca hidrográfica (UNESCO-IHP, 2016). Estos servicios pueden ser cuantificados como indicadores positivos de que las prácticas ecohidrológicas están correctamente enfocadas y encaminadas. Así, si una cuenca hidrográfica que ha sido intervenida con métodos de ingeniería ecohidrológica, presenta como resultado mejoras en la cantidad y calidad de agua, aumento en los indicadores de biodiversidad local en términos de hábitats y especies, mayor productividad de alimentos y bioenergía, etc., se concluirá que los procesos se encuentran bien enrumbados y que las medidas adoptadas para el manejo han sido exitosas. Se debe considerar la comparación numérica del antes y el después de la aplicación de una herramienta ecohidrológica, es decir que los valores relacionados a la cuantificación de un servicio ecosistémico, sean mejorados luego de utilizar el enfoque de la ecohidrología.

Resiliencia

La resiliencia de los ecosistemas será entendida como la capacidad de un sistema complejo para absorber y recuperarse de impactos externos que afecten sus procesos, manteniendo su estructura y funciones (Holling, 1973; Van Slobbe *et al.*, 2013). Para el caso de asentamientos urbanos, la forma de asegurar la resiliencia de una ciudad



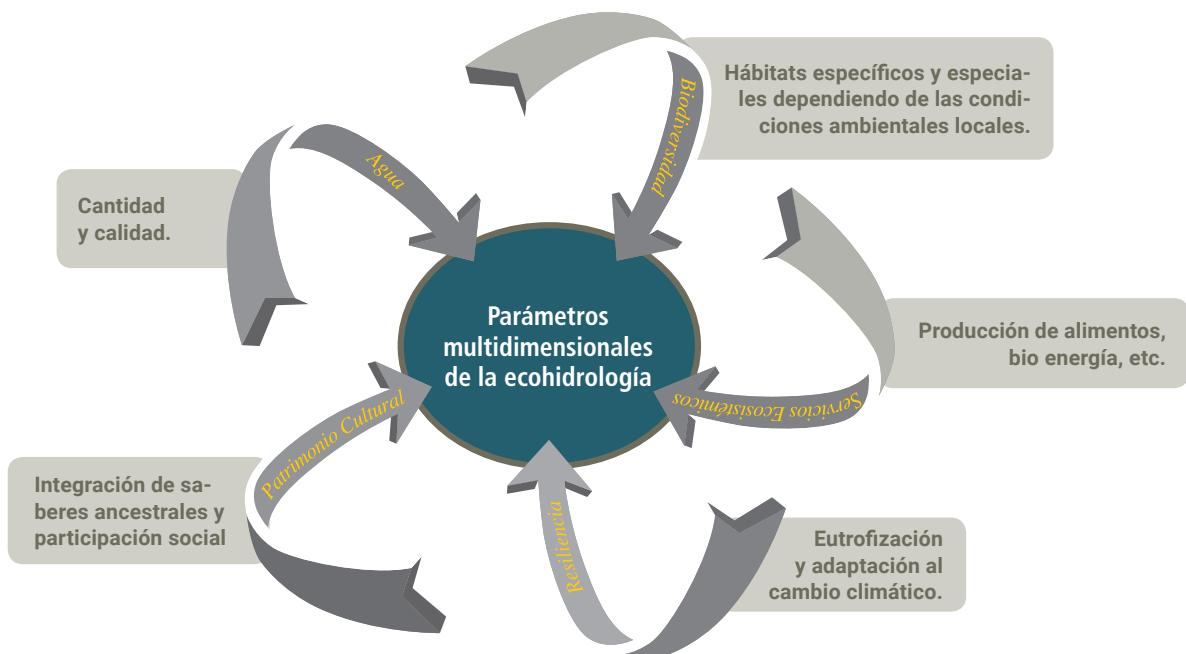
dependerá, i.e., en la gestión de su huella ecológica, en el sentido de la utilización de tierras geográficamente conectadas, para reducir el peligro de desconexiones, debido a la larga distancia y las emisiones de gases de efecto invernadero, y mediante el desarrollo de la recirculación interna de sus residuos, incluyendo el agua (Wagner & Breil, 2013).

Patrimonio cultural

Según la Política y Estrategia Nacional de Biodiversidad del Ecuador 2001 – 2010 y la de 2015-2030, se puede ver el reconocimiento, respeto y fortalecimiento de la identidad y diversidad culturales, y como éstas garantizan la protección,

recuperación y valoración de los conocimientos, innovaciones y prácticas tradicionales de los pueblos indígenas, afroecuatorianos y comunidades locales, consustanciales a la conservación y uso sustentable de la biodiversidad y para el mantenimiento de la riqueza cultural del país (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2016). De esta manera, el patrimonio cultural tiene relevancia para la ecohidrología en el sentido de que se deben integrar, en todo plan de gestión ambiental, los saberes y acervos culturales de las comunidades cercanas a la intervención de un proyecto ecohidrológico. La integración de la cultura y la participación pública en la gestión ambiental, es la clave del éxito del manejo de los recursos naturales (Mitchell, 2002).

Figura 3.3. Parámetros multi-dimensionales (WBSR-C) de la ecohidrología para resolver problemas inherentes a los recursos hídricos. Elaboración propia de los autores.



Esencialmente, la ecohidrología busca la integración de los conocimientos y prácticas de otras ciencias y disciplinas, entre las que se pueden mencionar, aparte de la hidrología y la ecología, a la biogeocíquica, la geografía, la hidráulica, la geología, entre otras, por lo que un ecohidrólogo

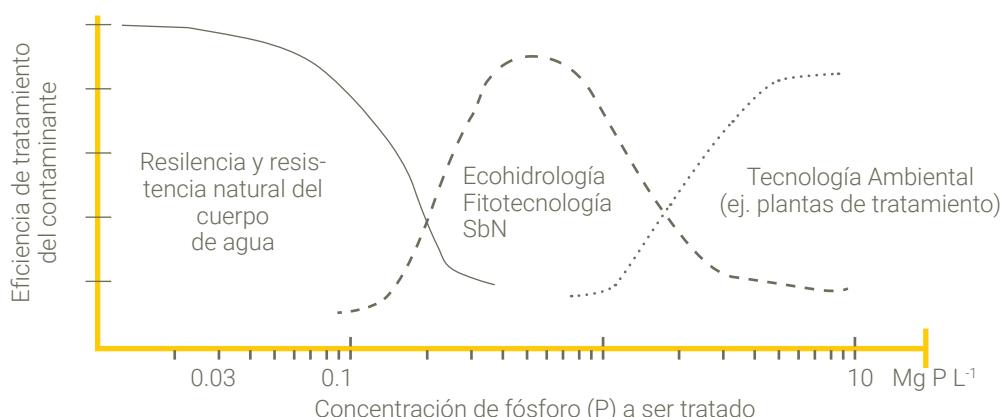
debe ser formado en todas estas ramas del conocimiento científico, pero siempre buscando la regulación de dos vías entre hidrología y biota, mencionado anteriormente.

3.4. Alcances y límites de la ecohidrología.

Las soluciones a problemáticas de recursos hídricos pueden ser alcanzadas con ecohidrología y tendrán una mayor eficiencia que otros métodos, sobre todo si se intervienen ecosistemas con estados “medios” de perturbación. En la Figura 3.4. se puede observar un ejemplo para concentraciones de fósforo en un sistema acuático. Zalewski (2018), explica que la implementación de la ecohidrología debe ser considerada

cuando la resistencia o resiliencia de un sistema acuático ha disminuido su capacidad innata para tratar por sí solo al agente perturbador (en este caso el fósforo). En este punto de perturbación del sistema por concentraciones de fósforo, la ecohidrología y las SbN como la fito-tecnología, pueden aumentar la eficiencia del sistema para recuperarse de la perturbación.

Figura 3.4. Eficiencia de soluciones de bajo costo propuestas por la ecohidrología y SbN para tratar la polución de fósforo en sistemas acuáticos frente a la resiliencia natural del sistema y los costosos sistemas tecnológicos



Procedencia del P:	Natural (ej. ciclo del P)	No-puntual o difusa (ej. agricultura y ganadería)	Puntual (ej. alcantarillado)
--------------------	---------------------------	---	------------------------------

Fuente: (Maciej Zalewski, 2018).

Posteriormente, cuando la ecohidrología, que se caracteriza por usar soluciones de bajo costo, no puede disminuir las concentraciones del contaminante, se pueden aplicar soluciones generadas por la ingeniería y la tecnología que, por su naturaleza, son más costosas y de difícil implementación en ciertos lugares, como por ejemplo las plantas de tratamiento de aguas residuales. En suma, la ecohidrología es una herramienta para

atender problemáticas del agua en cantidad y calidad, usando SbN de bajo costo, pero efectivas para tratar perturbaciones de mediana intensidad no puntuales o difusas. Los costos de las herramientas ecohidrológicas son muy bajos, por lo que pueden substituir y/o complementar tecnologías que, en algunos casos, resultan, desde el punto de vista costo-beneficio, inconvenientes.



Referencias

- Acreman, M. C.** (2001). Hydro-ecology: Linking Hydrology and Aquatic Ecology: Proceedings of an International Workshop (HW2) Held During the IUGG 99, the XXII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) Held at Birmingham, UK, in July 1999: International Assn of Hydrological Sciences.
- Baird, A. J., & Wilby, R. L.** (1999). Eco-hydrology: plants and water in terrestrial and aquatic environments: Psychology Press.
- Chicharo, L., Wagner, I., Chicharo, M., Łapinska, M., & Zalewski, M.** (2009). Practical experiments guide for ecohydrology. Chicharo *et al.*(Eds.). UNESCO Manual, Faro, Portugal, 121.
- Chicharo, L., & Zalewski, M.** (2009). Practical experiments guide for Ecohydrology. UNESCO. 121p.
- Holling, C. S.** (1973). Resilience and stability of ecological systems. Annual Review of Ecology and Systematics, 4(1), 1-23.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador.** (2016). Estrategia Nacional de Biodiversidad 2015-2030. Retrieved from Quito, Ecuador: <http://maetrasparente.ambiente.gob.ec/documentacion/WebAPs/Estrategia-Nacional-de-Biodiversidad-2015-2030-CALIDAD-WEBSITE.pdf>
- Mitchell, B.** (2002). Resource and Environmental Management: Pearson Education.
- Naiman, R. J., Bunn, S. E., Hiwasaki, L., McClain, M. E., Vörösmarty, C. J., & Zalewski, M.** (2007). The science of flow-ecology relationships: Clarifying key terms and concepts. Paper presented at the Earth System Science Partnership Open Science Conference, Beijing.
- Ricklefs, R., & Miller, G.** (2000). Ecology . W. H: Freeman & Company, New York, NY, USA.
- UNESCO-IHP. (2016).** Ecohydrology as an Integrative Science from Molecular to Basin Scale.: UNESCO/SC/HYD (Ed.)
- Van Sloot, E., de Vriend, H. J., Aarnikhof, S., Lulofs, K., de Vries, M., & Dircke, P.** (2013). Building with Nature: in search of resilient storm surge protection strategies. Natural hazards, 66(3), 1461-1480.
- Wagner, I.** (2008). Ecohydrology: Understanding the Present as a Perspective on the Future–Global Change. Ecohydrology: Processes, Models and Case Studies: an Approach to the Sustainable Management of Water Resources, 303.
- Wagner, I., & Breil, P.** (2013). The role of ecohydrology in creating more resilient cities. Ecohydrology & Hydrobiology, 13(2), 113-134.
- Zalewski, M.** (2000). Ecohydrology-the scientific background to use ecosystem properties as management tools towards sustainability of water resources. Ecological Engineering 16: 1-8
- Zalewski, M.** (2002). Ecohydrology, the use of ecological and hydrological processes for sustainable management of water resources. Hydrological Sciences-Journal des Sciences hydrologiques 47(5): 823-832
- Zalewski, M.** (2014). Ecohydrology and hydrologic engineering: regulation of hydrology-biota interactions for sustainability. Journal of Hydrologic Engineering, 20(1), A4014012.
- Zalewski, M.** (2018). Ecohydrology, Engineering Harmony for a Sustainable World Paper presented at the Ecohydrology Workshop and Scientific Advisory Committee, Faro, Portugal.
- Zalewski, M., Harper, D. M., Demars, B., Jolánkai, G., Crosa, G., Janauer, G. A., & Pacini, N.** (2008). Linking biological and physical processes at the river basin scale: the origins, scientific background and scope of ecohydrology. In D. M. Harper, M. Zalewski, & N. Pacini (Eds.), Ecohydrology–Processes, Models and Case Studies, edited by: Harper, D., Zalewski, M., and Pacini, N., CABI, Oxfordshire (pp. 1-17).
- Zalwsky, M., and Naiman, R.J.** (1985). "The regulation of riverine fish communities by a continuum of abiotic-biotic factors." *Hab. Modif. Freshw. Fish.*, J. S. Alabaster, ed., Butterworth, London, 3-9.







Capítulo 4

Casos de implementación de la ecohidrología.

Al utilizar herramientas ecohidrológicas, se busca aumentar la resiliencia de los ecosistemas ante las perturbaciones antrópicas. Ejemplos de estas afectaciones son: la sobre explotación de recursos hídricos para riego, para industria, para generación de electricidad mediante hidroeléctricas, la polución y contaminación de ríos, lagos y reservorios, así como la disminución de la productividad de los ecosistemas acuáticos y terrestres por cambios en la producción primaria, entre otros. Estos disturbios al ambiente se ven agravados, también, por las posibles alteraciones ecológicas pronosticadas ante el fenómeno de cambio climático global. Se pretende, por lo tanto, mejorar la coexistencia entre el ser humano y la naturaleza, y obtener un beneficio que sea medido, tanto para las sociedades como para el medio ambiente (Zalewski, 2014).

Algunas prácticas ecohidrológicas, que se desarrollan a nivel global, se pueden encontrar en la plataforma de la red de sitios demostrativos de ecología de la UNESCO PHI (disponible en inglés en la url: www.ecohydrology-ihp.org). Sin embargo, hemos decidido mostrar, a continuación y de manera ilustrativa, ciertas actividades realizadas en estos sitios demostrativos. Algunos ejemplos de prácticas ecohidrológicas se resumen en este capítulo, y otros se profundizan en capítulos posteriores.

4.1. Biotecnologías ecohidrológicas para la mitigación de contaminantes agrícolas no puntuales.

Son varias las biotecnologías que se pueden utilizar en zonas donde no se conoce con exactitud la fuente de origen de la contaminación; este es el caso de los grandes cultivos en los cuales los ex-

cesos de nutrientes son conducidos a los cuerpos de agua adyacentes, por medio de la escorrentía. Con la utilización de un humedal artificial se puede aumentar la retención de nutrientes que llegan a un cuerpo de agua; y, de esta manera, evitar los procesos de eutrofización. Sin embargo, lo que se pretende es contar con todo un sistema de herramientas ecohidrológicas (e.g. Barreras naturales en los ecotonos tierra-agua, tratamiento de contaminantes en humedales, etc.) dentro de una cuenca hidrográfica.

Para tal fin, se han propuesto herramientas en pos de mejorar los ecotonos. Por ejemplo, dependiendo de la especificidad de la fuente de contaminación por nitrógeno, se pueden aplicar diferentes soluciones basadas en el proceso de desnitrificación en el área de la agricultura. En una cuenca de cultivo intensivo o pastos, alrededor de fuentes puntuales como el almacenamiento de estiércol, o cerca de la costa, las barreras de desnitrificación serán la solución más adecuada. La disponibilidad de varias formas de carbono orgánico puede regularse y es uno de los factores más importantes en los procesos de desnitrificación en el suelo. Los resultados sugieren que las barreras aplicadas alrededor de las fuentes puntuales tienen la mejor relación costo-efectividad de la eliminación de nitratos en el área de la agricultura intensiva. (Bednarek, Stolarska, Ubrawiak, & Zalewski, 2010; Bednarek, Szklarek, & Zalewski, 2014)

En Polonia, las zonas litorales con vegetación, fueron reforzadas con la instalación de muros de desnitrificación y/o una barrera biogeoquímica. La construcción de muros de desnitrificación, como elementos de zonas de amortiguación, for-



talece la eficiencia de las zonas de vegetación en áreas con contaminación de compuestos de nitrógeno. Los resultados muestran que la eficacia de un muro de desnitrificación, en una zona de amortiguación, es de aproximadamente el 67% (Izydorczyk *et al.*, 2013).

Como prueba de los beneficios en el largo plazo, los resultados de un extenso programa de monitoreo llevado a cabo en 2011-2013 en la cuenca del reservorio Sulejów, en Polonia, sugieren que las zonas de amortiguamiento son altamente eficientes para reducir las concentraciones de NO₃-N y Fósforo Total en aguas subterráneas poco profundas. En promedio, se observaron reducciones de 56% y 76%, respectivamente (Piniowski *et al.*, 2015).

4.2. Biotecnologías ecohidrológicas: purificación del agua de lluvia urbana.

La gestión de aguas lluvias en las ciudades ha evolucionado drásticamente de la visión “al final del tubo” a un enfoque más holístico e integrado, basado en el enfoque de “cosecha de agua lluvia” y “control de la fuente” (Committee, 1999). Dos ejemplos claros de desarrollo de biotecnologías para la purificación de aguas pluviales urbanas, transformando amenazas en oportunidades, para una ciudad más verde, sostenible y saludable se pueden leer en el texto de Wagner y Breil (2013).

En primer lugar, se discuten las mejoras de manejo del río Yzeron en Lyon, Francia. La rápida expansión urbana en el área de Gran Lyon, debido a la densificación urbana, generará más demanda de agua para consumo y de tratamiento de aguas residuales en los próximos años. Adicionalmente, el estudio de la cuenca hidrográfica del río Yzeron, bajo la creciente presión de la expansión suburbana, muestra importantes cambios en la cubierta terrestre, desde el comienzo del siglo XX. Estos cambios han modificado el funciona-

miento de la cuenca, en términos de hidrología, morfología, química, física y biología: aumento en la frecuencia de inundaciones de intensidad baja a media, degradación de la calidad del agua, formación espectacular de incisiones, aguas arriba, y sedimentación, aguas abajo, etc. (Schmitt *et al.*) El recurso hídrico de la cuenca está, entonces, limitado y estrechamente relacionado con el régimen de lluvias. Las actividades humanas dependen de un suministro de agua importado de Gran Lyon para riego y usos domésticos. Casi el 90% del agua residual producida en la cuenca del Yzeron (150 km²) está conectada a una red combinada de alcantarillado, que fluye a una planta central de tratamiento de aguas residuales, operada por Gran Lyon. La propuesta es obtener datos confiables a largo plazo de los esfuentes, del clima húmedo urbano y su impacto en las aguas receptoras, a fin de proporcionar resultados, conocimiento y metodologías para evaluar la sostenibilidad de los sistemas hídricos urbanos y proponer nuevas estrategias para manejar las aguas pluviales en la ciudad.

En otras palabras, desde 2008 se desarrolló un sitio piloto, con principios ecohidrológicos, en la periferia urbana de Lyon. Su objetivo era poner en marcha una solución basada en procesos naturales para atrapar, almacenar la contaminación emitida por una salida combinada de desbordamiento de alcantarillado y luego bio-transformar o digerir esta contaminación por mecanismos basados en procesos naturales, para mejorar la capacidad de autodepuración de este río estacional, expuesto a desbordamientos, incluyendo el de las alcantarillas. Por publicaciones científicas anteriores y por trabajos de campo, los científicos encontraron que el sedimento poroso en un río puede ser un potente bio-reactor y, con esto, justificaron el desarrollo de un sistema llamado «vertedero permeable», que permite la acumulación de sedimentos y aumenta la transferencia

de agua dentro de ella; es decir, se construyó un rápidos artificiales en el río.

En segundo lugar, se integró el estudio del proyecto en Lodz, Polonia, que utiliza biotecnologías como el Sistema Secuencial de Sedimentación-Biofiltración (SSBS por sus siglas en inglés). Las siguientes fueron las actividades clave (i) construcción del sistema secuencial de purificación de aguas pluviales (que contiene sedimentación, biogeoquímica y zonas húmedas construidas) en la parte superior del río, con la cuenca principalmente transformada. En los primeros dos años experimentales de su operación, el SSBS redujo las concentraciones de nitrógeno total y fósforo hasta en un 60% (Zalewski, Wagner, Fratczak, Mankiewicz-Boczek, & Parniewski, 2012). La estabilización del flujo del río, mediante la construcción de una cuenca de detención aguas arriba de la estructura del sistema, redujo aún más la estocasticidad del proceso; (ii) construcción de una cascada de reservorios de retención en el río, para mitigar los flujos extremos y el estrés hídrico. La infraestructura gris (geoceldas, gaviones, muelles y adaptaciones morfológicas) y verde (fitotecnología para eliminación de nutrientes), fueron diseñadas para aumentar la capacidad de los reservorios a fin de reducir las floraciones de algas tóxicas, a pesar de las altas cargas de nutrientes; (iii) elaboración de planes de rehabilitación de ríos y canales para mejorar el estado ecológico de un río, aumentar la capacidad de retención de agua en el paisaje, mejorar el nivel de las aguas subterráneas, aumentar la vegetación y mejorar el acceso y uso social de la zona. Los planes se utilizaron para la elaboración

de proyectos conceptuales y técnicos de un Parque del Río Sokolowka; Los resultados anteriores permitieron ampliar el concepto a una escala mayor a nivel ciudad (Wagner & Breil, 2013).

4.3. Sistemas híbridos ecohidrológicos para la mejora de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Un proyecto para utilizar un Sistema Híbrido de Biofiltración Secuencial (SBS por sus siglas en inglés) fue instalado en Polonia, para mejorar la eliminación de nutrientes y el control de PCB en las aguas residuales municipales, basándose en una barrera geoquímica (lechos de filtración con piedra caliza, carbón y serrín) y biológica (humedal, usando varias especies de plantas, como *Glyceria maxima*, *Acorus calamus*, *Typha latifolia*, *Phragmites australi*). Se encontraron diferencias significativas entre el flujo de entrada y salida del SBS con respecto a las concentraciones de contaminantes de aguas residuales. El SBS eliminó una carga significativa de Fósforo Total (0.415 kg), Nitrógeno Total (3.136 kg) y PCB Equivalente (0.223 g) por metro cuadrado por año. El uso de SBS híbridos de bajo costo, como paso posterior al tratamiento de aguas residuales, resultó ser una biotecnología ecohidrológica efectiva, que puede utilizarse para reducir la contaminación de fuentes puntuales y mejorar la calidad del agua (Kiedrzyńska *et al.* 2017).

En los capítulos siguientes profundizamos en ejemplos de aplicación de la ecohidrología con estudios de caso presentados por sus autores y mentores, quienes gentilmente han aportado sus experiencias para este texto.



Referencias

- Bednarek, A., Stolarska, M., Urbaniak, M., & Zalewski, M.** (2010). Application of permeable reactive barrier for reduction of nitrogen load in the agricultural areas – preliminary results. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 10(2), 355-361. doi:<https://doi.org/10.2478/v10104-011-0007-6>
- Bednarek, A., Szkłarek, S., & Zalewski, M.** (2014). Nitrogen pollution removal from areas of intensive farming—comparison of various denitrification biotechnologies. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 14(2), 132-141. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2014.01.005>
- Committee, V. S.** (1999). Urban stormwater: best-practice environmental management guidelines: CSIRO publishing.
- Izydorczyk, K., Frątczak, W., Drobnińska, A., Cichowicz, E., Michalska-Hejduk, D., Gross, R., & Zalewski, M.** (2013). A biogeochemical barrier to enhance a buffer zone for reducing diffuse phosphorus pollution—preliminary results. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 13(2), 104-112.
- Kiedrzyńska, E., Urbaniak, M., Kiedrzyński, M., Jóźwik, A., Bednarek, A., Gągała, I., & Zalewski, M.** (2017). The use of a hybrid Sequential Biofiltration System for the improvement of nutrient removal and PCB control in municipal wastewater. *Scientific Reports*, 7(1), 5477.
- Piniewski, M., Marcinkowski, P., Kardel, I., Giełczewski, M., Izydorczyk, K., & Frątczak, W.** (2015). Spatial quantification of non-point source pollution in a meso-scale catchment for an assessment of buffer zones efficiency. *Water*, 7(5), 1889-1920.
- Schmitt, L., Grosprêtre, L., Breil, P., Namour, P., Lafont, M., Delile, H., Cournoyer, B.** Pour l'étude interdisciplinaire des petits hydro systèmes périurbains (bassin de l'Yzeron, France). BSGLg.
- Wagner, I., & Breil, P.** (2013). The role of ecohydrology in creating more resilient cities. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 13(2), 113-134.
- Zalewski, M.** (2014). Ecohydrology, biotechnology and engineering for cost efficiency in reaching the sustainability of biogeosphere. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 14(1), 14-20. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2014.01.006>
- Zalewski, M., Wagner, I., Frątczak, W., Mankiewicz-Boczek, J., & Parniewski, P.** (2012). Blue-green city for compensating global climate change. *The Parliament Magazine*, 350(11), 2-3.

Parte 2

Un acercamiento
a la ecohidrología
en el contexto internacional.



El Arenal, volcán Chimborazo



Capítulo 5

Ecohidrología como marco para la mejora
del potencial de sostenibilidad de cuencas hidrográficas.

Profesor Maciej Zalewski, Ph.D.^{1,2}

Universidad de Lodz, Polonia

m.zalewski@erce.unesco.lodz.pl / maciej.zalewski@biol.uni.lodz.pl

¹ Centro Regional Europeo para Ecohidrología de la Academia de Ciencias de Polonia

² Departamento de Ecología Aplicada, Facultad de Biología y Protección Ambiental, Universidad de Lodz

5.1. Resumen

Ecohidrología (EH) es una ciencia transdisciplinaria que se ha desarrollado en el marco del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO (PHI V-VIII). Como una subdisciplina de la ciencia de la sostenibilidad, se centra en los aspectos biológicos del ciclo hidrológico. Proporciona no solo una comprensión científica de la interacción entre hidrología y biota, sino también un marco sistémico que permita establecer la forma de aprovechar las propiedades de los ecosistemas, como una nueva herramienta para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), complementaria a soluciones hidrotécnicas ya en uso. El elemento novedoso de este enfoque es el concepto de mejoramiento del potencial de sostenibilidad de las cuencas, con un énfasis especial en la regulación del desempeño del ecosistema, desde la escala molecular hasta la escala del paisaje. Los procesos de biocenosis están conformados por la hidrología y, viceversa, los procesos hidrológicos se modifican en gran medida por la estructura e interacciones de la biocenosis (Zalewski 2000, 2014). En términos de evolución, la suposición clave es que tanto la estructura biológica de los organismos, así como las comunidades terrestres y acuáticas, se han adaptado a las dinámicas de cantidad y calidad del agua, en la cuenca hidrográfica.

5.2. Introducción

La suposición fundamental de la Ecohidrología (EH) es que el futuro de la biogeoesfera, en el Antropoceno, dependerá no solo del desarrollo de nuevas tecnologías, sino principalmente de la armonización de estas, con el creciente potencial del medio ambiente, que a su vez depende, sobre todo, de la disponibilidad de recursos hídricos. La dinámica del ciclo del agua en una cuenca depende del clima, la geomorfología, la cubierta vegetal, la tipología de los ecosistemas de agua dulce y las modificaciones de la agricultura, la urbanización, el desarrollo industrial y la

infraestructura hidrotécnica. A finales del siglo XX, la gestión del agua estuvo dominada por un enfoque mecanicista, centrado en la provisión de agua para las necesidades sociales y la eliminación de amenazas como inundaciones y sequías. Los análisis de la estructura biológica de los ecosistemas de agua dulce desde 1900 se han utilizado principalmente para monitorear el estado ecológico (Kolkwitz & Marsson, 1908). Desde el punto de vista de la creciente presión humana, expresada por la huella ecológica y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, los desafíos clave para



la gestión del agua en el Antropoceno implican la necesidad de:

1. reducir la carga de nutrientes y contaminantes en los ecosistemas de agua dulce y las zonas costeras;
2. reducir la tasa de transferencia de agua de las cuencas al mar (mejora de la retención de la cuenca) considerando la protección contra inundaciones;
3. aumentar el potencial de sostenibilidad de la cuenca.

Es por eso que, desde el punto de vista de las estrategias de gestión de los recursos hídricos, basadas en el conocimiento integrador, cada cuenca de captación o subcuenca debe considerarse como:

1. un “superorganismo” único que posee resiliencia a diversas formas de perturbaciones e impactos humanos;
2. un denominador común para integrar nuestra comprensión de los procesos hidrológicos y ecológicos, desde la escala molecular a la de cuenca;
3. un marco para la evaluación del estado ecológico y de sostenibilidad y la planificación de acciones.

Tal enfoque holístico es un punto de referencia para la EH. Los análisis de interacción de biota de agua de nivel molecular al de cuenca, crean unos antecedentes para regular aquellos procesos que buscan mejorar el potencial de sostenibilidad de cuenca, definido en ecohidrología como la Meta de Sostenibilidad de la Cuenca Multidimensional: Agua, Biodiversidad, Resiliencia, Servicios Ecosistémicos y Cultura (WBSR+C, por sus siglas en inglés), por lo que los cinco factores deben mejorarse en paralelo. La cuestión fundamental de EH como ciencia, para la resolución de problemas, es la siguiente: ¿Cuál es la jerarquía de factores que regulan la dinámica

de las interacciones hidrológico-biológicas, a lo largo del río continuo (en inglés: River Continuum) y el gradiente térmico? (Zalewski & Naiman, 1995) Y, además, ¿cómo se puede usar una mejor comprensión de la interacción agua/biota para ayudar a resolver problemas sociales en marcos políticos como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), la Directiva Marco del Agua de la UE (WFD 2000 por sus siglas en Inglés) y la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH)?

5.3. Ecohidrología – evolución de un paradigma.

La reciente integración de las ciencias ambientales en la resolución de problemas se basa en el concepto de ingeniería ecológica formulado por Mitsch (1993). Esto cambió la forma de pensar acerca de las relaciones entre la humanidad y la biosfera. La creciente degradación ambiental global implica que las propiedades de los ecosistemas deben considerarse como una nueva herramienta de gestión, para revertir la degradación (Zalewski, 2000). Este enfoque se ha convertido en una suposición clave de la Ecohidrología resolutiva en la escala de cuencas (por ejemplo, Zalewski *et al* 1997; Zalewski, 2000 y 2014; Harper *et al.*, 2008; Wolański *et al.*, 2004; Wagner & Breil, 2013; Chicharo, 2001; Chicharo, 2012; McClain *et al*, 2013). Una evolución adicional del paradigma de Ecohidrología ha implicado un cambio de la interdisciplinariedad a la transdisciplinariedad, mediante la armonización de los objetivos sociales, con un mayor potencial del ecosistema (WBSR+C).

Tal enfoque transdisciplinario, integra diferentes disciplinas de las ciencias ambientales hacia los objetivos y aspiraciones de la sociedad y también toma en cuenta el patrimonio cultural (Berton & Bacchi, 1997) creando una nueva oportunidad para lograr el desarrollo sostenible.

5.4. Ecohidrología: la dimensión terrestre y acuática.

El enfoque de cuenca de Ecohidrología y su implementación para la GIRH abarca la fase atmosférica/terrestre y la fase acuática del ciclo hidrológico.

En ambos, la diversidad biótica aparece como moderadora de la dinámica del agua. En la fase terrestre (EHT), la vegetación modera la cantidad y calidad del agua, y la pregunta principal es cómo los cambios en la cubierta vegetal influyen en el ciclo hidrológico (Rodríguez-Iturbe, 2000). En la fase acuática (EHA), las interacciones bióticas altamente complejas (Zalewski *et al.*, 1990, Wojtal-Frankiewicz, 2010) afectan la calidad del agua y los síntomas relacionados de la eutrofización (por ejemplo, floraciones de algas tóxicas) y pueden regularse hacia WBSR+C.

Teniendo en cuenta diversas formas de degradación de los ecosistemas de agua dulce, la reducción de la contaminación de fuentes puntuales depende de la tecnología, el control y la aplicación de la ley. Sin embargo, los recientes avances en Ecohidrología han desarrollado con éxito soluciones híbridas, donde el tratamiento de aguas residuales de baja eficiencia ha sido proporcionado por humedales artificiales (Zalewski, 2002) o por sistemas de biofiltración secuenciales más avanzados (Kiedrzyńska, 2017). Por otro lado, la reducción del impacto de la contaminación difusa, sin disminuir la producción de alimentos, depende, en primer lugar, de la comprensión de la complejidad jerárquica de los procesos ecológicos en el ecosistema terrestre, dentro de una cuenca hidrográfica dada. Es de suma importancia la interacción entre el agua y la biocenosis, tanto en las fases terrestres como acuáticas del meso-ciclo hidrológico. Esto crea un marco para el uso de ecotonos entre agua y tierra, en el paisaje (Naiman, Decamps y Fournier, 1989) para la mitigación de contaminación y luego se ha mejo-

rado mediante la incorporación a biotecnologías ecológicas, por ejemplo desnitrificación y barreas geoquímicas (Izydorczyk *et al.*, 2013).

Tanto EHT como EHA requieren una cooperación transdisciplinaria entre disciplinas científicas básicas (por ejemplo, Baird y Wilby, 1999; Zalewski *et al.*, 1990; Wood *et al.*, 2007; Eamus, 2006; Acreman, 2001; Gilles Pinay, 2003).

5.5. Principios de Ecohidrología: un marco para implementar soluciones basadas en la naturaleza (ver Zalewsky, 2000)

1. Principio hidrológico: La cuantificación e integración de los procesos hidrológicos y biológicos, a escala de cuenca, se basa en la suposición de que los factores abióticos son de importancia primaria y se vuelven estables y predecibles cuando las interacciones bióticas comienzan a manifestarse. La cuantificación comienza con análisis GIS de geomorfología de captación y distribuciones de infraestructura, siguiendo con patrones de pulsos hidrológicos a lo largo del río continuo (en inglés: River Continuum), su modificación desde el punto de vista del flujo ambiental (Bunn, Arthington, 2002) e identificación de la distribución espacial de diversas formas de impacto - contaminación puntual y no puntual (difusa). Debido a la complejidad del conocimiento aplicado, el desarrollo de modelos matemáticos para sistemas de apoyo a decisiones, es una herramienta importante y útil para cuantificar procesos (agua, nutrientes y carga de contaminantes) e impacto humano para los tomadores de decisiones y para probar escenarios alternativos destinados a la implementación de metodologías ecohidrológicas para el uso sostenible del agua, los ecosistemas y las sociedades (Jorgensen 2002, 2016; Piniewski *et al.*, 2015).



- 2. Principio ecológico:** El principio ecológico se basa en la suposición de que, bajo intensos cambios globales, no es suficiente proteger los ecosistemas contra el aumento de la población humana, el consumo de energía y las aspiraciones. Es necesario regular la estructura y los procesos del ecosistema, para mejorar el potencial sostenible de la cuenca (WBSR+C). El punto de partida para tal regulación debe ser una comprensión de la demostración evolutiva de la interacción agua-biota en el ambiente terrestre y acuático. Comprender el papel de la vegetación en el agua y los procesos de los ciclos de los nutrientes dentro de la cuenca es de crucial importancia (Baird y Wilby, 1999; Vorosmarty y Sahagian, 2000; Kędziora y Ryszkowski, 2007).
- 3. Principio de la ingeniería ecológica:** El uso de las propiedades del ecosistema como herramienta de gestión se basa en los anteriores dos principios de EH. Este principio presenta tres pasos de implementación:

- i. “Regulación dual”: regulación de la es-

tructura de la biota, mediante hidrología (por ejemplo, mejora de la retención de agua en el valle fluvial y estabilización de la disponibilidad de recursos hídricos, que permite la autodepuración del río, biodiversidad, bioproducción mejorada, biomasa/rendimiento (alimentos, bioproductos)) (B) (S), valor estético del paisaje (C), refugio para animales y plantas durante períodos de sequía (B) (R) y viceversa), y por medio de la regulación de la hidrología, mediante la conformación de la biota.

- ii. Integración en la escala de cuencas de varios tipos de soluciones basadas en la naturaleza, a fin de lograr la sinergia para mejorar WBSR+C.
- iii. Armonización de las medidas ecohidrológicas con las soluciones hidrotécnicas necesarias (represas, sistemas de riego, plantas de tratamiento de aguas residuales, etc.). (Ver Figura 5.1.).

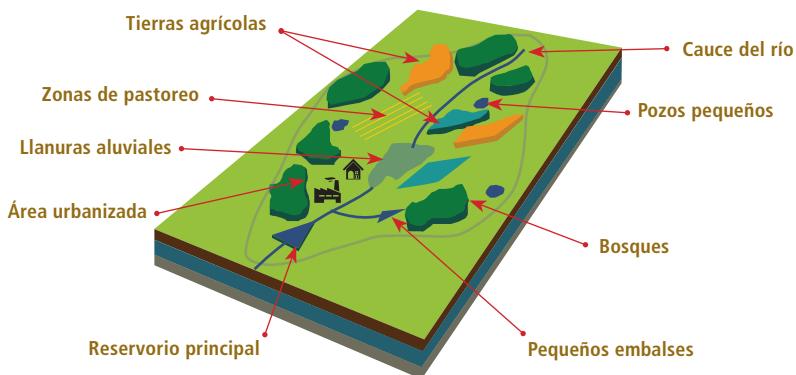


Figura 5.1. Principios de la ecohidrología (modificado de Zalewski, 2011)

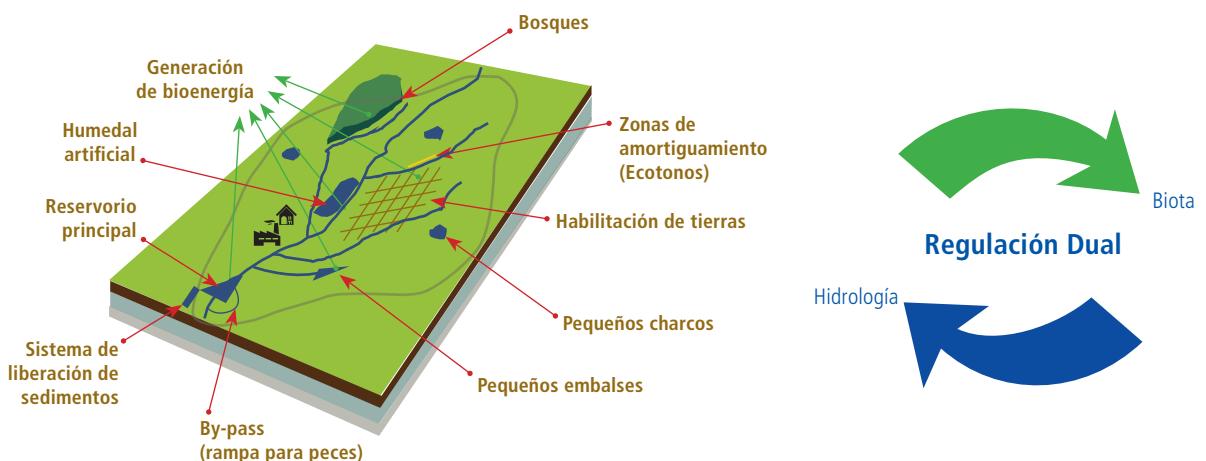
1. Principio hidrológico



2. Principio ecológico



3. Principio de ingeniería ecológica





5.6. Ecohidrología: aspectos novedosos de las soluciones sistémicas para las ciencias ambientales.

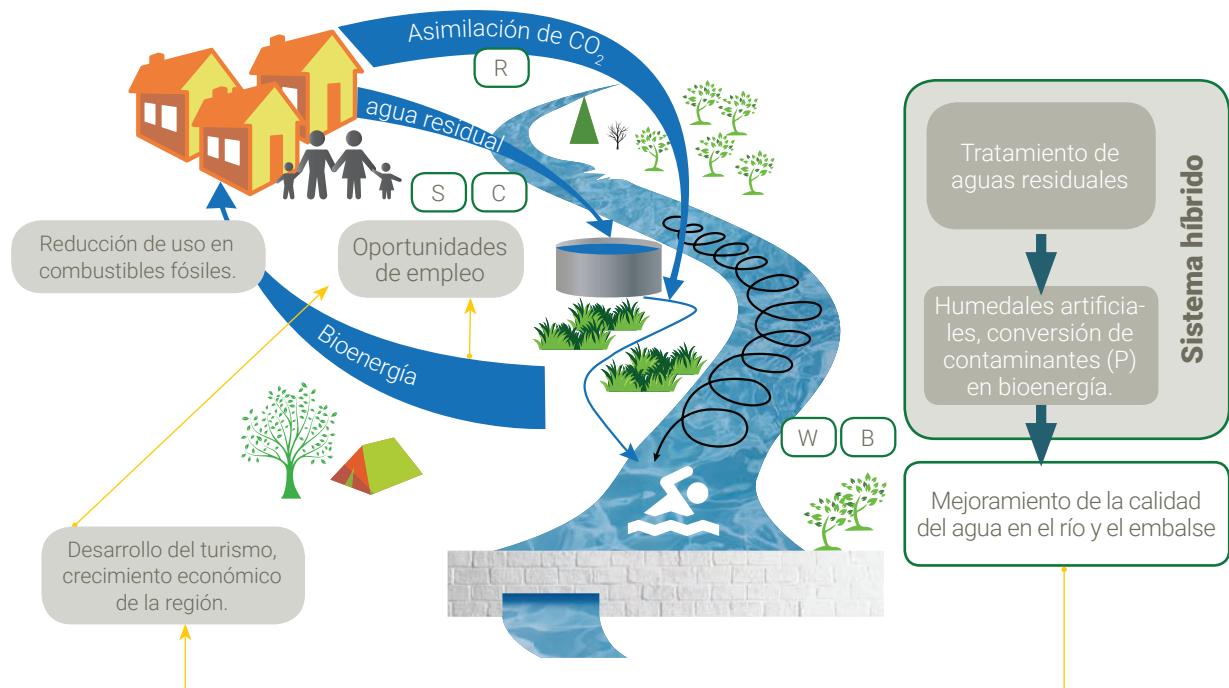
Los ecosistemas acuáticos y sus cuencas hidrográficas son entidades complejas cuando se estudian en un enfoque multidisciplinario. Sin embargo, si el objetivo de las investigaciones científicas es regular el potencial hidrológico y biológico para la mejora del potencial de sostenibilidad, las acciones de regulación, por ejemplo las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) requieren un punto de referencia adicional, la sociedad y el conocimiento tradicional y sus preferencias culturales. Esto combina la ciencia natural y socioeconómica en una ciencia y gestión transdisciplinaria integradora (Hiwaki y Arico, 2007).

Por lo tanto, las propiedades de los ecosistemas sirven como herramientas de gestión para el desarrollo sostenible, respetando el lado cuantitativo del ciclo hidrológico. La ecohidrología en la perspectiva UNESCO PHI (Zalewski *et al.*, 1997; Zalewski, 2000, 2014; Chicharo, 2012; Wolański *et al.*, 2004; Wagner & Breil, 2013) brindó tres recursos nuevos a las ciencias ambientales y su implementación: (1) el uso de las propiedades del ecosistema, como nuevas herramientas de gestión (Zalewski, 2000) complementarias y armonizadas con soluciones hidro-técnicas; (2) la necesidad de mejorar los ecosistemas hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, mediante el uso de la interacción entre hidrología y biota - “regulación dual” (Zalewski, 2006); por lo que el análisis de las oscilaciones dinámicas de los ecosistemas, la productividad y la sucesión ecológica reflejadas por el incremento de biomasa/rendimiento y la capacidad de absorción de nutrientes/contaminantes versus los impactos humanos, debería ser la clave para la regulación del proceso; (3) el uso de “regulación dual” (Zalewski, 2014) y soluciones basadas en la naturaleza (por ejemplo, barreras de desnitrificación, Bednarek *et al.*, 2016) como soluciones

sistémicas, considerando la cuenca como un marco de acción a fin de mejorar los recursos hídricos, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos para la sociedad, resiliencia al cambio climático y patrimonio cultural (WBSR+C).

El concepto y los principios de ecohidrología se han implementado en el caso de una pequeña ciudad en Polonia, en la cuenca del río Pilica, como un ejemplo de aplicación de soluciones ecohidrológicas sistémicas, para mejorar la sostenibilidad de la cuenca, convirtiendo las amenazas ambientales en oportunidades para el desarrollo sostenible. Las aguas residuales purificadas después del tratamiento primario y secundario, pero aún con altas concentraciones de fósforo, elevaron las concentraciones y la carga de fósforo (P) en el río y el embalse aguas abajo, lo que resulta en afloramientos de algas tóxicas frecuentes. La transferencia de aguas residuales purificadas a una plantación productora de bioenergía (los sauces) ha reducido la carga de fósforo en el río y el embalse, mejorando el estado ecológico y recreativo (Zalewsky, 2011). Además, la mejora de la calidad del agua en el embalse del río afecta positivamente a la biodiversidad, creando, además, oportunidades de empleo para la sociedad, a través del desarrollo del turismo. Esto, a su vez, reduce la pobreza y estimula el desarrollo cultural y la retroalimentación financiera (por impuestos). Además, el uso de la bioenergía de la plantación, para calentar una escuela cercana y otros edificios públicos, ha reducido las emisiones de gases de efecto invernadero y ha creado más fondos para el empleo. Este ejemplo de la aplicación de Ecohidrología, como un marco para soluciones sistémicas en la gestión de cuencas fluviales, ofrece un caso de integración de Soluciones basadas en la naturaleza, Economía circular y Bioeconomía (ver Figura 5.2.).

Figura 5.2. Esquema del enfoque ecohidrológico para mejorar los recursos hídricos, la calidad del medio ambiente, crear una retroalimentación socioeconómica positiva y mejorar el potencial de sostenibilidad (modificado de Zalewski, 2011)



Esto demuestra cómo el pensamiento orientado al proceso ecohidrológico proporciona un marco para la implementación de la bioeconomía y la economía circular.

5.7. Perspectivas futuras y límites de la Ecohidrología.

Las soluciones basadas en la naturaleza, utilizadas en el marco de EH, se han convertido en la herramienta crucial para la implementación exitosa de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, especialmente para la mitigación del impacto intermedio, que prevalece para la mayoría de los problemas de una cuenca. Los nutrientes y la contaminación química de fuentes puntuales y difusas son dos de los principales desafíos para la Ecohidrología. Un objetivo implícito pero importante de EH, como marco para la implementación sistémica de Soluciones basadas en la naturaleza, es reducir los aportes a los ecosistemas

de agua dulce y regular el exceso de nutrientes y cargas contaminantes en esos sistemas acuáticos, considerando la asignación de nutrientes y contaminantes en sumideros disponibles, como suelos, sedimentos, biomasa de plantas vasculares y conversión de materia por organismos, fitotecnologías, barreras de desnitrificación, etc. Sin embargo, se debe subrayar que los métodos EH pueden ser menos eficientes y tener un potencial menor cuando la estructura biológica de un ecosistema está altamente degradada por el impacto humano intensivo, por ejemplo, en el caso de lagos hipertróficos o reservorios donde los factores abióticos (niveles de oxígeno) se han reducido drásticamente y las estructuras bióticas se han reducido y degradado intensamente. En tales situaciones, la implementación de Ecohidrología/ Soluciones basadas en la naturaleza será mucho más costosa y complicada, y, en ocasiones, podría ser insuficiente para mejorar WBSR+C.



Referencias

- Acreman, M. C. (Ed.)** (2001). Hydro-ecology: Linking hydrology and aquatic ecology. Wallingford, UK: International Association of Hydrological Sciences (IAHS). vii, 162p
- Baird AJ, Wilby RL (eds)** (1999). Eco-hydrology. Plants and water in terrestrial and aquatic environments. Routledge, London, New York
- Bednarek, S. Szklarek, K. Dziedziczak, B. Kowalski, M. Zalewski** (2016). Using chemically treated organic recycling materials to enhance freshwater purification Polish Journal of Environmental Studies 25(5): 1847-1855
- Berton J-P, Bacchi M** (1997). Données générales sur le patrimoine écologique ligérien. Actes du Colloque «La gestion patrimoniale de l'Hydro-système ligérien» pp 3-8
- Bunn, S. E., and Arthington, A. H.** (2002). Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environ. Manage.*, 30(4), 492-507.
- Chicharo, L., Chicharo, M. A., Esteves, E., Andrade, P., and Moreira, P.** (2001). Effects of alterations in fresh water supply on the abundance and distribution of *Engraulis encrasicolus* in the Guadiana estuary and adjacent coastal areas of south Portugal. *Ecohydrol. Hydrobiol.*, 1(3), 341-347.
- Chicharo, L., and Zalewski, M.** (2012). Introduction to ecohydrology and restoration of estuaries and coastal ecosystems. Treatise on estuarine and coastal science, E. Wolanski and D. McLusky, eds., Vol. 10, Academic Press, Waltham, 1-6.
- Dynamics of Agricultural Landscape; eds.: Ryszkowski L., French N.R., Kędziora A., PWRiL Poznań. Bernacki Z.**, (1994). Influence of main types of ecotones on the decomposition of organic matter in agricultural landscape. ss. 143-152
- Eamus, D; Hatton, T; Cook, PG; Colvin, C.** (2006). Ecohydrology: Vegetation function, water and resource management. In: Melbourne: CSIRO Publishing.
- Harper D, Zalewski M, Pacini N** (2008). Ecohydrology: Sustainable Management of Water Resources, CAB International, London, 391 pp
- Hiwasaki L., Arico S.**, (2007). Integrating the social sciences into ecohydrology: facilitating an interdisciplinary approach to solve issues surrounding water, environment and people, *Ecohydrology & Hydrobiolgy* 7 (1), 3-9
- Izydorczyk, K., et al.** (2013). A biogeochemical barrier to enhance a buffer zone for reducing diffuse phosphorus pollution—Preliminary results. *Ecohydrol. Hydrobiol.*, 13(2), 104-112.
- Jørgensen SE** (2002). Explanation of ecological rules and observation by application of ecosystem theory and ecological models. *Ecological Modelling* 158, 241-248
- Jørgensen SE** (2016). Ecohydrology as an important concept and tool in environmental management. *Ecohydrology & Hydrobiology* 16, 4-6
- Kiedrzyńska E., Urbaniak M., Kiedrzyński M., Jóźwik A., Bednarek A., Gagała I., Zalewski M.**, The use of a hybrid Sequential Biofiltration System for the improvement of nutrient removal and PCB control in municipal wastewater, *Scientific Reports* 7:5477, 1-14
- Kolkwitz R, Marsson M** (1908). Oekologie der pflanzlichen Saproben. Ber. dtsch.bot. Ges. 26, 505-519
- McClain M., E., DuBowy P., J., Zalewski M.**, (2013). Ecohydrology for harmonization of societal needs with the biosphere potential, *Ecohydrology and Hydrobiology* 13(1): 3-5
- Mitsch WJ** (1993). Ecological Engineering - a co-operative role with planetary life support system. *Environmental Science Technology* 27, 438-445
- Naiman R. J., Decamps H., Fournier F.**, (1989). The role of land/inland water ecotones in landscape management and restoration: a proposal for collaborative research. *MAB Digest* 4, UNESCO, Paris.
- Paul J. Wood P.,J., Hannah D., M., Sadler J., P.,** (2007). Hydroecology and ecohydrology: past, present, and future, Wiley.
- Pinay et al.**, 2003. Potential Denitrification Activity in the Landscape of a Western Alaska Drainage Basin, *Ecosystems* 6(4):336-343
- Piniewski M., Marcinkowski,P., Kardel I., Giełczewski M., Izydorczyk K., Frątczak W.** (2015). Spatial Quantification of Non-Point Source Pollution in a MesoScale Catchment for an Assessment of Buffer Zones Efficiency. *Water*, 7, 1889-1920
- Rodriguez-Iturbe, I.** (2000). Ecohydrology: A hydrological perspective of climate-soil vegetation dynamic. *Water Resour. Res.*, 36(1), 3-9.
- Rowiński P., Radecki-Pawlak A. (eds.)**, (2015). Rivers – Physical, Fluvial and Environmental Processes, Springer
- Vorosmarty CJ, Sahagian D** (2000): Anthropogenic disturbance of the terrestrial water cycle. *Bioscience* 50,753-765
- Wagner I., Breil P.**: (2013) The role of ecohydrology in creating more resilient cities. «*Ecohydrol. Hydrobiol.*» 13.
- WFD** (2000). Water Framework Directive EU (2000/60/E)
- Wolanski, E., et al.**, (2004). Ecohydrology as a new tool for sustainable management of estuaries and coastal waters. *Wetlands Ecol. Manage.*, 12(4), 235-276.
- Wojtal-Frankiewicz, A., and Frankiewicz, P.** (2010). Mathematical modelling as a tool for predicting the intensity of eutrophication symptoms based on zooplankton and fish density. *Ecohydrol. Hydrobiol.*, 10(2-4), 247-257.
- WWAP (United Nations World Water Assessment Programme).** (2018). The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-based Solutions. Paris, UNESCO.
- Zalewski M.** (2000). Ecohydrology - The scientific background to use ecosystem properties as management tools toward sustainability of water resources. Guest Editorial, *Ecological Engineering* 16, 1-8
- Zalewski M.** (ed.) (2002). Guidelines for the Integrated Management of the Watershed, Phytotechnology and Ecohydrology. UNEP-IETC, Freshwater Management Series 5.
- Zalewski M.**, (2006). Flood pulses and river ecosystem robustness. In: *Frontiers in Flood Research*, Tchiguirinskaia I, Ni Ni Thein K, Hubert P (eds). Kovacs Collo-quium UNESCO, Paris, June/July 2006. IAHS Publication 305, 212 pp
- Zalewski M.**, (2011). Ecohydrology for implementation of the EU water framework directive. *Proceedings of the Institution of Civil Engineering Water Management* vol. 164 issue WM8, pp 375-385.
- Zalewski, M.** (2015). Ecohydrology and Hydrologic Engineering: Regulation of Hydrology-Biota Interactions for Sustainability, *Journal of Hydrologic Engineering*, volume 20, Issue 1.
- Zalewski M., Janauer G. S.. Jolankai G.**, (1997). Ecohydrology - A new Paradigm for the Sustainable Use of Aquatic Resources. Zalewski M., Janauer G. S., Jolankai G. (red.), *International Hydrological Programme UNESCO*. Technical Document on Hydrology No 7, Paris.
- Zalewski M., Naiman R. J.**, (1985). The regulation of riverine fish communities by a continuum of abiotic-biotic factors, [w] Alabaster J. S. (ed.) *Habitat Modification and Freshwater Fisheries* FAO UN, Butterworths Scientific Ltd. London.



Maciej Zalewski es profesor en el Departamento de Ecología Aplicada de la Universidad de Lodz y director del Centro Regional Europeo de Ecohidrología, bajo los auspicios de la UNESCO, en Polonia.

Sus intereses de investigación evolucionaron desde la bioenergética de peces hacia la ecología de ecosistemas fluviales, donde propuso el «Concepto Regulador Abiótico-Biótico», que define una jerarquía de factores que determinan la estructura y dinámica de comunidades de agua dulce, a lo largo del río continuo en diferentes zonas geográficas, que sentaron las bases para un nuevo paradigma de ciencias ambientales encapsuladas en Ecohidrología. Inició el desarrollo del concepto de Ecohidrología en el marco del programa UNESCO-PHI y es un respetado experto internacional en este campo. Como experto de la UNESCO, el Prof. Zalewski ha apoyado el establecimiento de Centros de Ecohidrología en Portugal, Indonesia, China, Argentina y Etiopía.

Es catedrático en programas de enseñanza, nacionales e internacionales. Ha sido presidente y conferencista principal en más de 100 conferencias y simposios científicos internacionales y es autor de numerosas publicaciones y capítulos de libros. También es el fundador y editor en jefe de la revista internacional *Ecohydrology & Hydrobiology*, y forma parte del consejo editorial de las revistas *Ecological Engineering*, *Brazilian Journal of Biology*, *Environmental Accounting*, *Fisheries Management and Ecology*. Es líder de numerosos proyectos científicos nacionales e internacionales. Actualmente posee un índice H de Google Scholar a 40 y ha sido citado más de 6618 veces en diversas publicaciones científicas.

Es miembro de los comités científicos ambientales de la Academia de Ciencias de Polonia y miembro de la Junta Asesora del Ministerio del Medio Ambiente de Polonia, para la gestión de los recursos hídricos. Ha servido, entre otras capacidades, como representante nacional del gobierno polaco en las negociaciones de los tratados de créditos y exportaciones de la OCDE, como miembro del Consejo Científico de la Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para Europa (ROSTE), presidente del Grupo de trabajo «Ecotonos de peces y tierra/aguas continentales» del MAB (Hombre y Biosfera) de la UNESCO, presidente del Grupo de trabajo «Modificación física del hábitat y pesquerías de agua dulce» de la FAO EIFAC (Comisión Asesora de Pesca Continental), miembro del Consejo Nacional de Polonia Centro de Investigación y Desarrollo, representante de la Iniciativa Conjunta de Programación Polonia-UE (JPI Water), ESFRI ENV TWG. Miembro del Comité Directivo de EcoSummit 2012, 2016, Presidente del Comité de Redacción Declaración de Columbus para EcoSummit 2012, representante de Polonia en el Proceso Temático del 7 ° Foro Mundial del Agua en Corea y Presidente del Comité Directivo del Programa de «Ecohidrología» de la UNESCO PHI (Programa hidrológico internacional).

✉: m.zalewski@erce.unesco.lodz.pl / maciej.zalewski@biol.uni.lodz.pl



Laguna Pisaca. Foto: Marco Albarracín

Capítulo 6

Biotecnologías ecohidrológicas: soluciones basadas en la naturaleza para aguas continentales y mejoramiento de la calidad de las aguas residuales municipales.

Dr. hab. Edyta Kiedrzyńska,
Prof. ERCE PAN Lodz - Polonia
e.kiedrzynska@erce.unesco.lodz.pl

“La Tierra ha entrado en la era del Antropoceno (Crutzen, 2002; Steffen et al., 2007; Zalewski 2007, 2016), en la que la humanidad constituye una fuerza de cambio a escala planetaria, el mundo enfrenta un nuevo nivel global de preocupación por el agua” (Vörösmarty et al., 2014).

6.1. Introducción

La presión sobre el ciclo hidrológico global es tan grande que la humanidad es ahora la fuerza dominante detrás de los cambios en los recursos hídricos en todo el mundo y en la regulación de la resiliencia del sistema de la Tierra (Rockström, 2009; Rockström et al., 2014). El aumento de las presiones sobre los recursos mundiales de agua dulce, está a la par de otros cambios antropogénicos en el sistema de la Tierra, que van desde el clima (EEE, 2012), el uso de la tierra (deforestación) y la biodiversidad hasta el cambio de ecosistemas, que, juntos, han llevado a la ciencia a sugerir que la humanidad ha entrado en una nueva época geológica, nombrada el Antropoceno (Rockström et al., 2014). Por lo tanto, la humanidad necesita nuevas herramientas basadas en biotecnologías ecohidrológicas, un enfoque de economía circular y soluciones basadas en la naturaleza (SbN), para confrontar estos cambios globales desfavorables en la gestión del agua en las cuencas y contrarrestar la degradación de los recursos de agua dulce, a fin de aumentar la resiliencia en los sistemas socio-ecológicos y salvaguardar los sistemas de soporte vital para el bienestar humano.

El límite de agua dulce, definido por Shiklomanov y Rodda (2003) como el consumo máximo adicional de agua “azul” consumible en el mundo, más allá de la situación preindustrial, se ha calculado en 4000-6000 km³ año⁻¹. El uso consuntivo global actual de agua “azul”, por otro lado, se ha estimado en 2600 km³ año⁻¹ (Steffen et al., 2015). Por lo tanto, varias regiones ya sufren el impacto generalizado del uso excesivo del agua “azul”, y las proyecciones mundiales indican un aumento en el uso del agua “azul” a un nivel que se acerca al límite mundial para 2050 (Rockström et al., 2009a; Gerten et al., 2011). La investigación muestra que las cuencas fluviales, con extracciones que exceden más del 40-60% de los recursos hídricos disponibles, están experimentando una grave escasez de agua (Grafton et al., 2012). Una combinación de actividades humanas en áreas de drenaje ha intensificado el uso del agua (Rockström et al., 2014) y la exportación de nutrientes y otros contaminantes al ambiente acuático desde fuentes puntuales y difusas, lo que lleva a un sobre enriquecimiento y degradación, que se observa fuertemente en todo el mundo (Han et al., 2011; Kiedrzyńska et al., 2014a, b; Steffen et al., 2015).



En el presente capítulo analizamos un tipo de herramienta que se puede aplicar para abordar estos desafíos: las biotecnologías ecohidrológicas, como soluciones basadas en la naturaleza, para la mejora de la calidad del agua de las aguas continentales y municipales. Describiremos ejemplos específicos de implementaciones y resultados de estudios, junto con aplicaciones potenciales más amplias.

6.2. Llanuras aluviales del río para retención de agua y mejora de la calidad: un enfoque de solución basada en la naturaleza para el futuro.

Cada metro cuadrado de tierra, en el Planeta Tierra, forma parte de una cuenca (Kiedrzyńska *et al.*, 2015). Las cuencas fluviales con sus valles de ríos, áreas de llanuras de inundación y ríos son hidrosistemas cruciales que sostienen los cuerpos de agua dulce globales, y las llanuras de inundación de los ríos son una parte integral de los sistemas valle-río (Kiedrzyńska *et al.*, 2015). Las áreas de las cuencas están particularmente expuestas a cambios en el uso de la tierra y a una transformación antropogénica más pronunciada del agua y los ciclos biogeoquímicos. Los ríos y las llanuras de inundación se encuentran en depresiones paisajísticas, en las cuales se transfieren y acumulan una variedad de sustancias con modificaciones e impactos antropogénicos (Kiedrzyńska *et al.*, 2008a, 2014a, b), por ejemplo, sedimentos y nutrientes, dioxinas y contaminaciones microbianas, etc. Las perturbaciones que progresan dramáticamente en las áreas de captación, a menudo se amplifican negativamente por los cambios en el ciclo hidrológico y la pérdida de integridad entre los ecosistemas fluviales y las llanuras de inundación, lo que resulta en una disminución drástica de la calidad del agua, eutrofización, una reducción de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos para la sociedad.

Históricamente, los valles de los ríos europeos son importantes corredores ecológicos y lugares de desarrollo económico y cultural. Es por eso que, para lograr el desarrollo sostenible, es necesario armonizar la restauración de las secciones degradadas de los ríos y la mejora de la calidad del agua. Por lo tanto, de cara al avance del cambio climático y en el contexto de las tendencias demográficas existentes, se advierte una necesidad urgente de pruebas a gran escala, de soluciones científicas integradoras.

La Ecohidrología (EH) es una subdisciplina de la Hidrología, que se centra en los procesos ecológicos que ocurren dentro del ciclo hidrológico y se esfuerza por utilizar dichos procesos para mejorar la sostenibilidad ambiental de los ecosistemas terrestres y acuáticos (Zalewski *et al.*, 1997; Zalewski 2011; 2013; 2014; Kiedrzyńska *et al.*, 2015). La ecohidrología proporciona una comprensión científica de la interacción hidrología/biota, y un marco sistemático de cómo utilizar los procesos del ecosistema como una herramienta para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, complementaria a la ingeniería ecológica y las soluciones hidrotécnicas aplicadas (Zalewski, 2014). Las preguntas clave planteadas por EH se refieren a la jerarquía de factores que regulan la dinámica de las interacciones hidrológicas y biológicas y los medios por los que EH puede utilizarse para resolver problemas ambientales y sociales con referencia a la gestión integrada de recursos hídricos y en el ámbito de políticas como la Directiva Marco Europea del Agua (WFD EC, 2000). El papel de la Ecohidrología, en la implementación de la Gestión Sostenible de Cuenca y la Directiva Marco del Agua, es facilitar el desarrollo de metodologías científicas, cuya tarea es lograr un “buen estado ecológico” para los ecosistemas de cuencas fluviales inundables estimulando el progreso en las ciencias ambientales y permitir una mejor comprensión de sus procesos (Kiedrzyńska *et al.*, 2015).

La investigación en biotecnologías ecohidrológicas que se llevó a cabo en la llanura aluvial del río Pilica en base a soluciones naturales tuvo el objetivo general de evaluar las posibilidades de mejorar este proceso, tanto a través de la sedimentación (Altinakar *et al.*, 2006; Magnuszewski *et al.*, 2007; Kiedrzyńska *et al.*, 2008a) y la asimilación en la biomasa de la vegetación (Kiedrzyńska *et al.*, 2008b; Skłodowski *et al.*, 2014). La investigación, basada en modelos de terreno digital (DTM por sus siglas en inglés) y modelos hidráulicos, demostró que la sedimentación en la llanura de inundación esencialmente reduce su transporte (de los sedimentos de inundación) al depósito local de tierras bajas. Los sedimentos de inundación se depositaron efectivamente y el fósforo se retuvo en una sección de 30 km de la llanura de inundación natural del río Pilica. En el área de inundación de 1.007 ha, los sedimentos de inundación de grano fino alcanzaron 500 t (0.5 t ha⁻¹) y la retención de P fue de 1.5 t (1.5 kg ha⁻¹) por tiempo de inundación del río (Kiedrzyńska y Zalewski, 2012). Un estudio ecohidrológico realizado en relación con un hidroperíodo mostró que la eficiencia de la asimilación de nutrientes y la producción de biomasa por parte de las comunidades de plantas autóctonas, con especial énfasis en los parches de sauce, era alta. La vegetación en la llanura de inundación del río Pilica (26,6 ha) en verano acumuló 255 kg de fósforo (P) año⁻¹, lo que implica un valor medio de 9,6 kg P año⁻¹ ha⁻¹. Sin embargo, la conversión del 24% o 48% del área en parches de sauce puede aumentar la retención de fósforo hasta 332 o 399 kg P año⁻¹, aumentando el valor hasta 12.5 kg P año⁻¹ ha⁻¹ y 15 kg P año⁻¹ ha⁻¹, respectivamente (Kiedrzyńska *et al.*, 2008b).

Otra investigación, llevada a cabo a lo largo de una sección aproximada de 40 km del río Pilica, examinó el papel de las comunidades de sauce de *Salicetum triandro-viminalis* en la reducción de la concentración de fósforo en el agua del río y

cuantificó el fósforo retenido en la biomasa de sauce. Los resultados mostraron reducciones de la concentración de SPM en un 41%, SRP en un 54% y la concentración de P total en un 36%. Además, al final del tramo estudiado, se encontró 39% menos de contenido total de PCB y 49% de concentración menor de PCT TEQ (Skłodowski *et al.*, 2014). En esta sección del río, las comunidades de sauces naturales cubrieron un área de aproximadamente 30 hectáreas. La acumulación de fósforo (P) en la biomasa total ascendió a aproximadamente 431 kg, una media de 14,44 kg P ha⁻¹ para parches de sauce de hasta 3 años (Skłodowski *et al.*, 2014). El manejo adecuado de las zonas ribereñas de sauce y la tala rasa estacional pueden ser útiles para limitar la eutrofización y controlar las proliferaciones de algas tóxicas en el embalse de Sulejów, ubicado río abajo (Skłodowski *et al.*, 2014).

Teóricamente, 1 kg de P puede conducir a la acumulación de 1-2 toneladas de biomasa tóxica de algas en un yacimiento (Zalewski, 2005). Con base en estos estudios y la literatura, se puede decir que los humedales de la llanura aluvial fluvial están mayormente enriquecidos con material ribereño y, al mismo tiempo, el agua del río se purifica por su proceso natural de dilución, sedimentación y acumulación de fósforo en la biomasa de macrófitas y comunidades ribereñas de sauce, así como la filtración mecánica del agua que fluye.

En resumen, un enfoque más proactivo de la ingeniería ambiental fluvial y la rehabilitación y restauración de la llanura inundable, produciría muchos efectos positivos para los habitantes, tanto a escala local como regional, como lo haría la gestión de los valles fluviales y las llanuras aluviales que conservan su potencial de mejora de la calidad del agua y prevención de inundaciones, así como sus funciones ecológicas y estéticas (Kiedrzyńska *et al.* 2015).



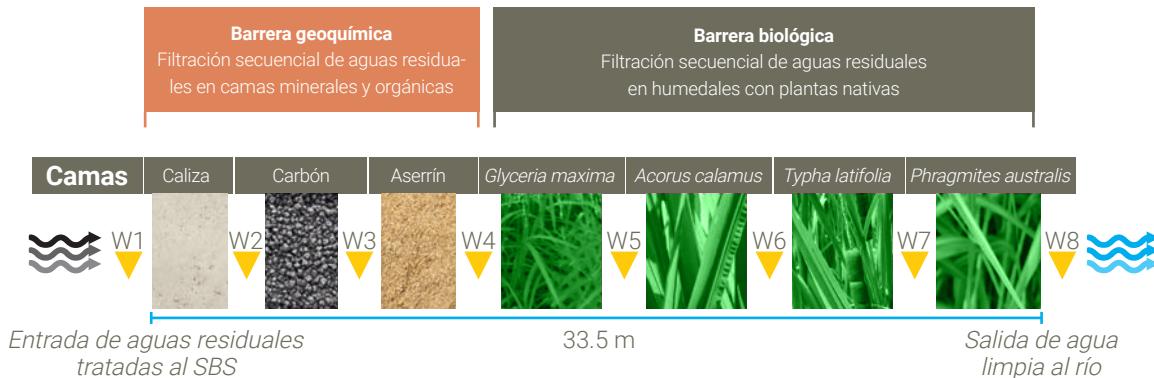
6.3. Sistemas híbridos de biofiltración secuencial: un enfoque de solución basado en la naturaleza para aguas residuales.

Las aguas residuales municipales descargadas de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (EDAR), a menudo representan una fuente importante de carga de fósforo (P) y nitrógeno (N) (Rai *et al.*, 2013; Kiedrzyńska *et al.*, 2014b; Chen *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2016) y bifenilos policlorados (PCBs) (Urbaniak *et al.*, 2014, Urbaniak y Kiedrzyńska, 2015), que se vierten en ríos, embalses o zonas costeras (Kiedrzyńska *et al.*, 2014a, b). Las cargas de nutrientes promueven la eutrofización y el crecimiento anormal del fitoplancton; también fomentan la aparición de floraciones de cianobacterias tóxicas, lo que resulta en la degradación de la calidad del agua y amenaza la salud de humanos y animales. Los

PCBs se clasifican como contaminantes orgánicos persistentes y comprenden un grupo de sustancias tóxicas fabricadas durante los procesos industriales.

El objetivo del estudio de Kiedrzyńska *et al.* (2017) permitió evaluar la eficiencia de un innovador sistema de biofiltración secuencial híbrido (SBS), para eliminar sólidos suspendidos totales (SST), fósforo, nitrógeno y bifenilos policlorados (PCBs) de aguas residuales municipales originales, producidas por una planta de tratamiento de aguas residuales en condiciones de funcionamiento auténticas. El híbrido SBS se construyó con dos barreras, una geoquímica (camas de filtración con piedra caliza, carbón y aserrín) y una barrera biológica (humedales con *Glyceria sp*, *Acorus sp*, *Typha sp*, *Phragmites sp*), que funcionan en paralelo (Kiedrzyńska *et al.*, 2017) (ver Figura 6.1).

Figura 6.1. Diseño de un Sistema de Biofiltración Secuencial (SBS) híbrido para la purificación de efluentes de aguas residuales de una EDAR pequeña, Polonia central (Kiedrzyńska *et al.* 2017).



Los innovadores Sistemas de Biofiltración Secuenciales híbridos (SBS por sus siglas en inglés), construidos en EDAR en Rozprza (Polonia central), son un ejemplo de solución basada en la naturaleza para eliminar fósforo, nitrógeno y bifenilos policlorados (PCBs) de aguas residuales municipales originales producidas por una planta de tratamiento de aguas residuales, en condiciones de operación.

El Sistema de Biofiltración Secuencial híbrido (SBS) demostró ser un método efectivo de biotecnología ecohidrológica para el tratamiento de aguas residuales de EDAR. Se encontraron diferencias significativas entre el flujo de entrada y salida del SBS con respecto a las concentraciones de contaminantes de aguas residuales, la eficiencia de eliminación fue del 16% (93% como máximo) para el fósforo total (TP), 25% (93%

como máximo) para el fósforo reactivo soluble (SRP), 15% (97% como máximo) para nitrógeno total (TN), 17% (98% como máximo) para $\text{NO}_3\text{-N}$ y 21% para la equivalencia de PCB (PCB EQ) (Kiedrzyńska *et al.*, 2017). En el caso de la concentración de PC EQ, la mayor eficiencia del 43% se obtuvo utilizando camas con macrófitos (Kiedrzyńska *et al.*, 2017). La mayor reducción de concentración se observó en la barrera biológicamente activa, es decir, camas con macrófitos, donde 83% de TP, 75% de SRP, 69% de TN, 72% de $\text{NO}_3\text{-N}$ y 43% de PCB EQ concentraciones, fueron más bajas en la salida del SBS que en la entrada (Kiedrzyńska *et al.*, 2017).

El SBS híbrido eliminó una carga significativa de TP (0.415 kg), TN (3.136 kg) y PCB EQ (0.223 g) por metro cuadrado de SBS por año (Kiedrzyńska *et al.*, 2017). El total extraído por la carga SBS de la cantidad de contaminación: 25.3 kg TP (18%), 37.1 kg SRP (26%), 191.3 kg TN (17%), 178 kg $\text{NO}_3\text{-N}$ (19%), 4.5 kg $\text{NO}_2\text{-N}$ (33%), 8.8 kg $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (7%) y también 13.6 g PCB EQ (49%) por año (Kiedrzyńska *et al.* 2017).

Uno de los parámetros fundamentales que influyen en la eficiencia de un sistema de biofiltración es su tamaño y dimensión física (Johannesson *et al.*, 2011; Tanner y Kadlec, 2013; Wang *et al.*, 2014; Vergeles *et al.*, 2015). El uso de este SBS

híbrido de bajo costo, como un paso posterior al tratamiento para el tratamiento de aguas residuales resultó ser una biotecnología ecohidrológica efectiva, que puede utilizarse para reducir la contaminación de fuentes puntuales y mejorar la calidad del agua. El uso de SBS híbridos de bajo costo como paso posterior al tratamiento para el tratamiento de aguas residuales resultó ser una biotecnología ecohidrológica eficaz que puede usarse en pequeñas EDAR, como paso de tratamiento adicional y una biotecnología alternativa para reducir la contaminación de fuentes puntuales y mejorar la calidad del agua en cuencas fluviales (Kiedrzyńska *et al.*, 2017).

En conclusión, estos casos que involucran el uso de llanuras de inundación naturales de ríos y sistemas híbridos de biofiltración secuencial, ofrecen ejemplos de un enfoque de solución basado en la naturaleza, que se ha utilizado con éxito para la retención de agua y la autopurificación de ríos (Kiedrzyńska *et al.*, 2008a, b; Kiedrzyńska *et al.*, 2014a, b; Kiedrzyńska *et al.*, 2015), así como en aguas pluviales (Dou *et al.*, 2017, Szklarek *et al.*, 2017) y purificación de aguas residuales (Kiedrzyńska *et al.* 2017). Por lo tanto, el enfoque parece estar posicionado para ayudar a abordar los desafíos de la era del Antropoceno, como se discutió en la introducción.



Referencias

- Altinakar M, Kiedrzyńska E, Magnuszewski A (2006) Modelling of inundation pattern at Pilica river floodplain, Poland. In Demuth S, Gustard A, Planos E, Scatena F, Servat E (eds). Climate Variability and Change Hydrological Impacts. IAHS Publ. 308:579-585.
- Chen, Y., Wen, Y., Tang, Z., Huang, J., Zhou, Q. et al. (2015). Effects of plant biomass on bacterial community structure in constructed wetlands used for tertiary wastewater treatment. *Ecol. Eng.* 84, 38-45.
- Crutzen P.J., (2002). Geology of mankind: the Anthropocene. *Nature* 415, 23.
- EEA, 2012. Climate change evident across Europe, confirming urgent need for adaptation. European Environment Agency 2012, Copenhagen, Denmark.
- Grafton RQ, Pittock J, Davis R, Williams J, Fu G, Warburton M, Udall B, McKenzie R, Yu X, Che N, Connell D, Jiang Q, Kompas T, Lynch A, Norris R, Possingham, Quiggin J. 2012. Global insights into water resources, climate change and governance. *Nature Climate Change* 3 (4): 315–321. DOI: 10.1038/nclimate1746.
- Han, H., Bosch, N. & Allan, J.D. (2011). Spatial and temporal variation in phosphorus budgets for 24 watersheds in the Lake Erie and Lake Michigan basins. *Biogeochemistry* 102, 45–58.
- Kiedrzyńska E, Kiedrzyński M, Zalewski M (2008a). Flood sediment deposition and phosphorus retention in a lowland river floodplain: impact on water quality of a reservoir, Sulejów, Poland. *Ecohydrology and Hydrobiology* 8(2-4):281–289.
- Kiedrzyńska E., Wagner I., Zalewski M. (2008b). Quantification of phosphorus retention efficiency by floodplain vegetation and a management strategy for a eutrophic reservoir restoration. *Ecological Engineering*, 33: 15-25.
- Kiedrzyńska E, Zalewski M (2012) Water Quality Improvement Through an Integrated Approach to Point and Non-Point Sources Pollution and Management of River Floodplain Wetlands. In Voudouris, K. and Voutsas, D. (eds) Ecological Water Quality – Water Treatment and Reuse. Open Access InTech. Rijeka, Croatia. pp. 325-342. <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/36810.pdf>
- Kiedrzyńska E, Józwik A, Kiedrzyński M, Zalewski M (2014a). Hierarchy of factors exerting an impact on the nutrient load of the Baltic Sea and sustainable management of its drainage basin. *Marine Pollution Bulletin* 88:162–173. doi: 10.1016/j.marpolbul.2014.09.010
- Kiedrzyńska E, Kiedrzyński M, Urbaniak M, Magnuszewski A, Skłodowski M, Wyrwicka A, Zalewski M (2014b) Point sources of nutrient pollution in the lowland river catchment in the context of the Baltic Sea eutrophication. *Ecological Engineering* 70:337–348. doi:10.1016/j.ecoleng.2014.06.010
- Kiedrzyńska E, Kiedrzyński M, Zalewski M (2015). Sustainable floodplain management for flood prevention and water quality improvement. *Natural Hazards* (in press). DOI 10.1007/s11069-014-1529-1
- Kiedrzyńska E., Urbaniak M., Kiedrzyński M., Józwik A., Bednarek A., Gągała I., Zalewski M. (2017). The use of a hybrid Sequential Biofiltration System for the improvement of nutrient removal and PCB control in municipal wastewater. *Scientific Reports* 7:5477. DOI:10.1038/s41598-017-05555-y
- Magnuszewski A, Kiedrzyńska E, Wagner-Lotkowska I, Zalewski M (2007) Numerical modelling of material fluxes on the floodplain wetland of the Pilica River, Poland. In Okruszko T, Szatłowicz J, Miroslaw-Świątek D, Kotowski W, Maltby E (eds) Wetlands: Monitoring, Modelling and Management, A.A. Balkema Publishers – Taylor & Francis Group. pp. 205-210.
- Rai, U.N., Tripathi, R.D., Singh, N.K., Upadhyay, A.K., Dwivedi, S., et al. (2013). Constructed wetland as an ecotechnological tool for pollution treatment for conservation of Ganga river. *Bioresource Technol.* 148, 535–541.
- Rockström J, et al., (2009). A Safe Operating Space for Humanity. *Nature* 461 (September 2009): 472-475. <http://www.nature.com/nature/journal/v461/n7263/full/461472a.html>
- Rockström J., Falkenmark M., Allan T., Folke C., Gordon L., Jägerskog A., Kummu M., Lannerstad M., Meybeck M., Molden D., Postel S., Savenije H.H.G., Svedin U., Turton A., Varis O., (2014). Ecohydrology Bearings – Invited Commentary The unfolding water drama in the Anthropocene: towards a resilience-based perspective on water for global sustainability. *Ecohydrology* 7, 1249–1261.
- Rockström J. (2015). Bounding the Planetary Future: Why We Need a Great Transition. A Great Transition Initiative Essay. April 2015.
- Shiklomanov, I.A. and Rodda, J.C. (2003) World Water Resources at the Beginning of the 21st Century. Cambridge University Press, Cambridge. Pp.435.
- Skłodowski M., Kiedrzyńska E., Kiedrzyński M., Urbaniak M., Zielińska K.M., Kurowski, J.K., Zalewski M., (2014). The role of riparian willow communities in phosphorus accumulation and dioxin control for water quality improvement in a lowland river. *Ecological Engineering* 70: 1-10.
- Steffen W., Crutzen P.J., McNeill J.R., (2007). The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature? *Ambio* 36: 8, 614 -621.
- Steffen W., Richardson K., Rockström J., Cornell S.E., Fetzer I., Bennett E.M., Biggs R., Carpenter S.R., de Vries W., de Wit C.A., Folke C., Gerten D., Heinke J., Mace G.M., Persson L.M., Ramanathan V., Reyers B., Sörlin S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *SCIENCE*, Vol. 347,Issue 6223.
- Urbaniak, Kiedrzyńska, E., Kiedrzyński, M., Mendra, M. & Grochowski, A. (2014). The impact of point sources of pollution on the transport of micropollutants along the river continuum. *Hydro. Res.* 45(3), 391-410.
- Urbaniak, M. & Kiedrzyńska, E. (2015). Concentrations and Toxic Equivalency of Polychlorinated Biphenyls in Polish Wastewater Treatment Plant Effluents. *B. Environ. Contam. Tox.* 95, 530–535.
- Vörösmarty et al., 2014. The unfolding water drama in the Anthropocene: towards a resilience-based perspective on water for global sustainability. *Ecohydrology* 7, 1249–1261.
- Wang, W., Ding Y., Wang, Y., Song, X., Ambrose, R.F. et al. (2016). Intensified nitrogen removal in immobilized nitrifier enhanced constructed wetlands with external carbon addition. *Bioresource Technol.* 218, 1261–1265 (2016).
- Zalewski M, Janauer GS, Jolankai G (1997) Ecohydrology - A new Paradigm for the Sustainable Use of Aquatic Resources. International Hydrological Program UNESCO. Technical Document on Hydrology, No 7, Paris.
- Zalewski M., (2005). Engineering Harmony. *Academia* 1(5): 4-7.
- Zalewski M., (2007). Ecohydrology in the face of the Anthropocene. *Ecohydrology and Hydrobiology* 7 (2): 99-100.
- Zalewski M., (2011). Ecohydrology for implementation of the EU water framework directive. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Water Management*, 164(8): 375-385.
- Zalewski M., (2013). Ecohydrology: process-oriented thinking towards sustainable river basins. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 13, 97–103.
- Zalewski M., (2014). Ecohydrology and Hydrologic Engineering: Regulation of Hydrology-Biota Interactions for Sustainability. *J. Hydrol. Eng.* A4014012-1.
- Zalewski M., McClain M., Eslamian S., (2016). Ecohydrology – the background for the integrative sustainability science. *Ecohydrology & Hydrobiology* 16: 71–73.



Edyta Kiedrzyńska es Directora Adjunta del Centro Regional Europeo de Ecohidrología de la Academia de Ciencias de Polonia, y Profesora Asociada de la Facultad de Biología y Protección Ambiental de la Universidad de Lodz, en Polonia.

Sus intereses de investigación se centran en las siguientes áreas: ecohidrología y biotecnologías, hidrología fluvial y transporte de nutrientes, procesos de sedimentación de inundación en la llanura de inundación del río, hidrología, ecología y gestión de cuencas hidrográficas del río, ciclo de fósforo en el ecosistema del valle del río, modelado de procesos del valle del río, fuentes puntuales de contaminación de nutrientes, análisis de procesos de cuenca fluvial, entre otros.

La profesora Kiedrzyńska es profesora de programas de enseñanza, nacionales e internacionales. Ha sido ponente en muchas conferencias y simposios científicos internacionales. Fue ganadora de la Beca de Investigación Científica BGF en el CNRS, otorgada por Ambassade de France en Pologne e Institut Francais en Pologne, y financiada por el Gobierno de la República de Francia, que la llevó a la Universidad de François Rabelais en Chambéry-Tours, Francia, agosto de 2015. La profesora Kiedrzyńska es autora de numerosas publicaciones en las principales revistas del ámbito medioambiental. Es miembro del consejo científico de la Facultad de Biología y Protección Ambiental de la Universidad de Lodz y también miembro del consejo científico de la revista internacional de Ecohidrología e Hidrobiología. Es líder de numerosos proyectos científicos nacionales y una investigadora involucrada en proyectos internacionales.

✉ : e.kiedrzynska@erce.unesco.lodz.pl



Nevado Chimborazo, Ecuador. Foto: Fabián Rodas

Capítulo 7

Biotecnologías ecohidrológicas como medidas complementarias para la mitigación de la contaminación de fuentes no puntuales de las zonas rurales.

Katarzyna Izdyorczyk¹, Wojciech Frątczak^{1,2}, Maciej Zalewski¹

1. Centro Regional Europeo de Ecohidrología de la Academia Polaca de Ciencias, Łódź, Polonia k.izdyorczyk@erce.unesco.lodz.pl

2. Autoridad Regional de Gestión del Agua en Varsovia, 13B Zarzecze, 03-194 Varsovia, Polonia

7.1. Introducción

La contaminación agrícola de cuerpos de agua y zonas costeras por fuentes no puntuales, o también llamadas difusas, es un problema medioambiental importante en todo el mundo (véase, por ejemplo, EPA de EE. UU. 2002, EEE 2005). Existe una tendencia general hacia el aumento de la producción agrícola en la mayoría de los países, que, a su vez, dependen cada vez más del uso intensivo de fertilizantes y los insumos de plaguicidas. Otros países como Brasil y China han impulsado su producción agrícola mediante la rápida expansión de las tierras agrícolas (Stringfellow y Jain, 2010). En África, el aumento del número de personas, la deforestación y la agricultura han acelerado el agotamiento de los nutrientes del suelo (incluida la erosión del suelo), que afecta a las aguas superficiales y subterráneas (Drechsel *et al.*, 2001). La producción de cultivos, el arado de campos hasta los bordes de ríos y lagos, el uso intensivo de fertilizantes y el aumento del número de animales por hectárea, han contribuido a una mayor carga de nutrientes transportados desde los diferentes paisajes de las cuencas hidrográficas a los ecosistemas de agua dulce.

Dado que diversas formas de contaminación de fuentes difusas aparecen en cada cuenca, es necesario optimizar y armonizar varias medidas de mitigación para lograr la sinergia entre ellas. Las medidas de mitigación para el control de la contaminación de fuentes no puntuales deberían incluir: mejores prácticas agrícolas, biotecnologías ecohidrológicas y otras soluciones basadas en la

naturaleza. Las biotecnologías ecohidrológicas -que se derivan del tercer principio de Ecohidrología- tienen como objetivo el regular los procesos biológicos e hidrológicos naturales, para aumentar su eficacia en la reducción de la contaminación (Zalewski, 2014). Recientemente, las biotecnologías ecohidrológicas han llegado a clasificarse como un tipo de soluciones basadas en la naturaleza, un título que incluye una gama más amplia de medidas (Eggermont *et al.*, 2015; Neshover *et al.*, 2017; WWDR 2018).

7.2. Medidas agrícolas para reducir la pérdida de nutrientes

El nitrógeno (N) y el fósforo (P), que son elementos esenciales para las plantas, se utilizan como fertilizantes naturales y artificiales para aumentar los rendimientos. Sin embargo, las pérdidas de nutrientes de tierras agrícolas ocurren cuando el uso intensivo de fertilizantes excede los requerimientos y el consumo de las plantas. Por lo tanto, la dosificación apropiada de fertilizantes, basada en los requisitos de los cultivos y las mediciones del contenido de nutrientes del suelo, es una medida básica pero efectiva para reducir la pérdida de nutrientes de la agricultura (Defra, 2010).

La aplicación precisa de fertilizantes también es importante para minimizar el riesgo de pérdidas de nutrientes, que incluyen pérdidas de amoníaco gaseoso (especialmente de estiércol), lixiviación y erosión. Por ejemplo, los altos niveles de precipitación a comienzos de primavera en paí-



ses con estaciones, combinados con la aplicación temprana de fertilizantes, pueden conducir a una mayor lixiviación de nutrientes, lo que debería ser fácil de evitar. Para reducir la lixiviación de nutrientes, la Comisión Europea recomienda extender el período para la propagación de fertilizantes a momentos del año cuando la temperatura del aire sea superior a 5 °C.

El riesgo de lixiviación y erosión aumenta cuando no hay cobertura vegetal en la tierra para absorber los nutrientes. Por lo tanto, posponer la preparación de suelo de otoño o cambiar a la labranza de primavera, labrar la tierra poco antes de la siembra, y los cultivos intermedios son medidas que ayudan a limitar las pérdidas de N y P a las aguas circundantes. Por ejemplo, la reducción de las prácticas de labranza en diferentes cuencas en Noruega (reportado por Blankenberg *et al.*, 2008, citado en Skarbovik y Bechmann, 2010) mostró una disminución de 30-40% en las pérdidas de P para áreas con producción extensiva de cereales. Por otro lado, el establecimiento de cultivos intermedios disminuyó la lixiviación N en un 32-62% en estudios comparativos en el norte de Francia (Constantin *et al.*, 2010).

No obstante, la aplicación de más de una medida para reducir el riesgo de movimiento de nutrientes al agua puede ayudar a reforzar su eficiencia. Por ejemplo, en experimentos en el suroeste de Suecia, un sistema que incluía varias medidas (demorar la labranza hasta finales de otoño y primavera), la perforación directa de trigo de invierno, sembrar cultivos de invierno y primavera y utilizar un cultivo de captura en trigo de invierno, permitió una reducción de 46% de lixiviación de N en comparación con el sistema convencional (Myrbeck y Stenberg, 2014). La optimización del manejo de nutrientes por parte de los agricultores no solo debe ayudar a proteger el medioambiente, sino también a reducir los costos operativos y mejorar la rentabilidad de la agricultura.

7.3. Soluciones basadas en la naturaleza para reducir la transferencia de nutrientes del paisaje al agua dulce.

7.3.1. Zonas de amortiguación ribereñas.

La preservación o construcción de zonas ribereñas de amortiguamiento de tierra/agua (ecotonos) es ampliamente recomendada para retardar el flujo y reducir el impacto de los nutrientes terrestres en los ecosistemas de agua dulce (Passeport *et al.*, 2013). Las zonas de amortiguamiento suelen ser franjas de vegetación ribereña que incluyen hierbas, pastos, arbustos o árboles que separan la tierra cultivable de los cursos de agua.

Estos cinturones de vegetación permanente, permiten la optimización de la calidad del agua atrapando y eliminando diversos contaminantes de fuente no puntual de las vías de flujo poco profundas, sub-superficiales y superficiales (Lowrance *et al.*, 1984; Schiemer y Zalewski, 1991; Mander *et al.*, 1997; Mander *et al.*, 2005; Izidorczyk *et al.*, 2018). Las zonas de amortiguamiento reducen eficientemente las cargas de N y P que se originan en fuentes de contaminación no puntuales, a través de varios mecanismos: (1) la asimilación de compuestos inorgánicos, incluyendo N y P, por las plantas y su transformación en biomasa; (2) procesos biogeoquímicos que se producen como resultado de la actividad microbiana, incluidas las reacciones de desnitrificación, nitrificación y una oxidación anaeróbica del amonio (anammox), que pueden ser una fuente importante de eliminación de N; (3) adsorción y precipitación de formas de P solubles a través del suelo; y (4) sedimentación de partículas de suelo transportadas en forma de escorrentía superficial, que reduce la erosión del suelo y el transporte de P insoluble (ver revisiones de Doskey *et al.*, 2010 y Parn *et al.*, 2012).

Las zonas de amortiguamiento deben abordar las preferencias relacionadas con el hábitat de tipos es-

pecíficos de vegetación y su tolerancia a condiciones hidrológicas variadas. Las especies nativas también se recomiendan para mejorar los valores del paisaje y la biodiversidad terrestre. La hierba y las franjas herbáceas, con o sin árboles y arbustos arraigados, a lo largo de un arroyo, pueden ayudar a mejorar la calidad del agua (Hefting *et al.*, 2006; Balestrini *et al.*, 2011). Otra característica importante a tener en cuenta en la selección de especies es la cantidad de nutrientes que pueden tomarse y almacenarse en los tejidos de las plantas. Esta cantidad varía, dependiendo de la especie de la planta y esa variación puede ser de 0.2 a 50 kg P ha⁻¹ año⁻¹ y de 10 a 350 kg N ha⁻¹ año⁻¹ (Mander *et al.*, 1997; Hefting *et al.*, 2005; Kiedrzyńska *et al.*, 2008). Sin embargo, en particular, las plantas retienen los nutrientes durante un tiempo limitado, principalmente durante la temporada de crecimiento, lo que requiere la recolección de biomasa (por ejemplo, cortar o talar) para eliminar el material acumulado (Kuusemets y Lohmus, 2005; Uusi-Kamppa, 2005). Esta práctica puede reducir el riesgo de que los nutrientes se liberen durante la temporada de latencia y se transporten por escorrentía superficial o se acumulen en la superficie del suelo (Raty *et al.*, 2010).

El papel de las zonas de amortiguamiento en la captura de P está relacionado no solo con el proceso de acumulación de nutrientes en los tejidos de las plantas sino también con su retención en el suelo. Las formas insolubles de P son dominantes en la escorrentía superficial de las áreas agrícolas, y su contribución aumenta con el incremento del flujo (Johannesson *et al.*, 2011). Por lo tanto, la sedimentación es más importante para la reducción de la carga de P en la salida de la cuenca que la adsorción de formas disueltas en el suelo. La vegetación densa (especialmente pastos altos y duros con tallos densos) aumenta la rugosidad hidráulica y reduce la velocidad de flujo terrestre y la capacidad de transporte de sedimentos. En un estudio realizado por Rafaela *et al.* (1997), una franja de 0,6 m de ancho de Bermuda, de 20

a 30 cm de altura, redujo el escurrimiento de sedimentos de un área labrada en un promedio de 63%, en comparación con un área labrada sin dicha barrera. Las partículas del suelo con P absorbido en sus depósitos moleculares superficiales se retienen en las zonas de amortiguamiento. La sedimentación puede representar tasas de P de hasta 128 kg P ha⁻¹ año⁻¹ (Hoffmann *et al.*, 2009).

7.3.2. Humedales

La restauración de humedales naturales o la creación de humedales artificiales pueden servir para mejorar la calidad del agua (Trepel y Palmeri 2002; Mitsch, 2002). Los humedales a través de los cuales se dirigen e interceptan las aguas ricas en nutrientes se clasifican como sistemas de «superficie libre», lo que significa que su superficie está expuesta a la atmósfera, y contienen vegetación acuática emergente en un lecho relativamente poco profundo (profundidad del agua de 20-40 cm) (Gregoire *et al.*, 2009). De manera similar a las zonas de amortiguamiento, los humedales utilizan procesos naturales que involucran la vegetación de los humedales, el suelo y los ensamblajes microbianos asociados para tratar el agua (García *et al.*, 2010). La eficiencia de los humedales para la eliminación de nutrientes depende de diversas variables, incluido el tiempo de residencia, la estacionalidad, la concentración de afluencia y el diseño de construcción de humedales (Perillon y Matzinger, 2010). Una desventaja de los humedales es que son difíciles de controlar, especialmente bajo condiciones climáticas variables. Además, los humedales requieren un espacio considerable, y pueden surgir conflictos entre los servicios prestados y los aumentos indeseables en la producción de mosquitos (Knight *et al.*, 2003).

Las tasas máximas potenciales de eliminación de N y P en los humedales suelen oscilar entre 1.000 y 3.000 kg N ha⁻¹ año⁻¹ y entre 60 y 100 kg P ha⁻¹ año⁻¹ (Verhoeven *et al.*, 2006). Un análisis de la efectividad de tres tratamientos de humedales (0.3 a 0.8 ha en área de superficie, 1.200 a 5.400 m³ en



volumen) que interceptaron el agua de drenaje del suelo y recibieron 4.639 kg de N total durante el período de 3 años (96% como NO_3^- - N) de la agricultura, mostró una reducción del 37% de los insumos (1697 kg de N) (Kovacic *et al.*, 2000).

Por lo general, los humedales pueden retener más del 50% de la carga DIP entrante, si el tiempo de residencia del agua supera los 7 días (Reinhardt *et al.*, 2005). Se encontró que un humedal construido (1215 m³) en el sur de Quebec, Canadá, retenía el 34% de las entradas de P de 24,3 kg durante los 4 años de operación (Kroeger *et al.*, 2006). Los resultados anuales de 17 humedales en zonas climáticas templadas frías o boreales que respaldan la actividad agrícola demostraron que la retención promedio de P total varió de 1 a 88% y que la retención de DRP varió de -19% a 89%. La retención de P aumentó con el área superficial del humedal y dependió de su edad (Braskerud *et al.*, 2005).

Los estanques de sedimentación (estanques de retención) son un tipo de humedal donde los sedimentos y los nutrientes se mantienen a través de diversos mecanismos de sedimentación y filtración. Los estanques de sedimentación pueden consistir en depresiones simples no divididas en las que se puede atrapar agua rica en nutrientes (Holsten *et al.*, 2012), o estar conectadas con humedales. Experimentos noruegos han demostrado que pequeños estanques artificiales con humedales pueden eliminar entre el 21 y el 44% del P total en las corrientes; sin embargo, solo se eliminó el 5% de ortofosfato (Braskerud, 2002).

7.4. Biotecnologías ecohidrológicas para la regulación efectiva de procesos biogeoquímicos.

7.4.1 Zonas de amortiguación mejoradas.

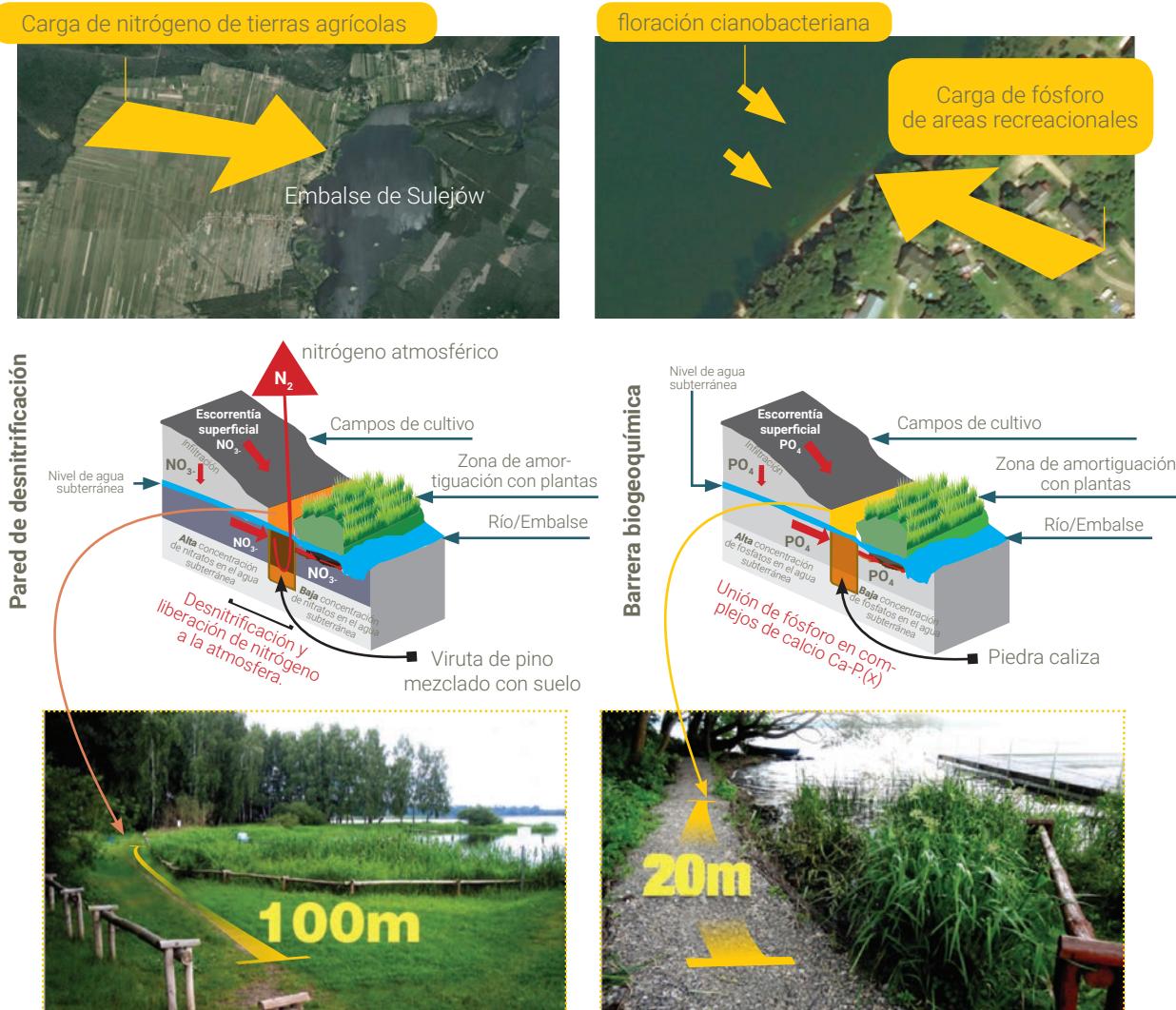
Se recomiendan las zonas de amortiguación mejoradas en los casos en que la zona de amortiguación ribereña no sea efectiva, por ejemplo cuando el es-

pacio es limitado a lo largo de las costas y en condiciones de carga inicial alta. La idea de mejorar las zonas de amortiguamiento es reforzar las zonas del litoral de vegetación mediante la instalación de una pared de desnitrificación y/o una barrera biogeoquímica (Izydorczyk *et al.*, 2015).

En el marco del proyecto LIFE + EKOROB, se diseñaron, construyeron y probaron dos de estas zonas en la costa del embalse de Sulejów, que forma parte del Sitio Demostrativo de Ecohidrología del río Pilica UNESCO/PNUMA (Polonia) (ver Figura 7.1.). La primera fase del desarrollo mejorado de la zona de amortiguamiento implicó la identificación de amenazas, de modo de hacer coincidir la solución con los problemas existentes.

Se demostró que la construcción de muros de desnitrificación, como elementos de zonas de amortiguamiento, fortalece la eficiencia de las zonas de vegetación en áreas contaminadas con nitrato. La contaminación del agua subterránea con nitratos (aproximadamente 200 mg NO_3^- /l), causada por la entrada continua de contaminación de los campos de cultivo situados en el vecindario, ingresó al agua a través de sistemas de drenaje cuyas salidas estaban en las inmediaciones del sitio demostrativo. Una pared de desnitrificación, una zanja llena de una mezcla de tierra y material orgánico (por ejemplo, aserrín de pino), ubicada perpendicular a la escorrentía de aguas subterráneas poco profundas contaminadas con nitratos, fortaleció el proceso de desnitrificación. La eficacia de tales paredes de desnitrificación varía entre 50% y 95%, mientras que las tasas de eliminación de nitrógeno ha variado entre 2 y 20 g de N m⁻³ d⁻¹ (Schipper *et al.*, 2010; Bednarek *et al.*, 2010). Los resultados de las zonas de amortiguamiento mejoradas, recientemente construidas en la costa del embalse de Sulejów, mostraron que la efectividad de la pared de desnitrificación de la zona de amortiguamiento es de aproximadamente el 67% (Frątczak *et al.*, 2013).

Figura 7.1. Zonas de amortiguación mejoradas como medidas para la reducción de la contaminación difusa. Columna izquierda: zona de amortiguación de la vegetación reforzada con una pared de desnitrificación, para reducir la contaminación por nitratos, demostración de Barkowice LIFE + EKOROB; Columna derecha: zona de amortiguación de la vegetación reforzada con una barrera de piedra caliza para reducir la contaminación por fósforo, sitio demostrativo de ecohidrología de Zarzecin LIFE + EKOROB.



En el área caracterizada por altas concentraciones de fósforo en aguas subterráneas poco profundas (5.5 mg $\text{PO}_4/1$ en promedio) y filtraciones, que principalmente resultaron de derrames de tanques sépticos con fugas, se propuso el uso de una barrera basada en piedra caliza como elementos de las zonas de amortiguamiento vegetal. La barrera basada en piedra caliza se propuso para mejorar la eliminación de fósforo mediante la intensificación de la capacidad de adsorción de fósforo del suelo a través de

un mayor contenido de calcio. La piedra caliza es una roca sedimentaria compuesta en gran parte por los minerales calcita y aragonita, que son diferentes formas cristalinas de carbonato de calcio. Los materiales aglutinantes de fósforo que contienen calcio son adecuados para su uso en ecosistemas acuáticos, porque la precipitación de fósforo con calcio no se ve afectada por ciclos de reducción-oxidación, como ocurre con la precipitación con hierro (Shenker *et al.*, 2005) y también por el riesgo am-



biental relacionado con la aplicación de aluminio y hierro. La barrera se hizo cavando una zanja, que se llenó con piedra caliza (5-8 cm de tamaño), tendido en geotextil como revestimiento. Los resultados preliminares indicaron que la concentración de fosfato en el agua subterránea se redujo en un 58% por la barrera (Izydorczyk *et al.*, 2013).

7.4.2. Sistema secuencial de sedimentación-biofiltración.

El Sistema Secuencial de Sedimentación-Biofiltración (SSSB por sus siglas en inglés) fue propuesto por Zalewski *et al.* (2012) para la mejora de la captura de P en un humedal artificial. El prototipo SSSB fue construido en el río Sokołowska en Lodz (Polonia) para la purificación de aguas pluviales en un área urbana. El SSSB se divide en tres zonas: (1) una zona de sedimentación hidrodinámica intensificada, un área con estructuras de hormigón y laminillas que reducen la energía del flujo de entrada y mejoran la sedimentación; (2) una zona de procesos biogeocíquicos intensificada, hecha de piedra caliza en gaviones, que están protegidos con geotextil; (3) una zona de biofiltración - una zona de humedal con *Phragmites australis*, *Typha latifolia*. Los sistemas secuenciales de biofiltración redujeron la materia suspendida total en más del 90% y las concentraciones de N y P totales en más del 50%, durante el primer año de la operación experimental (Zalewski, 2014). La aplicación de SSSB en cuencas rurales ha sido probada en el proyecto LIFE + EKOROB. Se construyó un SSSB en un arroyo que suministra directamente el embalse de Sulejów para disminuir la materia suspendida y la carga de nutrientes transportados desde la cuenca agrícola (Frątczak *et al.*, 2015).

7.5. Aspectos políticos y socioeconómicos.

El desarrollo de un programa de acciones, que incluye una amplia gama de medidas de mitiga-

ción y maximiza su efectividad por su ubicación óptima, es la forma crucial para un manejo de nutrientes sostenible efectivo, dentro de una cuenca agrícola. Tal programa de medidas también debe ser económica y socialmente aceptable para el público, por lo que un tema clave para el manejo de nutrientes en la escala de captación es involucrar a los interesados en el desarrollo e implementación de la estrategia de mitigación (Collins y McGonigle, 2008). Los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con el agua, por ejemplo, instan a facilitar el desarrollo de capacidades entre las autoridades y otras partes interesadas principales e incluir a las comunidades locales en el proceso de toma de decisiones, mientras que la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea también enfatiza la plena participación pública en Planes de gestión de cuencas. Por esta razón, una fuerte cooperación con la comunidad local (especialmente los agricultores) para garantizar la aceptabilidad y la aplicabilidad debe ser una parte importante del programa de medidas. Además, los instrumentos económicos, como los subsidios y los pagos directos, pueden estimular a los agricultores y terratenientes a implementar métodos para reducir las pérdidas de nutrientes (Bechmann *et al.*, 2008). Finalmente, el programa de gestión de nutrientes debe consistir en un conjunto de iniciativas legislativas, reglamentarias y económicas, combinadas con campañas de información específicas, por lo que la cooperación entre los responsables políticos, expertos científicos y partes interesadas es esencial para crear dicho programa de medidas en la escala de captación, para lograr una reversión de la eutrofización de agua dulce.

Conclusiones

Los ejemplos discutidos en este capítulo ilustran cómo, dadas las mayores cargas de nutrientes transportadas desde los diferentes paisajes de la cuenca a los ecosistemas de agua dulce, varias

medidas para mitigar la contaminación de fuentes no puntuales pueden optimizarse y armonizarse con éxito, para lograr la sinergia entre ellas.

Agradecimientos

El capítulo es un resultado del proyecto EKO-ROB: Ecotonos para la reducción de las contaminaciones difusas (LIFE08 ENV / PL / 000519),

que fue apoyado por el Programa de Gobernanza y Política Ambiental LIFE +, Fondo Nacional para la Protección del Medio Ambiente y Gestión del Agua y financiación del Ministerio de Ciencia y Educación Superior de la República de Polonia, dedicado a la ciencia, en el período 2012-2014 y otorgado para la ejecución del proyecto internacional cofinanciado N° 2539 / LIFE + 2007-2013 / 2012/2.

Referencias

- Balestrini R., Arese C., Delconte C. A., Lotti A., Salerno F.** (2011) Nitrogen removal in subsurface water by narrow buffer strips in the intensive farming landscape of the Po River watershed, Italy. *Eco-logical Engineering*, 37: 148-157.
- Bechmann M., Deelstra J., Stalnacke P., Eggestad H.O., Øygarden L., Pengerud A.** (2008) Monitoring catchment scale agricultural pollution in Norway: policy instruments, implementation of mitigation methods and trends in nutrient and sediment losses. *Environmental Science & Policy* 11: 102-114.
- Bednarek A., Stolarska M., Ubaniak M., Zalewski M.** (2010) Application of permeable reactive barrier for reduction of nitrogen load in the agricultural areas – preliminary results. *Ecohydrology & Hydrobiology* 10: 355-362.
- Blankenberg A-G.B., Turtumoyard S., Pengerud A., Borch H., Skarbovik E., Øygarden L., Bechmann M., Syversen N., Vagstad N.H.** (2008) Mitigation analysis for the Morsa Catchment: effects of measures to reduce phosphorus levels in period 2000-2006. [in Norwegian] Biosfork Rapport 86, 54 pp.
- Braskerud B.C., Tonderski K.S., Wedding B., Bakke R., Blankenberg A-G.B., Ulén B., Koskiaho J.** (2005) Can Constructed Wetlands Reduce the Diffuse Phosphorus Loads to Eutrophic Water in Cold Temperate Regions? *Journal of Environmental Quality* 34: 2145-2155.
- Braskerud M.** (2002) Factors affecting phosphorus retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution. *Ecological Engineering* 18: 351-370.
- Collins A.L., McGonigle D.F.** (2008) Monitoring and modelling diffuse pollution from agriculture for policy support: UK and European experience. *Environmental Science & Policy* 11: 97-101.
- Constantin J., Mary B., Laurent F., Aubrion G., Fontaine A., Kerveillant P., Beaudoin N.** (2010) Effects of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilisation on nitrogen leaching and balance in three long-term experiments. *Agriculture, ecosystems and environment* 135: 268-278.
- Delfra** (2010) Fertiliser Manual (RB209), 8th Edition. The Stationery Office, The United Kingdom. ISBN 978-0-11-243286-9.
- Doskey M., Vidon P., Gurwick N.P., Allan C.J., Duval T.P., Lowrance R.** (2010) The role of riparian vegetation in protecting and improving chemical water quality in streams. *Journal of the American Water Resources Association* 46: 261-277.
- Drechsel P., Kunze D., de Vries F.** (2001) Population and Environment. A Journal of Interdisciplinary Studies 22: 411-423.
- Eggermont H., Balian E., Azevedo J.M.N., Beumer V., Brodin T., Claudet J., Fady B., Grube M., Keune H., Lamarque P., Reuter K., Smith M., van Ham Ch., Weisser W.W., Le Roux X.** (2015) Nature-based Solutions: New Influence for Environmental Management and Research in Europe. *GAIA: Ecological Perspectives for Science and Society* 24: 243 – 248.
- European Environmental Agency** 2005. Source apportionment of nitrogen and phosphorus inputs into the aquatic environment. EEA Report No 7. 48 pp.
- Frątczak W., Izdyrczyk K., Łapińska M., Szuwartz M., Zalewski M.** (2015) Ecotones for reducing diffuse pollution – Layman's report. ERCE PAN, RZGW w Warszawie.
- Frątczak W., Izdyrczyk K., Zalewski M.** (2013) Wysokoeffektywne strefy buforowe dla zwiększenia potencjału ekologicznego i turystycznego zbiornika sulejowskiego. [in Polish] *Gospodarka Wodna* 12: 479-483.
- Garcia J., Rousseau D.P.L., Morato J., Lesage E., Matamoros V., Bayona J.M.** (2010) Contaminant removal processes in subsurface-flow constructed wetland: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 40: 561-661.
- Gregoire C., Elsaesser D., et al.** (2009) Mitigation of agricultural non-point source pesticide pollution in artificial wetland ecosystems – a review. In Lichfouse (ed) *Climate change, Intercropping, Pest Control and Beneficial Microorganisms. Sustainable Agriculture Reviews* 2, pp. 293-338
- Hefting M., Beltman B., Karssenberg D., Rebel K., van Riessen M., Spijker M.** (2006) Water quality dynamics and hydrology in nitrate loaded riparian zones in the Netherlands. *Environmental Pollution* 139: 143-156
- Hefting M.M., Clement J.C., Bienkowski P., Dowrick D., Guenat C., Butturini A., Topa S., Pinay G., Verhoeven J.T.A.** (2005) The role of vegetation and litter in the nitrogen dynamics of riparian buffer zones in Europe. *Ecological Engineering* 24:465-482.
- Hoffmann C.C., Kjaergaard C.K., Uusi-Kamppa J., Hansen H.Ch.B., Kronvang B.** (2009) Phosphorus retention in riparian buffers: review of their efficiency. *Journal of Environmental Quality* 38: 1942-1955.
- Holsten B., Ochsner S., Schafer A., Trepel M.** (2012) Guidelines for reduction of nutrient discharges from drained agricultural land. CAU Kiel, 107 p. http://en.ekorob.pl/userfiles/file/EKOROB_Lymans%20Report_FINAL_www_.pdf.pdf http://www.ekorob.pl/userfiles/file/!!!EKOTONY_internet.pdf



- Izydorczyk K., Frątczak W., Drobnińska A., Cichowicz E., Michałska-Hejduk D., Gross R., Zalewski M.** (2013) A biogeochemical barrier to enhance a buffer zone for reducing diffuse phosphorus pollution – preliminary results. *Ecohydrology & Hydrobiolgy* 13: 104-112.
- Izydorczyk K., Michałska-Hejduk D., Frątczak W., Bednarek A., Łapińska M., Jarosiewicz P., Kosińska A., Zalewski M.** (2015) Strefy buforowe i biotechnologie ekohydrologiczne w ograniczaniu zanieczyszczeń obszarowych [in Polish]. ERCE PAN, Łódź.
- Izydorczyk K., Michałska-Hejduk D., Jarosiewicz P., Bydalek F., Frątczak W.** (2018) Extensive grasslands as an effective measure for nitrate and phosphate reduction from highly polluted subsurface flow - case studies from Central Poland. *Agricultural Water Management* 203: 240-250.
- Johannesson K.M., Andersson J.L., Tonderski K.S.** (2011) Efficiency of a constructed wetland for retent of sediment-associated phosphorus. *Hydrobiologia* 674: 179-190.
- Kiedrzyńska E., Wagner I., Zalewski M.** (2008) Quantification of phosphorus retention efficiency by floodplain vegetation and a management strategy for a eutrophic reservoir restoration. *Ecological Engineering* 33: 15-25.
- Knight R.L., Walton W.E., O'Meara G.F., Reisen W.K., Wass R.** (2003) Strategies for effective mosquito control in constructed treatment wetlands. *Ecological Engineering* 21: 211-232.
- Kovacic D.A., David M.B., Gentry L.E., Starks K.M., Cooke R.A.** (2000) Effectiveness of constructed wetlands in reducing nitrogen and phosphorus export from agricultural tile drainage. *Journal of Environmental Quality* 29: 1262-1274.
- Kroeger A.C., Madramootoo C.A., Enright P., Laflamme C.** (2006) Efficiency of a small constructed wetland in southern Quebec for treatment of agricultural runoff water. *Proceedings of the 22nd Eastern Canadian Symposium on Water Quality Research*, Concordia University, Montreal.
- Kuusemets V., Lohmus K.** (2005) Nitrogen and phosphorus accumulation and biomass production by *Scirpus sylvaticus* and *Phragmites australis* in a horizontal subsurface flow constructed wetland. *Journal of Environmental Science and Health* 40: 1167-1175.
- Lowrance R., Todd R.L., Fail Jr.J., Hendrickson Jr.O., Leonard R., Asmussen L.** (1984) Riparian forests as nutrient filters in agricultural watersheds. *BioScience* 34: 374-377.
- Mande, Ü., Kuusemets V., Lohmus K., Mauring T.** (1997) Efficiency and dimensioning of riparian buffer zones in agricultural catchments. *Ecological Engineering* 8, 299-324.
- Mander U., Hayakawab Y., Kuusemetsa V.** (2005) Purification processes, ecological functions, planning and design of riparian buffer zones in agricultural watersheds. *Ecological Engineering* 24, 421-432.
- Mitsch W.J.** (2002) Landscape design and the role of created, restored, and natural riparian wetlands in controlling nonpoint source pollution. *Ecological Engineering* 1: 27-47.
- Myrbeck A., Stenberg M.** (2014) Changes in N leaching and crop production as a result of measures to reduce n losses to water in a 6-yr crop rotation. *Soil Use and Management* 30: 219 – 230.
- Nessimöller C., Assmuth T., Irvine K., Rusch G.M., Waylen K.A., Delbaere B., Haase D., Jones-Walters L., Keune H., Kovacs E., Krauze K., Külvik M., Rey F., van Dijk J., Vistad O.I., Wilkinson M.E., Wittmer H.** (2017) The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective. *Science of the Total Environment* 579: 1215-1227.
- Parn J., Pinay G., Mander U.** (2012) Indicators of nutrients transport from agricultural catchments under temperate climate: a review. *Ecological Indicators* 22: 4-15.
- Passeport E., Vidon P., Forshay K.J., Harris L., Kaushal S.S., Kellogg D.Q., Lazar J., Mayer P., Stander E.K.** (2013) Ecological engineering practices for the reduction of excess nitrogen in human-influenced landscapes: a guide for water managers. *Environmental Management* 51: 392-413.
- Perillon C., Matzinger A.** (2010) Identification of existing mitigation systems that can attenuate nitrates during high flow events from drained, agricultural fields. Report for Kompetenzzentrum Water Berlin gGmbH. Berlin, Germany.
- Raffaele J.B., McGregor Jr.K.C., Fostre G.R., Cullum R.F.** (1997) Effect of narrow grass strips on conservation reserve land converted to cropland. *Transactions, American Society of Agricultural Engineers* 40: 1581-1587.
- Raty M., Uusi-Kamppa J., Yli-Halla M., Rasa K., Pietola L.** (2010) Phosphorus and nitrogen cycles in the vegetation of differently managed buffer zones. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 86: 121-132.
- Reinhardt M., Gachter R., Wehrli B., Muller B.** (2005) Phosphorus retention in small constructed wetlands treating agricultural drainage water. *Journal of Environmental Quality* 34:1251–1259.
- Schiemer F., Zalewski M.** (1991) The importance of riparian ecotones for diversity and productivity of riverine fish communities. *Netherlands Journal of Zoology* 42: 323-335.
- Schipper L.A., Robertson W.D., Gold A.J., Jaynes D.B., Cameron S.C.** (2010). Denitrifying bioreactors – an approach for reducing nitrate loads to receiving waters. *Ecological Engineering* 36: 1532-1543
- Shenker M., Seitelbach S., Brand S., Haim A., Litaor M.I.** (2005) Redox reactions and phosphorus release in re-flooded soils of an altered wetland. *European Journal of Soil Science* 56: 515-525.
- Skarbovik E., Bechmann M.** (2010) Some characteristics of the Vansjo-Hobøl (Morsa) catchment. *Biosfork Report Vol.5*, No 128, 43p.
- Stringfellow W.T., Jain R.** (2010) Engineering the global ecosystem. *Clean Technologies and Environmental Policy* 12: 197-203.
- Trepel M., Palmeri L.** (2002) Quantifying nitrogen retention in surface flow wetlands for environmental planning at the landscape-scale. *Ecological Engineering* 19: 127-140.
- US Environmental Protection Agency** (2002) National water quality inventory: 2002 report to Congress. USEPA, Office of Water Regulations and Standards, Washington, DC
- Uusi-Kamppa J.** (2005) Phosphorus purification in buffer zones in cold climates. *Ecological Engineering* 24: 491–502.
- Verhoeven J.T.A., Arheimer B., Yin Ch., Hefting M.M.** (2006) Regional and global concerns over wetlands and water quality. *TRENDS in Ecology and Evolution* 21: 96-103.
- WWAP (United Nations World Water Assessment Programme)** (2018) The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-based Solutions. Paris, UNESCO.
- Zalewski M.** (2014) Ecohydrology and hydrologic engineering: regulation of hydrology-biota interactions for sustainability *Journal of Hydrologic Engineering* DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000999.
- Zalewski M., Wagner I., Frątczak W., Mankiewicz-Boczek J., Paradowski P.** (2012) Blue-green city for compensating global climate change. *The Parliament Magazine*, 350, pp. 2-3



Katarzyna Izydorczyk, es investigadora principal en Life+ Project ECOROB LIFE08 ENV/PL/000519 del Centro Regional Europeo para Ecohidrología de la Academia Polaca de Ciencias. Es profesora habilitada de la Facultad de Biología y Protección Ambiental de la Universidad de Lodz.

La Dra. Izydorczyk obtuvo un M.Sc. en Protección Ambiental un Ph.D. en Ecohidrología y tiene una habilitación en Ecología, todos estos títulos por la Universidad de Lodz. Sus investigaciones han estado relacionadas a: (1) Regulaciones abióticas y bióticas de floraciones tóxicas de cianobacterias. (2) Control hidrológico de procesos ecológicos en reservorios. (3) Técnicas de fluorecencia aplicada para monitoreo de floraciones cianobacterianas. (4) Soluciones ecohidrológicas sistemáticas para el manejo de nutrientes en cuencas hidrográficas. (5) Biotecnologías ecohidrológicas para reducción de polución difusa. Ha participado en varios proyectos nacionales e internacionales y ha sido co autora de 80 publicaciones y capítulos de libros, incluyendo 27 registradas en la plataforma Web of Science.

✉ : k.izydorczyk@erce.unesco.lodz.pl



Wojciech Frątczak es Coordinator del Life + Project EKOROB LIFE08 ENV / PL / 000519 en la Autoridad Regional de Gestión del Agua en Varsovia. Actualmente es Jefe del Departamento de Planificación de la Gestión del Agua en la National Water Holding Polish Water de la Autoridad Regional de Gestión del Agua en Varsovia.

Es egresado de Ingeniería Ambiental en el campo de Ingeniería del Agua en la Universidad de Tecnología de Varsovia. Está asociado con la Universidad de Lodz como parte del proyecto europeo: 'SWITCH Sustainable Water Management Improvement. Tommorow's Cities 'Health'. Coopera con el Centro Regional Europeo de Ecohidrología de la Academia Polaca de Ciencias. Participó en el Grupo Temático de la Red Europea de Desarrollo Rural en el campo de la Eficiencia de los Recursos. Actualmente colabora con el Grupo Temático de la REDR 'Integración de la Bioeconomía'.

✉ : k.izydorczyk@erce.unesco.lodz.pl



Sitio Demostrativo de Ecohidrología Estuario del río Guadiana, Portugal. Foto: Ana Isabel Correia



Capítulo 8

Ecohidrología costera: el caso del estuario del río Guadiana, Portugal.

Profesor Luis Chícharo, Ph.D.^{1,2,3}

Universidad del Algarve. Faro, Portugal

1. Director de la Cátedra UNESCO en Ecohidrología: agua para ecosistemas y sociedades.
2. Director del Programa Internacional de Maestría en Ecohidrología.
3. Director del Centro Internacional de Ecohidrología Costera.

8.1. Introducción

La ecohidrología costera es una rama de la Ecohidrología como ciencia (concepto y enfoque), que se centra en la restauración de la capacidad de carga de las áreas estuarinas y costeras. La perspectiva de la ecohidrología costera permite vincular el concepto integrado de gestión de cuencas hídricas, ya que propone la armonización, la gestión y las soluciones a problemáticas presentes en toda la cuenca hidrográfica. La perspectiva de la ecohidrología no es solo una evaluación del flujo ecológico necesario para asegurar las funciones ecológicas, sino que considera esas necesidades como una base para el desarrollo de soluciones que restablezcan, en la medida de lo posible, la capacidad de carga perdida. La ciencia de los flujos ecológicos es preventiva, mientras que la ecohidrología es una ciencia de restauración.

La ecohidrología costera busca generar soluciones para la degradación de ecosistemas estuarinos y costeros, mismos que ocurren a partir de actividades humanas o del clima, a diferentes escalas temporales y espaciales. Los estuarios y las costas, en todos los continentes de la Tierra, son de las zonas que presentan mayores y crecientes presiones a sus ecosistemas, de allí la importancia y necesidad del desarrollo de la ecohidrología costera. La realidad actual de estas presiones en zonas costeras indica que: (1) más del 50% de la población mundial vive a menos de 100 km de la costa (estimando un 75% en 2025); (2) el 80% de la contaminación

marina proviene de fuentes terrestres; (3) en los países en desarrollo, más del 90% de las aguas residuales y el 70% de los desechos industriales se vierten sin tratar a las aguas superficiales que al final desembocan en los estuarios y costas; y, (4) existen más de 800.000 presas en el mundo; de hecho, se estimó la construcción de 2 presas grandes (más de 15 m) por día, en los últimos 50 años (World Commission on Dams, 2000).

A nivel mundial, el agua dulce se extrae de lagos, ríos y capas freáticas. En todo el mundo, aproximadamente el 70% del agua dulce se utiliza para la agricultura, con el fin de mantenerse al día con las crecientes necesidades de alimentación para una población en crecimiento. Datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2011), estima que las necesidades de agua para la producción de alimentos, solamente para erradicar la pobreza y el hambre, aumentarán de aproximadamente 6.500 km³/año en 2015 a aproximadamente 9.000 km³/año en 2025.

Además de la eliminación de agua disponible para los ecosistemas, la calidad del agua está disminuyendo. Desde 1960, los flujos de nitrógeno, biológicamente disponible en los ecosistemas terrestres, se duplicaron y los flujos de fósforo se triplicaron. El N sintético se fabricó por primera vez en 1913, pero más del 50% de todo el ferti-



lizante de nitrógeno sintético, usado alguna vez, se fabricó después de 1985 (FAO, 2011).

Tanto las aguas residuales industriales y domésticas, así como el agua utilizada para beber, la agricultura y el desarrollo urbano, están reduciendo la calidad y cantidad del agua disponible para el funcionamiento ecohidrológico en las áreas estuarinas y costeras. A esto se suma el hecho de que los estuarios y las áreas costeras, son el depósito de todos los impactos producidos en la cuenca fluvial, generando una mayor degradación en esos ecosistemas (Milliman *et al.*, 2008).

Una de las principales causas del deterioro de los ecosistemas estuarinos y costeros, es el cambio en los caudales de los ríos, debido a la extracción de agua en las partes altas de la cuenca para la construcción de embalses y represas. La descarga anual de los ríos más representativos de la Tierra ha cambiado en más del 30% durante los últimos 60 años (Milliman *et al.*, 2008).

8.2. Problemática hidro-ecológica en el estuario del río Guadiana.

En este capítulo, se presentarán las soluciones ecohidrológicas aplicadas en el estuario del río

Guadiana, en el sudeste de Portugal. El estuario Guadiana es el punto final del río Guadiana, el cual nace en España, siendo la cuenca de éste, la cuarta más grande de la península Ibérica, con 67.500 km², encontrándose el 83% en España y el 17% en Portugal.

Con el fin de reducir la dependencia del agua de España y crear una reserva de agua para el desarrollo agrícola en una zona muy seca del sur de Portugal, se construyó una presa en la región de Alentejo, que comenzó a funcionar en 2002. La presa de Alqueva creó un lago con un área de 250 km², un perímetro de más de 1.000 km y una capacidad de 4.500 hm³ de agua represada. La cuenca del río Guadiana ya contaba con más de 1850 pequeños embalses y presas, pero la presa de Alqueva, en sí misma, duplicó la cantidad de agua retenida por todas estas otras represas y embalses. Los impactos para los ecosistemas río abajo son previsibles a pesar del caudal ecológico establecido (Chícharo, 2003).

No obstante, la presencia de la presa tuvo consecuencias positivas para la agricultura. Al comparar la producción antes y después de la presa (Tabla 8.I.) se puede observar que se produjo un aumento del 22,3% en las áreas irrigadas y en la producción de cultivos.

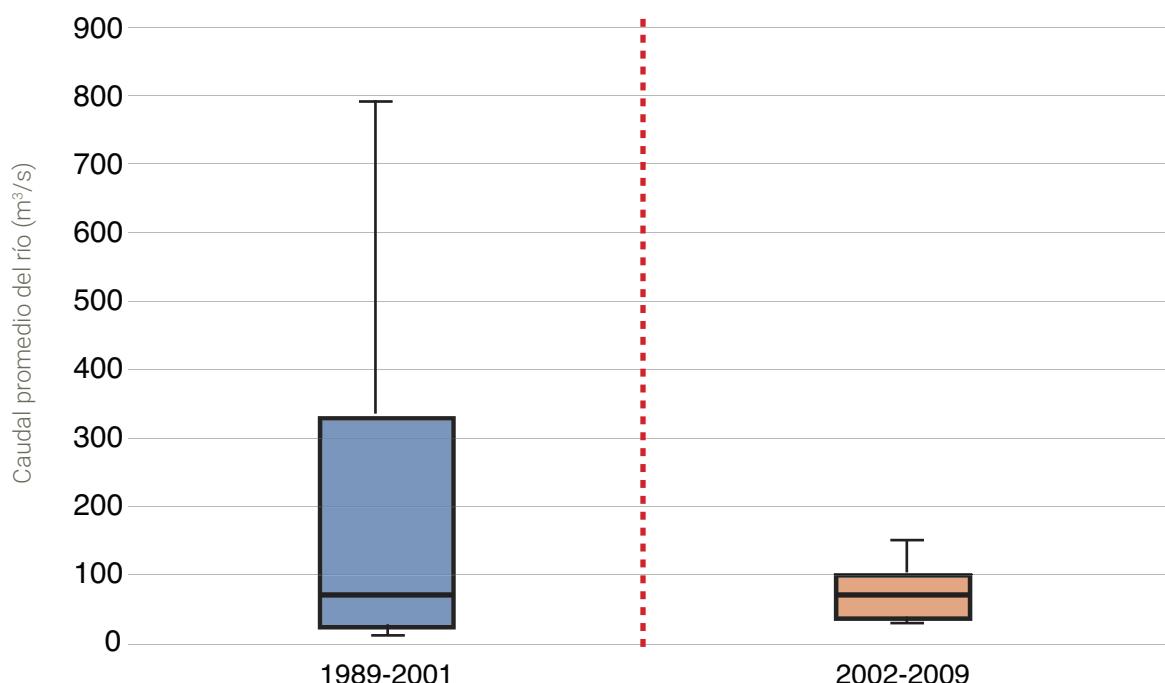
Tabla 8.1. Áreas (ha) de cultivos de regadío en la parte portuguesa de la cuenca del Guadiana (Fuente: EDIA, 2016).

	2000	2006	2012
Tierras de riego permanente	17 793	24 463	23 391
Campos de arroz	1 168	663	173
Viñedos	13 375	15 589	16 830
Árboles frutales y plantaciones de bayas	3 840	4 075	2 505
Olivares	77 647	77 316	103 539
Pastos	3 037	5 080	15 059
Cultivos anuales	20 140	19 189	11 534
Cultivo mixto	26 292	27 178	26 654
TOTAL	163 292	173 553	199 685
		Variación	22,28%

Sin embargo, cuando se compara con el cambio en el flujo promedio anual del río (ver Figura 8.1.), se puede observar tanto la reducción en el flujo, en promedio total, como también, y muy importante, la reducción en la variabilidad. Esto

significa que no solo llega menos agua al estuario y a la costa, sino también que el volumen descargado no respeta los patrones naturales evolutivos establecidos para las necesidades de las especies en esos ecosistemas.

Figura 8.1. Promedio anual del caudal del río Guadiana, antes y después de la entrada en funcionamiento de la presa de Alqueva (los diagramas de caja muestran un valor mínimo, percentil del 25%, mediana, percentil del 75%, y valor máximo).



Una de las consecuencias de la disminución del caudal del río, es la disminución de la carga de sedimentos finos en el estuario. Esto tiene secuelas demasiado importantes, como por ejemplo, la disminución de la descarga de sedimentos a la marisma estuarina y la disminución de la columna de agua del río frente a la boca del estuario. La disminución en la descarga de sedimentos finos del río, es reemplazada por un sedimento de granos más gruesos que ingresan desde el mar, lo que resulta en la erosión de la ciénaga salada y la pérdida de vegetación. En consecuencia, hay una pérdida en las funciones de anidación de especies acuáticas asociadas a la vegetación de la ciénaga

salada. Acumulativamente, la disminución en la carga de sedimentos a la costa reduce la columna del río creada en frente de la desembocadura del río. Esto es muy importante para muchas especies, ya que actúa como un factor desencadenante que indica la presencia del estuario.

A manera de ejemplo, en el caso de la anchoa o boquerón *Engraulis encrasicolus* (Chícharo *et al.*, 2006a, b) los individuos adultos ingresan al estuario al detectar la pluma (columna de agua producida por el caudal de ingreso de agua dulce al mar) ponen sus huevos en el estuario, aguas arriba de la desembocadura. Posteriormente, las

larvas y post larvas crecen protegidas por la vegetación de marismas que brinda refugio ante los depredadores, crea condiciones de baja corriente y es un ecosistema altamente productivo. Los

individuos juveniles volverán a la costa y el ciclo vuelve a empezar (ver Figura 8.2.). La constitución química en la pluma, es el factor desencadenante para que el ciclo de la anchoa se inicie.

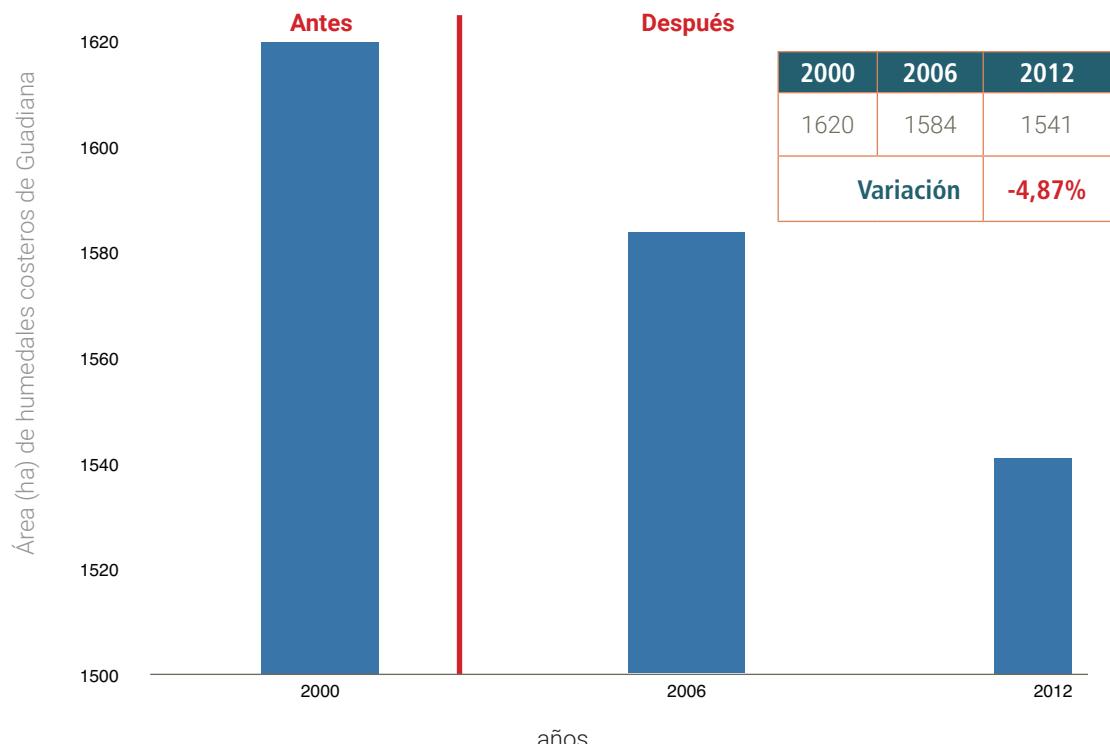
Figura 8.2. Ciclo de migración reproductiva de la *Engraulis encrasicolus* (anchoa o boquerón) en el estuario del Guadiana y área de marismas.



La estabilidad de la ciénaga salada y la vegetación son importantes para estos servicios. Sin embargo, como consecuencia de la presa de Alqueva, mientras que la producción agrícola aumenta, se

puede observar una disminución en casi el 5% del área de la ciénaga salada (EDIA, 2016) (ver Figura 8.3.).

Figura 8.3. Cambio en el área de las marismas antes y después del funcionamiento de la presa de Alqueva.

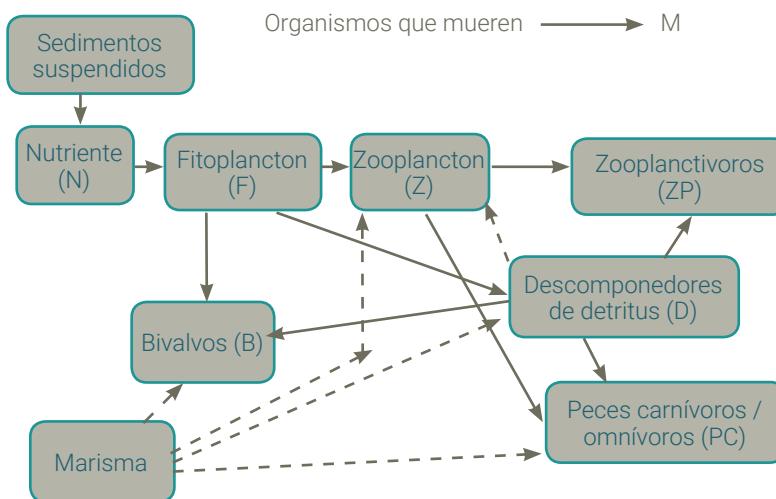


Otra consecuencia del cambio en el caudal y posterior descarga del río, es el efecto sobre el aumento del tiempo de residencia y el riesgo asociado de floraciones de algas (eventualmente dañinas) y eutrofización. El aumento de la escorrentía de fertilizantes agrícolas en la cuenca del río se vuelve menos diluido, ya que se descarga menos volumen de agua después de la construcción de la represa. Además de la disminución en el caudal del río, menos descargas también arrojan menor cantidad de agua al exterior del estuario. Por lo tanto, los contaminantes permanecen más tiempo dentro del sistema y aumenta el riesgo de eutrofización y degradación del agua.

8.3. Las soluciones ecohidrológicas.

El desarrollo de soluciones ecohidrológicas comienza con la integración de los sistemas hídricos y su biota relacionada, concretamente mediante la identificación y combinación de procesos a escala de cuenca hidrográfica. Con tal objetivo, se desarrolló un modelo para el Guadiana, que vinculaba los principales componentes del ecosistema (ver Figura 8.4.).

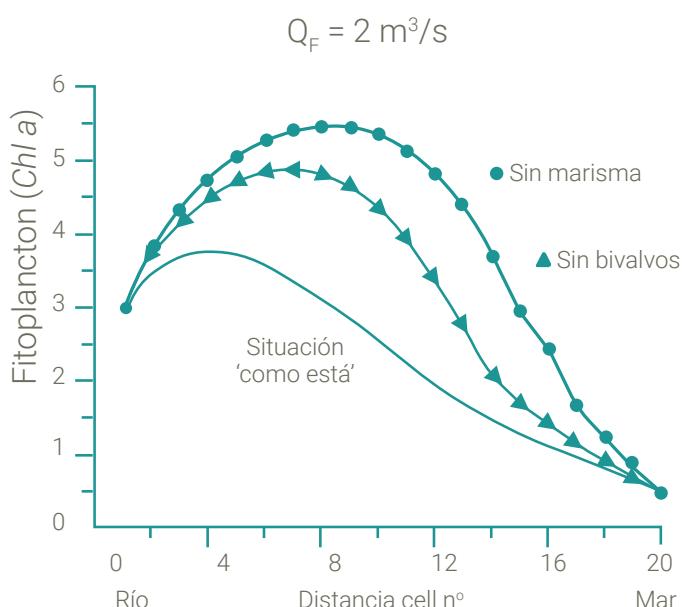
Figura 8.4. Esquema de la cadena alimenticia de estuario en el modelo ecohidrológico Guadiana. El modelo integra los procesos físicos, químicos y biológicos en el estuario del Guadiana durante condiciones de bajo flujo (Wolanski *et al.*, 2006).



Al hacer este ejercicio, fue posible determinar los factores clave que contribuyen a la integridad del sistema. Destaca la importancia de la biota, como los bivalvos y la vegetación, para controlar la bio-

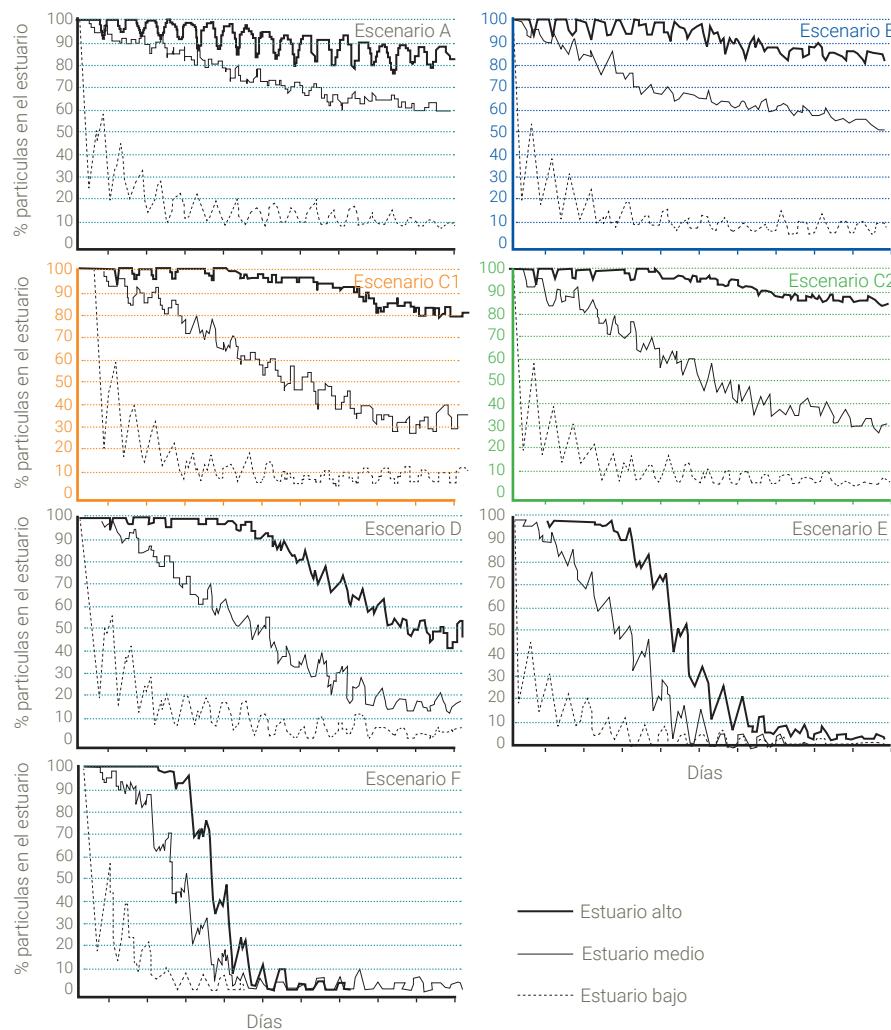
masa del fitoplancton y, por lo tanto, el riesgo de proliferación de algas y eutrofización, como se puede observar en más detalle en el siguiente modelo de producción primaria (ver Figura 8.5.).

Figura 8.5. Distribución a lo largo del canal de la biomasa prevista de fitoplancton ($Chl\ a$) en el estuario del Guadiana para la ejecución estándar ('como está'), para duplicar la concentración de nutrientes en el río ('N 2') y para el impacto adicional de la eliminación las marismas saladas ('Sin marisma, N 2') para una descarga de agua dulce igual a $2\ m^3/s$ (Wolanski *et al.*, 2006).



Uno de los principios de la ecohidrología es la capacidad de armonizar las soluciones ecohidrológicas con las infraestructuras hidrotécnicas. Para aumentar la retención de huevos de la anchoa dentro del estuario, como una base para proporcionar información a los administradores de represas, se desarrolló un modelo para probar diferentes escenarios de caudal del río y retención de huevos en diferentes áreas del estuario (ver Figura 8.6.).

Figura 8.6. Porcentaje medio de partículas en cada sección de estuario y escenarios de descarga, a lo largo de 10 días de simulación (Morais *et al.*, 2010).



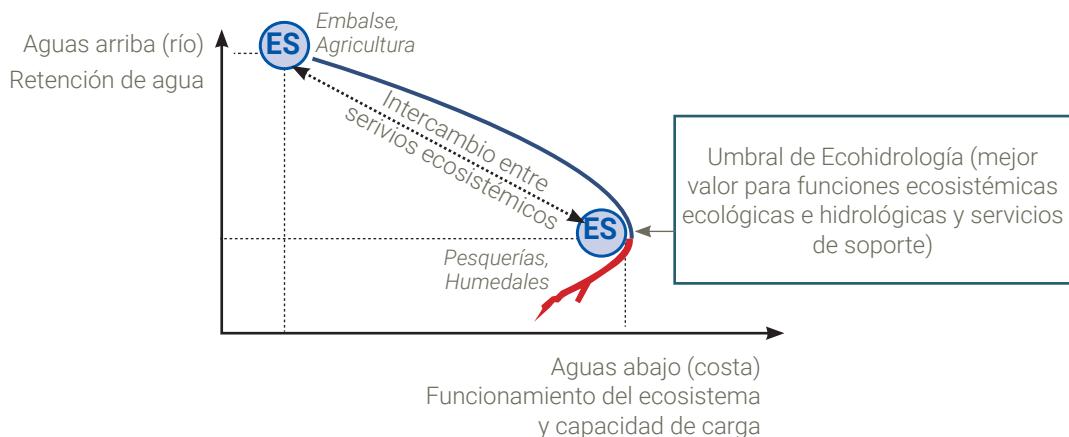
Escenarios	Marea baja	Marea alta
A $5 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$	57.8	53.3
B $20 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$	56.5	50.4
C1 $50 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$ (final de marea lento)	53.1	47.0
C2 $50 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$ (final de marea repentino)	52.3	47.5
D $100 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$	45.3	39.9
E $250 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$	17.4	14.6
F $500 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$	2.6	3.7



En el caso Guadiana -como en la mayoría de los ríos en todo el mundo- el agua se utiliza para muchos fines, además de apoyar el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos naturales. Considerando el enfoque de la ecohidrología, es ne-

cesario encontrar soluciones tomando en cuenta la armonización de los usos del recurso hídrico aguas arriba y aguas abajo (Chícharo *et al.*, 2015) (ver Figura 8.7.).

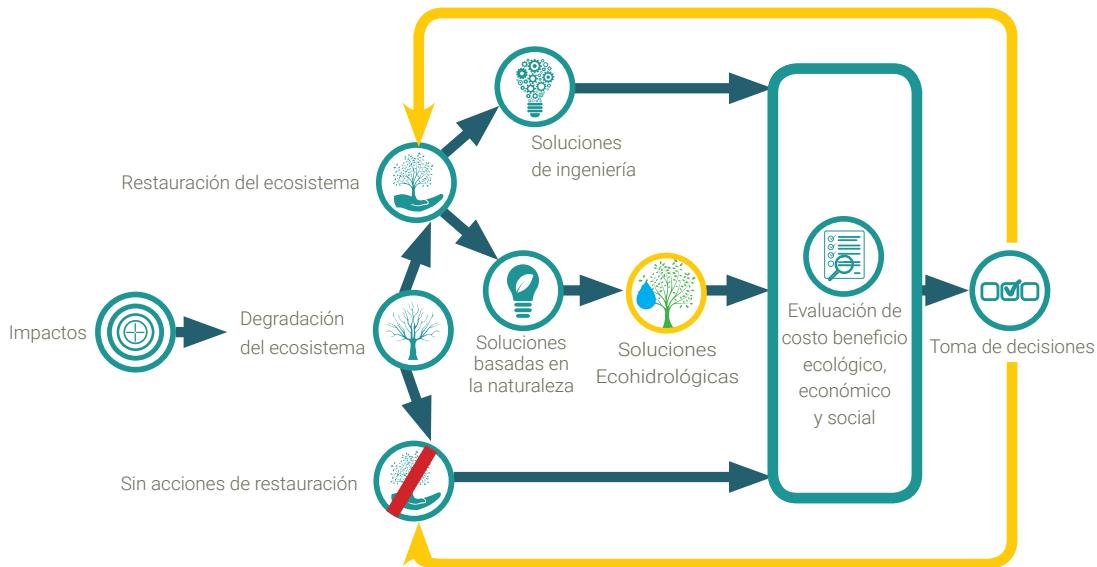
Figura 8.7. Esquema que destaca la necesidad de considerar las compensaciones entre los usos del agua corriente arriba y corriente abajo, en una cuenca hidrográfica, y para identificar el “umbral ecohidrológico”, donde la maximización de los beneficios será posible.



Al comprender la integración del sistema de cuencas hidrálicas, es posible encontrar las soluciones ecológicas duraderas y sostenibles para estuarios y áreas costeras impactadas por la construcción de represas. Las soluciones propuestas consideran: (1) el mantenimiento de la comunidad de bivalvos, (2) la restauración de la vegetación de marismas, y (3) la creación, manejo y control

de pulsos de agua dulce desde la represa, en la temporada de desove de la anchoa. La implementación de soluciones ecohidrológicas para estuarios y áreas costeras requiere una integración a escala de cuenca hidrográfica que solo es posible con la participación de las comunidades locales y las partes interesadas (ver Figura 8.8.).

Figura 8.8. Marco conceptual de las soluciones ecohidrológicas para la toma de decisiones.



8.4. Conclusiones

Como conclusión, podemos afirmar que el concepto de Ecohidrología es lo suficientemente maduro para ser considerado como una opción válida para la restauración de la calidad de los estuarios y los ecosistemas costeros y que se puede aplicar con éxito a los estuarios y las zonas costeras afectadas por las represas. La comprensión

de la vinculación entre los procesos en la cuenca hidrográfica es crucial para definir las mejores soluciones y opciones. La participación activa de la sociedad en general y de las partes interesadas en el manejo costero es fundamental para comprender los problemas e implementar las soluciones adecuadas.

Referencias

- Chícharo, L.** 2003. Is Big Beautiful? Alqueva Reservoir (Portugal): the Largest Artificial Lake in Europe Volume 39 - May 2003
- Chícharo, L., Chícharo, M. A., Ben-Hamadou, R.** (2006a) Use of a hydrotechnical infrastructure (Alqueva Dam) to regulate planktonic assemblages in the Guadiana estuary: basis for sustainable water and ecosystem services management. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 70, 1-2: 3-18
- Chícharo, M. A., Chícharo, L. and Morais, P.** (2006b) Inter-annual differences of ichthyofauna structure of the Guadiana estuary and adjacent coastal area (SE Portugal/SW Spain): before and after Alqueva dam construction. *Estuarine Coastal and Shelf Science*70, 1-2: 39-51
- Chícharo, L., Müller, F., Fohrer, N.** 2015. Ecosystem services and river basin ecohydrology. (Book). Springer. 341 p
- EDIA,** 2016. Anuário Agrícola de Alqueva 2016. Direção de Economia da Água e Promoção do Regadio – Departamento de Planeamento e Economia da Água. Empresa de Desenvolvimento e Infraestruturas do Alqueva, S.A. Beja. 170 p
- FAO.** 2011. The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Earthscan, London.308 p
- Milliman, J. D., K. L. Farnsworth, P. D. Jones, K. H. Xu, and L. C. Smith,** 2008: Climatic and anthropogenic factors affecting river discharge to the global ocean, 1951-2000. *Global Planet. Change*, 62, 187-194
- Morais P, Martins P, Alexandra, M, Lopes J, Chícharo L.** (2010). Merging Anchovy eggs abundance into a hydrodynamic model as an assessment tool for estuarine ecohydrology management. *River Research and Application*. DOI: 10.1002/rra.1443
- Wolanski E., L. Chícharo, M. Chícharo, and P. Morais** (2006) An ecohydrology model of the Guadiana Estuary (South Portugal). *Estuarine Coastal and Shelf Science*,70, 1-2: 85-97
- World Commission on Dams,** 2000. Dams and Development: A New Framework for Decision-Making. The report of the world commission on dams. Earthscan Publications Ltd, London and Sterling, VA. 404 p..



Luis Chícharo es profesor de Ecohidrología en la Facultad de Ciencias y Tecnologías de la Universidad de Algarve, Portugal. Es profesor invitado en la Universidad de Espírito Santo, Brasil y la Universidad de Lodz, Polonia.

Es Director del Centro Internacional de Ecohidrología Costera, bajo los auspicios de la UNESCO y coordinador de la Cátedra UNESCO en Ecohidrología “agua para ecosistemas y sociedades” en la Universidad de Algarve.

Es coordinador del consorcio internacional de universidades que imparten el Máster Erasmus Mundus en Ecohidrología y director del curso de Posgrado en Ecohidrología Costera. Adicionalmente, pertenece al Consejo Nacional del Agua por nombramiento gubernamental.

Es miembro del Comité Científico del Programa de Ecohidrología de la UNESCO y coordinador del Sitio Demostrativo de Ecohidrología de la UNESCO del estuario del río Guadiana (Portugal). Es editor asociado del *Journal Estuarine and Coastal Shelf Science* y miembro de la junta editorial de la revista *Ecohydrology and Hydrobiology*.

Coordinó proyectos nacionales e internacionales y publicó más de 90 artículos científicos. Es autor y editor de libros y capítulos de libros en Ecohidrología. Participa como ponente invitado en conferencias internacionales y es responsable de los cursos de capacitación en Ecohidrología Costera, en diferentes partes del mundo.

✉ : Ichichar@ualg.pt



Sitio Demostrativo de Ecohidrología Lago y Humedales de Putrajaya, Malasia. Foto: Marco Albarracín

Capítulo 9

Ecohidrología como parte del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO.

La importancia de establecer y vincular actividades de educación y capacitación relacionadas con la ecohidrología, fue reconocida por el grupo de trabajo de desarrollo de capacidades de la UNESCO PHI en 2010 (Rickwood, Hes, Al-Zu’bi, & Dubé, 2010). Anteriormente, en 2006-2007 dentro del marco del programa de ecohidrología de la UNESCO PHI, se creó un comité asesor científico (SAC por sus siglas en inglés) y cinco equipos de tareas para contribuir a la investigación, la educación y la implementación de la ecohidrología. Las fuerzas de tarea se enfocaron en las siguientes áreas específicas: 1) zonas costeras; 2) evaluar los impactos del cambio global en los sistemas acuáticos; 3) ciencias sociales; 4) educación y desarrollo de capacidades; y 5) proyectos de demostración (Rickwood *et al.*, 2010).

Los países miembros de la UNESCO incluyeron “Ecohidrología para la sostenibilidad”, como uno de los cinco temas principales de la Fase VII del PHI-UNESCO y luego en la Fase VIII incluyeron “Ecohidrología, armonía para un mundo sostenible”, como uno de los seis temas principales.

Hoy en día, la UNESCO, por medio del Programa Hidrológico Internacional (PHI), cuenta con diferentes estrategias destinadas a divulgar y disseminar el concepto de ecohidrología. Para ello cuenta con una red mundial (“Familia” UNESCO para Ecohidrología) compuesta por centros de investigación, cátedras y puntos focales, como se puede apreciar en la Figura 9.1.

Figura 9.1. Representación de la “Familia” UNESCO para ecohidrología (Arduino, 2018).





Adicionalmente, con el objeto de disseminar el conocimiento científico en ecohidrología, se desarrollan congresos internacionales, talleres y reuniones con el comité asesor científico (SAC). En el periodo 2016-2017 se realizaron 4 reuniones con el SAC, 5 Conferencias Internacionales-simposios, 11 Talleres o Cursos de formación, 4 eventos paralelos/sesiones y se realizó el M.Sc. en Ecohidrología con el programa Erasmus Mundus de la Unión Europea. Paralelamente se ha venido

fortaleciendo la red de sitios demostrativos de ecohidrología, en donde, para el 2018 hay 23 sitios dentro de la red. En la Región de Latino América y el Caribe, existen 4 sitios demostrativos, uno de ellos en Ecuador, tema del que se hablará en el Capítulo 14 más adelante en la presente publicación. Un breve resumen de los avances regionales en temas de ecohidrología, son mejor presentados por nuestro autor invitado Miguel Doria de la oficina de UNESCO en Montevideo, Uruguay.

Autor invitado

Miguel de França Doria, Montevideo, Uruguay m.doria@unesco.org

Una perspectiva del Programa Hidrológico Internacional (PHI – UNESCO) sobre ecohidrología en la región de América Latina y el Caribe (LAC).

América Latina y el Caribe se caracterizan por una abundancia relativamente alta de recursos hídricos renovables (más de 143 km³) que representan aproximadamente un tercio de la disponibilidad mundial. Incluye la cuenca más grande del mundo en la Amazonía, el mayor acuífero transfronterizo: el Guaraní, un conjunto de lagos importantes en el sistema del Titicaca y una amplia gama de glaciares en los Andes, por nombrar solo algunas de sus características hidrológicas notables. En contraste, la región también incluye el desierto no polar más seco (Atacama) y un amplio conjunto de zonas áridas (por ejemplo, Corredor Seco, Nordeste de Brasil y Aruba). Esta variabilidad también se siente en términos de recursos de agua dulce per cápita. La región cuenta con un promedio de aproximadamente 23.000 m³/persona/año - casi tres veces el promedio mundial - pero se observan grandes disparidades en la distribución entre los países (por ejemplo más de 50.000 m³/persona/año en Perú y Chile vs. aproximadamente 60 m³/persona/año en Bahamas) y dentro de los países (por ejemplo, Chile de 200.000 a 2.000 m³/persona/año de norte a sur), con diferencias estacionales considerables. Dicha diversidad hidrológica se refleja en la rica diversidad cultural y biológica de la región.

Los cambios globales que se sintieron en las últimas décadas, especialmente en términos de crecimiento demográfico, cambio en el uso de la tierra, deforestación, urbanización y cambio climático, representan una presión importante sobre los recursos de agua dulce y sus ecosistemas. América Latina es la región más urbanizada, con más del ochenta por ciento de su población viviendo en ciudades. Menos del treinta por ciento de las aguas residuales se tratan antes de ser descargadas al medio ambiente y más de 100 millones de personas aún carecen de saneamiento mejorado.

En el contexto de los cambios globales y como respuesta a la Conferencia Internacional de Dublín sobre el Agua y el Medio Ambiente (1992), la ecohidrología fue introducida en el PHI por Zalewski, Janauer, Jolánkai y otros, como un nuevo paradigma para el uso sostenible de los recursos acuáticos, buscando integrar la captación, el agua y la biota, para reducir los riesgos y maximizar los beneficios (SC.97/ WS/12). Las primeras actividades piloto de ecohidrología desarrolladas durante la quinta fase del PHI incluyeron el análisis mesoescalar de los impactos del uso de la tierra en el agua en Pachitea (Perú), el estudio de los efectos de la deforestación en la Amazonía central (Brasil) en hidrología de

la corriente y comunidades de peces, y un plan contingente para evaluar el Proceso de Superficie Ecohidrológica causado por la Niña en la Región del Litoral Ecuatorial (Ecuador). El interés regional aumentó en el Simposio Internacional sobre procesos hidrológicos y geoquímicos en grandes cuencas fluviales (Manaus, 1999; véase el procedimiento editado por Michael E. McClain y Maciej Zalewski como SC.2001/WS/18), que luego se publicó conjuntamente con IAHS sobre la Ecohidrología de los Ríos y Humedales Sudamericanos (Wallingford, 2002), editado por McClain, con un enfoque en los ríos Amazonas, Orinoco, Paraná, Paraíba do Sul y Piracicaba.

En fases posteriores del PHI, la ecohidrología en LAC ha adquirido un énfasis renovado, primero bajo la coordinación de Luis Rodríguez Fiallos (Ecuador) y desde 2003 como coordinador regional del Programa de Ecohidrología del PHI el Ing. Marcelo Gaviño Novillo (Argentina). Se destacó la necesidad de mejorar los servicios ecosistémicos y de identificar y fortalecer su relación con la sostenibilidad ambiental. Se estima que alrededor de quinientos profesionales fueron capacitados en diferentes niveles en enfoques ecohidrológicos, flujos ecológicos y temas relacionados. Se hace énfasis en la Maestría en Ecohidrología (Universidad Nacional de La Plata, Argentina), iniciada en 2004 y la primera en su tipo a nivel mundial, que en algún momento se integró a un consorcio Erasmus Mundus con IHE-Delft (Delft, Holanda) y las universidades del Algarve (Portugal), Lodz (Polonia), Espíritu Santo (Brasil) y Kiel (Alemania). A nivel regional, el Programa contó con la coordinación de Any Chavez (Costa Rica), Francisco Riestra (Chile), María Antonieta González Balandra (México) y Evens Emmanuel (Haití); y el apoyo internacional de Luis Chicharo (Portugal), Michael McClain (EE. UU./Países Bajos), Kathleen Sealy (EE. UU.) y Maciej Zalewski (Polonia). Se han designado miembros de América Latina (Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Guatemala, México, Panamá, Perú, Uruguay) y el Caribe (Antigua y Barbuda, República Dominicana, Jamaica, Saint Kitts y Nevis, Santa Lucía, Bahamas, Granada, Dominica, Trinidad y Tobago, San Vicente y las Granadinas). Un proyecto aún pendiente es el establecimiento de una Cátedra UNESCO de ecohidrología en la región.

La investigación desarrollada por medio del Programa ha sido documentada de múltiples maneras, especialmente en la Serie Técnica PHI-LAC, a través de publicaciones como: "La ecohidrología como desafío: experiencias y estudios de caso" (Gaviño y Sarandón eds., IHP-LAC/DT/23), "Qué son los caudales ambientales y cuál es la perspectiva de su aplicación en Uruguay" (Sabaj, Rodríguez-Gallego, Chreties y otros, IHP-LAC/DT/34) y "Estimación y validación del Índice de Sostenibilidad de Cuencas (ISC) para la cuenca del río Reventazón" (Catano, Marchand, Staley y Wang; IHP-LAC/DT/35). Eventos científicos recientes incluyen la Conferencia Internacional sobre Ecohidrología para la Sostenibilidad de los Ecosistemas Acuáticos Globales (Campos de Goytacazes, Brasil, 2017).

El PHI está promoviendo el establecimiento de sitios demostrativos para aplicar soluciones basadas en la ecohidrología en cuencas hidrográficas, a fin de resolver problemas sociales y ambientales. En LAC, estos sitios demostrativos incluyen actualmente la Cuenca del Lago Lácar (Argentina), el Humedal Victoria Pond (Bahamas), las Cuencas Reventazón/Savegre/Térraba (Costa Rica) y Palmas – Catacocha (Ecuador). La información detallada está disponible en la plataforma desarrollada por UNESCO PHI y el Centro Internacional de Hidroinformática Itaipú Binacional, Brasil y Paraguay (ecohydrology-ihp.org). Además, el Programa se encuentra trabajando en la incorporación del concepto de caudales ambientales en la gestión de recursos a nivel regional a través de una serie de cursos dirigidos a gestores y tomadores de decisiones realizados en 2017 (Santo Domingo, abril; San José, mayo; La Habana, julio y Santa Cruz de la Sierra, agosto) además del establecimiento de una red regional de profesionales.

Actualmente, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) dan un nuevo impulso a las actividades de ecohidrología en la región. Si bien la ecohidrología brinda una contribución significativa al logro de todos los objetivos bajo el ODS 6 sobre acceso universal al agua y saneamiento, esto es particularmente



claro para el ODS 6.3 sobre la mejora de la calidad del agua y el ODS 6.6 sobre la protección y restauración de los ecosistemas relacionados con el agua. Es en este contexto que los esfuerzos de la Fase VIII del PHI se centran cada vez más en el fortalecimiento de la red de sitios demostrativos de ecohidrología, así como en la mejora de las capacidades en los flujos ecológicos (e-flows) y en la ecohidrología costera, que estamos convencidos pueden ser decisivos para lograr el “futuro que queremos” y la Agenda 2030.



Miguel de França Doria, es el Hidrólogo Regional del PHI para América Latina y el Caribe, con sede en la Oficina de la UNESCO en Montevideo, desde 2015. Nació en Lisboa donde estudió ingeniería ambiental. Tiene un pregrado y un doctorado en Ciencias Ambientales de la Universidad de East Anglia (Norwich, Reino Unido). Se unió a la Secretaría del Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la UNESCO en París en 2006, donde fue, entre otras funciones, el Oficial responsable de Educación en materia de agua y Vicesecretario del Consejo Intergubernamental del PHI.

9.1. Las Cátedras UNESCO en Eco-hidrología.

El Programa UNITWIN/Cátedras UNESCO se estableció en 1992, de conformidad con una resolución aprobada por la Conferencia General de la UNESCO, en su 26^a reunión en 1991. El Programa apoya el establecimiento de Cátedras UNESCO y Programas de Cooperación UNITWIN en instituciones de educación superior. Promueve la cooperación interuniversitaria internacional y la creación de redes para mejorar las capacidades institucionales, a través del intercambio de conocimientos y el trabajo colaborativo. Por medio de este Programa, las instituciones de educación superior e investigación de todo el mundo reúnen sus recursos para abordar desafíos apremiantes y contribuir al desarrollo de sus sociedades.

El programa procura la capacitación, la investigación y el intercambio académico; y ofrece una plataforma para el intercambio de conocimientos en todos los campos, dentro del mandato de la UNESCO. La mayoría de los proyectos son interdisciplinarios e intersectoriales, con la cooperación activa de las oficinas exteriores, institutos y centros de la UNESCO. Las Comisiones

Nacionales juegan un papel importante en el Programa al promoverlo a nivel nacional, facilitando su implementación y evaluación. Dado que es de naturaleza multidisciplinaria, el Programa UNITWIN/Cátedras UNESCO es uno de los programas más intersectoriales de la Organización.

Más específicamente, una Cátedra UNESCO se constituye con un proyecto y un equipo de científicos de una universidad o de instituciones de investigación, que se asocian con la UNESCO para avanzar en el conocimiento y la práctica en un área priorizada, tanto por la institución como por la UNESCO. La asociación se formaliza mediante un acuerdo firmado entre el Director General de la UNESCO y el director de la institución anfitriona de la Cátedra UNESCO (Rector, Presidente, Vicerrector). Por lo general, se puede establecer una Cátedra UNESCO por un período de cuatro años (UNESCO, 2017).

Según la UNESCO PHI (UNESCO-IHP, 2017) La Familia del Agua de la UNESCO incluye actualmente 50 actividades relacionadas con el agua; algunas de las cuales se enfocan exclusivamente en la Ecohidrología, por ejemplo:

1. Cátedra UNESCO en Ecohidrología: agua para ecosistemas y sociedades

Establecida en 2016 en la Universidade do Algarve de Faro, Portugal. Su representante es el Prof. Luis Chícharo.

2. Cátedra UNESCO en Ecohidrología y Ecología Aplicada.

En proceso de establecimiento en la Universidad de Lodz, Polonia. Su representante es el Prof. Maciej Zalewski.

3. Cátedra UNESCO en Ecohidrología y Gestión de Recursos Hídricos Transfronterizos

En proceso de establecimiento en la Universidad de Agricultura Sokoine, Morogoro Tanzania. Su representante es el Prof. Makarius Lalika.

Autor invitado

Luis Chícharo, Faro, Portugal lchichar@ualg.pt

Cátedra UNESCO de Ecohidrología: agua para los ecosistemas y las sociedades de la Universidad del Algarve.

Las presiones antrópicas y el cambio climático plantean graves amenazas a los ecosistemas acuáticos, que afectan su funcionamiento normal y los servicios que proporcionan. Abundan los ejemplos, a nivel mundial, de los impactos por parte de la agricultura, industria, ciudades y fluctuaciones climáticas. Para corregir y remediar estos impactos y mantener una buena calidad del agua, como lo quieren lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, se requieren soluciones ambientales integradas y, para hacer frente a los agentes de estos cambios, a la sociedad humana.

La ecohidrología es una Solución Basada en la Naturaleza (SbN), que busca restaurar la capacidad de carga de los ecosistemas acuáticos, como una forma de aumentar su resiliencia a los impactos antropogénicos, utilizando las funciones y procesos naturales de los ecosistemas. La esencia del concepto radica en que las soluciones puedan desarrollarse restaurando los procesos naturales de "regulación dual" entre la biota y la hidrología, a nivel de cuenca, y puedan armonizarse con las infraestructuras de ingeniería existentes.

Las soluciones ecohidrológicas restauran la degradada calidad de los ecosistemas acuáticos a un bajo costo, sosteniendo los servicios ecosistémicos, como purificación de agua, drenaje, mitigación de los efectos de los Cambios Globales, protección del suelo, conservación de la biodiversidad, áreas de recreación y ecoturismo, entre otros.

Educación a todos los niveles, entrenamientos, desarrollo de capacidades, comunicación y más investigación científica son cruciales para implementar y disseminar las soluciones de ecohidrología en todo el mundo, como una forma de garantizar la sostenibilidad a largo plazo, basada en la armonización de las necesidades de las sociedades y los ecosistemas. Solo uniendo esfuerzos, creando asociaciones y actuando sinéricamente, dicha tarea puede ser exitosa. Con la Cátedra UNESCO de Ecohidrología: agua para los ecosistemas y las sociedades, todos los socios, incluyéndonos, queremos contribuir a establecer la visión de un mundo de ecosistemas y sociedades saludables.

La Cátedra UNESCO en Ecohidrología: agua para ecosistemas y sociedades, de la Universidad de Algarve, es una plataforma de 20 universidades, incluidas las cátedras y los centros de agua de la UNESCO.

El objetivo de la Cátedra UNESCO es promover el desarrollo científico, la educación y la difusión del concepto de Ecohidrología, a nivel nacional e internacional. En la Universidad de Algarve se creó un grupo de trabajo de catorce expertos de diferentes áreas temáticas para apoyar las actividades de la Cátedra.

La cátedra contribuye a los objetivos del Plan Estratégico de la fase VIII de la UNESCO PHI (2014-2021), particularmente en los temas "Ecohidrología, armonía para un mundo sostenible" y "educación relativa al agua". También se ocupa de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), como el agua potable y saneamiento (ODS6), la educación de calidad (ODS4), ciudades y comunidades sostenibles (ODS11), y la acción climática (ODS13), entre otros.

La Cátedra UNESCO en Ecohidrología: agua para ecosistemas y sociedades, servirá a la Universidad de Algarve, las instituciones asociadas, los Estados Miembros de la UNESCO y la agenda global mediante el desarrollo de cursos integrados sobre ecohidrología, articulando los diferentes conocimientos temáticos de los socios y centrándose en las diferentes necesidades regionales y locales; promoviendo proyectos de investigación conjunta; y, desarrollando e implementando herramientas para difundir el enfoque de la ecohidrología en la sociedad.



Luis Chicharo es Profesor de Ecohidrología en la Universidad de Algarve, Coordinador de la La Cátedra UNESCO en Ecohidrología: agua para ecosistemas y sociedades, Coordinador del M.Sc. en Ecohidrología y Director del Centro Internacional de Ecohidrología Costera, bajo los auspicios de la UNESCO. Ha publicado 92 artículos científicos y es co-autor y editor de tres libros internacionales de Ecohidrología. Es editor de las revistas "Estuarine Shelf and Coastal Science" y "Ecohydrology and Hydrobiology". Sus intereses se centran en la integración de los procesos de ecohidrología de las cuencas fluviales con los servicios ecosistémicos de las zonas costeras.

9.2. Maestría Erasmus Mundus en Ecohidrología.

La Maestría ECOHYD, tiene como objetivo proporcionar una comprensión integrada de los procesos ecológicos y las funciones hidrológicas y su relación con las necesidades humanas, como una manera de crear las herramientas, metodologías y enfoques que establece el marco para la implementación de soluciones sostenibles a largo plazo, para los sistemas acuáticos y las sociedades que dependen de ellos.

La Maestría interactúa fuertemente con la Cátedra UNESCO de "Ecohidrología: agua para los ecosistemas y las sociedades", de la Universidad

de Algarve. Este reconocimiento por parte de los estados miembros de la UNESCO, refuerza las excelentes perspectivas para el futuro profesional de los estudiantes (UNESCO, 2018).

La Maestría en Ecohidrología Erasmus Mundus (2016-2018) es coordinada en forma conjunta entre la Universidad de Algarve (Portugal), la Universidad de Lodz (Polonia) y la Universidad de Kiel (Alemania), en articulación con IHE-Delft (Holanda), La Universidad de Espírito Santo (Brasil) y la Universidad de La Plata (Argentina), tal como lo explica nuestra autora invitada, Lauren Zielinski.

9.3. Centros Regionales de Ecohidrología.

Centro Regional Europeo de Ecohidrología (ERCE).

Creado en 2006. El ERCE promueve la investigación ecohidrológica multidisciplinaria y de integración, a nivel de una cuenca hidrográfica

para la gestión sostenible, la protección y la restauración de los recursos acuáticos.

Autora invitada

Lauren Zielinski, Hampton, NH - USA ✉ lzielinski@ZEMEnviro.com | www.ZEMEnviro.com

La Maestría Erasmus Mundus en Ecohidrología.

El programa de Ecohidrología de la UNESCO PHI tiene como objetivo avanzar en la integración de la investigación social, ecológica e hidrológica, y una de las formas importantes de lograrlo es a través del desarrollo de la maestría "Erasmus Mundus in Ecohydrology". Estos cursos, financiados por la Unión Europea, son dictados en idioma Inglés y reúnen a estudiantes de todo el mundo en universidades de Europa y otros países asociados, para proporcionar una experiencia educativa integrada e internacional. El primer curso de maestría en Ecohidrología tuvo programas de 2 años, de 2010 a 2014, mientras que un segundo curso de maestría, que se denominará "European studies in Ecohydrology for Water Engineering and Management", está programado para ejecutar programas entre 2019 y 2023.

Asistí a la Maestría Erasmus Mundus en Ecohidrología, entre 2014 y 2016, estudiando en Polonia, Brasil y los Países Bajos. Los estudiantes pueden escoger entre los siguientes centros de estudio: la Universidad de Łódz y el Centro Regional Europeo de Ecohidrología en Łódz, Polonia; la Universidad de Algarve y el Centro Internacional de Hidrología Costera en Faro, Portugal; la Universidad Federal de Espírito Santo en Vitória, Brasil; La Universidad Christian Albrecht de Kiel en Kiel, Alemania; e IHE-Delft en Delft, Países Bajos. Cada universidad imparte cursos especializados en ecohidrología, incluyendo cursos en hidrología, ecología y las interacciones entre ellos; cómo estas interacciones podrían usarse para mejorar el manejo de los ecosistemas acuáticos; y cómo se gestionan estos ecosistemas dentro de las estructuras de gobernanza nacionales e internacionales. Los ecosistemas estudiados variaron enormemente, con temas que cubren las condiciones costeras, continentales, tropicales y templadas. Estos temas proporcionaron a cada alumno el conocimiento específico de su región y ampliaron su comprensión de otros ecosistemas en todo el mundo. Como parte del currículum, se hicieron visitas a algunos sitios demostrativos para apreciar la forma en que eran aplicados los principios científicos en el resto del mundo real. La culminación de la maestría fue el proyecto de tesis, que desafió a los estudiantes a aplicar principios ecohidrológicos, a través de la investigación científica sobre el terreno.

Al finalizar el programa, los graduados pueden tomar muchos caminos, incluido un programa de doctorado y emplearse en los sectores público, privado o académico.

Yo decidí comenzar mi propia empresa para continuar trabajando en proyectos de caudal ambiental, que fue el enfoque de mi tesis en IHE-Delft. Mi experiencia durante el máster ha sido fundamental en mi capacidad y confianza para trabajar en mi campo actual. La tesis no solo impulsó mi nueva carrera, sino que el conocimiento adquirido durante el máster me ha permitido trabajar en todo el mundo, ya que amplió mi comprensión de los ecosistemas en diferentes condiciones hidrológicas y climáticas. El contacto directo con los profesores en el programa proporcionó orientación de profesionales con experiencia y el conocimiento de las últimas investigaciones en ecohidrología, las cuales estoy aplicando a mis proyectos actuales. Y, por último, la experiencia internacional brindó una educación social, alentándome a aprender e interactuar con diferentes culturas de todo el mundo.



Si bien esto es solo una instantánea de mi experiencia personal, la Maestría Erasmus Mundus en Ecohidrología ha mejorado el conocimiento y las carreras de muchos graduados de todo el mundo. A través de estos graduados, se ha creado una red de ecohidrólogos que conecta el conocimiento a través de la geografía y las generaciones. Por medio de esta Maestría, los jóvenes seguirán participando en el campo de la ecohidrología, formando a los líderes medioambientales del mañana.



Lauren Zielinski es de los Estados Unidos y completó un pregrado en Ingeniería de la Tierra y del Medio Ambiente de la Universidad de Columbia y la Maestría Erasmus Mundus en Ecohidrología. Actualmente es propietaria de su propia compañía, Zielinski Environmental Monitoring and Evaluation, LLC. (ZEME) que brinda servicios de consultoría para proyectos ambientales. Su trabajo actual se enfoca en la implementación de caudales ambientales, utilizando técnicas de monitoreo y manejo adaptativo en el este de África, con la esperanza de expandir su trabajo a otras partes del mundo.

Centro Internacional de Ecohidrología Costera (ICCE)

Creado en 2010. El Centro, bajo los auspicios de la UNESCO, se integra a la red mundial de 36 centros de la UNESCO en el campo de las ciencias del agua, siendo el único dedicado específicamente a las zonas costeras.

Centro de Ecohidrología para Asia y el Pacífico (APCE)

Creado en 2009. El APCE se propone utilizar los conocimientos científicos, la creación de capacidades y actividades educativas y de divulgación para apoyar, diseñar y aplicar estrategias y políticas de ecohidrología, hacia la gestión sostenible de los recursos hídricos.

Centro Regional Africano de Ecohidrología (ARCE)

Creado en 2017 a raíz de una solicitud del Gobierno de Etiopía para establecer un centro regional africano de ecohidrología (ARCE) en Addis Abeba, con categoría 2 auspiciado por la UNESCO

(UNESCO, 2015a), la UNESCO llevó a cabo una misión en junio de 2015, como parte de la evaluación de la viabilidad hacia la creación del centro propuesto, que se especializaría en la investigación, y la cooperación regional en el ámbito de la protección medioambiental y el desarrollo sostenible, dentro del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO, relativo a la ecohidrología. Este centro entró en vigor en el 2018.

Otro centro relacionado:

Centro Internacional para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (ICIWaRM).

Creado en el 2009. La misión global de ICIWaRM es el avance de la ciencia y de la práctica de IWRM, para abordar el tema de la seguridad del agua y otros desafíos relacionados con el líquido vital, mediante acciones regionales y globales. El centro genera: nuevos conocimientos, tecnologías innovadoras, investigación científica de colaboración interdisciplinaria, creación de redes, y la formación y el desarrollo de capacidades.



Figura 9.2. Treinta y seis centros establecidos relacionados con el agua, 4 relacionados con Ecohidrología. Fuente: (UNESCO, 2015b)

Instituto para la Educación del Agua (IHE-Delft)

El Instituto para la Educación del Agua (IHE Delft), es líder mundial en el campo de la educación a nivel de postgrado, en temas referentes al agua. Del 2003 al 2016, fue un Instituto de Categoría 1 bajo los auspicios de la UNESCO. Con el fin de facilitar y garantizar que el Gobierno Holandés pueda financiar al IHE, más allá del 2016, y permitir que las actividades del Instituto crezcan y se desarrollen en beneficio de los estados miembros de la UNESCO, se propuso convertirlo en un “Instituto de Educación relativa

al Agua” de Categoría 2, bajo los auspicios de la UNESCO, en 2017.

9.4. La Red de Sitios Demostrativos de Ecohidrología.

El Programa de Ecohidrología también lidera una red de Sitios Demostrativos de Ecohidrología (de aquí en adelante: “demosites” por su acrónimo en Inglés), siguiendo los parámetros multidimensionales de la Ecohidrología (ver Capítulo 3) como soluciones para la mejora de los recursos hídricos, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos para la sociedad, la mejora de la resi-



liencia a diversas formas de impactos antropogénicos, teniendo en cuenta la dimensión cultural (WBSR-C, por sus siglas en inglés).

Estos laboratorios de vida para la implementación de la ecohidrología (desde la escala molecular a la escala de cuenca) son proyectos de investigación y monitoreo a largo plazo, que involucran a diferentes actores locales, para resolver problemas ambientales, económicos y sociales. Adicionalmente, usan las soluciones de ingeniería ecohidrológica más apropiadas y rentables para cada ecosistema, como herramientas de gestión para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH). Y también contribuyen a los objetivos de desarrollo humano sostenible -ODS- (por ejemplo, el Objetivo 2) y los ambientales (Objetivo 6, en particular los objetivos 6.5 y 6.6, y los Objetivos 13, 14 y 15) (UNESCO PHI, 2018).

En los demosites, tal como lo indica la autora invitada Rahmah Elfithri, se identifican las amenazas y problemáticas asociadas al manejo del agua, para darles un tratamiento adecuado. Las tres principales amenazas a los recursos hídricos, identificadas en los demosites son: (1) la presencia excesiva de contaminantes y nutrientes, (2)

el uso intensivo de la tierra, y (3) la pérdida de la capacidad de retención de la vegetación. Para esto, el 65% de los demosites está utilizando las fitotecnologías como solución ecohidrológica.

El Comité Asesor Científico de Ecohidrología (que se reúne aproximadamente cada año) debe asesorar a la Secretaría del PHI de la UNESCO, sobre el desarrollo de los criterios y directrices para solicitar sitios demostrativo de ecohidrológica existentes y nuevos. Adicionalmente, generar recomendaciones para su postulación por la plataforma web (elaboración de cartas resumen). Así mismo, dan direcciones estratégicas a las actividades a realizar con el objetivo de promover la ecohidrología como un componente principal de los procesos de toma de decisiones en el marco de la gestión integrada de los recursos hídricos.

Los sitios demostrativos deben contemplar los principios de implementación de la ecohidrología. Estos principios tienen varias raíces conceptuales y fueron descritos de mejor manera en el Capítulo 1. Es importante considerar que actualmente hay 23 sitios demostrativos en 18 países, de los cuales uno se encuentra en Ecuador (ver Figura 9.4.).



La experiencia del Sitio Demostrativo de Ecohidrología Lago y Humedales de Putrajaya, Malasia.

El sitio demostrativo de Malasia, Lago y Humedales de la Cuenca del Putrajaya, fue seleccionado como uno de los 32 sitios demostrativos de la UNESCO en el 2010 y clasificado como un sitio operacional que está implementando los principios ecohidrológicos e incorporando los actores involucrados en la gestión del Proyecto. Lago y Humedales de Putrajaya es el único sitio demostrativo de ecohidrología de la UNESCO de Malasia y el único operacional del Sudeste asiático. Fue iniciado por el Instituto de Medio Ambiente y Desarrollo (LESTARI) de la Universidad Nacional de Malasia (UKM), coordinado por la Dra. Rahmah Elfithri, en colaboración con Unidad de Lagos y Humedales de la Corporación Putrajaya (PPj) para el proyecto demostrativo titulado: "Manejo Integrado de Cuencas del Lago y Humedales Putrajaya". En 2015-2017, el programa de Ecohidrología de la UNESCO consideró que solo existían 21 sitios demostrativos de ecohidrología activos en el mundo, y el lago y humedales Putrajaya fue reclasificado como un humedal continental, de cuatro categorías de ecosistemas diferentes que son: 1) cuencas, 2) humedales continentales, 3) ríos/lagos, y 5) estuarios/agua costera.

El sitio demostrativo Lago y Humedales de Putrajaya está ubicado en el territorio federal de Putrajaya, dentro del área de la cuenca del río Langat de Malasia. El lago está en la parte sur del humedal. La ubicación de esta cuenca se encuentra dentro de una área bastante urbanizada, con un rápido desarrollo a su alrededor, en la parte sur de Kuala Lumpur. El tamaño de la cuenca del lago de Putrajaya (área de la cuenca) es de aproximadamente 51 km², que es sólo una pequeña parte de la cuenca más grande, la del río Langat (2.350 km²). El área total es de aproximadamente 600 hectáreas (400 hectáreas de lagos y 200 hectáreas de humedales). Es uno de los ecosistemas artificiales de importancia nacional en Malasia. Es un lago ubicado en el centro urbano de Putrajaya, que a su vez es el Centro Administrativo del Gobierno de Malasia, que se planeó para convertirse en una "Ciudad en un jardín", con varios componentes, tales como residencial, comercial, espacios públicos, instituciones educativas, etc. Ahora el objetivo es transformarla en "Ciudad Verde" para 2025.

La gestión de esta cuenca ha puesto en práctica un enfoque y control serio y sistemático, con el fin de lograr un desarrollo sostenible en Putrajaya. Son algunos los desafíos para implementar una gestión de cuencas efectiva en Putrajaya, especialmente en la protección de la calidad del agua, contra los efectos de la contaminación y la destrucción de los ecosistemas actuales. La calidad del agua se ha visto afectada por una creciente contaminación en la parte alta de la Cuenca, desembocando en el lago Putrajaya. El lago y humedales del Putrajaya deben contar con mantenimiento constante, mediante el uso de innovadores mecanismos para un mejor y eficaz resultado y para asegurar la cantidad, así como el nivel de calidad del agua del lago. Monitoreos llevados a cabo en esta área han mostrado signos muy positivos de desarrollo de hábitat y mejora del ecosistema.

Un enfoque ecohidrológico ha sido implementado en la gestión de los recursos hídricos en Putrajaya, compaginando la necesidad del ecosistema y la planificación general, la aprobación, el seguimiento y la aplicación de la jurisdicción de la ciudad y el desarrollo de las actividades antrópicas en esta zona de influencia, que tienen un impacto significativo directo en el lago de Putrajaya. El enfoque ecohidrológico se implementa mediante el uso de humedales artificiales, como un sistema de tratamiento natural, para tratar el flujo primario de aguas arriba del lago. Antes de que el agua contaminada de los ríos aguas arriba ingrese al lago, pasa a través de una serie de celdas de humedales que se han construido justo antes del lago, y que funciona como un proceso natural de filtración y hábitat natural, para eliminar contaminantes como nitrógeno y fósforo.



Además de mejorar la calidad del agua, los humedales también preservan el equilibrio ecológico en el área. El humedal se complementa con parques ribereños y trampas de contaminantes. Los humedales y el lago han estado desarrollando un interesante ecosistema urbano que ha mejorado los servicios ecosistémicos en el área. El lago en sí mismo funciona como moderador de microclima para Putrajaya y tiene fines deportivos y recreativos. Hay actividades de monitoreo que involucran la participación de la comunidad en la gestión durante todo el año. Además, es necesario adoptar medidas proactivas y preventivas para garantizar que la calidad del agua y los ecosistemas del lago y los humedales se rehabiliten y conserven de forma sostenible.



Rahmah Elfithri es profesora titular e investigadora en el Instituto para el Medio Ambiente y el Desarrollo (LESTARI) de la Universidad Nacional de Malasia (UKM). Es Ph.D. en Medio Ambiente y Desarrollo (Gestión Integrada de Recursos Hídricos - GIRH) de UKM en 2006. Es Coordinadora del Grupo de Investigación en GIRH y Grupo de Investigación de Manejo Sostenible de Ecosistemas en la UKM desde 2007. Está a cargo de la coordinación del sitio demostrativo de Ecohidrología de la UNESCO Putrajaya en el Programa de Ecohidrología UNESCO-PHI desde 2010 y es coordinadora del capítulo de ecohidrología de Malasia desde 2017.

Los proyectos que quieran adherirse a la red de sitios demostrativos de la UNESCO PHI, deben desarrollar una carta-resumen que deberá tener la información detallada en la tabla 9.1. en

donde, adicionalmente, se enumeran las principales referencias bibliográficas para consulta del lector que tenga en mente la postulación de un sitio demostrativo.

Tabla 9.1. Descripción del contenido de las cartas-resumen de los sitios demostrativos de ecohidrología

No.	Título de la sección	Principales referencias bibliográficas
1.1.	Descripción de los servicios ecosistémicos de sitio demostrativo.	TEEB (2010) The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB.
1.2.	Donde está siendo aplicada la ecohidrología.	Hobbs, R. J., S. <i>et al.</i> , 2006. Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order. <i>Global Ecology and Biogeography</i> 15:1-7. http://dx.doi.org/10.1111/j.1466-822X.2006.00212.x Hobbs, R. J., S. <i>et al.</i> , 2009. Novel ecosystems: implications for conservation and restoration. <i>Trends in Ecology and Evolution</i> , Vol. 24, No. 11: 599:604. doi:10.1016/j.tree.2009.05.012 Hobbs <i>et al.</i> , 2006 in Zalewski M., 2015. Ecohidrology and Hydrologic Engineering: Regulation of Hydrology-Biota Interactions for Sustainability. <i>J. Hydrol. Eng.</i> 20, SPECIAL ISSUE: Grand Challenges in Hydrology, A4014012 : 14p.

2.	Zonas de vida.	Holdridge, L.R. (1967). Life zone ecology. Tropical Science Center. Jose, Costa Rica. 206 pp. Lugo A.E. <i>et al.</i> , 1999. The Holdridge life zones of the conterminous United States in relation to ecosystem mapping. <i>Journal of Biogeography</i> , 26, pp.1025-1038
3.	Principios eco-hidrológicos.	Chicharo and Zalewski <i>et al.</i> , 2009 . Practical experiments guide for Ecohydrology. UNESCO. 121p. Zalewski M., 2000. Ecohydrology-the scientific background to use ecosystem properties as management tools towards sustainability of water resources. <i>Ecological Engineering</i> 16: 1-8 Zalewski M., 2002. Ecohydrology, the use of ecological and hydrological processes for sustainable management of water resources. <i>Hydrological Sciences</i> 47(5): 823-832
4.	Soluciones eco-hidrológicas.	Capobianco M. and Steve M. J. F., 2000. Soft intervention technology as a tool for integrated coastal zone management, <i>Journal of Coastal Conservation</i> 6, pp. 33-40 Zalewski M., 2015. Ecohydrology and Hydrologic Engineering: Regulation of Hydrology-Biota Interactions for Sustainability. <i>J. Hydrol. Eng.</i> 20, SPECIAL ISSUE: Grand Challenges in Hydrology, A4014012: 14p. Bunn S. E. and A. H. Arthington, 2002. Basic Principles and Ecological Consequences of Altered Flow Regimes for Aquatic Biodiversity. <i>Environmental Management</i> Vol. 30, No. 4: 492–507 Tharme R. E., 2003. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. <i>River Res. Applic.</i> 19, pp. 397-441
5.	Principales problemáticas ambientales.	NA
6.	Sistema socio-ecohidrológico.	(ver Figura 9.3)
7.	Resultados.	NA
8.	Referencias asociadas al sitio demostrativo.	NA
9.	Imagenes.	NA
10.	Datos de contacto.	NA

Fuente: Guías Metodológicas para llenar las tarjetas resumen (Democards) – Disponible en www.ecohydrology-ihp.org (2015)

Para entender mejor cada una de las secciones, se han dispuesto referencias bibliográficas; adicionalmente, en aquellas secciones que merecen una representación gráfica para su explicación, se han dispuesto en las cartas de resumen, otras figuras adicionales. Por ejemplo se ha definido la

Figura 9.3. como el sistema socio-ecohidrológico. Dentro de las principales problemáticas se han definido las siguientes: Contaminantes y nutrientes, Uso intensivo del suelo, Sobre explotación del recurso hídrico, Inundaciones, Especies invasoras, Sequías, Pérdida de hábitat, Pérdida



de capacidad de retención vegetal, entre otras. La UNESCO PHI dispone de una guía metodológica para llenar las cartas resumen de los sitios demostrativos y puede ser solicitada contactando

a las oficinas y agentes de la UNESCO. Por último se provee una breve descripción de las soluciones ecohidrológicas que se aplican en el sitio demostrativo (ver Figura 9.3.)

Figura 9.3. Plantilla de la representación del sistema socio-ecohidrológico en las cartas resumen. Fuente: Guías Metodológicas para llenar las tarjetas resumen (Democards) – Disponible en www.ecohydrology-ihp.org (2015)

Principales Problemas

Sistema Socio-ecohidrológico

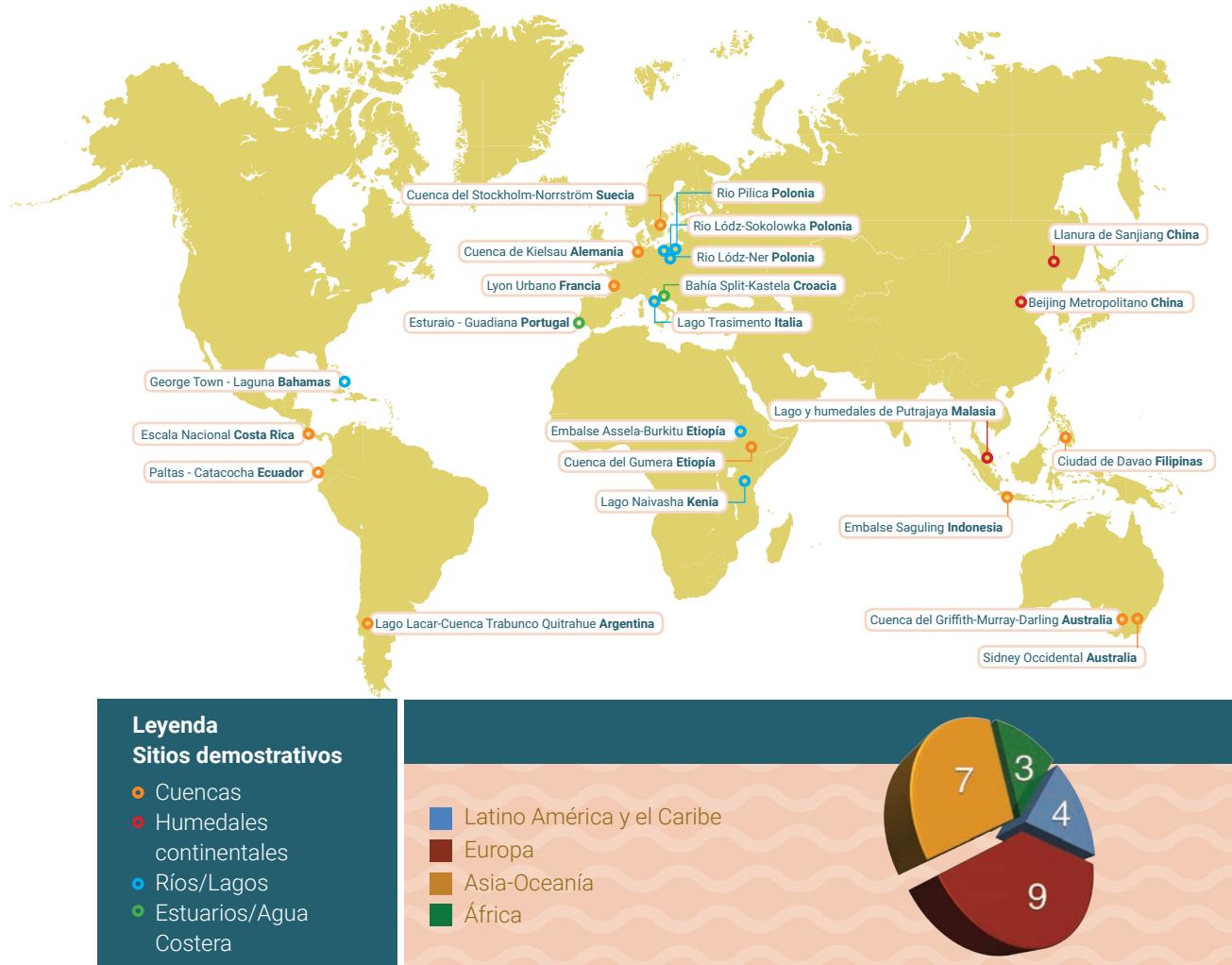


Tales como monitoreo, cosecha, compartir información...En donde los individuos (actuando por si mismo o en representación de una organización) interactúan entre si y por lo tanto afectan el resultado (participación y cooperación directa con el subsistema sociológico).

Principales Resultados Esperados

Figura 9.4. Localización de los 23 sitios demostrativos de Ecohidrología de la UNESCO PH

Fuente: Elaboración propia, basado en Folleto del Programa de Ecohidrología de la UNESCO PHI (2015)



Referencias

- Arduino, G.** (2018). UNESCO IHP - Ecohydrology Programme: Past Activities (2014-2017). Presented at the Scientific Advisory Committee, Faro, Portugal.

Rickwood, C. J., Hes, E. M., Al-Zu'bi, Y., & Dubé, M. G. (2010). Overview of limitations, and proposals for improvement, in education and capacity building of Ecohydrology. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 10(1), 45-59.

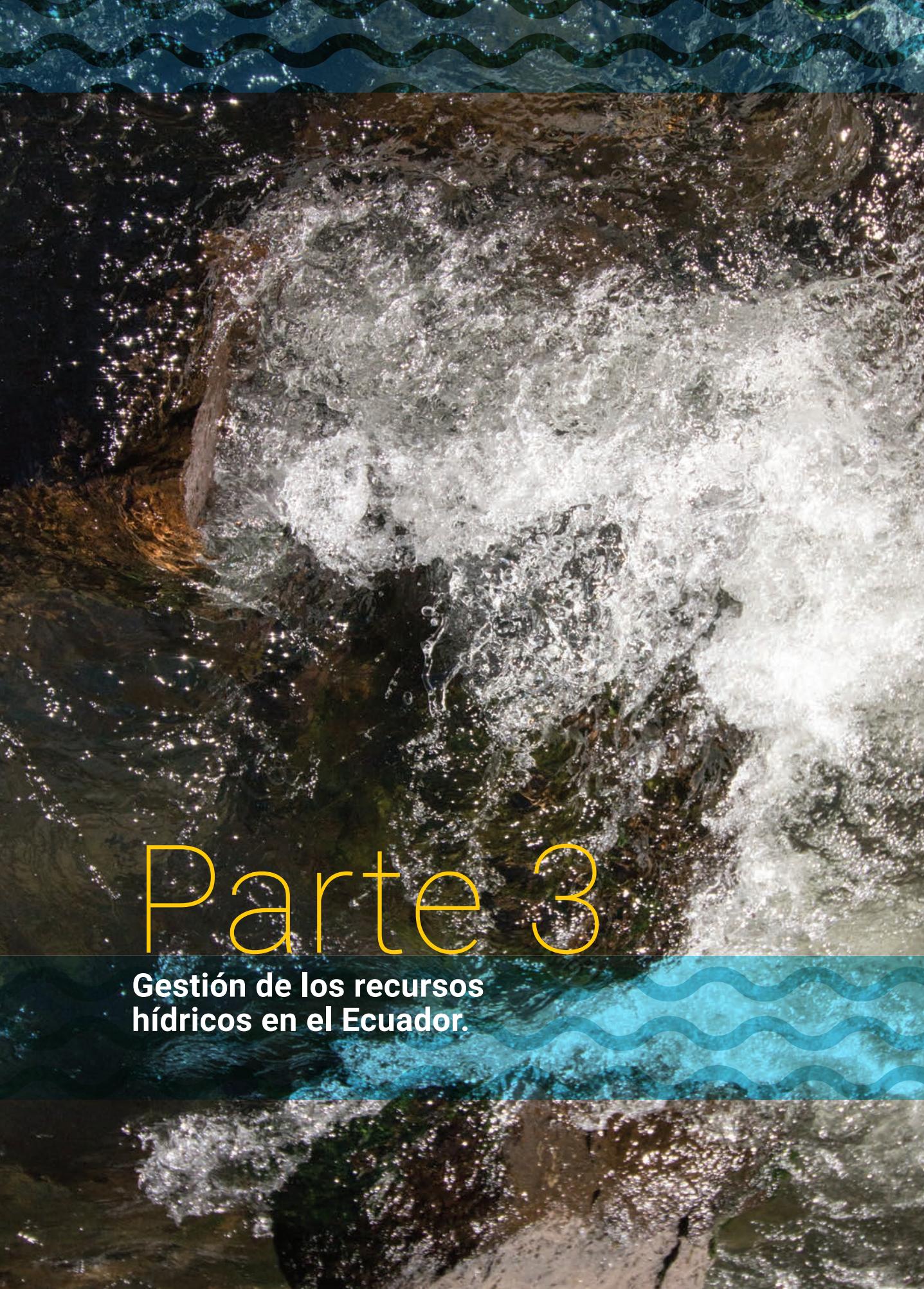
UNESCO. (2015a). 38 Conferencia General - Creación De Institutos Y Centros De Categoría 2 Auspiciados Por La Unesco. Tomado de: <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002351/235137s.pdf>

UNESCO. (2015b, 2015-12-09). Los centros sobre recursos hídricos auspiciados por la UNESCO. Tomado de: <https://es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/centros>

UNESCO. (2017). The UNITWIN/UNESCO Chairs Programme, Guidelines and procedures. In U.-E. Sector (Ed.). Paris.

UNESCO. (2018). UNESCO | Maestría en Ecohidrología ECOHYD
- Erasmus Mundus (2016-2018). Tomado de: <http://www.comisionunesco.mec.gub.uy/innovaportal/v/89106/40/mecweb/maestria-en-ecohidrologia-ecohyd--erasmus-mundus-2016-2018?parentid=81032>

UNESCO-IHP. (2017). UNESCO's WATER FAMILY. International Hydrological Programme 56th session of the IHP Bureau (Paris, 20-22 February 2018), 8. Retrieved from https://en.unesco.org/sites/default/files/56ihp_bur_doc_8_unesco_water_family.pdf



Parte 3

**Gestión de los recursos
hídricos en el Ecuador.**



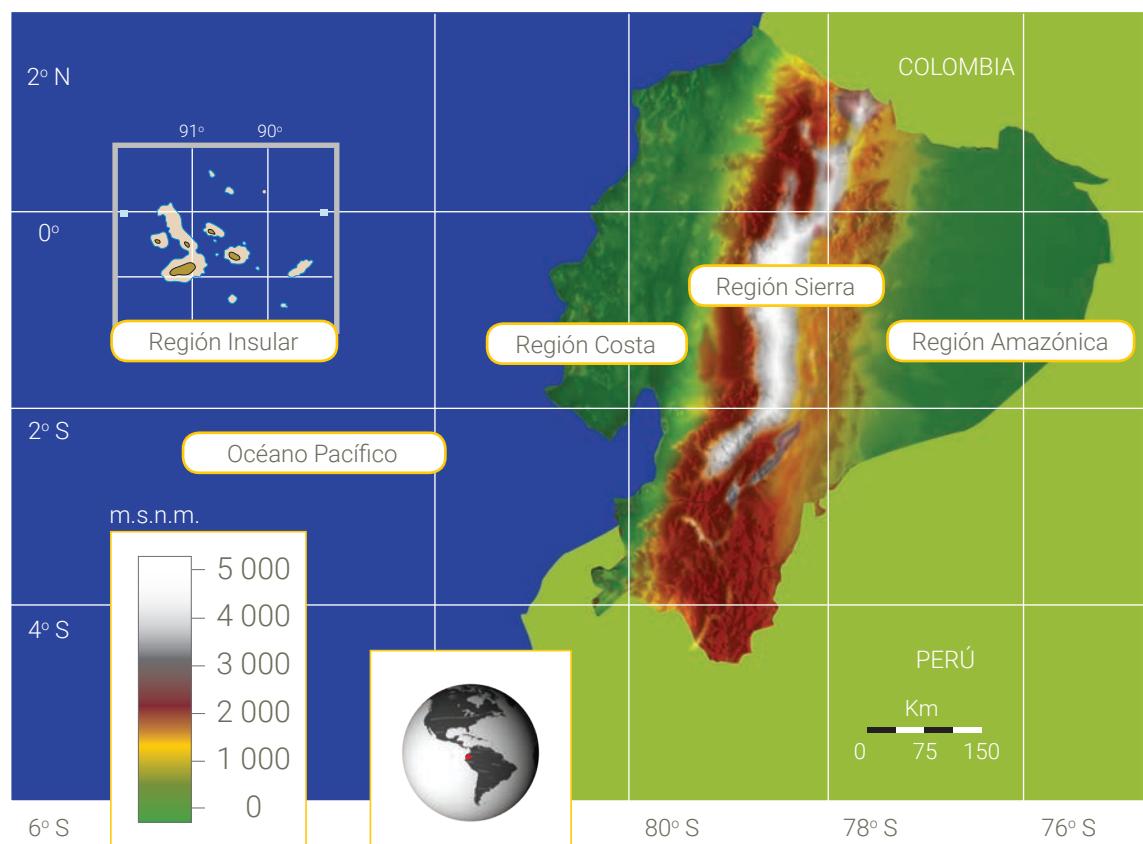
Capítulo 10

Características climáticas, hidrológicas y demográficas del Ecuador.

El Ecuador está ubicado sobre la línea ecuatorial, por lo que el país se encuentra en ambos hemisferios. Limita al norte con Colombia y al sur y al este con Perú. Al oeste su zona costera colinda con el Océano Pacífico. Geográficamente, el país se divide en cuatro regiones naturales, tres se encuentran en territorio continental y la cuarta abarca a las Islas Galápagos. En el continente, al oeste se encuentran las planicies occidentales a las que se las denomina Región Costa. El centro

del país está atravesado por la cordillera de los Andes, formando la Región Sierra. Al este se encuentra la Región Amazónica, cruzada por varios ríos de gran caudal, tributarios del río Amazonas. Por último, aproximadamente a 1.000 km del continente en el Océano Pacífico, se encuentra la cuarta zona geográfica del Ecuador correspondiente al Archipiélago de Galápagos o Región Insular (ver Figura 10.1.).

Figura 10.1. Ubicación, límites y regiones geográficas del Ecuador.





10.1. Generalidades de la climatología e hidrología del Ecuador.

El clima del Ecuador varía con relación a la topografía de cada zona y a la temperatura de las corrientes marinas adyacentes. La temperatura media mensual en la Costa es de alrededor de 27 °C, con pequeñas variaciones estacionales. En la región de los Andes o Sierra, no existe mucha diferenciación estacional de la temperatura, pero la fluctuación diaria puede superar los 20 °C especialmente en los páramos ubicados sobre los 2.800 m.s.n.m., en donde también se registran temperaturas menores a 0 °C. La temperatura es relativamente uniforme, con un promedio anual de 24 °C. En la Región Amazónica, el clima es cálido-húmedo con temperaturas medias anuales superiores a los 26 °C y una evapotranspiración de 1.500 mm. El clima en las Islas Galápagos se caracteriza por la presencia de dos estaciones: una caliente y lluviosa, que se prolonga de enero a mayo, y una estación más fría, con una leve precipitación el resto del año. La temperatura en las partes bajas con respecto al nivel del mar se encuentra entre los 22 y los 26 °C, y en las partes altas el promedio es de 17 °C (Estrella, Muñoz, Tapia, Mazón, & Velásquez, 1995; Vargas, 2002).

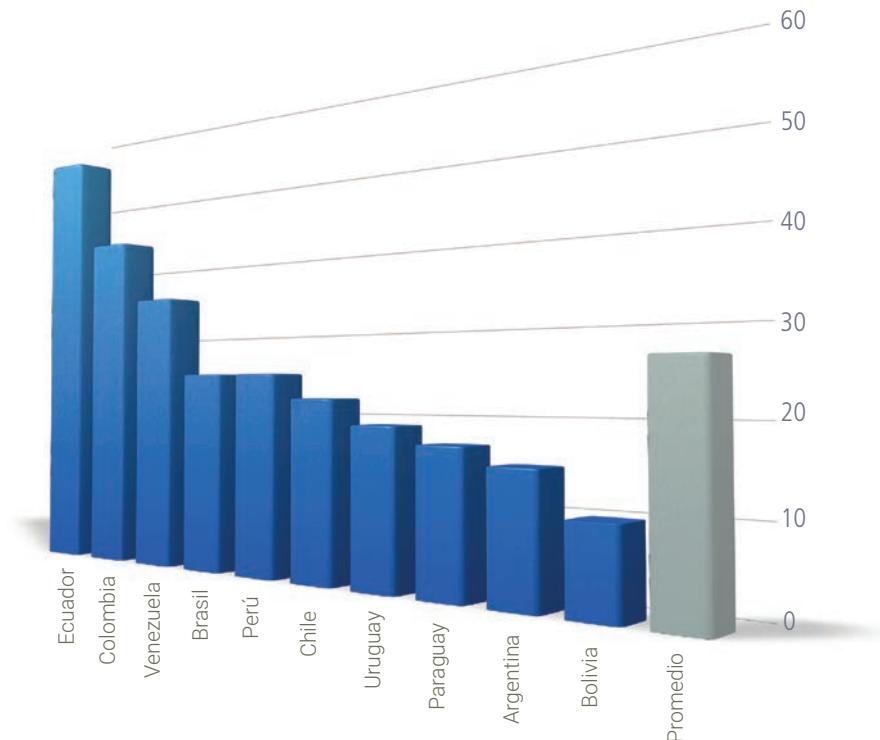
Con respecto a las lluvias, en la Costa norte la precipitación puede superar los 6.000 mm por año, debido a la influencia de la corriente cálida de El Niño y una evapotranspiración que alcanza los 1.500 mm. En contraste, la precipitación anual en el sur occidente tan solo alcanza los 355 mm, a consecuencia de la influencia producida por la corriente fría de Humboldt. En la Sierra, la estación lluviosa empieza normalmente en octubre y finaliza en mayo, con una precipitación media aproximada de 1.500 mm por año. En esta región, dominada por la cadena montañosa de

Los Andes, la altura sobre el nivel del mar es determinante para las fluctuaciones tanto de temperatura como de precipitaciones. La precipitación en la región amazónica varía entre 2.000 y 5.000 mm por año, la humedad relativa ambiental se encuentra entre el 90 y 100 %, sin existir una verdadera estación seca. En la región Insular en años de lluvias normales, las precipitaciones pueden llegar a los 1300 mm anuales (MAE, 2010; Vargas, 2002). El régimen de precipitaciones en Galápagos está relacionado con sus condiciones climáticas y se caracteriza por dos estaciones: (1) Época de garúa o época fría, de junio a diciembre, con temperaturas más frías de agua oceánica, resultado de los alisios del Sur-este, que lleva las aguas de la corriente de Humboldt desde el sur. (2) Época caliente, de enero a mayo, durante la cual las condiciones son más tropicales. Los alisios debilitados permiten que aguas calientes del norte invadan el archipiélago occasionando días de lluvia y días de sol (N. d’Ozouville. Comunicación Personal. 22 marzo 2018).

10.2. Demografía del Ecuador.

Ecuador tiene una extensión de 256.370 km² y una población, estimada en el censo del año 2010, de 14'483.499 habitantes, de los cuales el 50,44% son mujeres y el 49,56% hombres. La tasa de crecimiento poblacional del año 2010 fue de 1,95% y su densidad poblacional es de 57 hab/km² (CIA, 2018; INEC, 2018). La densidad poblacional de Ecuador es la más alta de Sur América, tal como lo indica la Figura 10.2., incluso duplicando el valor medio de la región (CIA, 2018). La población urbana en Ecuador se concentra en un 66%. Con respecto a su división política, el país tiene 24 provincias, 221 cantones y 1.500 parroquias (Rojas, 2014).

Figura 10.2. Densidad poblacional (hab/km²) de los países suramericanos.



Fuente (CIA, 2018)

Considerando la elevada densidad poblacional en el país, se presupone que, de igual manera, la demanda de recursos naturales es también elevada. Como se verá más adelante en los Capítulos 11 y 12, sobre la disponibilidad y problemáticas de manejo de los recursos hídricos del país, se tiene

una alta oferta de agua dulce, pero también una elevada demanda; lo cual, sin duda, es más palpable en zonas secas y con grandes asentamientos humanos como por ejemplo el sur de las regiones costa y sierra.

Referencias

- CIA.** (2018). The World Factbook. Tomado de: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>
- Estrella, J., Muñoz, L., Tapia, C., Mazón, N., & Velásquez, J.** (1995). Informe Nacional para la Conferencia Técnica Internacional de la FAO sobre los Recursos Fitogenéticos. INIAP - FAO. Quito - Ecuador.
- INEC.** (2018). Resultados del Censo 2010. Tomado de: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/resultados/>
- MAE.** (2010). Cuarto Informe Nacional para el Convenio sobre la Diversidad Biológica. Tomado de: Quito: <https://www.cbd.int/doc/world/ec/ec-nr-04-es.pdf>
- Rojas, F.** (2014). Políticas e institucionalidad en materia de agua potable y saneamiento en América Latina y el Caribe. Serie Recursos Naturales e Infraestructura (pp. 79): CEPAL.
- Vargas, M.** (2002). Ecología y Biodiversidad del Ecuador (1ra ed.). Quito: E.P. Centro de Impresión.



Laguna de Colta, Ecuador



Capítulo 11

Los recursos hídricos del Ecuador.

Las condiciones geográficas y topográficas hacen de Ecuador un país rico en recursos hídricos. En términos de agua dulce, es el país con más ríos por metro cuadrado en el mundo (Gaona, 2018). Las precipitaciones son muy variadas entre las diferentes regiones. El 80 % de la disponibilidad de agua se encuentra en la región amazónica, al este del país, pero la mayor parte de la población está asentada en la región sierra, en los valles de la cordillera de Los Andes y en la cuenca del Río Guayas en la región costa. El uso de agua no alcanza el 15% del total disponible y de esto, más del 90% es utilizada para riego y menos del 5% para usos domésticos e industria (Buckalew, James, Scott, & Reed, 1998). No obstante, en los últimos años se ha destinado una gran cantidad de recursos hídricos para la generación de energía hidroeléctrica.

11.1. Cuencas hidrográficas del Ecuador.

En el territorio ecuatoriano se contabilizan 31 cuencas hidrográficas (ver Figura 11.1. y relacionarla con Tabla 11.1.). El Océano Pacífico y la Cuenca Hidrográfica del Amazonas son los dos destinos principales de desembocadura de los ríos que se generan, en su mayoría, en los páramos (ecosistema montano intertropical ubicado sobre los 3 000 msnm, con dominancia de vegetación tipo matorral) de la Región Sierra (Buckalew *et al.*, 1998; INAMHI, 2012). Dentro del escenario de cuencas hidrográficas del Ecuador se consideran dos que presentan características de islas, la Isla Puná, en el Golfo de Guayaquil, y las Islas Galápagos, en el Océano Pacífico.

11.2. Recursos hídricos superficiales.

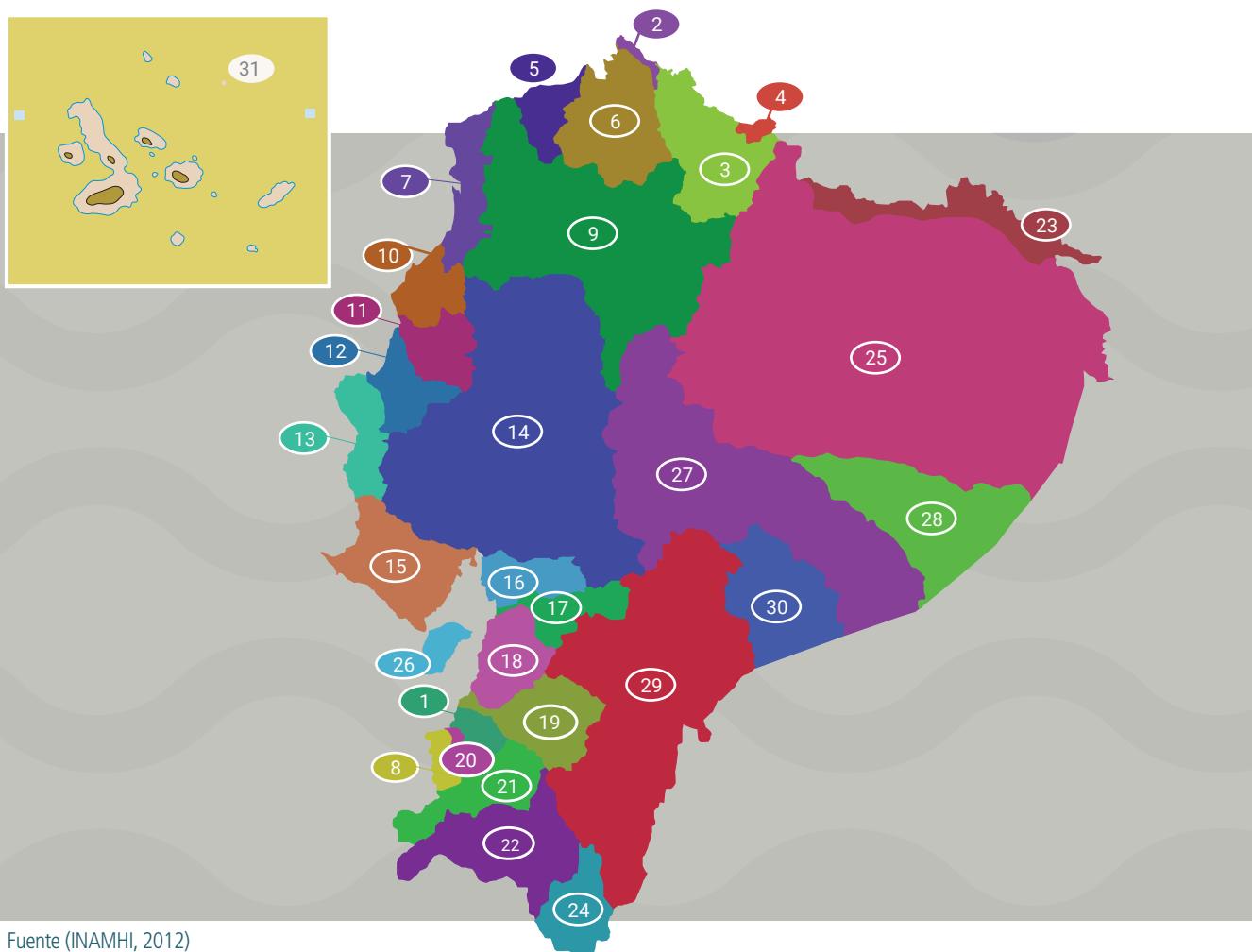
Como queda explicado, Ecuador es un país rico en recursos hídricos. Sus valores medios de precipitación anual (1.200 mm) y de escorrentía específica (160 cm), hacen que el país tenga a disposición grandes cantidades de agua (ver Figura 11.2.). Sin embargo, la precipitación y escorrentía son desigualmente distribuidos a lo largo del país. Por una parte, la región amazónica, el norte de la costa y la cuenca del río Guayas, presentan altos valores de precipitación y agua superficial durante todo el año, llegando incluso a producirse eventos de inundaciones catastróficas, en los períodos de altas precipitaciones. Por otra parte, en la región andina o Sierra los eventos de lluvias son estacionales. La estacionalidad de las precipitaciones en esta región produce zonas de sequias prolongadas y, contrariamente también, sitios de muy alta precipitación. Adicionalmente, existen zonas de escasez de recursos hídricos, principalmente ubicados en la península de Santa Elena, al oeste del Golfo de Guayaquil y en el sur-oeste del país, en las provincias de Loja y El Oro. En las Islas Galápagos no existen aguas superficiales claramente definidas, a excepción de la Isla San Cristóbal, en donde existe un lago permanente llamado El Junco. En la región Insular hay zonas de escasez o falta completa del recurso (Buckalew *et al.*, 1998).

11.3. Recursos hídricos subterráneos.

Los recursos de aguas subterráneas se encuentran disponibles en aluviones típicamente compuestos de arenas y gravas. Los acuíferos se encuentran principalmente en la cuenca del Río Guayas, en la región de la Costa y en los ríos de la región oriental (Amazonía). En los valles de tierras altas, los acuíferos son pequeños. Con respecto a la contaminación potencial, los acuíferos que consisten en flujos de lava fracturados o de brecha son particularmente susceptibles a la contaminación porque el agua se transmite rá-

pidamente en el subsuelo con poco o ningún filtrado de contaminantes (Buckalew *et al.*, 1998). Este es un caso típico en Galápagos, por ejemplo en la ciudad de Puerto Ayora, en la Isla de Santa Cruz, donde existen problemas de contaminación de aguas subterráneas debido a las actividades humanas. Este hecho da como resultado que los acuíferos, que además son la única fuente de agua dulce de la isla, presenten condiciones biogeoquímicas no aptas para el consumo humano. El sistema de agua subterránea de Ecuador se presenta en la Figura 11.3.

Figura 11.1. Mapa de cuencas hidrográficas del Ecuador. (ver señalética en Tabla 11.1.)



Fuente (INAMHI, 2012)

Tabla 11.1. Principales cuencas hidrográficas en Ecuador.

Código	Nombre de la Cuenca	Punto de descarga	Área	Precipitación anual promedio	Descarga promedio	
				**	km ²	(mm)
1	Santa Rosa	OP	3.417	1.335		63
2	Mataje	OP	84	3.052		35
3	Mira	OP	6.495	1.788		210
4	Carchi	OP	48	1.215		6
5	Verde	OP	2.169	2.038		43
6	Cayapas	OP	6.024	3.326		403
7	Muisne	OP	1.285	2.639		53
8	Zarumilla	OP		***	***	***
9	Esmeraldas	OP	20.401	1.980		680
10	Jama	OP	2.095	821		5
11	Chone	OP	2.483	1.070		26
12	Portoviejo	OP	2.231	737		12
13	Jipijapa	OP	2.638	371		5
14	Guayas	OP	32.111	1.662		835
15	Zapotal	OP	5.561	465		21
16	Taura	OP	2.348	1.196		30
17	Cañar	OP	2.384	1.327		53
18	Balao	OP	3.417	1.335		63
19	Jubones	OP	4.054	898		59
20	Arenillas	OP	2.725	861		21
21	Puyango	OP	3.694	1.222		72
22	Chira	OP	6.717	999		93
23	Putumayo	CA	6.539	3.388		424
24	Chinchipe	CA	2.844	3.354		453
25	Napo	CA	30.948	3.388		424
26	Puna	OP		***	***	***
27	Pastaza	CA	24.296	3.255		2.051
28	Tigre	CA	6.492	2.742		265
29	Santiago	CA	26.176	3.127		661
30	Morona	CA	6.481	1.603		632
31	Islas Galápagos	OP		***	***	***

Fuentes (Buckalew *et al.*, 1998; INAMHI, 2012)

* El Código indica la numeración y el color dentro del mapa de la Fig. 11.1.

** El punto de descarga se refiere a Océano Pacífico (OP) ó Cuenca Amazónica (CA)

*** Información no disponible

Referencias

Buckalew, J., James, M., Scott, L., & Reed, P. (1998). Water resources assessment of Ecuador. US Army Corp of Engineers, Mobile District and Topographic Engineering Center.

INAMHI (Cartographer). (2012). Cuencas hidrográficas del Ecuador. Retrieved from <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/gisweb/Historicos/HIDROLOGIA/ CUENCAS HIDROGRAFICAS/ CUENCAS INAMHI/jpg/>

Figura 11.2. Mapa de los recursos hídricos superficiales de Ecuador.

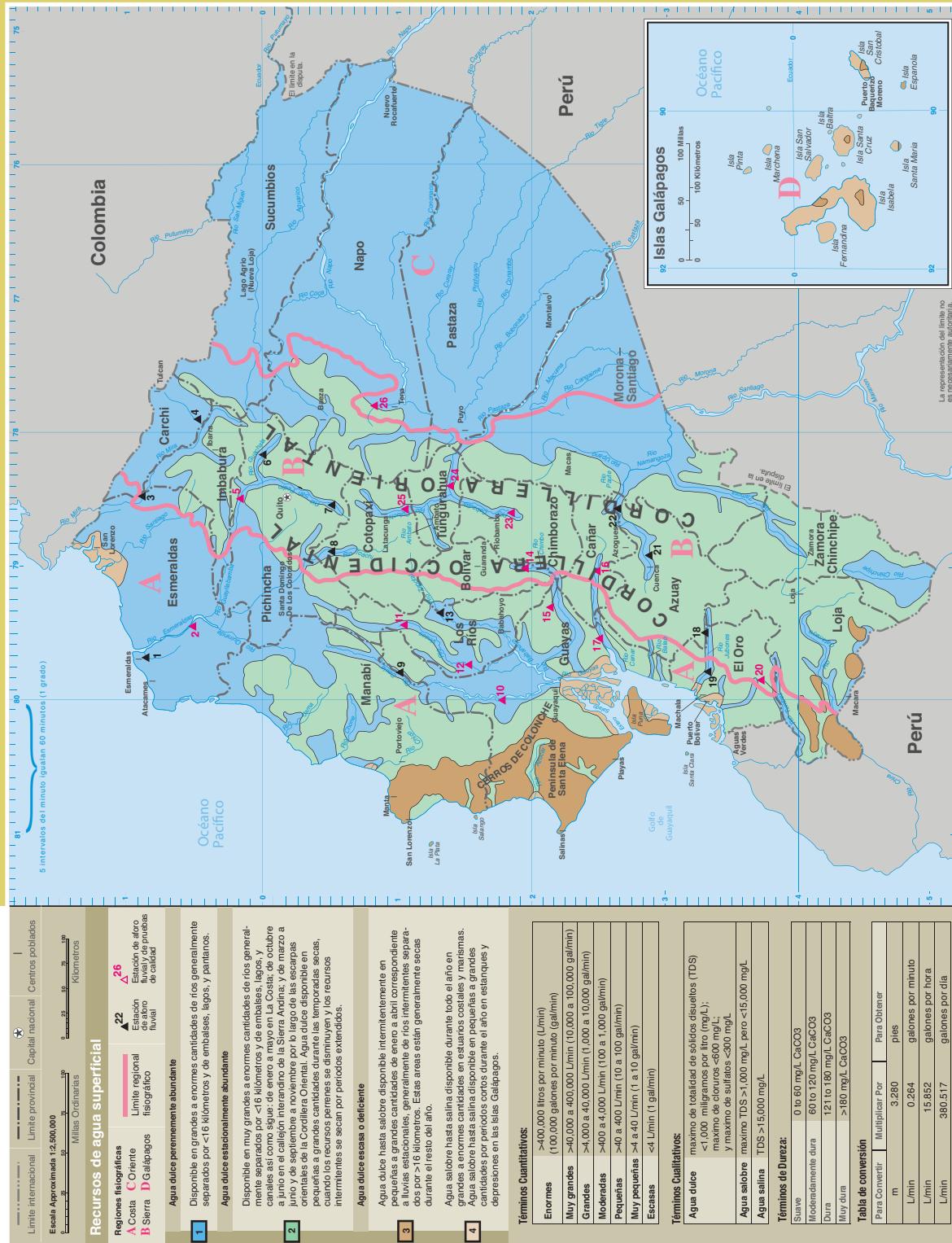
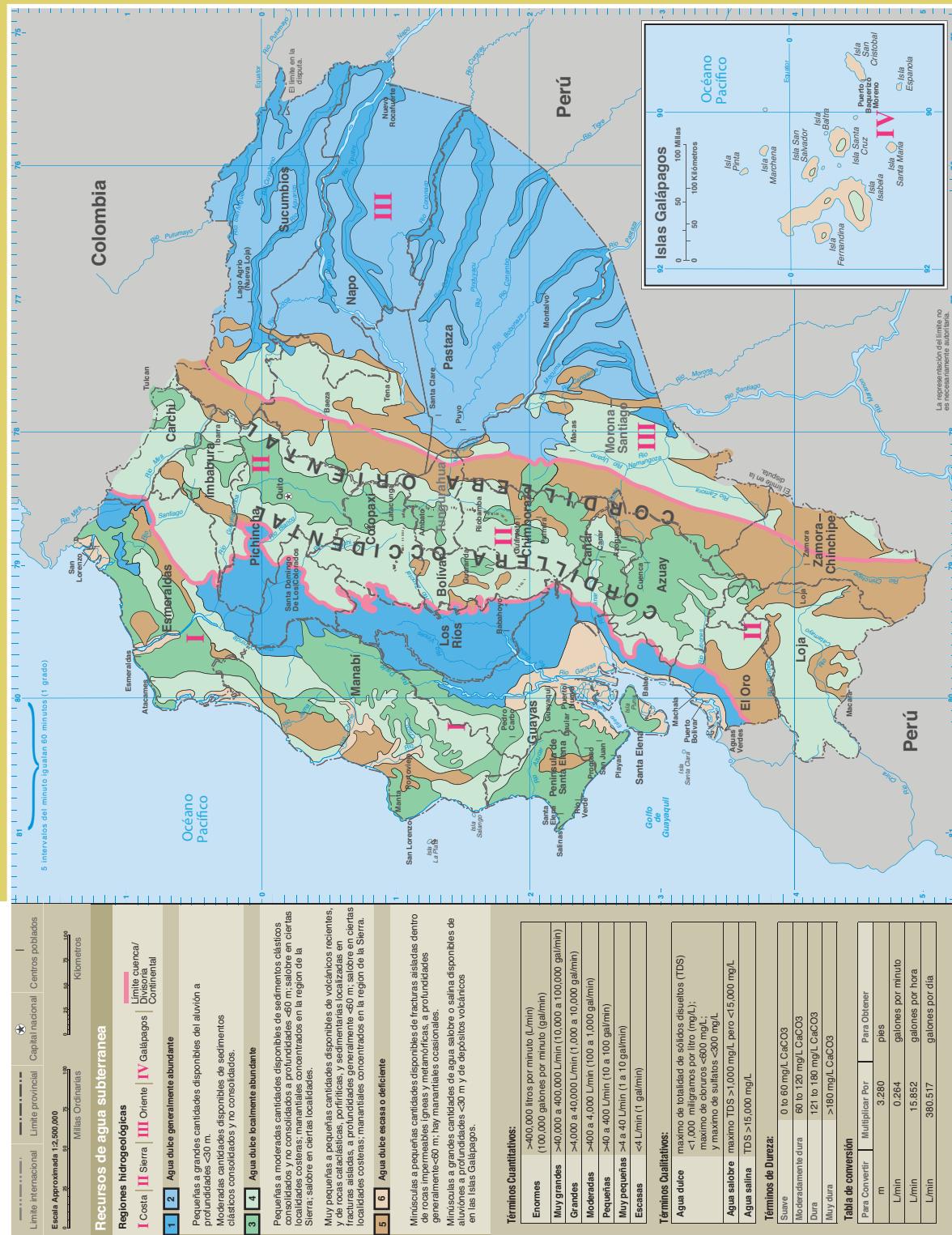


Figura 11.3. Mapa de los recursos hídricos subterráneos de Ecuador.



Fuente (Buckalew et al., 1998)



Cascada Condor Machay, Pichincha, Ecuador

Capítulo 12

Problemáticas inherentes al manejo de recursos hídricos en Ecuador.

A nivel global, los problemas relacionados con el manejo de los recursos hídricos, son lamentablemente, poco alentadores y se convierten en un reto a ser solucionado por la sociedad actual. Por ejemplo, en Ciudad del Cabo, Sudáfrica, se advierte la proximidad del momento en que la población se quedará sin agua en sus tuberías. Los medios de comunicación dan cuenta del denominado “Día Cero” de esta mega-ciudad, que se enfrenta a una de las sequías más devastadoras de su historia. Al parecer, el cambio climático y el inadecuado manejo de los recursos hídricos en esta metrópoli, serían las razones principales para esta crisis.

Según estimaciones del Banco Mundial (2018), para el año 2025, existirán alrededor de 1.800 millones de personas (equivalente al 22% del total de población estimada para ese año) viviendo en países o zonas con escasez absoluta de agua. En el año 2030, el mundo enfrentará un déficit del 40% entre la demanda prevista y el agua disponible. En lo que respecta a la seguridad alimentaria, un 70% del agua que se utiliza hoy se destina para la agricultura. Si se estima que para el año 2050 habrá 9.000 millones de personas en el mundo, será necesario que la producción agrícola aumente en un 60% y la extracción de agua en un 15%. Empero, se debe considerar que esta problemática global está mayormente localizada en países africanos y de oriente medio, en donde los recursos hídricos son muy escasos y el crecimiento poblacional muy acelerado.

En Ecuador, la disponibilidad de recursos hídricos es de las más favorecidas en el mundo, aunque existe dentro del territorio ecuatoriano zonas áridas y semiáridas, como por ejemplo en el sur de las regiones costa y sierra o en las Islas Galápagos (ver Figuras 11.2. y 11.3.). No obstante, el abastecimiento de agua potable no alcanza al 80% de la población, con mayor deficiencia en las zonas rurales. De tal

manera que las dificultades de abastecimiento de recursos hídricos en Ecuador, no obedecen a la disponibilidad sino más bien a la capacidad del país y limitaciones de sus gobernantes para distribuir adecuadamente el agua a la población.

En este análisis, mencionaremos únicamente algunos de los que consideramos los principales problemas relacionados con la gestión de recursos hídricos en Ecuador, que son: (1) aspectos políticos, jurídicos y de gestión relacionados a la institucionalidad y gobernanza, (2) falta de entrenamiento técnico y generación de profesionalidad en temas referentes exclusivamente a aspectos hidráulicos, hidrológicos, de conservación y manejo de zonas de recarga y cuencas hidrográficas, tratamiento de aguas residuales, y (3) incertidumbre en aspectos relacionados con el cambio climático.

Adicionalmente, en países como Ecuador, la problemática de financiamiento para la ejecución de obras será un tema a considerar. Por ejemplo, se puede mencionar que existe una escasa conciencia ciudadana sobre el valor del agua y una incipiente participación para su consumo responsable. Sin embargo, una serie de iniciativas financieras para el manejo del agua se han venido desarrollando en nuestro país, tal como lo explica nuestro autor invitado Marcos Villacís de la Escuela Politécnica Nacional.

Los fondos de agua para el manejo de cuencas, como el FONAG en Quito, el FONAPA en la cuenca del río Paute y el FORAGUA en las provincias de Loja, El Oro y Zamora Chinchipe, son, por lo tanto, una herramienta probada que permite viabilizar recursos que son utilizados para restauración, protección y conservación de fuentes hídricas; así como también para investigación, capacitación y generación de conciencia ambiental.



Autor invitado

Marcos Villacís, Quito - Ecuador marcos.villacis@epn.edu.ec

Situación actual, vacíos y retos en el manejo de los recursos hídricos en el Ecuador.

En Ecuador existen experiencias que han dado resultados adecuados en términos de la implementación de mecanismos para el manejo de los recursos hídricos. Como por ejemplo, la creación e implementación del Fondo de conservación del agua para Quito (FONAG). Este fondo, cuyo principal contribuyente es la Empresa Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS), ha permitido a estas instituciones implementar una política eficiente desde el punto de vista de las acciones concretas para la conservación de las cuencas que alimentan al Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). Entre las acciones más relevantes podemos identificar la compra de terrenos ubicados en las cuencas de las que se capta el agua. Esta acción es de vital importancia, puesto que permite manejar el suelo de la manera más adecuada, habiéndose realizado el retiro de cabezas de ganado e iniciando medidas de restauración y de conservación del ecosistema páramo. Esperándose que, en un futuro, las cuencas, cuyo suelo ha sido degradado debido a la ganadería intensiva, vuelvan a funcionar de mejor manera desde el punto de vista de la provisión del recurso hídrico. Adicionalmente, se ha creado una estación científica con líneas de investigación priorizadas por las instituciones antes mencionadas. El FONAG creó una convocatoria para apoyar con fondos la realización de tesis de ingeniería, maestría y doctorado en las líneas antes mencionadas, lo que le permite generar información rigurosa que sirve para afinar el proceso de toma de decisiones y la implementación de sus políticas de manejo del recurso hídrico. Finalmente, quisiera mencionar que, para generar conocimiento sobre el funcionamiento hidrológico, es necesario realizar un monitoreo hidrometeorológico continuo, lo que constituye un avance fundamental que también ha sido liderado por el FONAG, en coordinación con la EPMAPS, puesto que la red del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) no se adapta a las necesidades de manejo de las cuencas, ya que su escala de trabajo es del orden de las decenas a las centenas de kilómetros.

En el caso de las cuencas que proveen de agua a las grandes centrales hidroeléctricas, la dimensión de los problemas es más compleja; siendo uno de ellos el transporte de sedimentos, muy difícil de controlar. Esto debido a diferentes factores, pues las fuentes de sedimentos pueden ser activadas por sismos o inclusive por flujos de lodo y escombros de gran magnitud, como los que se esperan en el caso de una erupción del Cotopaxi, que podría afectar la central de Manduriacu, por ejemplo. Problema que requiere un análisis bastante especializado a fin de generar propuestas técnicas para el manejo de los sedimentos y de las cuencas, con el objeto de asegurar la cantidad y calidad necesaria del recurso hídrico para la generación de energía. A esto le debemos sumar el tema de los caudales ecológicos o ambientales en un país megadiverso, por lo que es muy difícil generalizar los criterios para su cuantificación en nuestro contexto natural. La determinación de los caudales ecológicos demanda bastante trabajo de monitoreo y recursos económicos, para obtener información confiable y rigurosa, particular que no ha sido abordado plenamente en el Ecuador.

En el tema del riego, uno de los principales problemas que podríamos enfrentar a futuro es el de la adaptación al cambio climático, por parte de nuestros cultivos. Desconociéndose, en la mayoría de los casos, el requerimiento real de agua de las plantas, puesto que para establecer esto se necesita realizar experimentos de una duración de al menos 3 años, a fin de generar propuestas de adaptación efectivas, que tomen en cuenta, además, la optimización del tiempo de trabajo invertido por los agricultores para mejorar, no solamente el rendimiento de los cultivos, sino, además, su calidad de vida. Si bien el Ecuador es un país con un gran potencial para la producción agrícola, la cantidad de agua necesaria pondría a este sector en competición con otros sectores como el del agua potable princi-

palmente, no solamente desde el punto de vista de la cantidad, sino también de la calidad. Este es un tema que tampoco ha sido abordado en nuestro país con la profundidad que amerita, puesto que constituye un verdadero desafío desde el punto de vista técnico y social.

En resumen, si bien existen avances ejemplares, como el accionar del FONAG, estas prácticas no se realizan en forma extendida, ni en el sector del agua potable ni en los otros sectores como la hidroeléctrica o de riego. La limitante de los recursos económicos ha sido superada en Ecuador por el FONAG u otros fondos como FORAGUA o FONAPA, en el sur del país, los que, con mecanismos financieros diferentes, contribuyen efectivamente al manejo de los recursos hídricos. Otra de las limitaciones importantes es el déficit de profesionales formados en el área de recursos hídricos. Ésta es solo una de las aristas del problema, desde la que podemos apoyar para remediarlo efectivamente desde el sector académico.



Marcos Villacís nació en la ciudad de Manta, el 7 de junio de 1975. Vivió en carne propia los efectos de las inundaciones durante El Niño y la escasez de agua en la provincia de Manabí. Esto lo motivó a especializarse en hidrología, trabajando desde hace 15 años en temas relacionados con el análisis de los impactos del Cambio Climático sobre la disponibilidad de agua en los ecosistemas de la región tropical. Colabora en sus investigaciones con colegas de Francia, Bélgica, Inglaterra, España, Perú y Bolivia, siendo su área de estudio la región tropical de Sudamérica.

12.1. Institucionalidad y gobernanza.

En el año de 1998, un trabajo de evaluación de los recursos hídricos en Ecuador, realizado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, Buckalew, James, Scott, and Reed (1998), indicaba que la clave para el éxito de cualquier plan que se desarrolle en Ecuador para el manejo de los recursos hídricos, será la capacidad y habilidad de trabajar hacia objetivos comunes, por parte de las agencias gubernamentales encargadas del manejo del agua. Al parecer, la impresión de los consultores que realizaron el mencionado trabajo en ese entonces, dejó entrever una falta o al menos una débil articulación y cooperación entre las diversas instituciones que tenían a su cargo el desarrollo y gestión del agua en el país.

Como veremos más adelante, en Ecuador se creó la Secretaría del Agua (SENAGUA) en el año 2014, como resultado de la aprobación de la Ley

Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua. No obstante, en la práctica existe confusión al momento de reconocer a la autoridad responsable de, por ejemplo, la gestión de agua potable o agua para riego; esto debido a que las responsabilidades se encuentran compartidas entre la SENAGUA y otras instituciones como los Gobiernos Autónomos Descentralizados, el Ministerio de Vivienda, y/o el Ministerio de Agricultura. Sin embargo, aunque las competencias y atribuciones están más claras ahora con la ley y reglamento, lo propuesto por Buckalew *et al.* (1998), como la clave para el éxito del manejo de recursos hídricos en Ecuador, es todavía una cuenta pendiente, dado que aún existe deficiencia en la distribución de agua para consumo humano y no hay un plan nacional de riego, para citar ejemplos.



Autor invitado

Eduardo Toral, Cuenca - Ecuador  eduardotoral@yahoo.com

La experiencia de manejo de agua en la ciudad de Cuenca y el FONAPA- Fondo del agua para la conservación de la cuenca del río Paute.

La ciudad de Cuenca, ubicada en los Andes del Sur de Ecuador, se fundó sobre antiguos poblados de las civilizaciones Cañari e Inca, ubicadas en los Andes del Sur del Ecuador. Por la ciudad atraviesan cuatro ríos (Tomebamba, Machángara, Yanuncay y Tarqui) que nacen en los páramos alrededor de Cuenca. Posiblemente, la cercanía de los habitantes de la ciudad con el agua, permitió a Cuenca convertirse en una de las pioneras en el manejo y gestión del recurso hídrico en el Ecuador.

El 2 enero de 1968, mediante una Ordenanza, se creó la Empresa Pública Municipal de Teléfonos, Agua Potable y Alcantarillado (ETAPA). Al año siguiente, se ejecutaron los primeros Planes Maestros de Agua y Alcantarillado para la ciudad (Ordoñez, G. 2018). Desde esa fecha han transcurrido 50 años en los que el manejo y gestión del agua ha evolucionado en muchos aspectos, de acuerdo al desarrollo económico, social y ambiental del país. En este periodo, también se crearon nuevas políticas nacionales y locales que permitieron que ETAPA ampliara sus servicios. Entre los relacionados con el manejo hídrico destacan: agua potable, saneamiento y gestión ambiental.

Al 2018, el servicio de agua potable de ETAPA cubre el 96% del área urbana y el 88% de la zona rural, mientras que sus aguas residuales son asistidas en Plantas de Tratamiento derivadas a una Planta mayor, para devolver, limpio, este recurso, a su ecosistema natural. Adicionalmente, la empresa incursionó en conservación, preservación y recuperación de ecosistemas de interés, a fin de garantizar el abastecimiento de agua de calidad y cantidad para Cuenca; disponiéndose a manejar 40.000 ha del Parque Nacional El Cajas y otras Reservas Municipales, asumiendo también la protección y recuperación de bosques de rivera, mediante acuerdos de conservación por el agua. También monitorea y estudia los recursos hídricos, ecosistemas y especies de flora y fauna frágiles, aportando con conocimiento a su programa de educación ambiental, destinado a niños de la ciudad y zonas rurales del cantón.

Los nuevos desafíos en la región motivaron que ETAPA EP, conjuntamente con CELEC EP-HIDROPAUTE, ELECAUSTRO S.A., EMAPAL EP, Universidad de Cuenca, Fundación Cordillera Tropical y The Nature Conservancy, creen, el 26 de septiembre de 2008, el Fondo del agua para la conservación de la cuenca del río Paute (FONAPA). El fondo se creó con el objetivo de coadyuvar a la conservación, protección y recuperación del recurso hídrico y entorno ecológico en la cuenca del río Paute. Esta cuenca es una de las más importantes del Ecuador, donde viven cerca de 900 mil habitantes, y se genera el 35% del total de energía hidroeléctrica para el país (P. Guzmán, comunicación personal, 22 de marzo de 2018). Además, alberga ecosistemas únicos y significativas áreas protegidas, reconocidas por la UNESCO, como la Reserva de Biosfera Macizo del Cajas y el Parque Nacional Sangay, que es Patrimonio Natural de la Humanidad; además del recientemente creado Parque Nacional Río Negro-Sopladora.

El FONAPA, inicialmente, congregó a los usuarios del agua más fuertes de la región para que aporten recursos económicos, en un fideicomiso que garantiza su uso, según el mandato del donante o constituyente, gestiona recursos económicos de contraparte y brinda apoyo técnico dirigido a la gestión y conservación de los recursos hídricos y su entorno ecológico; todos dirigidos en Programas y Proyectos que buscan cumplir el objetivo para el cual se formó el Fondo.

Hasta el 2013, el FONAPA buscaba principalmente invertir los fondos provenientes de las inversiones de sus constituyentes y los provenientes de donantes, aunque posteriormente se decide trabajar con los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADs), quienes tienen potestad en territorio y, conjuntamente con Naturaleza y Cultura Internacional, apoyan la formulación de Ordenanzas Municipales que crean reservas en las principales fuentes de agua y los ecosistemas frágiles de cada cantón, generan recursos económicos a fin de que sean transferidos al FONAPA para su administración y, además, disponen que el Municipio se adhiera al FONAPA como constituyente.

Actualmente el FONAPA invierte los recursos a través de las Empresas de Agua Potable y GADs Municipales y ha logrado generalizar las buenas prácticas ambientales, a favor de la conservación del agua en más áreas de la cuenca del río Paute, por lo que se ha convertido en un actor clave en la región, por ser además un ente integrador de varios actores, entre los cuales también se incluye la academia.

REFERENCIAS

Ordoñez, G. (2018). De la bacinilla a la alcantarilla. Cuenca, Ecuador. Universidad de Cuenca.



Eduardo Toral Contreras nació en Cuenca, Ecuador el 29 de junio de 1970. Graduado de Biólogo en la Universidad del Azuay y con una Maestría en Ciencias de la Universidad de Costa Rica. Posee 23 años de experiencia en trabajos con comunidades indígenas y áreas protegidas del Ecuador. Participó en proyectos de investigación relacionados con la descripción de la biodiversidad de Ecuador (anfibios y reptiles), fragmentación de bosques y efectos de borde, además de estudios con enfoque integrador, para predecir la variación y vulnerabilidad de la biodiversidad de ríos tropicales en la cuenca del río Napo, respecto al cambio climático. En la actualidad, como Secretario Técnico del FONAPA-Fondo del agua para la conservación de la cuenca del río Paute, se enfoca en la gestión de recursos económicos para fortalecer la conservación del recurso hídrico y entorno ecológico presente en la cuenca del río Paute.

Sin embargo, la crítica que debe ser dirigida a todos los componentes de la sociedad y no solo a los gobernantes, obliga a reconocer que se han dado grandes avances en los últimos años. Sin duda, en temas de institucionalidad y gobernanza de los recursos hídricos, la situación actual es muy diferente a lo que encontraron en su momento Buckalew *et al.* (1998). Más adelante, en el Capítulo 13 de este escrito, se hace un análisis del marco jurídico que regula en los actuales momentos el manejo del agua en Ecuador y su posible conexión con la ecohidrología como una herramienta de apoyo a la gestión de recursos hídricos.

Como se explicó antes, para apoyar a la institucionalidad y atender el problema de financiamiento para la gestión de recursos hídricos, en el Ecuador se han ejecutado varios Fondos del Agua, en diferentes ciudades del país. Cada uno de estos, tiene sus particularidades de manejo y estructuración, pero sin duda dan apoyo a la gestión de los recursos hídricos con resultados destacables. Tal es el caso del FONAPA, descrito con mejor detalle por nuestro autor invitado Eduardo Toral.



12.2. Desarrollo de capacidades profesionales y técnicas.

La construcción de capacidades profesionales en temas relativos a la ecohidrología en Ecuador es fundamental para vincular los avances del desarrollo científico moderno con la sociedad y la naturaleza. En el país existen muchas instituciones que cuentan con técnicos de alto nivel y capacidad profesional para manejar los recursos hídricos; empero, muchos de ellos han sido capacitados en programas académicos en el exte-

rior, puesto que en nuestro país no existían, sino desde hace muy poco tiempo, programas de nivel superior especializados en estas temáticas. Para muestra, se puede utilizar como ejemplo la Oferta Académica de las Instituciones de Educación Superior difundida por la SENESCYT (2018) en la cual se han encontrado únicamente tres carreras presenciales de tercer nivel relacionadas a recursos hídricos (ver Tabla 12.1.).

Tabla 12.1. Oferta académica de tercer nivel en temas relacionados a la gestión de recursos hídricos en universidades de Ecuador (SENESCYT, 2018)

Universidad	Programa	Título
IKIAM	Ingeniería en Ciencias del Agua	Ingeniero
EPN	Tecnología superior en agua y saneamiento ambiental	Tecnólogo
PUCE	Ingeniería Hidráulica	Ingeniero

No obstante, es importante advertir que existen algunos programas relacionados con el manejo y gestión de recursos hídricos que forman parte de la malla curricular de otras especializaciones, como ingeniería civil y/o ambiental.

En cuanto a programas de cuarto nivel, como maestrías y doctorados, se debe anotar que se han venido desarrollando recientemente programas especializados en varias universidades del país entre las que destacan la Maestría en Ingeniería de los Recursos Hídricos de la EPN, la Maestría de Investigación en Hidrología, con mención en Ecohidrología de la Universidad de Cuenca, la Maestría en Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y Riego de la Universidad Central del Ecuador, la Maestría en Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Guayaquil, la Maestría en Recursos Hídricos de la UTPL, y la maestría en Ciencias de la Ingeniería para la Gestión de los Recursos Hídricos de

la ESPOL. La mayor parte de estos programas de maestría, han sido creados con posterioridad a las reformas al sistema de educación superior ecuatoriano impulsados luego del año 2009.

En cuanto a programas de doctorado, en Ecuador existe únicamente un doctorado en Recursos Hídricos, que es dirigido por la Universidad de Cuenca, en asociación con la Escuela Politécnica Nacional (EPN) y la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL). Este programa fue aprobado a finales del año 2014, tiene una modalidad presencial y es a tiempo completo. Las investigaciones de este programa pueden presentarse en las siguientes 6 áreas: (1) hidrología, (2) hidráulica, (3) ecología acuática, (4) meteorología y climatología, (5) hidroinformática y (6) saneamiento ambiental. El título a obtener es de Doctor (PhD) en Recursos Hídricos.

Por otra parte, en cuanto al desarrollo de capacidades en el manejo de recursos hídricos, destacamos el programa de Capacitación Continua “Escuela del Agua”. Este programa es una iniciativa de cooperación interinstitucional, liderado por la SENAGUA, con el apoyo de la Corporación Naturaleza y Cultura Internacional, la Universidad Técnica Particular de Loja, el Fondo Regional del Agua (FORAGUA) y el Fondo del Agua para la Cuenca del Río Paute (FONAPA). A breves rasgos, la Escuela del Agua tiene como objeto la capacitación y acreditación de funcionarios municipales del país, en temas relacionados con la Conservación, Manejo de Fuentes de Agua, y otras disciplinas vinculadas a la GIRH.

12.3. Cambio Climático

El cambio climático amenaza la sostenibilidad de granjas y sus recursos hídricos asociados en Ecuador. Los pronósticos climáticos han identificado que las principales fuentes de incertidumbre para las proyecciones agrícolas son: datos meteoroló-

ógicos (especialmente proyecciones de precipitación), datos de suelo por debajo de los 30 cm superiores y protocolo experimental equivalente para mediciones de campos de cultivos ecofisiológicos (Ruiz-Ramos *et al.*, 2016). La Constitución de 2008 establece, con respecto al cambio climático (CC), que el Estado adoptará medidas apropiadas e intersectoriales para la mitigación del CC, al limitar las emisiones de gases de efecto invernadero, la deforestación y la contaminación del aire; además, tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo (Artículo 414).

En 2012, se presentó la Estrategia Nacional de Cambio Climático 2012-2025. La Adaptación de Línea Estratégica a CC tiene como objetivo reducir la vulnerabilidad social, económica y ambiental a los impactos de CC. Para cumplir este objetivo, se ha formulado un Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático y se debe preparar un Programa Nacional de Adaptación al Cambio Climático (Gaona, 2017).

Referencias

- Banco Mundial.** (2018, Sep 20, 2017). Gestión de los Recursos Hídricos. Retrieved from <http://www.bancomundial.org/es/topic/waterresourcesmanagement>
- Buckalew, J., James, M., Scott, L., & Reed, P.** (1998). Water resources assessment of Ecuador. US Army Corp of Engineers, Mobile District and Topographic Engineering Center.
- Constitución de la República del Ecuador,** (2008).
- Gaona, J.** (2017). The Potential of Ecohydrology - Eduadorean Case Review.
- Ruiz-Ramos, M., Bastidas, W., Cóndor, A., Villacís, M., Calderón, M., Herrera, M., Rodríguez, A.** (2016). Modelling adaptation to climate change of Ecuadorian agriculture and associated water resources: uncertainties in coastal and highland cropping systems. Paper presented at the EGU General Assembly Conference Abstracts.
- SENESCYT.** (2018). Construye tu Futuro: Oferta Académica de las Instituciones de Educación Superior (Primer Semestre 2018). Quito.



Páramo de El Angel, Carchi, Ecuador



Capítulo 13

Herramientas jurídicas para la gestión de recursos hídricos en Ecuador.

Aunque hasta el momento no se ha instaurado un enfoque ecohidrológico dentro de los planes de gestión del agua en el país, la aplicación de la ecohidrología es factible, dado que el marco jurídico para el manejo y aprovechamiento del agua resulta acorde y congruente con los preceptos ecohidrológicos. Este capítulo nombra algunos de los principales instrumentos jurídicos que están relacionados con el manejo del agua, en general y que presentan una relación con la ecohidrología como herramienta de gestión de recursos hídricos, en particular.

13.1. La Constitución de la República del Ecuador y los recursos hídricos.

La Constitución de la República del Ecuador, fue aprobada en el año 2008 por la Asamblea Constituyente y presenta muchas características innovadoras para la relación sociedad-naturaleza, considerando al agua como un recurso fundamental para el desarrollo de la sociedad. La carta magna de Ecuador tiene varios artículos en los que se tratan temas referentes a la gestión del agua en el país. A continuación se expondrá una lista de algunos de los más importantes temas relacionados con el manejo del agua en Ecuador, bajo el paraguas de la Norma Suprema del Estado.

El artículo 3 de la Constitución de la República del Ecuador determina:

“Son deberes primordiales del Estado. 1. Garantizar sin discriminación alguna el efectivo goce de los derechos establecidos en la Constitución y en los instrumentos internacionales, en particular (...) el agua a sus habitantes”.

Así mismo, el artículo 12 indica que:

“El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida”.

En el artículo 314 de la Constitución de la República se expresa:

“El Estado será el responsable de la provisión de los servicios públicos de agua potable y de riego, saneamiento, (...), infraestructuras portuarias, (...) y las demás que determine la ley...”.

El artículo 318 de la Constitución de la República dice:

“El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua. La gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria”.

Adicionalmente, el mismo artículo establece que:

“El Estado, a través de la Autoridad Única del Agua, será responsable de la planificación, regulación, control y gestión de los recursos hídricos, los mismos que se destinarán a consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en ese orden de prelación. Se responsabiliza además, de la conservación, recuperación, y manejo integral de los recursos hídricos, cuenca hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico”.



De esta manera, se evidencia la disposición política del Estado Ecuatoriano, para enfrentar decididamente el reto de manejar sus recursos hídricos, con una visión de responsabilidad social y ambiental.

13.2. La GIRH dentro de la Ley de Aguas del Ecuador.

A partir de 2014, Ecuador cuenta con la “Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua”, conocida comúnmente como “Ley de Aguas”. El objeto primordial y fundamental de esta ley es:

... “garantizar el derecho humano al agua así como regular y controlar la autorización, gestión, preservación, conservación, restauración de los recursos hídricos, uso y aprovechamiento del agua, la gestión integral y su recuperación, en sus distintas fases, formas y estados físicos, a fin de garantizar el Sumak Kawsay o buen vivir y los derechos de la naturaleza establecidos en la Constitución de la República”.

La Ley de Recursos Hídricos establece la creación de un Sistema Nacional Estratégico del Agua, que es el conjunto de procesos, entidades e instrumentos que permiten la interacción y articulación de los diferentes actores, sociales e institucionales, para organizar y coordinar la gestión integrada del agua, y que facilitan generar mecanismos e instancias para conjugar la planificación y aplicación de la política pública de recursos hídricos con los actores sociales vinculados al agua y los diferentes niveles de gobierno. Todo esto, con el objetivo final de garantizar un buen nivel de vida de los ciudadanos ecuatorianos y extranjeros que habitan en el País.

La Ley de Recursos Hídricos institucionalizó la Autoridad Única del Agua, que derivó a una cartera de estado (con rango de ministerio) de-

nominada la Secretaría del Agua o SENAGUA. La SENAGUA tiene varias competencias y atribuciones, pero destacaremos dos que se relacionan con la ecohidrología. En el artículo 18 de las competencias y atribuciones de la Autoridad Única del Agua en el literal (e) se indica que tiene la atribución de:

... “Establecer y delimitar las zonas y áreas de protección hídrica en Ecuador”.

Así mismo, el literal (o) de la mencionada ley, encarga al SENAGUA el:

“Asegurar la protección, conservación, manejo integrado y aprovechamiento sustentable de las reservas de aguas superficiales y subterráneas (...).”

Es en estas dos competencias de la Autoridad Única del Agua, que la ecohidrología puede ser considerada como una herramienta para apoyar sus gestiones.

13.3. Integración de la ecohidrología como herramienta de apoyo a la GIRH en el contexto jurídico Ecuatoriano.

Como hemos visto, Ecuador cuenta con un marco legal muy alineado con la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. El manejo del agua tuvo un impulso sin precedentes a partir del “Plan Nacional del Buen Vivir” entre los años 2013 – 2017, y en la actualidad presenta nuevos retos y metas en el Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021, denominado “Toda una Vida”. Este renovado plan busca promover la garantía de derechos durante todo el ciclo de vida de los ecuatorianos. El plan tiene propuestas muy ambiciosas relacionadas con el recurso hídrico, entre las que podemos citar la misión “Agua y Saneamiento para Todos” o la propuesta del “Plan Nacional de Riego” con una visión de 20 años. El reto, aho-

ra, es vincular efectivamente a la ecohidrología como herramienta de apoyo a la GIRH.

La ecohidrología es una disciplina nueva que relaciona a la hidrología con la ecología. De una manera muy general, la ecohidrología ofrece una gama de herramientas para apoyar a la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) muchos de los cuales han sido descritos en este texto. Las herramientas generadas por la ecohidrología, se basan en el conocimiento a profundidad de las sinergias existentes entre el ciclo hidrológico y los procesos bióticos que ocurren dentro de una cuenca hidrográfica. Sus preceptos están fundamentados en el hecho de que, al modificar un proceso hidrológico, existirá un efecto positivo o negativo en su biota relacionada y viceversa; esta relación es conocida como “regulación dual”. El campo de acción de la ecohidrología se aplica desde lo molecular hasta los límites de la cuenca hidrográfica, por tal motivo, la ecohidrología puede ser aplicada, directa o indirectamente, por cualquier componente de la sociedad desde tomadores de decisión, funcionarios encargados del manejo de cuencas hídricas para el uso del agua de consumo, de riego, industrial, acuícolas, centros de investigación, etc.

Los límites de intervención de la ecohidrología están dados, de un lado, por la capacidad natural de recuperación de una cuenca hidrográfica (considerando sus aspectos hidrológicos, ecológicos y socio-económicos) ante afectaciones externas; cuando esta capacidad de recuperación natural no es factible, se pueden utilizar las herramientas de ecohidrología. Así mismo, cuando dichas herramientas no alcanzan para la recuperación del ecosistema,

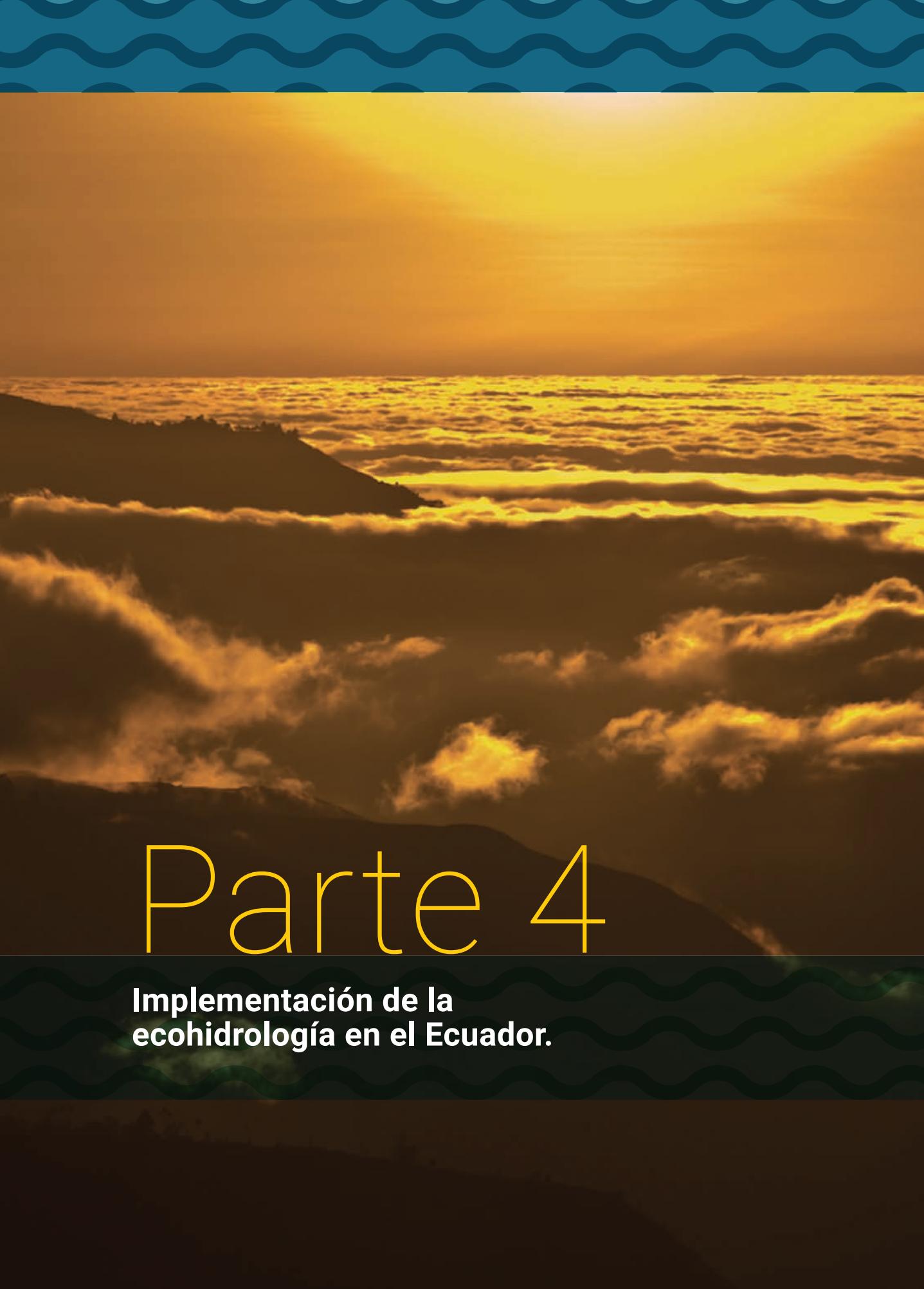
se puede utilizar la ingeniería, con el propósito de lograr los fines de recuperación del sistema ante intervenciones externas.

Decir que una iniciativa de pequeña, mediana o gran escala tenga un enfoque ecohidrológico, significa que ha considerado la doble regulación de los factores hidrológicos y ecológicos y que, además, se ha enfocado en obtener resultados positivos en los cinco parámetros multidimensionales que utiliza la ecohidrología: 1) agua en cantidad y calidad, 2) mejoras en la diversidad biológica, 3) generación de nuevos y mejores servicios ecosistémicos, 4) aumento de la capacidad de resiliencia del sistema ante factores externos negativos, como el cambio climático, y, finalmente, 5) la integración de los aspectos culturales y sociales relativos al manejo de recursos hídricos. De esta manera, el enfoque ecohidrológico puede de ser asumido por un país mediante una política de estado, por gobiernos provinciales, regionales y locales, e incluso por iniciativas privadas (ver Figuras 3.1. y 3.3. sobre regulación dual en el capítulo 3).

Con lo indicado anteriormente, el reto, ahora, es la inclusión de la ecohidrología dentro del marco jurídico nacional de manejo del agua, como una posibilidad de alcanzar las metas que en la actualidad atañen a la gestión de nuestros recursos hídricos. La sociedad civil es responsable y copartícipe de que esto suceda y debemos vigilar que las autoridades cumplan las solicitudes de sus mandantes.

Referencias

- Constitución de la República del Ecuador, (2008).
Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, (2014).
Registro Oficial del Ecuador, (2014)



Parte 4

**Implementación de la
ecohidrología en el Ecuador.**



Sitio Demostrativo de Ecohidrología Paltas-Catacocha, Ecuador. Foto: Marco Albarracín

Capítulo 14

Sitio demostrativo de ecohidrología Paltas – Catacocha.

14.1. Antecedentes

En la introducción del libro habíamos hablado de una paradoja que ocurre en Ecuador puesto que la ecohidrología es una disciplina de reciente desenvolvimiento en nuestro medio, aunque se viene realizando desde tiempos ancestrales. Esta situación es claramente palpable en el sistema de manejo de recursos hídricos del Cantón Paltas, provincia de Loja, al sur del Ecuador, como lo cuenta el autor invitado, Galo Ramón.

En la actualidad, aunque se ha avanzado mucho, la población de Paltas es una de las más desfavorecidas, a nivel nacional, en lo que respecta al abastecimiento de agua para consumo humano. En el año 2001, en la ciudad de Catacocha, cabecera cantonal del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Paltas, se llegó a la crisis de limitar la distribución de líquido vital a solamente 1 hora de agua por día.

Históricamente hablando, el problema de recursos hídricos, para actividades cotidianas de la población, se originó cuando en 1860 (36 años después de la declaración de Catacocha como cantón) se drenó y desecó la más grande de las lagunas artificiales construidas por los paltas y que se conocía como la Laguna de Catacocha¹. En ese lugar, ahora se encuentran un convento, el mercado municipal, unidades educativas y casas antiguas asentadas en parte de lo que actualmente es el centro de la ciudad (Ramón, 2017a).

Posteriormente, entre 1948 y 1958, se procedió al drenaje de la segunda laguna, importante por su tamaño, ubicada en las faldas del cerro Pisaca. En el terreno desecado de la laguna de Pisaca, se efectuaron principalmente prácticas privadas de ganadería y agricultura, e incluso, en algunas ocasiones, se llenaba esta laguna para producción de peces, pero debido a que era únicamente una laguna estacional, su desecación fue permanente tras destruir las estructuras que permitían la retención del agua. Estas dos lagunas, retenían las precipitaciones que, al final, aportaban hidrológicamente con agua superficial y subterránea a los riachuelos que conforman la micro cuenca hidrográfica del río San Pedro Martir.

Entre 1965 y 1968, se plantaron 300 ha de eucalipto en la microcuenca con la intención de generar cobertura vegetal para protección de fuentes hídricas. Empero, no se realizó ningún estudio que demuestre la efectividad del eucalipto para poder retener agua, o que por el contrario aporte al problema, puesto que, eventualmente, también podría consumirla en grandes cantidades (ver por ejemplo Huber *et al.*, 2010). En este mismo período, entre los años 1967 y 1969, se produjo en la zona de Loja un prolongado estiaje que ocasionó una de las emigraciones más grandes de la provincia por las condiciones extremas de escasez de líquido vital (CAN, 2009).

¹ De acuerdo al historiador Ramón (2017a) la Gran Laguna de Catacocha (Cata=Gran y Cocha=Laguna) fue el humedal más grande construido por los paltas hacia el año 900 D.C. justo en el centro de la ciudad del mismo nombre. El autor indica además que en las Actas del Cabildo hasta el año 1961, aún quedaban vestigios de la Laguna de Catacocha, pero posteriormente se construyó en ese sitio un convento, un mercado y casas del pueblo.



Autor invitado

Galo Ramón Valarezo, , Quito - Ecuador ☐ garaval@yahoo.com

Recuperación de saberes ancestrales de los Paltas para el manejo del agua en Catacocha.

Catacocha se caracteriza por una alta variabilidad climática por estar situada en una transición entre la costa húmeda influida por la corriente de El Niño y el desierto peruano, influido por la corriente de Humboldt. En la zona llueve solamente a inicios de año, entre los meses de enero a abril, cuando influye la corriente de El Niño. Se trata de un patrón muy variable que puede producir eventos extremos, grandes sequías y fuertes "niños", matizados por años irregulares, con lluvias concentradas en un solo mes y una enorme irregularidad en los tres restantes. Estas características se agravaron en los últimos años, como un resultado acumulado de la deforestación, la erosión de los suelos y el calentamiento global. En estas condiciones, han disminuido o colapsado las vertientes, produciéndose, en cadena, la desaparición de las pequeñas huertas familiares que proveían la canasta básica y se ha tornado más riesgosa la agricultura y la producción pecuaria, que son las principales actividades económicas de la zona.

Como respuesta a estos problemas, se han buscado soluciones convencionales, como la instalación de sistemas de riego que, por la abrupta topografía del territorio, la escasez de agua y su elevado costo, tienen una capacidad muy limitada. Una alternativa con mayor potencialidad ha sido recurrir a los saberes ancestrales de los paltas, pueblo originario que habitó la zona desde hace más de dos mil años y que había desarrollado un sofisticado manejo de la humedad, que lamentablemente se perdió por el impacto colonial: la acción combinada de la religión cristiana que persiguió a los chamanes que dirigían los rituales de predicción de las lluvias, la apropiación de la tierra y las aguas de los indígenas por los hacendados, la enorme disminución de la población, el abandono de las prácticas de manejo ancestrales e incluso su desprecio.

El sistema desarrollado por los paltas en el pasado aborigen, era un sistema apropiado a las características ambientales y al funcionamiento del ciclo hidrológico de la zona para manejar la recarga de los acuíferos, para disminuir la fuerte evapotranspiración que produce la acción combinada del sol y de los vientos durante nueve meses, para controlar la erosión y la fuerte escorrentía del agua en los suelos y drenajes. A la par, desarrollaron sistemas de riego y sistemas agroforestales para conservar la humedad en las parcelas agrícolas. Todo ello fue sostenido con una fuerte y eficiente organización de la sociedad, para construir y mantener las obras; y crearon un discurso cultural contenido en sus mitos, relatos, ritualidades, normas y principios que, a la vez que explicaban el funcionamiento de los ciclos hidrológicos, servían para normar el buen uso del agua, el reparto equitativo y la responsabilidad individual y colectiva en la protección de este patrimonio. Estos diversos elementos del sistema fueron integrados en el ordenamiento territorial del espacio, en los calendarios rituales y en el manejo del poder.

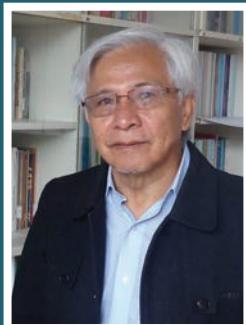
La recarga de los acuíferos fue propiciada, con la construcción de humedales de altura (cochas en kichwa), para captar agua lluvia y con una celosa protección del bosque. Controlaron la escorrentía, con la construcción de numerosos muritos de piedra en el inicio de las quebradas (tajamares) que, adicionalmente, estimulaban el crecimiento de una vegetación protectora en estos drenajes y la construcción de terrazas en los terrenos y en los bordes de las quebradas para controlar la erosión. Para el riego, crearon reservorios de piedra (denominados en la zona "pilancones") y realizaron el riego en surcos, siguiendo las curvas de nivel. Para mantener la humedad en las parcelas, crearon la "terrazas hundidas", terrazas de cultivo, pero sobre todo, desarrollaron la huerta agroforestal, que es un sistema complejo de hasta 50 especies de plantas de diversa altura y características que imitan al bosque. El

viento fue controlado con barreas vivas, muros de piedra y zanjas. Los mitos y leyendas contenían prohibiciones y sanciones para quienes atentaban contra estas obras; en tanto los rituales predecían las lluvias, movilizaban a la población de manera organizada para el trabajo en mingas y establecían una relación respetuosa con la naturaleza, deificada en cerros, lagunas, arcoíris y animales rituales (Ramón, 2007).

Un mito, “el robo del torito Cango”, buscaba explicar la perplejidad de los paltenses frente a los cambios producidos en la colonia, que destruyeron parte del sistema. “El regreso del torito Cango” es la nueva creación que sirvió para animar a los paltenses a recuperar y potenciar el antiguo sistema. Hoy se está avanzando en este propósito, con una amplia alianza local, y propiciando un productivo diálogo de saberes entre el conocimiento ancestral y el contemporáneo.

Referencias

Ramón, G. (2007). Nueva Historia de Loja, Vol.I, Quito, Ecuador



Galo Ramón Valarezo es historiador ecuatoriano, Máster en Historia Andina por la FLACSO y Doctor en Historia Latinoamericana por la Universidad Andina Simón Bolívar. Ha escrito 18 libros y más de cien artículos en diversos medios nacionales y mundiales. Su libro “La Resistencia Andina: Cayambe 1500-1800” fue premiado por la Conferencia Latinoamericana de Historia, como el mejor libro de 1989. Se ha desempeñado como docente en numerosas universidades y postgrados latinoamericanos y ha dictado cientos de conferencias en temáticas históricas, desarrollo, movimientos sociales y metodologías participativas. Actualmente, es Director Ejecutivo de COMUNIDEC.

Ante esta agravada problemática de escasez de agua, la sociedad civil motivó al municipio para que tome la iniciativa de restaurar los “humedales artificiales” o “cochas”, que fueron utilizados por la cultura pre-Inca de los paltas (como lo explicó el autor invitado Galo Ramón), a fin de favorecer la recarga de acuíferos y que en el tiempo de la colonia española y posterior período republicano, fueron desecados por propietarios privados, como se explicó anteriormente. La desecación de las cochas produjo una reducción en la capacidad de recarga de los acuíferos en la zona, provocando que el recurso agua escasee o en algunos casos se pierda del todo.

Con la restauración y creación de las cochas, denominadas en la actualidad por la población local como “albarradas”², la recarga de los acuíferos produjo una mayor disponibilidad de agua cruda, la misma que es potabilizada para consumo humano. Adicionalmente, se han construido varios pequeños y medianos diques o “tajamares” para la reducción de la escorrentía en los riachuelos.

.....
2 De acuerdo al diccionario de la lengua española (2001, 22^a edición), la palabra “albarrada” proviene del vocablo árabe hispano *albarráda* y éste, a su vez, del árabe clásico *barradah* que literalmente significa: que refresca. La palabra es sinónima de “alcarraza” que es una vasija de arcilla porosa y poco cocida que tiene la capacidad de rezumar o filtrar cierta porción de agua y cuya evaporación enfriá la mayor cantidad del líquido que queda contenido.



Como consecuencia de estas prácticas, se ha evidenciado la recarga del sistema de agua subterránea en la zona, aunque no se han cuantificado de una manera técnica el balance hídrico de la cuenca ni tampoco los niveles de recarga de los acuíferos.

A partir de la experiencia y resultados obtenidos en Paltas, en muchos otros sitios del país, especialmente en las provincias de Loja, Guayas y Manabí, se ha replicado el modelo de manejo de recursos hídricos de cuencas hidrográficas con la recuperación de saberes ancestrales; pero, adicionalmente, se consideraron otros aspectos como la restauración de hábitats y la inclusión de la sociedad civil en el manejo, produciendo, con el tiempo, una gestión que integra los aspectos esenciales para ser considerados como ecohidrológicos.

Los frutos de estas prácticas han sido muy satisfactorios y alentadores. Se destaca el primer puesto del Premio Verde del Banco del Estado de Ecuador que fue entregado a Paltas por el manejo de sus recursos hídricos en la microcuenca del río San Pedro Mártir, y posteriormente el reconocimiento de la UNESCO-PHI como sitio demostrativo de ecohidrología. Sin embargo, lamentablemente no se ha producido un adecuado seguimiento técnico y científico que produzca valoraciones cualitativas y cuantitativas de los aspectos hidrológicos y ecológicos, relacionados a la ejecución de la creación de las albardadas y tajamares.

Al momento de buscar información, los datos son muy dispersos y no gozan de un adecuado apoyo técnico, que aporten credibilidad y seguridad para usarlos de una manera técnica y científica. Por ejemplo, como se mencionó anteriormente, en la cuenca del río San Pedro Mártir, sitio en donde se encuentra la reserva y laguna Pisaca, no se tiene un balance hídrico que sirva como base de partida para la cuantificación de resultados que indiquen lo positivo de las acciones de retención de agua en la cuenca. Si bien los resultados

pueden ser palpables en la práctica, la valoración científica les dota de solidez y credibilidad a las acciones realizadas y genera una suerte de replicabilidad del modelo de manejo.

Sin duda, el reconocimiento del ejemplo de Paltas–Catacocha, por parte del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO, para que sea integrado a su red mundial de sitios demostrativos de ecohidrología, es un motivo de satisfacción. No obstante, también es importante afrontar el reto de dar un “salto cualitativo” mediante la producción de datos científicos y convertir al ejemplo de manejo de la cuenca del Río San Pedro Mártir en un referente de gestión, basado en la generación de investigación científica y de un monitoreo técnico y planificado, a largo plazo, de las interrelaciones que existen entre las acciones ejecutadas y los indicadores de: (1) agua en calidad y cantidad, (2) biodiversidad de hábitats y especies, (3) generación de servicios ecosistémicos, (4) regeneración de la capacidad de resiliencia del sistema, y (5) la recuperación de los saberes culturales y ancestrales en la zona.

Con el objeto de generar un hito entre el antes y después de la declaratoria de sitio demostrativo de ecohidrología Paltas – Catacocha, esta sección pretende documentar el proceso de postulación, adjudicación y creación del Sitio Demostrativo de Ecohidrología de Paltas-Catacocha. En este sentido, presentamos a continuación la información técnica de la micro cuenca San Pedro Mártir, así como también una reseña histórica del proceso.

14.2. Descripción técnica del sitio demostrativo de ecohidrología Paltas-Catacocha.

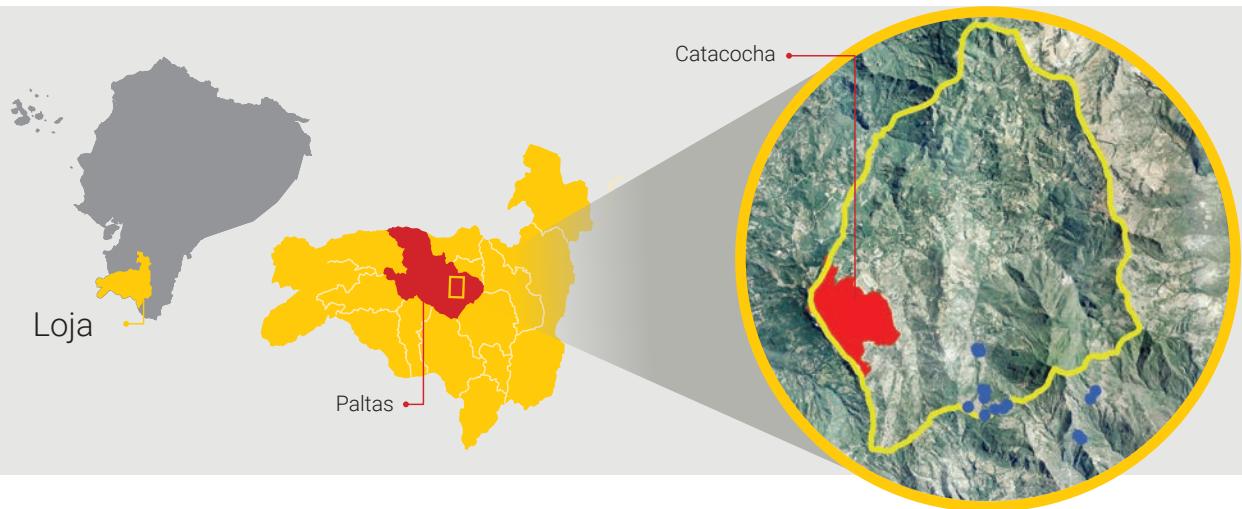
A continuación, se presenta la información más relevante de lo que fue el expediente técnico que se presentó a la UNESCO, con el fin de incluir a Paltas-Catacocha en la Red Mundial de Sitios

Demostrativos de Ecohidrología del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO. El nombre propuesto para el sitio demostrativo fue: “Recuperando el enfoque ecohidrológico ancestral de los Paltas para abastecer de agua a la ciudad de Catacocha en el sur de Ecuador”. El sitio demostrativo se encuentra en la micro-cuenca del río San Pedro Mártir, que se localiza en el cantón Paltas, en la provincia de Loja, al sur del

Ecuador (ver Figura 14.1.), en las coordenadas geográficas Lat. $-4,05^{\circ}$; Long. $-79,60^{\circ}$. Tiene una superficie total de 3.148 ha y un rango altitudinal que oscila entre los 1.320 a 2.413 m.s.n.m. En la actualidad, esta cuenca provee el 70% del agua a la ciudad de Catacocha. Las precipitaciones ocurren entre noviembre y mayo y no superan los 250 mm.

Figura 14.1. Ubicación geográfica de la micro-cuenca del río San Pedro Mártir.

Fuente: Archivo del GADC Paltas



Como se explicó anteriormente, el sistema hidrológico ancestral de los paltas, basado principalmente en la recarga de acuíferos, mediante la construcción de humedales léticos artificiales, fue transformado a tierras agrícolas y ganaderas, en el período posterior a la colonización española y la etapa republicana (CAN, 2009). Esta situación dio como resultado la disminución de la recarga de acuíferos y la consecuente problemática, originada en la dificultad de abastecimiento de agua para la comunidad y para el riego de la zona. La recuperación y aplicación de estos sa-

res ancestrales, sumados a otras gestiones para el manejo de zonas de recarga, han permitido mejorar el abastecimiento de agua de 1 a 6 horas de agua por día.

En la Figura 14.2. se presenta el antes y el después de la restauración de la Laguna Pisaca. Se puede notar la piedra central conocida como “La Tortuga” utilizada por los paltas para determinar la disponibilidad de agua durante el año, mediante las marcas de nivel de acuerdo a las lluvias anuales.



Figura 14.2. La laguna Pisaca, antes y después de su restauración.



Antes: Foto de la Laguna Pisaca en el tiempo en que fue desacuñada y usada como potrero.



Después: Foto de la Laguna Pisaca luego del proceso de restauración y conservación por parte del Municipio de Paltas, Gobierno Provincial de Loja, NCI, COMUNIDEC y varias organizaciones de la sociedad civil.

Fuente: Archivo del GADC Paltas.

En 2004, luego de varios años de investigaciones arqueológicas, organizaciones de la sociedad civil (Fundación COMUNIDEC y el Comité de Gestión de las Cuencas Playas-Catamayo, hoy ASOAGROPISA, GADP Loja), se movilizaron organizadamente para que el municipio de Paltas, convierta en política pública local el proceso de recuperación de dicha cuenca. En el año 2005, impulsaron el proceso de restauración de los humedales. (G. Ramón, comunicación personal, 26 de marzo de 2018). En ese año, NCI adquirió un espacio de terreno en el cual se encontraban evidencias de la cocha más grande denominada actualmente como Laguna Pisaca, e iniciaron un proceso en el cual restauraron toda la zona, con énfasis en la recuperación de la cocha. Al momento, NCI tiene un área de protección de 400 ha, donde se conserva la laguna y se excluyó al ganado vacuno. La recuperación y conservación del humedal artificial y la de los bosques contiguos, produjo como consecuencia una recarga de los acuíferos, ofertando mayor cantidad de agua para uso de la población de Catacocha.

Desde el inicio de recuperación de humedales en el año 2005 (CAN, 2009) hasta el año 2013, en la cuenca del San Pedro Martir se ha construido un

total de 28 albaradas. La capacidad total de almacenamiento de agua de las cochas es de 182.482 m³, con un promedio de 6.517,21 m³. La Laguna más grande es la Pisaca (ver Figura 14.2.), con una capacidad volumétrica de 78.422 m³, y la menor, que se encuentra en una propiedad privada, con 143 m³. El valor de la mediana de este grupo de cochas es de 1.449 m³. De las 28 albaradas, 17 se encuentran en la Reserva Pisaca de propiedad de NCI, y éstas tienen una capacidad de almacenamiento de 149.794 m³; es decir que el 82,1% del almacenamiento de agua, por medio de albaradas, se encuentra en una reserva protegida y manejada por una ONG para el beneficio público. Las demás cochas se encuentran en propiedades privadas (G. Ramón, comunicación personal, 23 de marzo de 2018).

Todas las albaradas tienen plantas gramíneas sembradas en su interior con el objeto de reducir la evapotranspiración del espejo de agua y mantener la humedad. Así mismo, en las riberas de las cochas se han sembrado plantas de tipo arbustivas con el fin de protegerlas y de dificultar el ingreso de ganado para consumir agua; incluso, en algunos casos ha sido necesaria la construcción de alambrado. Adicionalmente, se han dispuesto abrevaderos para el manejo del ganado y protección de las albaradas,

así como también evitar la contaminación de estos sitios por excreciones de animales (G. Ramón, comunicación personal, 23 de marzo de 2018).

Por otra parte, se desarrollaron también pequeños diques a lo largo de los riachuelos y vertientes de la cuenca (ver Figura 14.3.). Estos diques son conocidos en la zona como “tajamares” y tienen el objetivo de disminuir el flujo superficial del cauce. Para el año 2015, en la microcuenca del San Pedro Mártir se han construido un total de 125 tajamares (G. Ramón, comunicación personal, 23 de marzo de 2018). La retención

de agua por la construcción de diques ha permitido el reverdecimiento de las zonas contiguas a los tajamares, con presencia prolongada de, por ejemplo, varias especies de anfibios que en otros momentos aparecían únicamente en temporadas de lluvias (J. Romero, comunicación personal, 21 de junio de 2017).

Adicionalmente, como resultado de la recarga de acuíferos, el agua brota a la superficie en los denominados “ojos de agua” que posteriormente es utilizada para riego por comunidades en las zonas bajas.

Figura 14.3. Tajamares para la reducción de escorrentía y recuperación de hábitat.

Foto: Marco Albarracín



Veremos a continuación, cómo el manejo del agua en la cuenca mediante la construcción de albardadas y tajamares, da la pauta para que la biodiversidad y todos los demás componentes del ecosistema mejoren.

etros multidimensionales WBSR-C” (Agua, Biodiversidad, Servicios ecosistémicos, Resiliencia y Patrimonio Cultural) han sido atendidos por las prácticas ecohidrológicas aplicadas (UNESCO-IHP, 2016). Cuando estas condiciones se dan, se tiene la base de un sistema ecohidrológico.

14.3. Análisis de la aplicación del enfoque ecohidrológico en el Sitio Demostrativo Paltas-Catacocha.

Habíamos indicado anteriormente, que el enfoque ecohidrológico se manifiesta cuando existe “doble regulación” entre los componentes hidrológicos y bióticos, así como también cuando los “paráme-

14.4. Doble regulación.

La construcción de albardadas y tajamares para control del ciclo hidrológico de la microcuenca, son acciones que están consideradas como “manejo del caudal hídrico”. Esta acción, tiene un efecto en la biota (plantas, anfibios, insectos,



aves, etc.) puesto que se dispone de mayor cantidad de agua, y por más tiempo, en los períodos de escasez de lluvias. En el mismo sentido, la siembra de plantas hidrófilas dentro de las albaradas, y la recuperación de la cobertura vegetal con plantas nativas alrededor de las cochas, tienen efectos en la hidrología de la zona, porque permiten mantener la humedad y evitar la evapotranspiración de los cuerpos de agua. De esta manera se manifiesta en el sistema la regulación dual del componente hidrológico y biótico.

14.5. Parámetros multidimensionales (WBSR-C).

Mediante el manejo de la regulación dual de la hidrología y la biota de una cuenca, la ecohidrología busca tener en consideración cinco parámetros multidimensionales WBSR-C (UNESCO-IHP, 2016). A continuación se presenta una descripción de cómo se cumplen con los parámetros multidimensionales de la ecohidrología en el sitio demostrativo de Paltas – Catacocha.

a. Agua

El primer parámetro multidimensional de la Ecohidrología es que, a partir de las acciones con enfoque ecohidrológico emprendidas para el manejo de una cuenca hidrográfica, se evidencie una mejora en la cantidad y calidad de agua. Así, como resultado del manejo del caudal hídrico mediante la construcción de albaradas y tajamares, se evidenció un incremento en la disponibilidad de agua subterránea que luego es extraída mediante bombas en pozos profundos. En los actuales momentos, el 70% del agua usada para el abastecimiento de la ciudad de Catacocha proviene de esta fuente. Según las autoridades de la localidad, en los peores momentos de estiaje, se llegó a una crisis que permitió disponer únicamente de 1 hora de agua al día, pero con la implementación de las albaradas, conservación de bosques, taja-

mares y otras actividades, se logró recargar los acuíferos y disponer de 6 horas de agua por día.

En muestras de agua extraída de pozos profundos y de captaciones superficiales, se obtuvieron resultados de calidad, físicos y químicos, tolerables de acuerdo a los rangos permitidos en normas nacionales (TULAS e INEN 1108). El agua extraída luego de un proceso de potabilización puede ser distribuida en la población de la ciudad. No obstante, muestras tomadas en los pozos de agua en donde se capta el agua cruda, presentan bacterias contaminantes (i.e. coliformes fecales) debido a la presencia de animales cerca de los cauces y zonas de recarga, así como también una deficiente infraestructura de manejo de aguas residuales (Román, 2014).

Por otro lado, algunas de las albaradas, especialmente las de pequeño tamaño y poca profundidad, presentan problemas de afloramiento de algas, debido especialmente a factores relacionados con el estancamiento del flujo, la presencia de concentraciones de nutrientes precursores del crecimiento de producción primaria, como el nitrógeno y el fósforo, y las altas temperaturas e insolación presentes en la zona. Todos estos factores abióticos favorecen el crecimiento no controlado de algas, pudiendo incluso causar problemas de eutrofización en los cuerpos de agua (Albarracín, 2014).

Varios mecanismos ecohidrológicos, como por ejemplo la utilización de humedales artificiales o barreras de borde para la retención de nutrientes, podrían ser utilizados para mejorar la calidad del agua que se acumula en las albaradas. Se deben realizar estudios que den cuenta de la concentración de nutrientes y de las comunidades de algas presentes en cada una de las albaradas.

b. Biodiversidad

En términos de biodiversidad, la microcuenca del río San Pedro Mártir se encuentra ubicada dentro de los sitios de mayor reconocimiento a nivel

mundial por su importancia biológica y de prioridades de conservación. De hecho, el Sitio Demostrativo de Ecohidrología Paltas-Catacocha, se halla dentro de la Reserva de la Biósfera Transfronteriza Bosque de Paz del Programa Hombre y Biósfera (MAB) de la UNESCO. Esta Reserva de la Biósfera es un esfuerzo conjunto entre Ecuador y Perú para la conservación de los recursos naturales y busca ser un modelo de gestión participativa y ciudadana que pueda fortalecer la paz, la sostenibilidad y la conectividad ecológica entre ambos países (UNESCO-CCNN, 2017).

Adicionalmente, el sitio se encuentra ubicado entre los hotspots de biodiversidad Andes Tropicales y Chocó Darién del Oeste de Ecuador (Myers, Mittermeier, Mittermeier, Da Fonseca, & Kent, 2000), y se encuentra específicamente en la Zona de Endemismo Tumbesina. Los 25 hotspots de biodiversidad identificados por Myers *et al.* (2000), son sitios excepcionales en términos de biodiversidad, puesto que ocupan tan solo el 1,4% del total de la superficie terrestre, pero entre todos poseen el 44% de plantas vasculares y el 35% de especies de vertebrados, exceptuando a peces, de todo el planeta.

A más de esto, Catacocha es considerada como una de las 107 Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves en los Andes Tropicales de Ecuador (Boyla & Estrada, 2005). En esta zona, en el año de 1991 se registraron 72 especies de aves, entre las que se encuentran algunas amenazadas de extinción y endémicas de la región tumbesina como *Ortalis erythroptera*, *Hylocryptus erythrocephalus*, *Leptotila ochraceiventris* y *Falco peregrinus* (subespecie cassini), esta última considerada como vulnerable de extinción en Ecuador (Boyla & Estrada, 2005).

En la microcuenca San Pedro Mártir, la mayor parte de su extensión está dedicada a la agricultura y ganadería, empero, se destaca el establecimiento

de una reserva para la protección de biodiversidad, denominada como Reserva Pisaca (nombre tomado del cerro más alto de la cuenca que posee el mismo nombre). En esta reserva se encuentra asentada la laguna más grande de la zona y a la que también se le ha denominado con el mismo nombre, “Laguna Pisaca” (Cueva, 2015).

La recuperación de hábitats en la cuenca ha sido notoria, especialmente en las áreas que han sido utilizadas para la protección y conservación. Adicionalmente, se encuentran zonas en donde se han realizado prácticas de reforestación con especies nativas. La zona mejor conservada en términos de biodiversidad en la microcuenca, corresponde a la parte alta de la Reserva Pisaca, (Cueva, 2015). En este sector se han registrado 28 especies de árboles y arbustos de un total de 37 spp registradas en la Reserva. En la zona existen especies representativas de la región tumbesina, como *Jacaranda spurrei*, *Tabebuia chrysanthia*, *Tripalis cummingiana*, *Caesalpinea spinosa*, *Oreopanax* sp. y *Clusia* sp. (Boyla & Estrada, 2005; Cueva, 2015).

La recuperación y construcción de albaradas y tajamares, también han fungido como zonas de micro-hábitats, en donde se ha evidenciado la presencia de especies de anfibios, macro-invertebrados, y aves; que en otros momentos aparecían únicamente en temporadas lluviosas (J. Romero, comunicación personal, 21 de junio de 2017).

En resumen, el establecimiento de la Reserva Pisaca, como zona de protección y conservación, ha favorecido de manera positiva a la recuperación de la biodiversidad. Es importante recalcar, como se mencionó anteriormente, que la microcuenca del San Pedro Mártir se encuentra ubicada en la zona de endemismo tumbesino, y que la conservación de parches de bosque es fundamental para asegurar la conectividad de remanentes boscosos con fines de intercambio genético (Van Dyke, 2008). A continuación se verá como la re-



cuperación de ecosistemas y hábitats provee beneficios a la comunidad, mediante la generación de servicios ecosistémicos.

c. Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos se definen como los múltiples beneficios que los ecosistemas y su biodiversidad proveen a la humanidad; éstos incluyen: (1) Producción de bienes o servicios de aprovisionamiento, como alimentos, agua, medicinas, materiales para construcción y artesanías, energía y recursos genéticos. (2) Servicios de regulación o aquellos que se generan por los procesos que suceden en los ecosistemas, como el secuestro de carbono, control de catástrofes o eventos extremos, regulación del clima local y la calidad del aire, purificación de aguas residuales, polinización, control biológico de plagas, entre otras. (3) Servicios culturales que son aquellos

beneficios no materiales que la gente recibe del contacto con los ecosistemas como la recreación, la salud física y mental, el turismo, la apreciación estética y la inspiración para la cultura, el arte y el diseño, y las experiencias espirituales más la apropiación o identidad del sitio. Finalmente, (4) Las funciones de soporte que aseguran la posibilidad de tener hábitat para especies y el mantenimiento de la diversidad genética (Carpenter *et al.*, 2009; MEA, 2005; TEEB, 2010).

La gestión enfocada a la preservación de recursos hídricos dentro de la microcuenca del río San Pedro Martir, en general, y de la Reserva Pisaca, en particular, han generado la potenciación de varios servicios ecosistémicos para beneficio de la comunidad que habita en la zona. En la Tabla 14.1. se puede apreciar una lista de los servicios ecosistémicos más notorios y que sobresalen como resultado de la gestión de la microcuenca.

Tabla 14.1. Servicios ecosistémicos identificados en la microcuenca del río San Pedro Martir.

Servicios de aprovisionamiento	Servicios de Regulación	Servicios Culturales	Servicios de soporte
Agua dulce	Moderación de fenómenos extremos como sequías	Herencia cultural	Producción primaria
Materias primas	Polinización	Identidad de Sitio	Hábitat para especies
Medicinas	Reciclaje de nutrientes	Experiencia espiritual y sentimiento de pertenencia	Conservación de la diversidad genética
Frutos y alimentos del bosque	Preservación de la erosión y conservación de la fertilidad del suelo	Apreciación estética e inspiración para la cultura el arte y el diseño	
		Actividades de recreo y salud mental y física	
		Turismo	

Fuente: (Carpenter *et al.*, 2009; MEA, 2005; TEEB, 2010)

La construcción de albardadas y conservación de bosques en la parte alta de la microcuenca del Río San Pedro Mártir, permiten recuperar y aumentar el servicio ecosistémico de producción de agua dulce. El mantenimiento de agua en el subsuelo, evita la evaporación manteniendo el recurso disponible por mayor tiempo en la época de estiaje. Los procesos de infiltración, percolación e interflujo, permiten que el agua captada en los acuíferos brote a la superficie a manera de “ojos de agua” y de caudal base o agua superficial en riachuelos y quebradas.

La agricultura es la principal actividad productiva en la zona con un 67,7% de la población que se dedica a la actividad agropecuaria (CAN, 2009). En el sur occidente de Ecuador (provincia de Loja) existe una diversidad considerable de usos de las plantas nativas, principalmente como ma-

teriales de construcción, medicina y alimentos (Kvist, Aguirre-Mendoza, & Sánchez, 2006).

Existen varios productos que se obtienen en la zona, pero en los últimos años se ha destacado la producción del Vainillo Paltense o Tara (*Caesalpinea spinosa*) (ver Figura 14.4.). Esta planta Fabácea, tiene varias características tanto ornamentales como de producción de taninos (NCI, 2016). Luego de un proyecto liderado por la sociedad organizada de la comunidad y NCI con apoyo de la Cooperación Belga en la zona, se exportó entre 2017 y 2018 más de 14 toneladas de semilla de Tara al Perú (W. Collaguazo, comunicación personal, 21 de junio de 2017). Estas semillas sirven como materia prima en la industria para la producción de goma de tara que es un producto de gran importancia en la industria alimenticia y de taninos para curtientes.

Figura 14.4. El Vainillo Paltense o Tara (*Caesalpinea spinosa*) es uno de los principales productos agrícolas producidos y cosechados en la Reserva Pisaca. Se constituye como un producto de exportación luego del trabajo de asociaciones comunitarias de agricultores y recolectores de la zona.



Fotos: Marco Albarracín



En suma, varios son los servicios ecosistémicos que se han desprendido de la gestión con enfoque ecohidrológico en la microcuenca del Río San Pedro Mártir, pero sin duda se destacan: (1) la disponibilidad de agua para consumo humano y riego, (2) los materiales y recursos como alimento, semillas y medicinas que se obtienen de las zonas protegidas y de sistemas agroforestales, (3) la recuperación de valores y apropiamiento de la comunidad por el sentido de sitio y de identidad ante la cultura ancestral Palta, y (4) las posibilidades de turismo por la recuperación del paisaje en la zona.

d. Resiliencia

La resiliencia es un concepto que se define como la capacidad de adaptación y recuperación de un sistema, cualquiera que éste fuera, ante afectaciones externas o internas (Holling, 1973). En términos ambientales, la resiliencia es la capacidad de un ecosistema para adaptarse ante adversidades y de recuperarse de tal forma que pueda seguir manteniendo sus movimientos de energía (por ejemplo dentro de la cadena trófica, o en la relación presa-predador) y de materiales (verbrigacia los ciclos de agua y biogeoquímicos). A consecuencia de esta capacidad del sistema se asegura la producción de materia viva (vegetales y animales) o biomasa. Adicionalmente, el ecosistema produce servicios ambientales para seguir proveyendo beneficios a la comunidad, como se explicó en el párrafo anterior.

Por otra parte, la resiliencia puede ser analizada desde el punto de vista de la capacidad que presenta una población para adaptarse a situaciones catastróficas. La comunidad de Paltas, llegó a un momento de crisis con respecto al aprovisionamiento de agua, pero está dando muestras de recuperación, basada en la participación social y el uso de saberes ancestrales, como forma de enfrentar las catástrofes. Como se explicó anteriormen-

te, la ciudad de Catacocha llegó a contar con únicamente 1 hora de agua por día. Posterior a este momento, sobrevino una oleada de fenómenos migratorios, cuando muchos de los habitantes de la zona se despojaron de su terruño y se instalaron en lugares distantes del país o el extranjero. Sin embargo, muchos se quedaron y, con el apoyo de organizaciones y de personas originarias de Paltas, que formaron grupos y asociaciones para apoyar a quienes optaron por quedarse, se logró mejorar las condiciones de abastecimiento del líquido vital, tanto para consumo humano, como para el riego en actividades agrícolas, que, además, son las más importantes en el desarrollo económico-social de la zona. El haber conseguido que el sistema de abasto de agua llegue a valores superiores a las 6 horas por día, en época seca, no es la mejor situación, pero demuestra la capacidad de adaptación y recomposición social de los paltenses ante fenómenos adversos.

Aunque no se ha cuantificado, de una manera técnica y sistemática, el impacto de cómo las actividades de manejo anteriormente descritas han influido en la capacidad de resiliencia de la cuenca del Río San Pedro Mártir; sin duda los resultados obtenidos son la prueba de que los emprendimientos realizados por las autoridades y la comunidad en general, han mejorado la relación entre el hombre y la naturaleza.

e. Patrimonio Cultural

El acervo cultural de Paltas se fundamenta en una larga y dinámica historia de asentamientos humanos. En estos territorios se encuentran vestigios de culturas aborígenes que poblaron el lugar hace más de 2000 años. Posteriormente, los Incas, en el proceso de expansión del Tahuantinsuyo, ocuparon el territorio, trayendo consigo el intercambio de saberes y tecnologías, pero según historiadores, los paltas no se doblegaron fácilmente ante el plan imperialista Inca.

Existen varios vestigios de la presencia de las culturas aborígenes en la zona. En museos de la ciudad de Catacocha existen piezas asociadas a la cultura de los paltas. Son notorios los petroglifos

con motivos relacionados a objetos de la naturaleza y a deidades de la zona como se puede observar en la Figura 14.5.

Figura 14.5. Particularidad de un petroglifo asociado a la cultura aborigen de la zona de Paltas.



Fuente: (CESMAT, 2018)

El período histórico de invasión Inca no fue muy largo y le subsiguió la conquista española. La ciudad de Catacocha, que es la cabecera cantonal del GADM Paltas, es uno de los cantones más antiguos de lo que ahora es Ecuador, puesto que fue fundada en el año de 1824. La arquitectura característica de iglesias (ver Figura 14.6.), con-

ventos y casas coloniales, denota las particularidades de construcción y costumbres típicas de la cultura española. En la actualidad, el fenotipo de los paltenses, demuestra el mestizaje y la gran diversidad de culturas que se han asentado en este sitio.



Figura 14.6. Iglesia matriz de la ciudad de Catacocha.

Foto: Marco Albaracín.

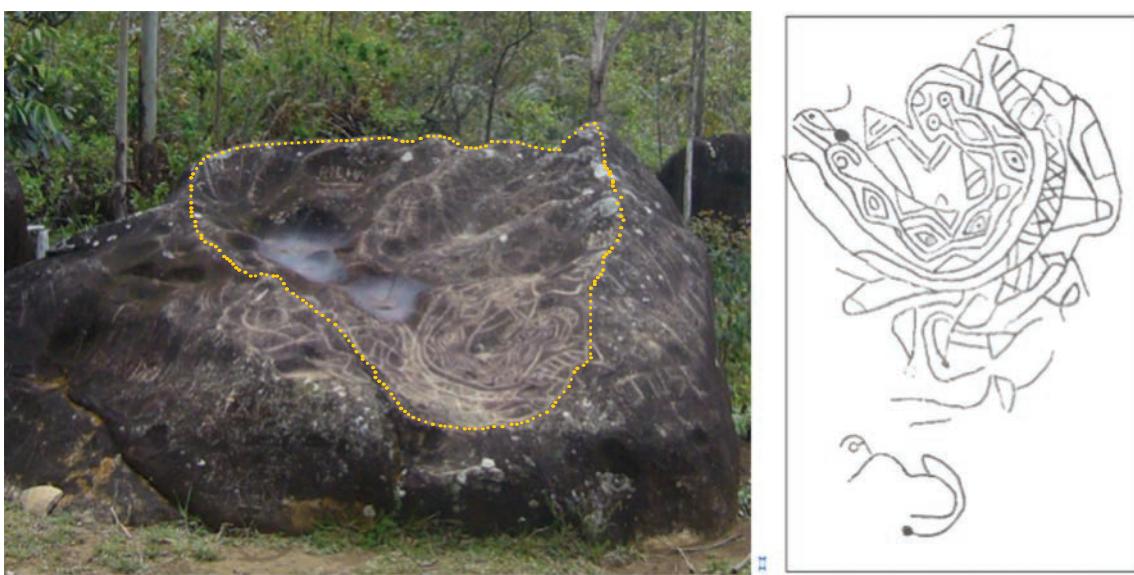


Toda esta riqueza histórica fue rescatada por el Gobierno Nacional, con el reconocimiento de Catacocha como Patrimonio Cultural de la Nación, el 25 de mayo de 1994.

El reconocimiento de la tecnología, para el manejo de los recursos hídricos, utilizada por los ancestros aborigenes de la zona, ha originado un gran sentido de identidad entre los paltenses. La recuperación de los saberes ancestrales de los paltas y sus técnicas de manejo del sistema hídrico, son la piedra angular de la denominación de la microcuenca del río San Pedro Mártir como sitio demostrativo de ecohidrología. Según Ramón (2017b), existen petroglifos en la zona (ver Figuras 14.7. y 14.8.) que indicarían, a manera de mapas o maquetas, que los paltas conocían y dominaban el manejo del agua en las cuencas, mediante la creación e interconexión de humedales.

En la zona se han encontrado varias rocas cavadas con pequeños orificios y conectadas entre sí. Según (Ramón, 2017b) éstas serían evidencias del conocimiento y la importancia que daban los paltas a mantener las lagunas conectadas entre sí, para la optimización del recurso. La Figura 14.8. indica lo que, según el historiador Galo Ramón, sería una suerte de lagunas interconectadas.

Figura 14.7. Representación zoomorfa de una serpiente. Petroglifo de Anganuma, Cantón Quilanga. La linea punteada indica lo que podría interpretarse como una máqueta de cuenca hidrográfica con humedales en su interior.



Fuentes: (CESMAT, 2018 ; Ramón, 2017b)

Figura 14.8. Excavaciones en roca que representarían una inter-conexión entre lagunas.



Fuente (Ramón, 2017b)

La interpretación dada a los petroglifos, fue utilizada posteriormente para buscar en la zona evidencias de lagunas desecadas, con el fin de proceder a su restauración. Ver fotos de la Figura 14.2., en donde se visualiza a la laguna Pisaca, anterior a la restauración.

En resumen, el reconocimiento de los saberes ancestrales de la cultura de los paltas, fue adecuadamente utilizado para iniciar todo un proceso de manejo del sistema hídrico en Catacocha. El reconocimiento cultural en el manejo de los recursos naturales en Paltas-Catacocha está en concordancia con lo expuesto por Mitchell (2002) y en el mismo sentido, como lo explica Galo Ramón, en su aporte como autor invitado, quienes recalcan la importancia de la integración del aspecto cultural para generar conciencia y apropiamiento de la comunidad, en las prácticas de gestión de los recursos del ambiente.

14.4. Reseña histórica de la creación del Sitio Demostrativo.

En Junio de 2017, el GADC Paltas, en la alcaldía del Arq. Ramiro Maita Sánchez (autor invitado), ganó el 1er Puesto del Grupo II del Premio Verde otorgado por el Banco del Estado (BDE),

con el proyecto titulado: “Plan de Manejo de la Microcuenca San Pedro Martir y de la Reserva Pisaca, como Zona de Recarga de las Fuentes que Abastecen de Agua para Consumo Humano a la Ciudad de Catacocha”. La propuesta demostró poseer un alto desempeño ambiental y social en su postulación. Se destacó que el proyecto tenía un vínculo excepcional con los conocimientos de indígenas anteriores a los Incas, llamados los Paltas, y demostró tener una clara participación social, al incluir a tomadores de decisión, organizaciones de la sociedad civil, estudiantes de escuelas y colegios de la ciudad, organizaciones no gubernamentales, entre otros.

Las prácticas ejecutadas evidenciaron estar acordes con el enfoque ecohidrológico, al momento de manejar los recursos hídricos, mediante la construcción de albarradas y tajamares y, mediante estas acciones, obtener resultados positivos en cuanto a cantidad y calidad de agua, mejoras en la biodiversidad, mediante la protección de las zonas circundantes a las albarradas, generación de servicios ecosistémicos como el proyecto de la tara o vainillo (*Caesalpinea spinosa*), y mejoras en la capacidad de resiliencia de los ecosistemas ante las afectaciones humanas y climáticas.



Posteriormente, en junio de 2017, en el Foro del Agua de la ciudad de Catacocha en el cantón Paltas, al mismo momento en que se difundió el logro del premio verde, se mocionó y aprobó el presentar la experiencia de manejo de recursos hídricos de la Microcuenca del río San Pedro Mártir, para que sea considerada como sitio demostrativo de ecohidrología ante el Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO.

El 20 de septiembre de 2017, la corporación Naturaleza y Cultura Internacional (NCI) firmó una adenda al Acuerdo de Cooperación Institucional entre el Municipio de Paltas y NCI; teniendo como intención que los principios de Ecohidrología de la UNESCO-PHI, se insertasen en la planificación local a largo plazo y que NCI proporcionaría apoyo técnico y económico al municipio independiente-mente de la dinámica y los cambios políticos. Posteriormente, NCI contrató los servicios de la com-pañía INGERALEZA S.A. de Quito para que se encargue de la preparación del expediente técnico y

la postulación del sitio demostrativo ante la UNESCO-PHI.

El 24 de noviembre de 2017 mediante oficio Nro. 01279 – AGADCP -2017, el Arq. Ramiro Maita Sánchez, como Alcalde del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Paltas de Loja, se puso en contacto con el Programa de Ecohidrología de la UNESCO-PHI, expresó el interés en formar parte de la Red de Sitios Demostrativos de Ecohidrología y, adicionalmente, manifestó su compromiso de incluir el Enfoque Ecohidrológico en la Gestión Integrada de Recursos Hídricos de la Microcuenca San Pedro Mártir y la Reserva Pisaca, como fuente principal de agua para la ciudad de Catacocha.

La postulación de Paltas - Catacocha fue preparada y enviada por INGERALEZA S.A., en noviembre de 2017, para que sea revisada por el Comité Científi-co Asesor de Ecohidrología de UNESCO-PHI; se generaron observaciones a la postulación y éstas fueron clarificadas por el equipo consultor.



Vista aérea Laguna Grande. Foto: César Aguirre Torres

Importancia del apoyo político al manejo integrado de recursos hídricos en Paltas.

Nadie puede ser feliz sin participar en la felicidad pública, nadie puede ser libre sin la experiencia de la libertad pública, y nadie, finalmente, puede ser feliz o libre sin implicarse y formar parte del ejercicio transparente de la política, que en esencia es SERVIR A LA COMUNIDAD.

La práctica ancestral de los paltas de manejar los humedales les permitió hacer frente a las largas sequías que ha soportado, por siglos, la parte sur del Ecuador. Al GAD de Paltas, el hecho de retomar este modelo de manejo, le ha significado ayudar a paliar la escasez de agua en la ciudad de Catacocha. En cuanto al suministro del líquido vital, antes de iniciar la reconstrucción del sistema de manejo de humedales, la ciudad llegó a tener hasta 30 minutos de agua por día, que posteriormente pasó a incrementarse en 4 horas en la etapa de carestía.

Esta misma situación la enfrentan amplias zonas del territorio nacional y a nivel mundial, lo que ha causado mucha pobreza, muertes y pandemias. Una práctica como la de nuestros ancestros, los paltas, es un ejemplo vivo, digno de replicarse en cualquier otra latitud y puede convertirse en una solución para otros pueblos.

Con este antecedente, y al haber asumido la responsabilidad de administrar los fondos públicos en búsqueda del desarrollo de mi territorio, nuestra idea, como autoridad, ha sido y es impulsar la posibilidad de que Catacocha sea reconocida internacionalmente, por el aprovechamiento de nuestras riquezas naturales, posicionando el trabajo arduo de años que, a la vez, nos permita fortalecer esta labor y lograr mayor cooperación para ampliar proyectos como éste.

Gracias al apoyo interinstitucional nos inscribimos en el Premio Verde, iniciativa convocada por el Banco de Desarrollo; logramos el primer puesto en la categoría GAD municipales medianos, estratos 3 y 4, con un premio de 225 mil dólares.

Nuestras decisiones políticas están enfocadas en administrar equitativamente los bienes de nuestro pueblo de manera transparente y que este trabajo se vaya consolidando por sí solo, sin intereses personales. Lo que buscamos es generar en nuestro territorio el desarrollo y posicionamiento de nuestras fortalezas naturales: somos la puerta de entrada a la Reserva de Biósfera Bosques de Paz del programa Hombre y la Biósfera (MAB) de la UNESCO, poseemos un legado histórico y cultural evidenciado no sólo en la arquitectura de nuestras viviendas o en los hallazgos arqueológicos, sino en los saberes ancestrales que, de generación en generación, han sido transmitidos y han hecho de nosotros un pueblo lleno de fe en si mismo y capaz de vencer las vicisitudes, inclusive de la misma naturaleza, cuyo ejemplo evidente es el cuidado del agua y su conservación.

Esto ha permitido que recibamos, por parte de la UNESCO, la honrosa designación como "Sitio Demóstrativo de Ecohidrología", por la propuesta "Recuperando el sistema ancestral de gestión de los recursos hídricos de Los Paltas, con enfoque ecohidrológico, para abastecer de agua a la ciudad de Catacocha"; lo que nos comina a seguir cultivando nuestras prácticas ancestrales para la gestión de los recursos hídricos y abastecimiento del agua a la ciudad de Catacocha, por ser amigable con el ambiente y porque, para nosotros, representa un legado histórico arraigado de la CULTURA PALTA, que es nuestra carta de presentación a todo el Mundo.



Anhelamos que Paltas sea un territorio de oportunidades, que generen el desarrollo integral y sostenible de la familia, en especial de los sectores productivos y de los menos favorecidos. Debemos fomentar la idea de una sociedad unida y capaz de invertir en nuestros habitantes. Así, nuestros ideales de administración quedan plasmados en acciones, principios y valores que tienen como objetivo orientar nuevas actitudes en los habitantes, creando conciencia de ciudadanía responsable que, con el paso del tiempo, nos permitan garantizar la construcción de una sociedad con bases ideológicas y de trabajo eficiente, porque consideramos que es el mecanismo más apropiado de progreso que podemos implementar desde el sur de la patria.

Confiamos plenamente en nuestros ciudadanos y con las acciones mancomunadas vamos a lograr el posicionamiento de nuestra patria chica como "Primera entre los Primeros". Con las iniciativas de hombres y mujeres, que desde los diferentes puntos geográficos, urbanos y rurales, día a día entregan sus talentos para el engrandecimiento y progreso del hogar cantonal, siendo más eficaces con nuestros aportes científicos, académicos, investigativos, en los que se ha afianzado nuestra Catacocha como Patrimonio Cultural de la Nación.

Reitero mi compromiso de trabajo por mi territorio y de todos los Paltenses, porque "Trabajamos para vivir mejor".



Ramiro Maita Sánchez nació en la ciudad de Catacocha el 4 de mayo de 1961, sus estudios superiores los realizó en la Universidad Técnica Particular de Loja y en la Universidad de Guayaquil, facultad de Arquitectura y Urbanismo. Tiene un Diplomado en Formación en Gestión Pública y uno en Gobernanza. Su trayectoria profesional está marcada por el servicio a la comunidad. Durante varios años trabajó en Plan Internacional, docente en el área rural, lo cual le ha permitido conocer de cerca las necesidades de las comunidades. Como Arquitecto ha trabajado en varias obras a nivel cantonal, provincial y nacional. Actualmente su objetivo principal es promover el desarrollo y crecimiento del cantón Paltas, enmarcado en las condiciones actuales de competitividad, con el propósito de coadyuvar al mejoramiento de la calidad y calidez de vida de nuestros pueblos.

El 27 de febrero de 2018, en el marco del Congreso de Ecohidrología y reunión del Comité Científico Asesor, la propuesta, con la venia y en representación de la alcaldía de Paltas, fue presentada por Marco Albarracín, coordinador del Programa de Ecohidrología de INGERALEZA S.A., a los miembros del Comité Científico Asesor de Ecohidrología de UNESCO-PHI en la Universidad del Algarve en la ciudad de Faro, Portugal. Posteriormente, el Comité deliberó y decidió la integración del Sitio Demostrativo de Paltas a la red mundial de UNESCO-PHI.

El proceso de postulación concluyó el 6 de marzo de 2018 cuando, mediante oficio, el Dr. Giuseppe Arduino, Jefe de Sección de Ecohidrología, Calidad del Agua y Educación del Agua del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO, desde París, notificó oficialmente al Alcalde de Paltas, la inclusión de Paltas-Catacocha a la Red de Sitios Demostrativos de Ecohidrología UNESCO-PHI.

Posteriormente, el lanzamiento oficial del Sitio Demostrativo sobre Ecohidrología Paltas-Catacocha, se realizó mediante un acto protocolario que llamó la atención de autoridades tanto nacionales como locales el 27 de abril de 2018 en el Salón del Pueblo de la Municipalidad de Catacocha. En el acto se firmaron acuerdos de cooperación entre el GAD del Municipio de Paltas y varias instituciones de investigación y desarrollo, entre las que se destacan la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL) y la corporación Naturaleza y Cultura Internacional (NCI). En resumen,

el objeto de la cooperación estará encaminada al fortalecimiento del sitio demostrativo mediante la integración de investigación científica y fortalecimiento de capacidades en temas relacionados a la Ecohidrología.

En el acto de lanzamiento, se contó con la participación de la Subsecretaría de Articulación Social de la Secretaría Nacional del Agua, Dra. Mariana Yumbay Yallico a quien hemos solicitado que nos aporte en este texto con un extracto de su discurso.

Autora invitada

Mariana Yumbay Yallico, Quito - Ecuador  mariana.yumbay@senagua.gob.ec

Extracto del discurso presentado en el lanzamiento oficial del “Sitio Demostrativo de Ecohidrología Paltas – Catacocha”.

Reciban a nombre de la Secretaría del Agua (SENAGUA) un saludo afectuoso y nuestra genuina satisfacción por el reconocimiento del Programa Hidrológico Internacional (PHI) de UNESCO al Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) del Cantón Paltas, como el primer Sitio Demostrativo de Ecohidrología en el Ecuador y, en ese sentido, como uno de los solamente 23 integrantes de esta importante Red Mundial. Destacamos, la labor de la UNESCO - PHI, y sus esfuerzos en el Ecuador para revertir la degradación de los recursos hídricos, detener la pérdida de biodiversidad y enfrentar los problemas derivados de la creciente inestabilidad climática, el crecimiento demográfico y la migración humana.

Este reconocimiento es una manifestación palpable de los beneficios que se derivan de una actuación concertada entre la Secretaría del Agua y las organizaciones de la sociedad civil en procura de impulsar una gestión responsable e integrada de los recursos hídricos. Gracias a la participación institucional, ha sido posible un trabajo articulado en la microcuenca San Pedro Mártir, entre el GAD de Paltas, la Demarcación Hidrográfica Catamayo - Chira, Naturaleza y Cultura Internacional, COMUNIDEC, el GAD Provincial de Loja, el Colegio Marista y su EcoClub, las asociaciones de productores y comunidades locales, entre otros actores, con el objetivo de recuperar la cobertura vegetal y propiciar la conservación de las fuentes de agua.

Alrededor de este reconocimiento de la UNESCO, se articulan al menos tres enfoques que se alinean con las visiones estratégicas incluidas en el marco legal nacional e internacional para la gestión de los recursos hídricos y que forman parte de las políticas institucionales que venimos impulsando.

En primer lugar, si se considera que el agua es un elemento transversal del desarrollo sostenible, esencial para la alimentación, los bosques, la energía, la salud, el bienestar humano y para la vida misma, se advierte que acá en Paltas se ha emprendido en acciones conjuntas y se han establecido compromisos políticos de largo plazo entre todos los actores locales, públicos y privados, alrededor de visiones integradas para el manejo sustentable del agua. Conscientes de las distintas amenazas



que acosan a la provisión de agua para las comunidades locales, han enfrentado la urgente necesidad de disminuir la degradación de los recursos hídricos, impulsando acciones orientadas al reconocimiento y optimización de los servicios del ecosistema junto con el mejoramiento de la capacidad de resistencia de las cuencas hidrográficas frente a las presiones ejercidas por el cambio climático y por la ampliación de las actividades productivas de las comunidades locales. Vemos con satisfacción que se ha desarrollado y compartido soluciones para enfrentar los desafíos más urgentes con relación al agua, teniendo como base el fomento de la investigación y la innovación, y optando por una propuesta enmarcada en los lineamientos de la ecohidrología, es decir, en la adopción de un enfoque basado en el entendimiento de la íntima relación entre los ciclos del agua y los ciclos del ecosistema, con el fin de mejorar la capacidad de carga de la cuenca, protegiendo la biodiversidad, ampliando la capacidad de resiliencia y aumentando los bienes y servicios provenientes del ecosistema.

En segundo lugar, advertimos avances importantes en el tema de la gestión comunitaria del agua, y, en ese sentido, destacamos los esfuerzos por reconocer el rol de las comunidades y pueblos indígenas, y alentamos a que se desplieguen las mejores prácticas para el fortalecimiento de sus propias formas de organización y de sus capacidades para el manejo y gestión del agua. Para la Secretaría del Agua es suprema importancia los avances que se puedan estar realizando en los espacios locales alrededor de la gestión comunitaria del agua puesto que consideramos que esta política permite un abordaje integrado, tanto en la administración cuanto en el uso y manejo del agua, y que, al mismo tiempo, contribuye al fortalecimiento de la identidad, a la recuperación de los saberes y costumbres de las comunidades y demás instancias organizativas que vienen trabajando desde muchos años dentro de esta jurisdicción territorial.

Finalmente, en tercer lugar, para SENAGUA esta designación conlleva una mayor significación por cuanto se reconoce que el cantón Paltas está esmerado en la recuperación de sus saberes ancestrales. Esto está alineado con uno de los mandatos más relevantes que constan en la Ley Orgánica de Recursos Hídricos y que representa el reconocimiento del derecho de los pueblos y nacionalidades a mantener y fortalecer sus formas de organización propias a través de las cuales administran sus territorios ancestrales, distribuyen y aprovechan sus recursos naturales.

Este reconocimiento de la UNESCO a la importancia de los saberes y prácticas ancestrales, por otra parte, es una manera de reconocer el derecho de las nacionalidades y pueblos a la autodeterminación puesto que, en el ámbito de la gestión de recursos hídricos, este reconocimiento significa la apertura de espacios institucionales para visibilizar y legitimar los modelos de gestión que han utilizado los pueblos indígenas desde tiempos inmemoriales, como es el caso de estas comunidades que se autoidentifican como parte de una cultura Palta, y que han demostrado ser eficaces, tanto en la reasignación como en la disponibilidad del recurso agua.

Muchas gracias...



Mariana Yumbay Yallico, mujer Kichwa del pueblo Waranka de la provincia de Bolívar. Es Doctora en Jurisprudencia y abogada de los tribunales de la República (Universidad Central del Ecuador). Tiene una especialización en Derechos Colectivos (Universidad Andina Simón Bolívar), y un título de Magíster en Derecho Penal y Criminología (Universidad Autónoma Regional de los Andes, Ambato). Expertía en Pueblos Indígenas, Derechos Humanos y Cooperación Internacional por la Universidad Carlos III de Madrid-España. Fue asesora de varias orga-

nizaciones campesinas e indígenas a nivel nacional, y consultora de varios organismos nacionales e internacionales. Fue parlamentaria del Congreso Nacional. Ejerció como Jueza de Garantías Penales de Tránsito de Bolívar, y magistrada de la Corte Nacional de Justicia del Ecuador. Ha sido docente Universitaria. En la actualidad es Subsecretaria Social y de Articulación de los Recursos Hídricos de la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA).

Referencias

- Albaracín, M.** (2014). Effects of physical characteristics and nutrient ratios (N:P:Si) on diatoms and Cyanobacteria in freshwater: A meta-analysis. (Máster of Science's Thesis), UNESCO - IHE, Delft, The Netherlands. (WSE-EH-14.15)
- Boyla, K., & Estrada, A.** (2005). Áreas importantes para la conservación de las aves en los Andes tropicales: sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad (Vol. 14): BirdLife International.
- CAN.** (2009) Sembrando agua.: Vol. 4. Manejo de microcuencas: Agua para la parroquia Catachocha y las comunidades rurales. (pp. 28). Lima, Perú.
- Carpenter, S. R., Mooney, H. A., Agard, J., Capistrano, D., DeFries, R. S., Díaz, S., Pereira, H. M.** (2009). Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(5), 1305-1312.
- CESMAT.** (2018). Mostra "Patrimonio Rupestre y Creación Artística" Retrieved from <http://cesmap.it/mostra-patrimonio-rupestre-y-creacion-artistica-dal-15-al-30-noviembre-2017-loja-ecuador/>
- Cueva, E.** (2015). Cálculos del Stock de Carbono en la Reserva Pisac. Retrieved from
- Holling, C. S.** (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4(1), 1-23.
- Huber, A., Iroumé, A., Mohr, C., & Frêne, C.** (2010). Efecto de plantaciones de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* sobre el recurso agua en la Cordillera de la Costa de la región del Biobío, Chile. *Bosque* (Valdivia), 31(3), 219-230. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002010000300006>
- Kvist, P., Aguirre-Mendoza, Z., & Sánchez, O.** (2006). Bosques montanos bajos occidentales en Ecuador y sus plantas útiles, 205-223. M. Moraes RB Ollgaard, LP Kvist, F. Borchsenius y H. Balslev Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia, Latina y el Caribe. Santiago (Chile). FAO, 147-167.
- MEA, M. E. A.** (2005). Ecosystems and human well-being: current state and trends. Millennium Ecosystem Assessment, Global Assessment Reports.
- Mitchell, B.** (2002). *Resource and Environmental Management*: Pearson Education.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., & Kent, J.** (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853.
- NCI.** (2016). Vainillo será otro rubro de Exportación de Loja. Retrieved from <http://www.naturalezaycultura.org/spanish/htm/news/2016-06-Vainillo.htm>
- Ramón, G.** (2017a). Cata Cocha o la Gran Laguna. Loja Humana. Retrieved from <http://www.lojahumana.com/cata-cocha-o-la-gran-laguna/>
- Ramón, G.** (2017b). [Presentación del Manejo de la cuenca San Pedro Martir ante Jurado Calificador del Premio Verde del Banco del Estado].
- Román, C. J.** (2014). Implementación de las Competencias Exclusivas del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Paltas para Garantizar la Conservación, Recuperación y Manejo de Fuentes y Zonas de Recarga Hídrica para Consumo Humano de la Ciudad de Catacocha. (Máster en Desarrollo Rural Máster), Universidad Nacional de Loja, Loja. Retrieved from file:///Users/macintosh/Downloads/Ing.%20Cristian%20Jorge%20Rom-%C3%A1n%20Prado_Tesis.pdf
- TEEB.** (2010). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB*.
- UNESCO-CCNN.** (2017, 22.08.2017). Reserva de la Biosfera Transfronteriza Bosques de Paz. Retrieved from http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/about-us/single-view/news/bosques_de_paz_transboundary_biosphere_reserve_ecuador_and/
- UNESCO-IHP.** (2016). *Ecohydrology as an Integrative Science from Molecular to Basin Scale*.: UNESCO/SC/HYD (Ed.)
- Van Dyke, F.** (2008). *Conservation biology: foundations, concepts, applications*: Springer Science & Business Media.



Las Grietas, Santa Cruz, Galápagos. Foto: Marco Albarracín



Capítulo 15

Sitios donde se desarrolla la aproximación ecohidrológica en Ecuador.

15.1. Municipio de Santa Cruz, Galápagos.

15.1. Antecedentes

El Cantón Santa Cruz se encuentra dentro de la Región Insular de Galápagos y es uno de los tres cantones de la provincia del mismo nombre, junto con San Cristóbal e Isabela. Puerto Baquerizo Moreno, ciudad en la Isla San Cristóbal, funge como la capital administrativa de la provincia, aunque la ciudad más poblada es Puerto Ayora, en la Isla Santa Cruz.

Las Islas Galápagos son reconocidas por la UNESCO como Patrimonio de la Humanidad desde 1978 y declaradas Reserva de la Biosfera en 1985. Tomando únicamente su territorio terrestre protegido, todo el Archipiélago de Galápagos tiene el 96,7% de su extensión, designada para la protección y conservación de ecosistemas y el restante 3,3% corresponde a áreas urbanas y rurales colonizadas (Parque Nacional Galápagos, 2014). Sin embargo, esta situación es diferente cuando se considera únicamente a la isla de Santa Cruz, debido a que es la isla más poblada. Los valores de territorio de conservación de Santa Cruz, son mejor explicados por Noémi d’Ozouville, autora invitada.

En 2007, la UNESCO colocó a las Islas Galápagos en su Lista del Patrimonio Mundial en Peligro (Parque Nacional Galápagos, 2014) debido a las amenazas producidas por las especies invasoras, el turismo desenfrenado, y la sobre pesca. El 29 de julio de 2010, el Comité del Patrimonio Mundial de la UNESCO, decidió eliminar a las Islas Galápagos de la lista porque dicho Comité consideró que el Ecuador había realizado importantes progresos para abordar estos problemas (Gaona, 2017).

La población del municipio de Santa Cruz, de acuerdo al censo realizado por INEC (2010), fue de 15.393 personas, de las cuales el 77,8% se encuentra en la ciudad de Puerto Ayora, y de estas el 15,8% en Bellavista y el 6,5% en Santa Rosa, parroquias rurales de la ciudad. La tasa de crecimiento poblacional fue de 3,35% anual. El cantón Santa Cruz tiene una extensión de 31.121,37 km² de los cuales el 94,22% corresponde a Área Marina y el 5,78% restante a área terrestre. La isla Santa Cruz tiene una extensión terrestre de 983,41 km². Otras islas importantes, no habitadas, que corresponden políticamente al municipio son: la isla Baltra, en donde se encuentra el aeropuerto, y las islas Santiago, Marchena y Pinta (INEC, 2018; Parque Nacional Galápagos, 2014).

Exceptuando a la Isla San Cristóbal, las islas del archipiélago no poseen recursos hídricos superficiales, debido a que sus terrenos son de origen volcánico, relativamente jóvenes (geológicamente hablando) y que, por su porosidad, poseen poca capacidad de retención. Únicamente en San Cristóbal existe un lago natural llamado El Junco. En el resto de Islas, se producen estacionalmente pequeñas fuentes de agua y pozas que son utilizadas por la fauna local, como tortugas e iguanas terrestres. Pero la mayor parte de agua para uso y consumo humano, provienen de reservorios pequeños creados en las zonas altas de las islas por propietarios privados, o por la extracción de agua salobre de pequeñas grietas y fuentes subterráneas.



Autora invitado

Noémi d'Ozouville, Galápagos - Ecuador pajarobrujo@gmail.com

Ecohidrología de la isla Santa Cruz, Galápagos.

Las islas Galápagos son de origen volcánico, tras la acción de un “punto caliente” en la placa de Nazca, debajo de las islas oeste del archipiélago y de la zona de dorsal medio oceánica, al norte del archipiélago. Las islas son similares en su formación a las Islas Hawái o las Islas Canarias. No obstante, por su edad joven de menos de 5 millones de años y por el clima seco que prevalece, debido a su ubicación oceánica en la línea ecuatorial, la hidrología de las islas es muy distinta a la de la parte continental o de las otras islas mencionadas.

Solo una isla, entre las más antiguas, la de San Cristóbal, cuenta con fuentes de agua dulce permanentes en su superficie, de donde nacen pequeños ríos que corren hacia el mar. La isla Santa Cruz, la más poblada, se encuentra en la parte central del archipiélago.

La isla Santa Cruz se caracteriza por la ausencia de corrientes de agua superficiales, permanentes, o al menos notables. Los recursos hídricos presentes en la isla Santa Cruz incluyen: (a) una pequeña vertiente en la base de un cono volcánico de escoria próxima al pueblo de Santa Rosa, con un caudal de menos de 0,01 l/s; (b) pozas de sphagnum saturadas con agua en los cráteres de los conos de la parte más alta de la isla; (c) pozas semi-permanentes de media elevación, que son áreas preferidas por las tortugas gigantes; (d) escurrimientos superficiales y sub-superficiales, temporales durante la época de garúa o durante inviernos prolongados; (e) acuífero basal; y (f) un posible acuífero colgado en la vertiente barlovento de la isla. La presencia de encañadas bien marcadas indica la existencia de fenómenos recurrentes de escurrimientos temporales. Estos fenómenos se vieron durante los años del fenómeno El Niño, 1982-1983 y 1997-1998, pero también en los años 2008, 2010 y 2012. Existe también infraestructura implementada por el ser humano, pero que tiene interés en cuanto a la eco-hidrología de la isla: (a) reservorios de agua con geo-membranas en las zonas rurales y (b) pantanos artificiales para el tratamiento de aguas residuales.

Una característica importante de las islas Galápagos es la protección de 97% de la superficie terrestre, como Parque Nacional. En las islas habitadas, este porcentaje es menor, ya que una gran parte de la zona húmeda en los lados barlovento, consiste en una zona rural dedicada a la actividad agrícola y turística. En la isla Santa Cruz, 70% de la superficie terrestre es área protegida del Parque Nacional, incluida toda la superficie del lado norte sotavento de la isla. En la superficie barlovento se concentra la actividad agrícola y ganadera; y las zonas pobladas. El área protegida juega un rol importante en mantener los servicios de ecosistemas en la isla. Más allá de los límites del Parque, considerando la extensión del área rural, es importante la implementación de buenas prácticas en esta área, para las actividades ganaderas, las actividades agrícolas, silvo-pastoriles y de control de especies invasoras, para garantizar la provisión de los servicios de ecosistemas. Las entidades públicas, con el apoyo del sector productivo y de organizaciones sin fines de lucro, apuntan a esta realidad. El Ordenamiento Territorial de la Provincia, y de las políticas específicas que aplican para el territorio de Santa Cruz, buscan limitar las actividades contaminantes en las cercanías de los puntos de agua, por ejemplo.

El avance de la ecohidrología en Santa Cruz es particularmente importante en tres frentes:

1. Resiliencia frente al cambio climático. La franja de vegetación entre 450 y 650 m.s.n.m juega un papel importante en aumentar la recarga hídrica durante la estación de garúa, la cual muestra mayor constancia de un año al otro; y por otro lado ofrece sombra durante época de verano y retención de suelo y control de erosión durante época de invierno. Especies endémicas, como el petrel de Galápagos, anidan en estas zonas y contribuyen a una fertilización importante, tras el aporte de los nutrientes marinos al ámbito terrestre.

2. Reducción de contaminación. La implementación de pantanos secos artificiales en Santa Cruz, para el tratamiento de las aguas servidas, es novedosa en Galápagos. Estos ecosistemas novedosos integran la mejor de las prácticas ambientales y de las características particulares del terreno de Galápagos. Permiten retornar aguas al medio ambiente en forma descontaminada, mientras que las plantas ofrecen hábitat y alimento para aves e insectos, y la infraestructura puede servir para fines educativos, generando conciencia en la comunidad.
3. Aguas subterráneas. La isla Santa Cruz es conocida por las "grietas" -fracturas abiertas en la franja costera- donde es posible acceder al nivel freático del acuífero base. Éstas en Santa Cruz son salobres, resultado del gradiente hidráulico muy débil, por motivo de la baja recarga y alta permeabilidad del medio. Las grietas y otras fracturas representan caminos preferenciales de flujo de agua. Y esto se refleja en la interface tierra-mar donde desemboca el acuífero base. La presencia posible de un acuífero colgado en la parte alta contribuye a la eco-hidrología en dos formas: (i) en tiempo normal es probable que el acuífero se descargue en el acuífero base, creando sitios de mayor nivel freático y menor salinidad; (ii) en tiempos de alta recarga, es posible que el acuífero tenga conexión con formación de pozas superficiales en la parte alta.

La cuenca hidrográfica de Pelican Bay, designada desde la parte más alta de la isla hasta Puerto Ayora, incluye zonas húmedas protegidas por el Parque Nacional Galápagos, zonas agrícolas, los puntos de abastecimiento de agua potable, los pantanos secos y las grietas del acuífero base. Es un marco único y prioritario, en donde seguir investigando la ecohidrología en la isla y la provincia y vincular estos esfuerzos en el contexto internacional.



Noémi d'Ozouville nació en Francia en el año 1978. Luego de trabajar como voluntaria en la Estación Científica Charles Darwin en 2000-2001, regresó a las islas Galápagos para investigar su hidrología. Durante su estadía inicial, había podido apreciar la falta de información e investigaciones existentes sobre este tema y su importancia para la conservación y el desarrollo sostenible de las islas. Luego de obtener su doctorado de la Universidad Paris 6, en Francia en 2007, regresó a vivir en Galápagos. El programa de investigación sigue activo y los resultados principales se pueden encontrar en www.galapagos-hydrology.fr. Noémi ha trabajado como consultora en el Análisis de Vulnerabilidad de Galápagos frente al Cambio Climático y en el Plan de Ordenamiento Territorial, entre otros. Adicionalmente ha trabajado en la Fundación Charles Darwin, en coordinación científica y financiera.



15.2. Gestión de los recursos hídricos de Santa Cruz, Galápagos.

De manera general, en toda la provincia de Galápagos, pero en Puerto Ayora en particular, existe una inadecuada e insuficiente infraestructura de servicios básicos relacionados con el agua (Parque Nacional Galápagos, 2014). El abastecimiento de agua potable para consumo humano, el tratamiento de aguas residuales, y la provisión de alimentos provenientes de las fincas de la isla para el autoabastecimiento, son los temas relacionados con el agua más álgidos en las islas pobladas. Este problema es muy claro en la ciudad de Puerto Ayora, debido al mayor asentamiento

humano, y por ser el sitio en donde se coordinan las actividades turísticas, de investigación, protección de la naturaleza, comercio, etc., más importantes.

El agua embotellada es la manera más utilizada para consumo humano en Santa Cruz. El sistema de desalinización y potabilización de agua proveniente de grietas (ver Figura 15.1.) se encuentra en etapa de implementación, pero al momento no está trabajando y operando en su totalidad. La inversión económica para el sistema de agua potable de Santa Cruz es elevada, aunque justificada (Alcaldía de Santa Cruz, Sin año).

Figura 15.1. Sistema de bombeo y desalinización de agua subterránea salobre mediante ósmosis inversa en Santa Cruz Galápagos.



Fotos Marco Albaracín.

Por otro lado, en la parte alta y media de la isla, se desarrollan actividades de agricultura y ganadería que abastecen de alimento a la población de Santa Cruz e incluso de otras ciudades del archipiélago. Estas actividades consumen gran cantidad de recursos hídricos y están relacionadas también a procesos de contaminación por fertilizantes y/o plaguicidas.

Aunque la mayor parte de los recursos hídricos en Santa Cruz provienen de fuentes subterráneas, existe una limitada o total ausencia de manejo y protección de los acuíferos (Parque Nacional Galápagos, 2014). La falta de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales, produce contaminación de los recursos hídricos subterráneos que tienen altos niveles de contaminación, principalmente de coliformes fecales. No obstante, en los últimos años, se han implementado en la isla varios “humedales secos artificiales” (ver Figura 15.2.) como herramienta biotecnológica

para tratar las descargas contaminantes. Estos humedales han sido ubicados en sitios donde la contaminación de aguas subterráneas es evidente. Por ejemplo, la evisceración de pescado es una actividad de alta producción de contaminantes que terminan en el suelo y luego se infiltran hasta llegar a los acuíferos. Como una forma de tratar este problema ambiental, el municipio ha determinado un “camal” específico para el eviscerado de pescado y junto a éste, ha ubicado un humedal seco artificial para el tratamiento de aguas residuales.

Los humedales secos artificiales para tratamiento de aguas residuales son una herramienta utilizada por la ecohidrología, dentro de las soluciones biotecnológicas. Armonizando esta técnica con otras infraestructuras de tratamiento de agua, se puede reducir más del 80% de los contaminantes antes que éstos lleguen a los acuíferos.

Figura 15.2. Humedal seco artificial para el tratamiento de aguas residuales procedentes de una planta de eviscerado de pescado en Santa Cruz, Galápagos.



Foto: Marco Albaracín.



A manera de resumen, se puede apreciar que el municipio de Santa Cruz podría adoptar las herramientas de gestión del enfoque ecohidrológico para el manejo de sus recursos hídricos. Al momento, ya se realizan muchas prácticas en este sentido, pero deben ser potenciadas y sobre todo generar datos científicos que demuestren la regulación-dual de los sistemas bióticos e hidrológicos que se están ejecutando en la zona para aumentar los beneficios a la comunidad, procedentes de los servicios ecosistémicos.

Por las implicaciones que conlleva el manejo de los recursos hídricos en Puerto Ayora y sus parroquias rurales, se ha considerado realizar un acercamiento a la posibilidad de presentar al GAD del Municipio de Santa Cruz como un posible sitio demostrativo de ecohidrología. Para esto, el GAD debe aplicar dentro de su modelo de gestión del agua, las herramientas que presentan el enfoque ecohidrológico, para solucionar problemas relacionados con el manejo de recursos hídricos. También debe considerarse el fortalecimiento de las buenas prácticas de manejo que, en la actualidad, se han venido implementando por parte del municipio y el Parque Nacional Galápagos.

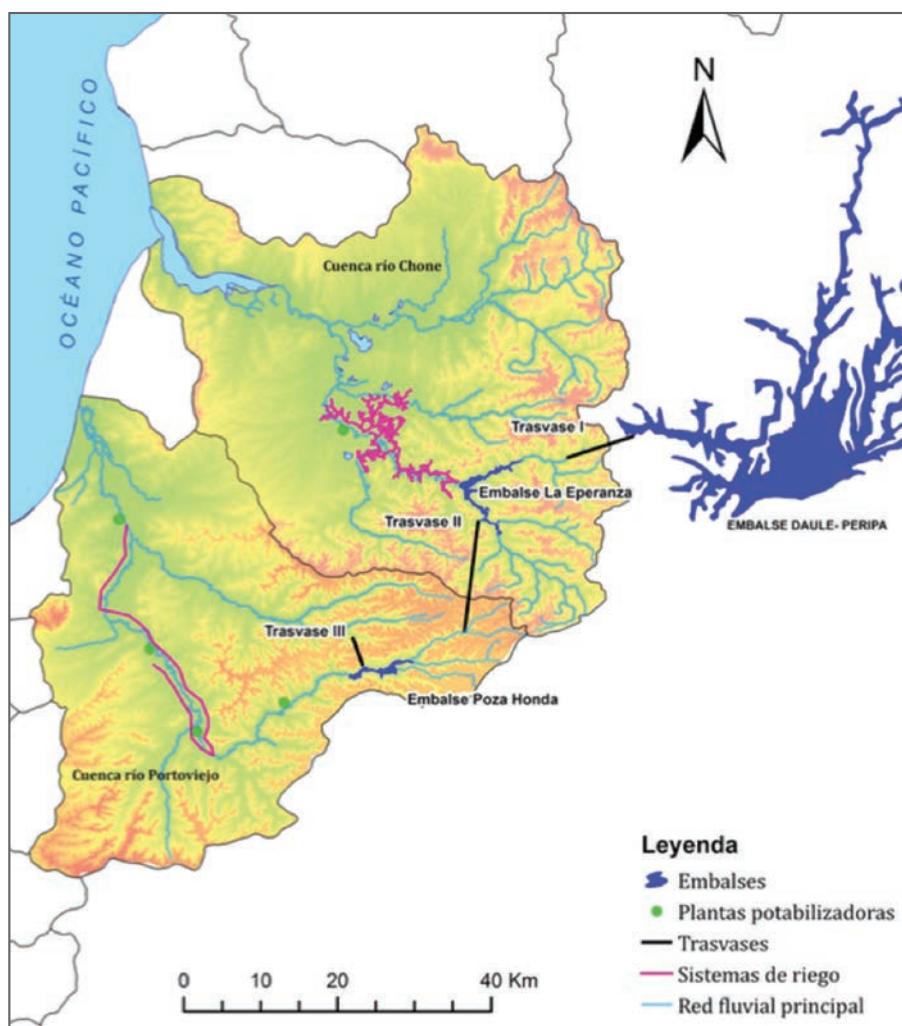
15.3. Cuenca del Río Chone (Manabí).

La cuenca del Río Chone es una de las 17 sub-cuenca hidrográficas que se encuentran en la Demarcación Hidrográfica de Manabí (DHM). La DHM se ubica en la región costa de Ecuador y tiene un extensión de 11.483,68 km² y una población de 1'149.748 habitantes, que corresponde aproximadamente al 8 % de la población de Ecuador. La DHM se encuentra dentro de 3 de las 24 provincias del Ecuador, pero su mayor parte (97,7 %) se encuentra en la provincia de Manabí. Esta demarcación hidrográfica es una de las 9 demarcaciones hidrográficas del Ecuador y tiene independencia de manejo administrativo, mediante la Subsecretaría de la Demarcación Hidrográfica de Manabí (Zambrano-Mera, 2014).

En los últimos años, grandes obras de infraestructura hidráulica para el manejo de agua se han realizado dentro de la DHM. Las obras más significativas son los embalses: Daule – Peripa, La Esperanza, y Poza Honda, y los trasvases I, II y III. Estas obras de infraestructura, han sido elaboradas con el objetivo de proveer de agua potable para las ciudades de Manabí, incluyendo Portoviejo y Chone, y para sistemas de riego dentro de la provincia (ver Figura 15.3.).



Figura 15.3. Obras de infraestructura para abastecimiento de agua de riego y potable dentro de la Demarcación Hidrográfica de Manabí.



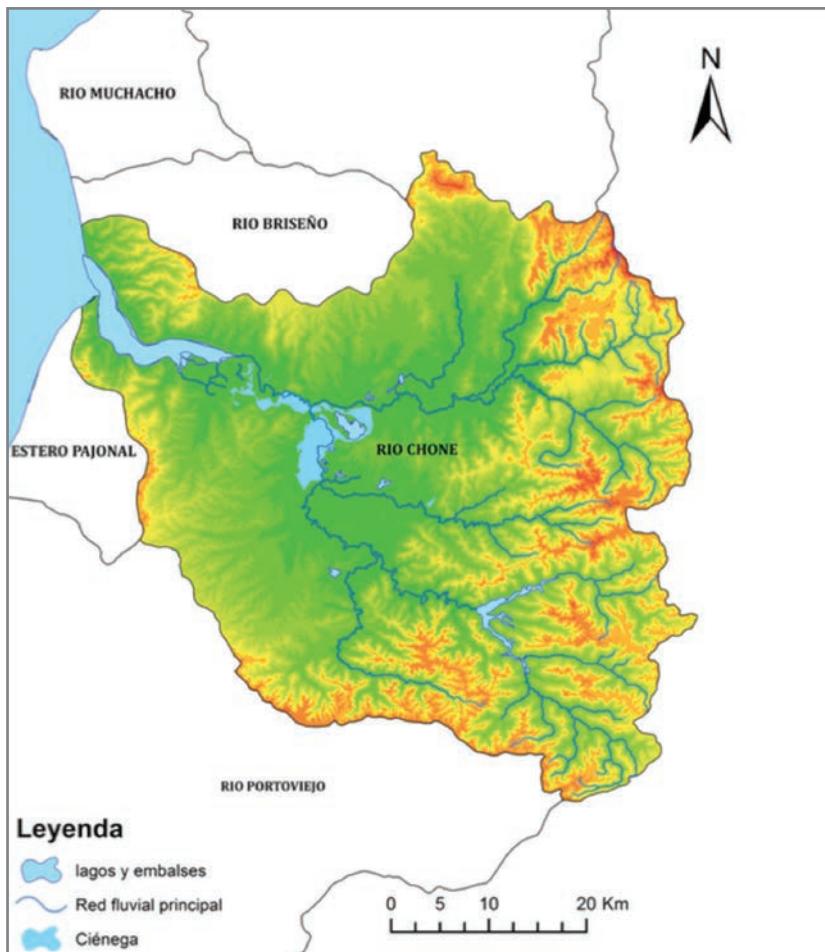
Fuente: (Zambrano-Mera, 2014)

La cuenca del Río Chone es una de las áreas ganaderas más importantes de Ecuador, con un número aproximado de 198.082 cabezas de ganado, que corresponde al 25.30% de la producción en la provincia de Manabí y al 5.42% del país. Dentro de esta cuenca se encuentra el Humedal RAMSAR “Ciénaga - La Segua” (ver Figura 15.4.) y está vinculado al estuario del Río Chone (Zambrano-Mera, 2014). En este sitio se encuentran todavía extensiones de manglar, que es

uno de los ecosistemas más amenazados por actividades humanas. De acuerdo a Zambrano-Mera (2014) el estuario del Río Chone fue separado de la Ciénaga de La Segua por acumulación de sedimentos provenientes del acarreo del río y originados por la deforestación de la parte media de la cuenca, hace unos 85 años. Esta separación ha producido que en los actuales momentos el humedal de La Segua sea exclusivamente de agua dulce.



Figura 15.4. Cuenca del río Chone y ubicación del Sitio RAMSAR Ciénega de “La Segua”.



Fuente: (Zambrano-Mera, 2014)

La parte superior de la cuenca del río Chone tiene un clima tropical seco, distribuido en una franja de aproximadamente 60 km de ancho que comienza en el norte de Manabí y va hacia el sur cruzando el este de la zona. La precipitación anual varía de 500 a 1.000 mm por año, con una estación lluviosa de Enero a Abril y un verano muy seco con altas temperaturas. La altitud máxima de la cuenca se encuentra sobre los 700 m.s.n.m. El área es propensa a los movimientos en masa (que aceleran los procesos de erosión), así como a inundaciones y sequías. En esta parte de la cuenca viven unas 200 familias. Hay apro-

ximadamente 1.500 hectáreas de 3 a 4 cuadras por familia y alrededor de 60 familias no poseen tierras y trabajan como jornaleros en el área. La actividad económica predominante es la agricultura y el cultivo de cítricos como mandarinas, naranjas, pomelos, maracuyá, etc. Los meses de mayor producción son Junio, Julio, Agosto y Septiembre. Por eso, tanto las sequías como las inundaciones tienen serias implicaciones para la seguridad alimentaria de las comunidades que se encuentran río abajo, en la parte media de la cuenca (Gaona, 2017).

La zona media de la cuenca se caracteriza por colinas suaves y algunas áreas de valles fluviales, con relieves empinados que se producen entre los 100 y 400 m.s.n.m. La topografía en esta área genera zonas de inundación durante el invierno. El sector ganadero constituye la actividad predominante y las sequías e inundaciones constituyen el principal riesgo y amenaza para la población. En esta área, se produce un 29,12% de leche (96.000 litros por día), que se obtiene en su mayoría (85%) de pequeños productores, que producen alrededor de 40 - 200 litros por día. Además, la producción de carne de res con 220.000 cabezas de ganado, lo ha convertido en el cantón más productor de ganado del país.

En el área baja de la cuenca, el ecosistema de manglares se encuentra a lo largo de la franja costera. Este ecosistema es de gran importancia, ya que juega el papel de control de inundaciones, estabilización de la línea costera, control de la erosión y desalinización del agua que ingresa al territorio continental, entre otros. En esta área, la principal actividad económica es la pesca, y en particular la producción de camarón. Desde tiempos ancestrales, el manglar ha abastecido poblaciones de pescadores y recolectores artesanales y se ha convertido en la principal fuente de proteínas para las comunidades y negocios para los pobladores, que también se benefician de su comercialización. Debido a su ubicación, el clima se caracteriza por una fuerte temporada de invierno que coincide con los primeros meses del

año y un verano extendido de Mayo a Noviembre, con promedios máximos anuales de entre 1.500 y 1.750 mm en la franja occidental de la cuenca (Gaona, 2017).

Como resultado de un intercambio de experiencias entre especialistas y gestores, se propuso el desarrollo de un proyecto para la gestión sostenible del estuario del Río Chone, donde fueron identificados los problemas recurrentes de infraestructura, turismo y salud, relacionados con la agricultura, la acuacultura y la pesca, (IX Reunión de Comités Nacionales y Puntos Focales UNESCO PHI LAC (UNESCO-PHI, 2011). Se han realizado tres proyectos principales distribuidos de la siguiente manera: Cuenca Alta: Sistema Diversificado de Frutas para aumentar su resiliencia. Cuenca Media: Experiencia de resiliencia silvopastoril. Cuenca baja: Plan de manejo del Refugio de Vida Silvestre Islas Corazones y Fragatas.

Por las infraestructuras para el manejo de agua, la presencia de un humedal RAMSAR que se encuentra ubicado en la cuenca del río Chone y la relación con la población local, las herramientas ecohidrológicas indicadas en este documento, pueden ser de gran utilidad para la GIRH, en este sistema hidrográfico. Así mismo, las relaciones que existen entre la cuenca y los recursos marino-costeros, pueden ser estudiadas a profundidad y generar acciones que permitan obtener mejores servicios ecosistémicos de productos del mar, al manejar de mejor manera la cuenca.

REFERENCIAS

- Alcaldía de Santa Cruz.** (Sin año). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, Cantón Santa Cruz, 2015 - 2027. Quito, Ecuador: Imprenta Torrescal.
- Gaona, J.** (2017). The Potential of Ecohydrology - Ecuatorian Case Review. Retrieved from Paris:
- INEC. (2018).** Resultados del Censo 2010. Retrieved from <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/resultados/>
- Parque Nacional Galápagos.** (2014). Plan de Manejo de las Áreas Protegidas de Galápagos para el Buen Vivir. Quito: Imprenta Mariscal.
- Zambrano-Mera, Y. E.** (2014). Posibilidades de implementación un sistema de indicadores para la gestión de la sequía en la Demarcación Hidrográfica de Manabí-Ecuador. (Máster), Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. Retrieved from <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/browse?type=author&value=Zambrano+Mera%2C+Yeriel+Elizabeth>



Capítulo 16

Programas de investigación científica sobre ecohidrología en Ecuador.

En el Ecuador se han venido realizando algunas iniciativas de investigación relacionadas con la ecohidrología. La mayor cantidad de producción científica sobre esta temática se encuentra liderada por la Universidad de Cuenca, dentro del programa de Maestría en Hidrología con Mención en

Ecohidrología, del Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales (iDRHICA), tal como lo indican nuestros autores invitados, Roldano Céllerí y Patricio Crespo, investigadores y docentes de la mencionada universidad.

Autores invitados

**Rolando Céllerí
Patricio Crespo**

Cuenca, Ecuador

✉ rolando.celleri@ucuenca.edu.ec

✉ patricio.crespo@ucuenca.edu.ec

Una maestría en hidrología con mención en ecohidrología.

Rolando Céllerí Alvear^{1,2}, Patricio Crespo Sánchez^{1,3}

¹ Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales, Universidad de Cuenca

² Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca

³ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cuenca

Introducción

El agua es esencial para el desarrollo humano. Por ello los países invierten fuertes cantidades de dinero para asegurar que la población tenga acceso a este recurso en cantidad suficiente y calidad aceptable, para los diferentes usos: agua potable, generación hidroeléctrica, riego, entre otros. Es por esto que los estudios hidrológicos se realizan como punto de partida de todos los proyectos de aprovechamiento del agua, ya que ellos determinan su disponibilidad en las fuentes.

Sin embargo, no siempre las actividades económicas se mantienen dentro de los límites de la capacidad de soporte de los ecosistemas ubicados en las cuencas de captación de agua, lo cual conlleva una degradación de los recursos naturales, la vegetación protectora, la biodiversidad y los suelos, por citar los más importantes. Esto, a su vez, se traduce en una reducción de la disponibilidad de agua, principalmente de la capacidad de regulación y de almacenamiento natural del ecosistema.

Si a esto se suma que el clima es muy variable y que los cambios climáticos proyectados indican que en el futuro se intensificarán los extremos (meses muy húmedos y meses muy secos), entonces se tiene un escenario en el cual la disponibilidad de agua actual es muy distinta de la disponibilidad futura, lo que pone en riesgo los sistemas de aprovechamiento de agua.

El Plan Nacional de Desarrollo del Ecuador toma en cuenta esta problemática. Del análisis territorial realizado para la elaboración del Plan, también se desprenden, a grandes rasgos, varios problemas, principalmente dificultades para el abastecimiento de agua segura, por lo que las fuentes hídricas se



deben gestionar de manera sustentable. Consecuentemente, entre los objetivos específicos del Plan, se indica, entre otras cosas, que es necesario: (i) identificar, explotar y usar, de manera sostenible y sustentable, las fuentes de agua, (ii) implementar un inventario hídrico nacional dinámico, para caracterizar y cuantificar la oferta y la demanda de agua para producción, según sus usos y por cuencas hidrográficas, y (iii) propiciar la elaboración e implementación de planes de seguridad hídrica.

Para lograr estos objetivos es necesaria la participación de profesionales altamente calificados en estudios hidrológicos, que comprendan no solo la situación actual, sino también los escenarios futuros, e incorporarlos en estudios de incertidumbre hidrológica. Para ello deben conocer, además, las relaciones entre la ecología (terrestre y acuática) y el ciclo hidrológico, las retroalimentaciones entre los suelos, la vegetación, los flujos de agua (por evaporación, transpiración, infiltración y escurrimiento) y el clima. El área de la hidrología que estudia estos procesos a nivel ecosistémico se denomina eco-hidrología, y como tal es una área relativamente nueva en la hidrología.

Maestría en Hidrología con mención en Ecohidrología

En línea con los objetivos nacionales, la Universidad de Cuenca oferta, desde el año 2015, una maestría de investigación que forma profesionales en el área de la Ecohidrología. El objetivo del programa de maestría con mención en ecohidrología es la formación de profesionales altamente especializados en la conservación y manejo de los recursos hídricos, en base a la situación actual y futura (cambio global), con una profunda comprensión de las interrelaciones entre los procesos hidrológicos y ecológicos, capaces de analizar críticamente los problemas interdisciplinarios, identificar vacíos de conocimiento y generar nuevos conocimientos científicos, mediante el diseño de sistemas de monitoreo ecohidrológicos e hidrometeorológicos, uso de tecnologías y de herramientas de simulación numérica avanzada, y con altas competencias para difundir esta información a través de publicaciones científicas de alto nivel y presentaciones en eventos técnicos y científicos. Para ello, se requiere adquirir solidez tanto en temas disciplinarios en ecología e hidrología, como en temas interdisciplinarios en ecohidrología, así como una fuerte base en herramientas clave como estadística, programación y sistemas de información geográfica. Estos profesionales estarán capacitados tanto para efectuar actividades profesionales, como para iniciar estudios doctorales y desarrollar una carrera académica. En éste los estudiantes de la maestría están en capacidad de ingresar al programa de doctorado en recursos hídricos que ofertan la Universidad de Cuenca en conjunto con la UTPL, y la EPN.

El programa de maestría es de investigación a tiempo completo, con un costo bajo, enfocado en la formación de profesionales más que en la generación de negocio. Mismo que está orientado a profesionales que posean un título de tercer nivel en diferentes ramas de la ciencia. Para más información visitar nuestro sitio web (<https://www.ucuenca.edu.ec/maestria-eco hidrologia/>).

Un tema crítico, cuando los estudiantes seleccionan una maestría, es la identificación del tema de tesis. Es así que hemos tenido éxito, generando un banco de temas de tesis, totalmente financiados y propuestos por los grupos de investigación del Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales de la Universidad de Cuenca. Los temas cubren diversas líneas de investigación. La selección del tema de tesis se realizará al finalizar el primer semestre, dando tiempo al estudiante para realizar su tesis durante los dos años que dura el programa. Esto ya ha sido evidenciado cuando varios estudiantes de la primera promoción han logrado ejecutar temas de tesis del más alto nivel científico a nivel mundial, en el tiempo previsto, y que han sido presentados en revistas de alto impacto a nivel mundial. Algunos de ellos ya han sido publicados por revistas indexadas de alto impacto, constituyendo un hito importante a nivel nacional y regional.

Adicionalmente, procuramos que los estudiantes reciban la guía de estudiantes de doctorado y profesores del más alto nivel mundial en el área. Esto genera que los estudiantes expongan sus opiniones y experiencias tanto desde el punto de vista técnico como científico.



Rolando Céller Alvear es Profesor Principal de la Universidad de Cuenca. Sus investigaciones tienen como objetivo identificar los impactos del cambio global en los recursos hídricos de ecosistemas andinos y definir medidas de adaptación. Una de sus principales líneas de investigación es la ecohidrología: sus procesos y las relaciones suelo-vegetación-atmósfera. También estudia procesos hidrometeorológicos y la gestión integral de cuencas. Sus proyectos incluyen elementos de monitoreo en campo – utilizando sensores convencionales y avanzados – así como diversas técnicas de modelación.



Patricio Crespo es PhD en Ciencias Naturales. Actualmente es investigador principal del Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales (iDRHICA) de la Universidad de Cuenca, lidera el grupo de Ecohidrología y trazadores en Ecohidrología del mismo Departamento y es director de la Maestría en Hidrología con mención en Ecohidrología. Ha publicado más de 30 artículos en revistas indexadas de alto impacto mundial y ha dirigido varios proyectos nacionales e internacionales.

Del trabajo ejecutado por el iDRHICA, se han desprendido una serie de publicaciones científicas disponibles en el sistema SCOPUS ©, y de los cuales enlistamos los relacionados con investigaciones ecohidrológicas, obviando los relacionados únicamente con hidrología, hidráulica, ecología, o temas individuales afines.



Laguna del Parque Nacional Cajas. Foto: Marco Albarracín



- Ochoa-Sánchez A, Crespo P, & Céller R.** (2018). Quantification of rainfall interception in the high Andean tussock grasslands. *Ecohydrology*; e1946. <https://doi.org/10.1002/eco.1946>
- Aparecido, L. M. T., Teodoro, G. S., Mosquera, G., Brum, M., V Barros, F., Pompeu, P. V., ... & Asbjørnsen, H.** (2018). Ecohydrological drivers of Neotropical vegetation in montane ecosystems. *Ecohydrology*. <https://doi.org/10.1002/eco.1932>
- Iñiguez-Armijos, C., Hampel, H., & Breuer, L.** (2018). Land-use effects on structural and functional composition of benthic and leaf-associated macroinvertebrates in four Andean streams. *Aquatic Ecology*, 52(1), 77-92.
- Hamel, P., Riveros-Iregui, D., Ballari, D., Browning, T., Céller, R., Chandler, D., ... & Johnson, M.** (2017). Watershed services in the humid tropics: Opportunities from recent advances in ecohydrology. *Ecohydrology*. <https://doi.org/10.1002/eco.1921>
- Wright, C., Kagawa-Viviani, A., Gerlein-Safdi, C., Mosquera, G. M., Poca, M., Tseng, H., & Chun, K. P.** (2017). Advancing ecohydrology in the changing tropics: Perspectives from early career scientists. *Ecohydrology*. <https://doi.org/10.1002/eco.1918>
- Vimos, D., Martínez-Capel, F., & Hampel, H.** (2017). Environmental factors determining EPT communities at basin and habitat scales in the Andean headwater rivers of Ecuador. *Ecohydrology*, 10:e1894. <https://doi.org/10.1002/eco.1894>
- Mosquera, G. M., Segura, C., Vaché, K. B., Windhorst, D., Breuer, L., & Crespo, P.** (2016). Insights into the water mean transit time in a high-elevation tropical ecosystem. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(7), 2987–3004. <https://doi.org/10.5194/hess-20-2987-2016>
- Mosquera, G. M., Céller, R., Lazo, P. X., Vaché, K. B., Perakis, S. S., & Crespo, P.** (2016). Combined use of isotopic and hydrometric data to conceptualize ecohydrological processes in a high-elevation tropical ecosystem. *Hydrological Processes*, 30(17), 2930–2947. <https://doi.org/10.1002/hyp.10927>
- Mosquera, G. M., Lazo, P. X., Céller, R., Wilcox, B. P., & Crespo, P.** (2015). Runoff from tropical alpine grasslands increases with areal extent of wetlands. *CATENA*, 125, 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.010>
- Iñiguez-Armijos, C., Leiva, A., Frede, H. G., Hampel, H., & Breuer, L.** (2014). Deforestation and benthic indicators: how much vegetation cover is needed to sustain healthy Andean streams?. *PLoS One*, 9(8), e105869.
- Crespo, P., Céller, R., Buytaert, W., Feyen, J., Iñiguez, V., Borja, P., & De Bièvre, B.** (2010). Land use change impacts on the hydrology of wet Andean páramo ecosystems. *IAHS Publ.*, (336), 71–76.

Por otra parte, en la Tabla 16.1. se enlistan los temas de tesis de doctorado y maestría que se encuentran en ejecución o que han terminado su investigación, dentro de este programa.

Tabla 16.1. Temas de tesis con componente ecohidrológico de alumnos de postgrado de la Universidad de Cuenca.

Grado	TEMA DE TESIS	ALUMNO
PhD	Land cover influence on Subsurface Hydrogeochemical Fluxes in a Mountainous Catchment in South Ecuador.	Mosquera, Giovanny
PhD	Influencia de las condiciones hidráulicas e hidrológicas en la variación espacial y temporal de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en ríos altoandinos de cabecera al sur de Ecuador	Vimos, Diego
MSc	The effects of vegetation cover on the soil moisture dynamics in Andean paramo hillslopes	Tenelanda Patiño, Daniel Orlando
MSc	Optimización de muestreo espacial pluviométrico con covariables ecohidrológicas	Contreras Silva, Juan José
MSc	Landscape and Hydrometeorological factors influencing storage in a high-elevation tropical ecosystem	Lazo Jara, Patricio Xavier
MSc	Impacto de las plantaciones de pino sobre las propiedades hidrofísicas de los suelos alto Andinos del sur del Ecuador	Marín Molina, Franklin Geovanny
MSc	Response of native tree species to water stress under climate change predictions in an Andean Region	López Zamora, Juan Josué
MSc	Evaluación de modelos de Evapotranspiración basados en índices de vegetación sobre ecosistemas de pastos y vegetación arbustiva	Ramón Reinozo, Mayra Elizabeth
MSc	The effect of grazing on the hydrological dynamic of a well monitored hillslope in the paramo	Montenegro Díaz, Paola Fernanda
MSc	Effect on land cover and hydro-meteorological controls on carbon stocks and export in a high elevation tropical environment	Pesáñez Vallejo, Juan Patricio

Fuente: Archivos del Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales.

Adicionalmente, existen otras investigaciones que también tienen un componente ecohidrológico altamente importante y de calidad extrema en el país, aunque no sea explícito el uso de los principios de ecohidrología como herramienta de manejo.

Por ejemplo, Minaya (2017), ha generado gran conocimiento sobre el sistema ecohidrológico de los Páramos del Ecuador, particularmente del Antisana. Aunque no se evidencia en su trabajo el enfoque de regulación dual para solucionar problemas, Minaya (2017) hace un minucioso estudio de las relaciones del tipo de vegetación con la disponibilidad de agua en este ecosistema que provee de agua para la ciudad de Quito. Empero, el estudio identifica una serie de servicios ecosistémicos que se desprenden del ecosistema y que pueden ser usados como he-

rramientas para el desarrollo de estrategias y buenas prácticas de manejo del ecosistema páramo.

Así mismo, Bellot and Chirino (2013) presentan el modelo eco-hidrológico HYDROBAL como herramienta para monitorear el balance hídrico en una resolución diaria. Específicamente, el modelo HYDROBAL determina el efecto del tipo de vegetación en el balance hídrico del suelo y la recarga de acuíferos, generando al final una herramienta útil para el manejo de vegetación con fines de mejoras de la disponibilidad de agua en cuanto a cantidad.

Estos dos ejemplos de estudios sobre ecohidrología en el Ecuador son herramientas útiles generadas desde la academia y que pueden ser utilizadas con fines de manejo de recursos hídricos en el país.

Referencias

- Bellot, J., & Chirino, E.** (2013). Hydrobal: An eco-hydrological modeling approach for assessing water balances in different vegetation types in semi-arid areas. *Ecological Modelling*, 266, 30-41.
- Minaya, V.** (2017). *Ecohydrology of the Andes Paramo Region*: CRC Press.



Río Cuyes, Gualاقiza, Ecuador. Foto: Fabián Rodas

Capítulo 17

Organizaciones que apoyan al desarrollo de Ecohidrología en Ecuador.

17.1. Organizaciones sin fines de lucro.

17.1.1. UNESCO

De acuerdo a (Zalewski *et al.*, 2008), el concepto de ecohidrología como “herramienta holística para el manejo sustentable de recursos hídricos” nació como parte de la fase V del Programa Hidrológico Internacional (PHI-V) de la UNESCO,

que se ejecutó entre los años 1996 y 2001. En la actualidad la UNESCO se encuentra ejecutando la fase VIII del PHI con el programa denominado “Seguridad Hídrica: Respuestas a los Desafíos Locales, Regionales y Mundiales”. El PHI-VIII consta de seis temas y el quinto es denominado “Ecohidrología: creación de armonía para un mundo sostenible”. La Figura 17.1. indica los seis temas y áreas focales de la fase VIII de UNESCO-PHI

Figura 17.1. Los seis temas del Plan Estratégico (2014-2021) de la Fase VIII de UNESCO – PHI.



Fuente: (UNESCO-PHI-VIII, 2012)

El quinto tema del PHI-VIII “Ecohidrología: creación de armonía para un mundo sostenible”, tiene a su vez identificadas 5 áreas focales en su plan estratégico: (1) Dimensión hidrológica de una cuenca – identificar riesgos potenciales y oportunidades para el desarrollo sustentable. (2) Conformación de la estructura ecológica de la cuenca para posible mejoramiento del ecosistema productividad biológica y biodiversidad. (3) Soluciones del sistema ecohidrológico e ingeniería ecológica para el mejoramiento de la resiliencia hidrológica y ecosistémica y de los servicios ecosistémicos. (4) Ecohidrología urbana – purificación de agua de lluvia y retención en el entorno urbano, potencial

para mejoramiento de la salud y calidad de vida. (5) Normatividad ecohidrológica para sostener y restaurar la conectividad entre el área continental y las áreas costeras y el funcionamiento ecosistémico (UNESCO-PHI-VIII, 2012).

Bajo este breve paraguas de actividades explícadas en los párrafos anteriores, la oficina de UNESCO en Quito, tiene entre sus objetivos el ampliar la base de los conocimientos con respecto a los recursos de agua dulce del planeta, sobre las respuestas culturales, sociales y científicas, para la gestión sostenible del recurso hídrico. Tal como se puede encontrar en su página web,



la oficina apoya a un desarrollo del planteamiento ecohidrológico, para mejorar la calidad y los servicios de los ecosistemas y la aplicación de dicho planteamiento a la formulación de políticas relativas a la gestión del medio ambiente (UNESCO-Quito, 2017).

Por otra parte, fruto de las reuniones del grupo que apoya en temas de ecohidrología a UNESCO, varias iniciativas se han creado y muchas de ellas han tenido una influencia en el aporte que UNESCO y estas instancias pueden dar para apoyar a los países para la integración de sus actividades a los temas de su plan estratégico. Tal es el caso de la red de profesionales jóvenes que trabajan en temas de ecohidrología, así nos cuenta Valerie Ouellet de la Universidad de Birmingham en Reino Unido.

17.1.2. Naturaleza y Cultura Internacional

La Corporación Naturaleza & Cultura Internacional, es una organización no gubernamental sin fines de lucro, acreditada por el Gobierno del Ecuador a través del Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio e Integración, cuya misión es conservar los ecosistemas más diversos y amenazados de América Latina y su riqueza cultural asociada, salvando hábitats en peligro, fortaleciendo las capacidades locales y apoyando a las comunidades para preservar sus formas de vida. Desde el 2006, NCI viene apoyando a varios Gobiernos Autónomos Descentralizados del Sur del Ecuador en la implementación de procesos de conservación de las fuentes de agua y los remanentes de bosques nativos, para asegurar la provisión de servicios ambientales de los ecosistemas naturales.

Autora invitada

Valerie Ouellet, Quebec, Canadá v.ouellet@bham.ac.uk

La red: *Ecohydrology Emerging Professional Global Network (Ecohydrology-EPGN)*

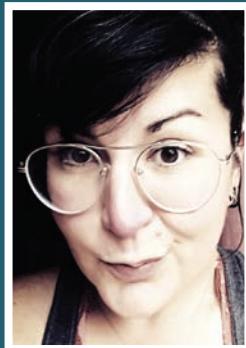
Con el crecimiento del reconocimiento de los impactos del cambio climático y de las actividades humanas sobre los ecosistemas acuáticos, se incrementa la importancia de desarrollar más conocimiento científico para prevenir la degradación de los recursos hídricos y detener la disminución de la biodiversidad. Cada año, más y más jóvenes profesionales empiezan una carrera en ecohidrología que se dedican a la comprensión de las relaciones entre los procesos hidrológicos y biológicos a diferentes escalas, con la visión de ayudar a mejorar la seguridad hídrica, mejorar la biodiversidad y aumentar las oportunidades para el desarrollo sostenible del medio ambiente y la reducción de las amenazas ecológicas.

En febrero 2018, después de una reunión del grupo de Ecohidrología de la UNESCO, se decidió crear una red conformada por los estudiantes y jóvenes profesionales dedicados a la ecohidrología. La red Ecohydrology Emerging Professional Global Network (Ecohydrology-EPGN) surgió de la voluntad de dar un lugar especial a jóvenes profesionales e investigadores en ecohidrología, ya que representan el futuro de la disciplina y de la necesidad de fortalecer los vínculos de este grupo de emprendedores con el programa de ecohidrología de la UNESCO. La red es coordinada por Dr. Valerie Ouellet y José Gaona M. Sc. (co-chairs) y con la participación de Anastasia Miril M. Sc., Lauren Zielinski M. Sc., Dr. Makarius C.S. Lalika y Marco Albarracín M. Sc.

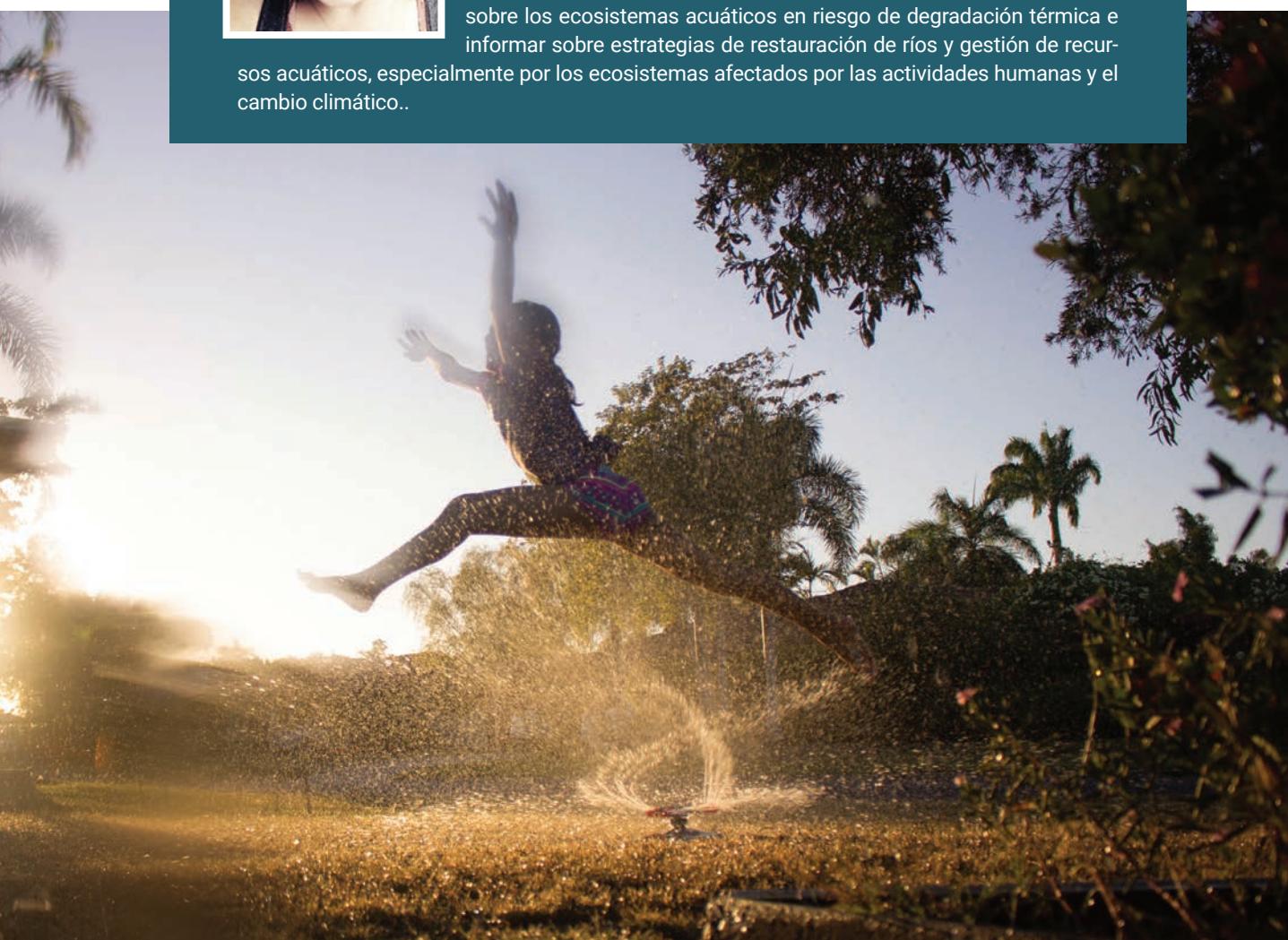
La misión de Ecohydrology-EPGN es ofrecer una oportunidad para conectar a los profesionales emergentes (estudiantes, postdoctorados y en inicio de carrera) en ecohidrología y proporcionar una plataforma de intercambio para discutir y compartir las informaciones relevantes relacionadas con ecohi-

drología (oferta de empleo, becas, oportunidades generales, artículos nuevos e informaciones, etc.). La red ofrece la oportunidad de reunir a profesionales emergentes e intercambiar con profesionales experimentados implicados con la UNESCO y también, de contribuir a las actividades del comité científico en ecohidrología de la UNESCO.

Ecohydrology Emerging Professional Global Network ofrece una oportunidad única para todos los estudiantes y nuevos profesionales de compartir su visión de la ecohidrología y de participar en la formación de los futuros ecohidrólogos. En primera instancia utilizando los recursos en línea y luego, más adelante, reuniones y entrenamientos con presencia internacional. Haz que tu opinión cuente, contáctanos a epgn.network@gmail.com o directamente a Dr. Ouellet: valeria.ouellet@gmail.com.



Valerie Ouellet es de Québec, Canadá. Se graduó como bachiller en Ciencias Biológicas en la Universidad de Montréal. Tiene títulos de maestría y Ph.D. del Instituto Nacional Canadiense de Ciencias del Agua, Tierra y Medio Ambiente. Actualmente trabaja en el departamento de Geografía, Tierra y Ciencias Ambientales de la Universidad de Birmingham en Reino Unido. Su interés de investigación se centra en comprender cómo las diferentes variables ambientales, como la temperatura y la cantidad de agua, afectan el hábitat y la fisiología de las especies de peces clave, en ecosistemas acuáticos. Su investigación contribuye al campo de la ecohidrología al generar conocimiento sobre los ecosistemas acuáticos en riesgo de degradación térmica e informar sobre estrategias de restauración de ríos y gestión de recursos acuáticos, especialmente por los ecosistemas afectados por las actividades humanas y el cambio climático..





Autor invitado

Fabián Rodas López, Cuenca, Ecuador frodas@naturalezaycultura.org

La Escuela del Agua: formando capacidades locales para la gestión de recursos hídricos.

La protección del agua es un tema de alta prioridad para las naciones que buscan asegurar sus posibilidades de desarrollo, producción y salud humana. Más aún cuando los efectos del cambio climático se hacen presentes, derritiendo glaciares, alterando los regímenes de lluvia y reduciendo las cosechas. En Ecuador, la mitigación de estos impactos negativos depende de que cada ciudad y sistema de riego cuente con un programa permanente para la protección de sus fuentes de agua, las que en su mayoría se encuentran en los páramos y bosques de las altas montañas de los Andes.

Esta no es tarea fácil, ya que los ricos suelos de estos biodiversos ecosistemas son también aprovechados para la extracción de madera, expansión de la frontera agropecuaria, minería y asentamientos humanos, entre otros usos que tradicionalmente son implementados de forma incompatible con la protección del agua.

La corresponsabilidad de la sociedad, la formación de capacidades locales para la gestión de los recursos hídricos y el financiamiento permanente para desarrollar actividades de protección y manejo de las fuentes de agua, son factores fundamentales para lograr un cambio de paradigma. Afortunadamente, en el país ya se han desarrollado buenas prácticas locales y experiencias en este sentido, las que significan un cambio positivo en la gestión de recursos hídricos y constituyen una base para el aprendizaje y generación de políticas aplicables a todo el país.

En este escenario, en 2016, nació la Escuela del Agua¹, un programa de capacitación continua para la formación de los prestadores del servicio de agua potable y de riego sobre la gestión integral de recursos hídricos, sistematizando experiencias prácticas y llevándolas a un grado académico para compartirlas ampliamente a nivel nacional.

Es una iniciativa generada por la suma de voluntades de la Autoridad Nacional del Agua - SENAGUA, de la Universidad Técnica Particular de Loja, de los Fondos FONAPA y FORAGUA, y de Naturaleza & Cultura Internacional, quienes apoyados financieramente por Tinker Foundation, aportan desde su experiencia, información y competencias a incrementar las capacidades requeridas por los administradores locales del agua para su adecuada gestión.

Entre 2017 y 2019 se están formando cerca de 180 funcionarios de 28 Gobiernos Municipales en tres ediciones del curso "Conservación y Manejo de Fuentes de Agua", el cual incluye 8 meses de capacitación gratuita y académicamente acreditada en seis módulos que abarcan temáticas como: Principios generales para la conservación, Sistemas de Información Geográfica, Indicadores y Monitoreo del agua, Legislación aplicada a la protección de fuentes hídricas y Estrategias prácticas para la gestión del agua.

La meta de la Escuela del Agua hasta el 2019 es aportar al mejoramiento de la calidad y cantidad del agua para 500.000 personas, la creación de 100.000 ha de nuevas reservas municipales para la protección de las fuentes hídricas y la generación de recursos económicos permanentes para la implementación de actividades de conservación a nivel local.

Próximamente, la Escuela del Agua implementará cursos en Ecohidrología, como herramienta para solucionar problemas de calidad y cantidad del agua, aprovechando además la reciente incorporación de Paltas – Catacocha en la Red Mundial de Sitios Demostrativos de Ecohidrología de la UNESCO PHI y los nuevos vínculos con la "Familia del Agua", con lo cual se ampliará la visión técnica y redes de colaboración de los participantes.

REFERENCIAS

¹Secretaría del Agua – SENAGUA. 2016. Resolución Ministerial 2016-1442.



Fabián Rodas López, Biólogo. Coordinador General de la Escuela del Agua. Desde 2002 colabora en Naturaleza & Cultura Internacional (NCI), donde ha trabajado y publicado en investigación de avifauna, conservación de ecosistemas, docencia, declaratoria de áreas protegidas, fondos fiduciarios para conservación de recursos hídricos, capacitación a gobiernos locales y generación de políticas ambientales. Desde 2006 ha trabajado en protección de recursos hídricos, como responsable de la creación del Fondo Regional del Agua – FORAGUA y en apoyo al Fondo del Agua para la Conservación de la Cuenca del río Paute – FONAPA. La fotografía le ha permitido retratar y compartir la belleza natural que nos rodea.

NCI es parte de las instituciones que apoyan de manera técnica y financiera a la ejecución de la “Escuela del Agua” y ha establecido convenios de cooperación tanto con SENAGUA como con el Municipio de Paltas para apoyar en los procesos de integración en Ecuador, del enfoque ecohidrológico como herramienta de gestión de recursos hídricos.

17.2. Empresa privada

17.2.1. INGERALEZA S.A.

Basada en Quito Ecuador, INGERALEZA es una consultora ambiental que enfoca sus acciones en

todo el país, con una proyección internacional. La empresa es el resultado de muchos años de preparación y experiencias adquiridas, para hacerlas compatibles al desarrollo y la protección ambiental, a través de la prestación de servicios de consultoría profesional, tal como lo indica su presidente y autor invitado Freddy Cáceres.

El catálogo de servicios de la empresa contempla tres áreas estratégicas que son: (1) Estudios de Ingeniería, (2) Consultorías Ambientales, y (3) el desarrollo y apoyo a la diseminación de la Eco-hidrología en Ecuador.





Autor invitado

Freddy Cáceres, Quito, Ecuador fcaceres@ingeraleza.com

La vinculación de la empresa privada en el desarrollo de la ecohidrología en Ecuador, el caso de INGERALEZA S.A.

El conocimiento científico y el desarrollo de la tecnología son pilares fundamentales en el campo académico. Mientras más estudios se realizan, el ser humano se ve beneficiado de las ventajas que se traduce en el mejor entendimiento de los fenómenos naturales y, con ello, la Academia cada vez alcanza una mayor madurez, generando, al mismo tiempo, nuevos desafíos para la ciencia.

Sin embargo, el conocimiento científico por sí solo es insuficiente para cubrir las necesidades de la sociedad moderna, una sociedad ávida de la provisión de servicios básicos, alimentos, infraestructura, energía, manufactura, telecomunicaciones y de tecnologías de información y de realidad virtual en la era digital, con el beneficio directo que ello representa en la generación de fuentes de empleo. Es decir que la industrialización y, en términos generales, el desarrollo, es de vital importancia para el ser humano.

El desarrollo sostenible, aquél que busca el equilibrio entre lo económico, lo social y lo ambiental, se presenta como la mejor alternativa para lograr la prosperidad de la sociedad, en un marco de respeto al ser humano y al ambiente, y, dentro de éste, a cada una de sus dimensiones, incluida la dimensión ecológica, es decir la de las relaciones, procesos y transferencia de materia y energía entre el medio inerte y los seres vivos. Precisamente, en este último ámbito se inscribe la Ecohidrología, como una disciplina que estudia las interacciones bidireccionales de causa-efecto entre la hidrología y la ecología.

En cualquier modelo de desarrollo, y más aún en el modelo del desarrollo sostenible, los actores sociales cumplen una función establecida, siendo solamente el nivel de efectividad de dichas funciones, y de las interacciones entre cada uno de los actores, los que determinan el éxito o el fracaso del modelo. Es así que las autoridades, la academia, las instituciones públicas, la empresa privada, las ONGs y la opinión pública, todos cumplen una importante función en el mantenimiento y en el crecimiento del modelo de desarrollo aplicado. Mientras más y mejor ordenada y coherente sea esta participación multisectorial, el nivel de efectividad en la aplicación del modelo será mayor.

En este marco de interacción multisectorial, el rol de la empresa privada juega un papel preponderante, ya que se constituye en el agente transmisor del conocimiento científico y tecnológico hacia las aplicaciones prácticas que permiten suplir las necesidades de la sociedad en general. En otras palabras, el conocimiento abstracto generado en el ámbito científico-académico se ve plasmado en productos y servicios para la sociedad, a través de la empresa privada, generando trabajo y riqueza, a la vez que se cubren los requerimientos de la ciudadanía.

Ingeniería y Naturaleza INGERALEZA S.A. ha decidido asumir el liderazgo en innovación científica, como la empresa privada pionera en la generación de una nueva línea de negocio: la provisión de servicios especializados de consultoría técnica en Ecohidrología, con lo cual, precisamente, se ocupa de que los fundamentos teórico-científicos de esta disciplina se vean plasmados en acciones tangibles que incorporen el enfoque ecohidrológico de la UNESCO.

INGERALEZA ha colaborado activamente en este proceso, mediante su participación en los congresos internacionales de Río de Janeiro-Brasil (2017) y Faro-Portugal (2018), con lo cual ha fortalecido su capacidad técnica, misma que le ha permitido obtener varios logros importantes, como la identificación de sitios y actores claves para el desarrollo de la Ecohidrología en el Ecuador, la postulación y el

reconocimiento del sitio demostrativo de Paltas-Catacocha; y el aporte a la capacitación y educación en temas ecohidrológicos, especialmente dentro del marco de la "Escuela del Agua".

Los proyectos en los cuales INGERALEZA logra cubrir los requerimientos de esta concurrencia de saberes entre la Ecología y la Hidrología, tienen que ver con el manejo integrado de los recursos hídricos, la gestión de cuencas hídricas, la provisión de servicios de agua potable, alcantarillado, sistemas de riego, tratamiento de aguas residuales, estudios hidrobiológicos, monitoreo bioacuático, parques acuáticos, etc. y, claro está, la asesoría técnica a los Gobiernos Locales interesados en calificar sus proyectos de gestión de recursos hídricos, como sitios demostrativos ante el Programa Ecohidrológico de la UNESCO. Un trabajo que, con mucho gusto, está a disposición de todo el Ecuador.



Freddy Cáceres es Biólogo e Ingeniero en Gestión Ambiental. Cuenta con dos Maestrías: una en Energía y Medio Ambiente, y otra en Seguridad y Prevención de Riesgos Laborales, así como cursos de especialización en Dirección de Empresas y en Gestión Integral: Calidad, Ambiente y Responsabilidad Social. Es Presidente Ejecutivo de INGERALEZA S.A., empresa privada que ha incorporado los fundamentos de la Ecohidrología en la provisión de servicios de asesoría técnica, como una de sus líneas de negocio en el campo de la consultoría ambiental.

En el área estratégica de Ecohidrología, INGERALEZA tiene como objetivo apoyar al desarrollo del enfoque ecohidrológico en Ecuador, mediante la realización de actividades educativas y de capacitación, investigación científica, y consultoría profesional. Como actividades específicas, la empresa

oferta servicios especializados en ecohidrología en los diferentes niveles y estructuras de manejo de los recursos hídricos. Realiza proyectos científicos y educativos para fomentar la aplicación de esta herramienta holística de la gestión del agua en Ecuador. (INGERALEZA, 2016).

Referencias

- INGERALEZA.** (2016). Página web de INGERALEZA S.A. Retrieved from <http://www.ingeraleza.com>
- UNESCO-PHI-VIII.** (2012). Seguridad Hídrica: Respuestas a los Desafíos Locales, Regionales y Mundiales. Plan Estratégico PHI-VIII 2014 - 2021. Retrieved from <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002180/218061s.pdf>
- UNESCO-Quito.** (2017). Oficina de la UNESCO en Quito. Retrieved from <http://www.unesco.org/new/es/quito/natural-sciences/international-hydrological-programme-ihp/>

- Zalewski, M., Harper, D. M., Demars, B., Jolánkai, G., Crosa, G., Janauer, G. A., & Pacini, N.** (2008). Linking biological and physical processes at the river basin scale: the origins, scientific background and scope of ecohydrology. In D. M. Harper, M. Zalewski, & N. Pacini (Eds.), *Ecohydrology—Processes, Models and Case Studies*, edited by: Harper, D., Zalewski, M., and Pacini, N., CABI, Oxfordshire (pp. 1-17).



Afluente del río Pita, Pichincha, Ecuador

Ultílogo

Para finalizar esta obra, copiamos un extracto del discurso inaugural presentado por la Sra. Audrey Azoulay, Directora General de UNESCO en el Foro Mundial del Agua realizado el 19 de marzo de 2018 en Brasilia. En su alocución, se mencionó el ejemplo de la recuperación de los saberes ancestrales de los paltas, en el esfuerzo de manejar los recursos hídricos en Catacocha, al sur del Ecuador. Los paltas tenían claros sus métodos para subsistir en una zona donde las precipitaciones fueron y son escasas; el reto en la actualidad, es integrar todos los conocimientos de nuestra época, para apoyar el desarrollo sustentable de nuestros pueblos, tal como lo proponen los preceptos de la ecohidrología y dar así por *superada la paradoja* presentada al inicio de este texto.

... “La edición 2018 del Informe Mundial sobre el Desarrollo del Agua, de la UNESCO y ONU Agua, destaca el vínculo intrínseco del agua y los ecosistemas. Las “Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN)” han inspirado el tema de la celebración del Día Mundial del Agua, 2018.

Esta visión nos exige aprovechar los beneficios de las SbN, y no centrarnos únicamente en la “infraestructura gris”, para asegurar el suministro adecuado de agua, garantizar la producción de alimentos y proporcionar agua potable a las sociedades.

Las SbN también pueden contribuir a otros aspectos del desarrollo sostenible, como la reducción del riesgo de desastres, la construcción de asentamientos urbanos sostenibles y el fomento del trabajo decente.

Ahora, más que nunca, debemos trabajar con la naturaleza, en lugar de combatirla.

Un ejemplo de esto es el sistema de gestión del agua de los paltas en el sur de Ecuador. La comunidad, está restaurando reservorios naturales e invirtiendo la tendencia a la sobreexplotación de la tierra. Como resultado, los habitantes de la ciudad vecina de Catacocha tienen un suministro de agua durante seis horas al día en lugar de solo uno.

Este ejemplo de gestión del agua está ubicado en una reserva transfronteriza de la Biosfera del Programa Hombre y la Biosfera de la UNESCO, el Bosque de Paz compartido por Ecuador y Perú, esto solo fue posible trabajando con la población local.

Pero no solo se revivieron las prácticas tradicionales y los sistemas ancestrales de gestión del agua: de hecho, el proyecto ha descubierto petroglifos antiguos, que representan la relación elemental de la humanidad con el agua”.

Audrey Azoulay
Directora General de UNESCO

Brasil, 19 de marzo de 2018

La Escuela del Agua es un programa de capacitación desarrollado conjuntamente entre la Secretaría del Agua (SENAGUA), la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), la Corporación Naturaleza y Cultura Internacional (NCI), el Fondo Regional del Agua (FORAGUA) y el Fondo para la Conservación de la Cuenca del Río Paute (FONAPA). Su objetivo es fortalecer las capacidades de los prestadores de servicios de agua potable y riego e instituciones vinculadas a la gestión del agua, para garantizar la conservación, recuperación, y manejo integral de cuencas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico.

El desarrollo de la Ecohidrología en el Ecuador mediante la investigación y la aplicación de sus herramientas científicas, significarán una mayor oportunidad para proteger y recuperar los servicios ambientales de los ecosistemas, en beneficio de las poblaciones humanas y de la naturaleza. Por esto, la Escuela del Agua acoge a la Ecohidrología como una disciplina a fomentar dentro de sus programas de capacitación.

La Escuela del Agua es una cooperación conjunta de:



Con el apoyo de:



¿Cómo nos encontramos en el Ecuador con respecto a la aplicación de la ecohidrología? ¿Cuáles son los principales actores? ¿En dónde se vienen utilizando prácticas de manejo de recursos hídricos con enfoque ecohidrológico? ¿Qué instituciones investigan y usan la ecohidrología en el país?

Estas son las principales preguntas que motivaron la realización de este texto. Las respuestas fueron muy alentadoras y, aunque falta mucho por hacer (principalmente generación de datos científicos y creación de políticas públicas), consideramos que el desarrollo y uso de la ecohidrología en el país será sumamente útil para asegurar un apoyo práctico a la gestión del agua y la naturaleza, con beneficios claros para la sociedad.

Este trabajo se articula dentro del Programa Hidrológico Internacional de UNESCO fase VIII, específicamente dentro del subprograma: "Ecohidrología: creación de armonía para un mundo sostenible". Aquí exhibimos las principales estrategias de diseminación global de este concepto y sus perspectivas de aplicación, pasadas y futuras, en Ecuador.



Con la colaboración de: