

SERIE RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS
Y PESQUEROS CONTINENTALES
DE COLOMBIA

XIX. PECES DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA, COLOMBIA:

diversidad, conservación y uso
sostenible

Luz Jiménez-Segura y Carlos A. Lasso
(Editores)



© Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt 2020.

© Universidad de Antioquia 2020.

Los textos pueden ser citados total o parcialmente citando la fuente.

**SERIE EDITORIAL RECURSOS
HIDROBIOLÓGICOS Y PESQUEROS
CONTINENTALES DE COLOMBIA – Instituto
de Investigación de Recursos Biológicos
Alexander von Humboldt**

Editor: Carlos A. Lasso.

Revisión de textos: Germán Galvis (ICN-Universidad Nacional de Colombia) y Donald C. Taphorn (Royal Ontario Museum), Canadá.

Elaboración de mapas: Raúl Alejandro Carvajal. Esri Colombia.

Fotos portada: Jorge E. García-Melo, Felipe Villegas y Carlos A. Lasso.

Foto contraportada: Luis J. García-Melo.

Foto portada interior: Jorge E. García-Melo.

Diseño e impresión: Estudio 45-8 S.A.S. 500 ejemplares.

CITACIÓN SUGERIDA:

Obra completa: Jiménez-Segura, L. y C. A. Lasso (Eds.). 2020. XIX. Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. 434 pp.

Capítulos. Gutiérrez-Moreno, L. C. y A. De la Parra-Guerra. 2020. Contaminación del agua en la cuenca del río Magdalena (Colombia) y su relación con los peces. *En:* Jiménez-Segura, L. y C. A. Lasso (Eds.). Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible. Pp. 239-263. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C.

Con la colaboración de



XIX. Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible / editado por: Luz Jiménez-Segura, Carlos A. Lasso; Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia, XIX – Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2020.

434 p.: il., col.; 16.5 cm. X 24 cm

Incluye ilustraciones a color, tablas, fotografías a color, referencias bibliográficas e índices

ISBN obra impresa: 978-958-5183-03-2

ISBN obra digital: 978-958-5183-04-9

Doi: 10.21068/A2020RRHHXIX

1. Colombia -- Cuenca Magdalena 2. Peces 3. Ecología 4. Historias de vida 5. Genética 6. Pesquerías 7. Especies introducidas 8. Impacto antrópico I. Jiménez-Segura, Luz. II. Lasso, Carlos A. III. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt IV. Universidad de Antioquia.

CDD: 333.956 Ed. 23

Número de contribución: 600

Registro en el catálogo Humboldt: 15038

CEP – Biblioteca Francisco Matís, Instituto Alexander von Humboldt -- Diana Bejarano

Responsabilidad. Las denominaciones empleadas y la presentación del material en esta publicación no implican la expresión o juicio alguno por parte del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Así mismo, las opiniones expresadas no representan las decisiones o políticas del Instituto, ni la citación de nombres, estadísticas de cualquier tipo o procesos comerciales. Todos los aportes y opiniones expresadas son de la entera responsabilidad de los autores correspondientes.



COMITÉ CIENTÍFICO

- **Anabel Rial Bouzas** (BioHábitat A. C. Venezuela y consultora independiente)
- **Aniello Barbarino** (Fundación Orinoquía, Colombia)
- **Antonio Machado-Allison** (Universidad Central de Venezuela)
- **Carlos Barreto-Reyes** (Fundación Humedales, Colombia)
- **Carlos A. Rodríguez Fernández** (Fundación Tropenbos, Colombia)
- **Célio Magalhães** (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia INPA/CPBA, Brasil)
- **Donald Taphorn** (Research Associate-Ichthyology, Royal Ontario Museum, Canadá)
- **Edwin Agudelo-Córdoba** (Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas-Sinchi, Colombia)
- **Fernando Trujillo** (Fundación Omacha, Colombia)
- **Francisco de Paula Gutiérrez** (Universidad Jorge Tadeo Lozano, Colombia)
- **Germán Galvis Vergara** (Universidad Nacional de Colombia)
- **Hernando Ramírez-Gil** (Universidad de los Llanos-Unillanos, Colombia)
- **Hernán Ortega** (Universidad Nacional Mayor de San Marcos-UNMSM, Perú)
- **Jaime De La Ossa** (Universidad de Sucre, Colombia)
- **John Valbo Jørgensen** (Departamento de Pesca y Acuicultura, FAO)
- **Josefa C. Señaris** (Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Venezuela)
- **Luz F. Jiménez-Segura** (Universidad de Antioquia, Colombia)
- **Mauricio Valderrama Barco** (Fundación Humedales, Colombia)
- **Myriam Lugo Rugeles** (Universidad Nacional de Colombia)
- **Ramiro Barriga** (Instituto Politécnico de Quito, Ecuador)
- **Ricardo Restrepo M.** (Universidad Santo Tomás de Aquino-USTA, Colombia)
- **Rosa E. Ajiaco-Martínez** (Universidad de los Llanos-Unillanos, Colombia)
- **Susana Caballero-Gaitán** (Universidad de los Andes, Colombia)





TABLA DE CONTENIDO

Presentaciones	9
Prólogo	13
Autores y afiliaciones	17
Agradecimientos	21
Resumen ejecutivo	25
Executive summary	31
Introducción	37
Parte 1	
Conocimiento sobre la ictiofauna de la cuenca del río Magdalena	39
1. Aspectos físicos de la cuenca del río Magdalena, Colombia: geología, hidrología, sedimentos, conectividad, ecosistemas acuáticos e implicaciones para la biota	41
2. Diversidad de peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia	85
3. Diversidad y estructura genética de los peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia	115
4. Ecología e historias de vida de los peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia	159

TABLA DE CONTENIDO

5. Servicios ecosistémicos generados por los peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia	205
<hr/>	
Parte 2	
Conflictos ambientales que enfrentan los peces de la cuenca del río Magdalena	237
<hr/>	
6. Contaminación del agua de la cuenca del río Magdalena, Colombia y su relación con los peces	239
<hr/>	
7. Modificación del hábitat para los peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia	265
<hr/>	
8. Peces introducidos en el río Magdalena y cuencas vecinas, Colombia	295
<hr/>	
9. Presión de uso del recurso ictico por la pesca artesanal en la cuenca del río Magdalena, Colombia	369
<hr/>	
Parte 3	
Amenazas, manejo y conservación	389
<hr/>	
10. Diagnóstico del grado de amenaza, medidas de manejo y conservación para los peces del río Magdalena, Colombia	391
<hr/>	
11. Conclusiones y recomendaciones finales	431
<hr/>	



Madrevieja en Masenquera, Cimitarra, Santander. Foto: Catalina Osorio-Peláez.



Atardecer. Foto: Jorge E. García-Melo.



PRESENTACIONES



Sin duda alguna, una de las regiones naturales mejor estudiadas de Colombia es la cuenca del gran río de La Magdalena. Toda su red de drenaje recorre la historia del país, sus culturas, costumbres, idiosincrasia y sobre todo una variedad de recursos naturales y ecosistemas incomparable. Desde las grandes cumbres altoandinas, los páramos, montañas, piedemonte, ciénagas y su salida al océano Atlántico, se ha configurado un crisol maravilloso de culturas y biodiversidad. Su aislamiento y enclave entre los tres ramales de las cordilleras andinas han llevado a un proceso de especiación que no tiene precedentes en América del Sur y me atrevería a decir que en gran parte del mundo. Todos estos elementos al unísono han determinado que la cuenca del Magdalena presente los niveles más altos de endemismo (especies únicas) en muchos grupos de especies y formas de vida no solo en Colombia, sino en toda la región Neotropical. Entre estos, destacan los peces, un grupo biológico

directamente relacionado con la cultura y el bienestar del ser humano. Es precisamente aspectos de esta interacción los que se abordan en esta obra gracias a la coedición de la Universidad de Antioquia y el Instituto Humboldt, con la participación de investigadores conocedores en la región. Cincuenta y ocho investigadores nacionales e internacionales de 12 universidades, dos institutos de investigación, cuatro ONG, dos empresas, otras organizaciones del sector educativo e investigadores independientes, dan fe de este enorme esfuerzo.

Este libro nos pone al día en tres grandes bloques, uno inicial donde se aborda el estado del conocimiento tanto desde la perspectiva biótica como física de la cuenca, la geología, hidrología, sedimentología y su relación con los ecosistemas y la biodiversidad acuática; los peces, su diversidad taxonómica y genética, ecología e historias de vida y los servicios

PRESENTACIONES

ecosistémicos que brindan como recursos pesqueros. En la segunda parte se consideran los conflictos ambientales en la cuenca, desde temas como la contaminación y la modificación del hábitat; los peces introducidos (exóticos y trasplantados) y la “presión” de una demanda cada vez mayor de la pesca. En la sección tercera, tras una interpretación concienzuda de los capítulos anteriores y el conocimiento de los investigadores, se hace un análisis detallado de todas las amenazas, así como las estrategias de conservación y manejo del recurso íctico. Todo ello, sienta las bases para una serie de recomendaciones para la toma de decisiones que son recogidas al final de la obra.

Estamos seguros de que toda esta información recogida, sintetizada y analizada con rigor científico y autonomía de cátedra, servirá a todos los sectores de la vida nacional, no solo al ambiental,

académico y educativo, sino a las diferentes instancias nacionales, regionales, públicas o privadas, que desarrollan su quehacer diario en esta vasta región de Colombia.

No puedo despedirme por supuesto, si reconocer el esfuerzo especial de Empresas Públicas de Medellín que financió la impresión de esta obra, así como el papel que ha desempeñado la Universidad de Antioquia y el Grupo de Ictiología del Instituto de Biología, así como la Línea de Recursos Biológicos del Instituto Humboldt, en la consecución de este esperado objetivo.

A todos ellos mi mayor reconocimiento y admiración.

Dr. Hernando García

Instituto de Investigación de Recursos
Biológicos Alexander von Humboldt
Bogotá, enero 2021



Jorge E. García-Melo



Los peces de la cuenca del río Magdalena son tal vez de los más conocidos en Colombia y la Universidad de Antioquia, con el apoyo de diferentes entidades, ha aportado a la construcción de su conocimiento. Aunque hemos avanzado, aun no es suficiente. Por eso la Universidad continúa apoyando a estudiantes, profesores e investigadores para que desarrollen la hermosa tarea de conocer su diversidad, describir sus hábitats y las características de las poblaciones de las diferentes especies de peces.

Al final, nuestra intención como institución educativa e investigadora es que el conocimiento logrado sirva de fundamento para la toma de decisiones y que se transfiera a diferentes sectores de la sociedad colombiana a través de los contenidos de los programas académicos, apoyando al

sector empresarial y empoderando a las comunidades ribereñas que habitan en las condiciones y dinámica propia de los ecosistemas acuáticos del país.

Investigadores vinculados a 22 instituciones han construido un documento de referencia. A las personas que lo lean les proveerá de conocimiento básico sobre la ictiofauna, los conflictos que enfrenta en los ecosistemas acuáticos presentes en la cuenca Magdalena y las estrategias que se desarrollan para manejarlos. En hora buena la generosa cooperación entre instituciones ha permitido la generación de estos maravillosos textos.

John Jairo Arboleda Céspedes

Rector

Universidad de Antioquia



Ciénaga del Magdalena. Foto: Luis J. García-Melo.



PRÓLOGO

Los peces de la cuenca del río Magdalena, biodiversidad e identidad de un país anfibio

Ir en una chalupa, una canoa, una lancha por el río Magdalena o cualquiera de sus tributarios y ciénagas, que salten los peces y entren en ella es una experiencia que todos los niños deberían tener la posibilidad de vivir, de sorprenderse con esos seres escurridizos que hacen parte de nuestras raíces, que son parte de esa riqueza invisible y móvil de un país anfibio que seguimos comprendiendo y dimensionando. Ese es uno de los primeros recuerdos que tengo de mi infancia llegando a El Banco (Magdalena) de donde es mi familia paterna, en fiestas de la Candelaria; desde ese momento el río, sus peces, la cumbia hacen parte de mi identidad a pesar de haber nacido en Bogotá. Por eso agradezco profundamente a los Editores, la profesora Luz Fernanda Jiménez y Carlos A. Lasso, la generosa invitación a escribir el prólogo de este libro.

Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible, es sin duda un esfuerzo colectivo fundamental que contribuye con la comprensión profunda de la complejidad

que rodea las dinámicas actuales de los peces del río Magdalena. Surge en tiempos donde tenemos mayores certezas sobre la crisis de biodiversidad y sus repercusiones, que se expresan de manera especialmente crítica en América Latina, tal y como se evidencia en los informes globales de la Evaluación para las Américas de la IPBES (2018) o el informe Planeta Vivo de WWF (2020).

Los grandes retos para gestionar esta crisis de biodiversidad, en tiempos donde las múltiples crisis que estamos viviendo se retroalimentan (crisis climática, crisis de salud pública en tiempos de pandemia, crisis económica), requieren varios cambios en la forma en la que la sociedad ha tomado sus decisiones especialmente en el último siglo. Uno de los cambios requeridos es generar esfuerzos de integración del conocimiento como el que nos ofrece este libro, que es sin duda uno de los aspectos más valiosos de esta obra. Lograr articular el mejor conocimiento disponible de 58 autores de 22 instituciones diversas: diez universidades nacionales, dos universidades extranjeras, cinco organizaciones no gubernamentales, dos empresas de servicios públicos, un instituto de investigación del

PRÓLOGO

SINA y una entidad de formación para el trabajo. Debo hacer una mención especial y un reconocimiento por los aportes de 23 autoras, profesoras e investigadoras que llevan mucho tiempo aportando al conocimiento científico con altísima calidad, compromiso y dedicación.

Para comprender la situación de los peces de la cuenca del río Magdalena, el libro nos invita en su primera parte a conocer el origen geológico del río, su diversidad geomorfológica y complejidad estructural que constituye la base de la diversidad de hábitats para las 233 especies de peces conocidas que habitan la cuenca, desde los Andes hasta su desembocadura en Bocas de Ceniza o por el Canal del Dique en Cartagena. Los aportes sobre el conocimiento ecológico de los ensamblajes de peces, la comprensión sobre su distribución y hábitos, así como las profundas contribuciones que hacen los peces al bienestar humano desde el enfoque de la pesca, son dos capítulos que contribuyen de manera imprescindible a la comprensión de la ecología nacional. En esta primera parte son primordiales las reflexiones sobre las asimetrías en la construcción de conocimiento, los vacíos que aún tenemos y la necesidad de seguir fortaleciendo la investigación científica en diversas dimensiones ecológicas.

En su segunda parte el libro nos invita a ahondar en la comprensión de los conflictos ambientales por los que nadan, migran, se adaptan o no, los peces de la cuenca del Magdalena; estos conflictos que no solo afectan ecológicamente a los peces, sino que evidencian los procesos de deterioro de la cuenca y con ellos la afectación a los cientos de miles de personas que dependen de su funcionamiento y especialmente de la pesca. Esta parte ofrece un

valioso ejercicio de reconstrucción sobre las múltiples formas en las que la contaminación se hace presente en la cuenca, alterando la calidad del agua y los sedimentos; también presenta una clara evidencia en el capítulo sobre las modificaciones de los hábitats, de los cambios geomorfológicos, la pérdida de conectividad hidrológica y sus efectos acumulativos en los caudales y flujos de sedimentos. Estos argumentos nos ayudan a contrastar la realidad nacional con lo que se ha demostrado a nivel mundial: las profundas y aceleradas transformaciones que han sufrido los ríos en todo el planeta, basadas en una aproximación económica que omitió en sus ecuaciones el papel fundamental de los flujos termodinámicos y la entropía, mediada por la biodiversidad para la acumulación de capital financiero.

La visión reduccionista que se ha tenido desde algunos sectores productivos, al gestionar los ríos y ciénagas como estanques de peces, que incluyen prácticas asociadas a la introducción de especies de interés pesquero, sumado a la contaminación y la pérdida de conectividad, ha generado conflictos ambientales invisibles con efectos ecológicos y sociales que nos invitan a comprender en dos de los capítulos de esta segunda parte. Al respecto del aumento de la presión de la pesca artesanal es importante considerar, como lo hemos visto en la Ciénaga Grande de Santa Marta, que es una respuesta social adaptativa ante la retroalimentación de varios procesos en el tiempo: por un lado las alteraciones de las conexiones ecohidrológicas afectan las migraciones y las poblaciones de peces, ante esta situación las comunidades de pescadores artesanales aumentan el esfuerzo pesquero para mantener sus ingresos económicos, pero al mantenerse y aumentar los efectos de



Carlos A. Lasso

las alteraciones en la conectividad, las poblaciones locales quedan inmersas en una trampa de la pobreza, que es evidente en muchos de los municipios ribereños de la cuenca.

El libro cierra en su tercera parte con un ejercicio de integración de los autores para sintetizar la magnitud de las amenazas que enfrentan los peces y sus aportes para incidir en las medidas de manejo para la conservación de los peces del Magdalena. Este capítulo dice verdades incómodas, como que la cuenca del Magdalena presenta el mayor número de especies amenazadas del país y es una de las cuencas más amenazadas de los Andes Tropicales, también los autores afirman que los esfuerzos han sido insuficientes y las visiones importadas de pesquerías templadas reducidas a la gestión de un grupo de especies de importancia comercial, implementados en ambientes tropicales tan diversos, están en el centro de la crisis de los peces del Magdalena. La ausencia en las medidas de gestión clásicas del conocimiento ecológico tradicional de los habitantes de la cuenca ha sido un elemento fundamental de un país que está en proceso de revalorizar sus raíces anfibia y el diálogo de sistemas de conocimiento. Este libro hace un llamado fundamental por avanzar en una visión integradora, socioecológica, a escala de los hábitats de los peces y de las realidades de las personas que dependen de ellos; se

suman los autores desde un libro de resultados científicos a múltiples llamados que se han realizado por ejemplo ante grandes proyectos de desarrollo nacional como la navegabilidad del río Magdalena o el aumento de hidroléctricas.

El río Magdalena y sus peces son parte de la identidad de los colombianos, está en nuestras canciones desde los bundes hasta la cumbia, en nuestra gastronomía, en nuestros recuerdos de momentos felices, de sorpresas. La cuenca ha cambiado en algunos casos de manera irreversible, la calidad de vida de sus habitantes también, tenemos como sociedad una deuda histórica con ellos y el futuro de incertidumbre climática requiere que los tomadores de decisiones, la academia y la sociedad en general conozcan que nuestro río más importante y sus peces, las especies que más nos conectan, tienen en este libro un documento fundamental para fortalecer la resiliencia de nuestro país.

Muchas gracias a los autores y editores por este libro fundamental en un país megadiverso.

Sandra P. Vilardy Quiroga

Doctora en Ecología y Medio Ambiente
Profesora, Universidad de Los Andes
Directora Parques
Nacionales-Cómo Vamos
Bogotá, febrero 2021



Ciénaga El Guájaro. Foto: Carlos A. Lasso.



AUTORES Y AFILIACIONES

Universidad de Antioquia, Colombia

Daniel Valencia-Rodríguez
daniel.valenciar@udea.edu.co

Daniel Restrepo-Santamaría
dasanta24@gmail.com

Isai Castaño-Tenorio
Isai.castano@udea.edu.co

Jacobo Campuzano
jacobo.campuzano@udea.edu.co

Jorge L. Escobar-Cardona
jorgeluisesc@gmail.com

Juan G. Ospina-Pabón
jguillermo.ospina@udea.edu.co

Juliana Herrera-Pérez
juliana.herrerap@udea.edu.co

Kelly Rivera-Coley
kelly.rivera@udea.edu.co

Luz Jiménez-Segura
luz.jimenez@udea.edu.co

María F. Arboleda
mfernanda.arboleda@udea.edu.co

Sebastián E. Muñoz-Duque
sebasemd@gmail.com

Empresas Públicas de Medellín, Colombia

Andrés F. Galeano
andres.galeano@epm.com.co

Luis J. García-Melo
luis.jose.garcia.melo@epm.com.co

Universidad del Atlántico, Colombia

Ana C. De la Parra-Guerra
adelaparra@mail.uniatlantico.edu.co

Carlos García-Alzate
carlosgarciaa@mail.uniatlantico.edu.co

Jenny Morales
jennymoralesp@gmail.com

Luis C. Gutiérrez-Moreno
luiscarlosgutierrez@mail.uniatlantico.edu.co

ENEL, Colombia

Diana M. Gualtero-Leal
dgualtero@enel.com

AUTORES Y AFILIACIONES

**Universidad Católica de Oriente,
Colombia**

María Isabel Ríos-Pulgarín
mrios@uco.edu.co

**Instituto del Ambiente de
Estocolmo-SEI, Suecia**

Héctor Angarita
hector.angarita@sei.org

Tania F. Santos-Santos
tania.santos@sei.org

Universidad de Córdoba, Colombia

Víctor Atencio-García
vatencio@correo.unicordoba.edu.co

**Instituto de Investigación de Recursos
Biológicos Alexander von Humboldt,
Colombia**

Ana C. Santos
asantos@humboldt.org.co

Angélica M. Batista-Morales
abatista@humboldt.org.co

Carlos DoNascimento
cdonascimento@humboldt.org.co

Carlos A. Lasso
classo@humboldt.org.co

María D. Escobar
mescobar@humboldt.org.co

Universidad EAFIT, Colombia

Andrés Cárdenas-Rozo
acarde17@eafit.edu.co

Juan D. Restrepo
jdrestrepo@eafit.edu.co

Juan F. Paniagua-Arroyave
jpaniag2@eafit.edu.co

María C. Castellanos
mcastel7@eafit.edu.co

Fundación Alma, Colombia

Juan C. Gutiérrez C.
jotiguti@gmail.com

**Universidad Federal do Rio Grande
do Sul, Brasil**

Ayan Santos-Fleischmann
ayan.fleischmann@gmail.com

Fernando Campo-Zambrano
fernando.zambrano@ufrgs.br

Gabriel F. Narváez-Campo
gabriel.narvaez.campo@gmail.com

Fundación Humedales, Colombia

Carlos G. Barreto-Reyes
cbarretoreyes@gmail.com

Mauricio Valderrama-Barco
mvalde@fundacionhumedales.org

Melissa Toro S.
melissatoro@fundacionhumedales.org

Sandra Hernández-Barrero
sandrahe@fundaciónhumedales.org

Universidad de Ibagué, Colombia

Jorge E. García-Melo
jorge.melo@unibague.edu.co

Fundación Natura, Colombia

Ángela L. Gutiérrez C.
angelagutierrezc@gmail.com



Jorge E. García-Melo

Carolina Rincón

c.rincon@natura.org.co

Juan C. Alonso

jalonso@natura.org.co

Luisa F. Casas

lcasas@natura.org.co

Yesid F. Rondón-Martínez

yesidfrondon@gmail.com

Universidad del Magdalena, Colombia

Juan C. Narváez-Barandica

jnarvaez@unimagdalena.edu.co

**Servicio Nacional de
Aprendizaje-SENA, Colombia**

Natalia Restrepo-Escobar

nrestrepoe@sena.edu.co

Universidad Nacional de Colombia

Anny J. Yepes-Acevedo

ajyepesa@unal.edu.co

Edna J. Márquez-Fernández

ejmarque@unal.edu.co

The Nature Conservancy

Carlos Rogeliz

carlos.rogeliz@tnc.org

Juliana Delgado

jdelgado@tnc.org

Paulo Petry

ppetry@tnc.org

Silvia López-Casas

silvilopezcasas@yahoo.com

Universidad Surcolombiana

Rubén D. Valbuena-Villarreal

rubendario@usco.edu.co

Consultores independientes

Raúl Pardo B.

raulpardoboada@gmail.com

Fabio García

fabio.pez92@gmail.com

**Universidad de Tenesse,
Estados Unidos**

Guido Herrera-R.

guidohero@hotmail.com

Universidad del Tolima, Colombia

Francisco A. Villa-Navarro

favilla@ut.edu.co



Ciénaga El Pato, Cesar. Foto: Catalina Osorio-Peláez.



AGRADECIMIENTOS

Al concluir la construcción de un libro como este y se mira hacia atrás, cuando se concibió la idea de su publicación hace unos cinco años, pasan varias imágenes por nuestra mente. Tal vez, la más recurrente es aquella asociada con la respuesta positiva a finales del año 2019 de nuestros amigos y colegas a vincularse con el proyecto, con este sueño. Estamos profundamente agradecidos con los 56 investigadores y las 22 instituciones que se han nombrado en páginas anteriores, por aceptar el llamado y vincularse al reto de construir durante el año 2020 el libro *Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible*

Agradecemos también a los 20 evaluadores anónimos o no, que realizaron la revisión juiciosa de cada capítulo. Sus aportes fueron definitivos para mejorar los contenidos en cada uno de ellos.

Especial gratitud al convenio BIO CT-2017-001714 entre la Universidad de Antioquia y Empresas Públicas de Medellín por apoyar la financiación de la impresión de esta publicación.

No han sido meses fáciles. La pandemia asociada con la exposición al virus Covid 19 (Sars 2) durante el 2020, le imprimió múltiples emociones asociadas con la construcción de cada línea y la concepción de cada idea. Hoy vemos con satisfacción que logramos hacer realidad ese sueño y que, puede convertirse en una referencia para las futuras generaciones.

De manera particular, los autores del Capítulo 1 (Área de estudio) agradecen a Alvaro Wills y German Rivillas por sus acertados aportes a la construcción del capítulo.

Los autores del Capítulo 2 (Riqueza peces) a los grupos de investigación Biodiversidad del Caribe Colombiano (Universidad del Atlántico) y Sistemática y Conservación (Corporación Universitaria Autónoma del Cauca), a la Vicerrectoría de Investigaciones y Proyección Social de la Universidad del Atlántico. FAVN agradece al Grupo de Investigación en Zoología y a la Oficina de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad del Tolima. JEGM agradece a la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, al Grupo de Investigación Naturatu, Dirección de Inves-

AGRADECIMIENTOS

tigaciones y Proyecto CaVFish Colombia (www.cavfish.unibague.edu.co) de la Universidad de Ibagué. Los autores agradecen a Juan Gabriel Albornoz-Garzón por la revisión de la distribución regional de las especies de *Creagrutus*. Finalmente, a Pablo Tedesco y Roberto Reis por sus acertados aportes en el proceso de evaluación.

En el Capítulo 3 (Genética) la mayoría de los resultados publicados y en desarrollo que se revisaron en el trabajo actual fueron financiados por EPM-Universidad Nacional de Colombia (Contrato CT-2013-002443; Convenio CT-2019-000661) y Colciencias-Universidad del Magdalena (Proyectos 1117-489-25459; 1117-521-28352). Los autores expresan su agradecimiento al Grupo de Investigación de Biotecnología Animal, línea genética poblacional y biodiversidad de la Universidad Nacional de Colombia, quienes proporcionaron información de trabajos que están en curso. También agradecen a Claudio Oliveira y Guillermo Orti por sus oportunos comentarios al manuscrito.

Los autores del Capítulo 4 (Ecología e historias de vida) agradecen a las siguientes instituciones: Empresas Públicas de Medellín, Enel-Emgesa, ISAGEN, Fundación Natura, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, The Nature Conservancy, Universidad de Antioquia, Universidad Surcolombiana y Universidad Católica de Oriente, por avalar el uso de la información construida a través de los convenios Isagen-Universidad de Antioquia 46/3296, Contrato ISAGEN-Universidad de Antioquia 46/2993, convenio Empresas Públicas de Medellín-Universidad de Antioquia CT-2017-001714, Proyecto GEF Magdalena-Cauca ViVe de BID-Fundación Natura-MADS- IDEAM-Cormagdalena-Fondo adaptación (FMAM No. ATN/FN-15981-CO) y poder construir

el conocimiento aquí plasmado, y también que permitieron el uso del tiempo de trabajo de los autores para la redacción. A Carlos Rogelis de The Nature Conservancy por facilitar los datos del modelo de velocidades de agua y de categorías de orden en la cuenca del río Magdalena. Finalmente agradecemos a Juan D. Bogotá y a Douglas Rodríguez-Olarte por sus comentarios y recomendaciones.

Los autores del Capítulo 5 (servicios ecosistémicos) agradecen al Instituto Alexander von Humboldt por permitir hacer uso de un mapa de la cuenca y a Alexis Cusva por su colaboración en la edición del mismo. A la AUNAP, que nos proporcionó la información estadística pesquera oportuna requerida. A Armando Ortega y Víctor Atencio por brindarnos sus conceptos, los cuales consignamos en este documento. A Carlos A. Lasso, por la información provista, en especial, para el tema de pesca recreativa y a Edna Márquez por la aclaración que brindó en el tema genética de peces. A Katty Camacho por la revisión de estilo. A Alexis Cusva por su apoyo en la elaboración de material gráfico. Al grupo de ictiólogos de la Universidad de Antioquia GIUA por su aporte al tema de servicios de regulación y mantenimiento. Muy especialmente a los pescadores de la cuenca Magdalena y sus familias que nos han acogido sin reservas en sus hogares para cumplir con las tareas que, en muchos casos, reflejamos en este capítulo. Finalmente agradecemos a Sandra Vilarity y a Ursula Jaramillo por sus comentarios constructivos al documento.

Los autores del Capítulo 6 sobre la contaminación del agua, agradecen a la Universidad del Atlántico, a MMA que facilitó información, al Instituto Alexander Von Humboldt por permitirnos integrar este equipo y contribuir al desarrollo de esta



Jorge E. García-Melo

revisión. A los amigos investigadores que nos apoyaron con las referencias y estudios para dar una visión integral de la situación. A los revisores Scott Winton y Santiago Duque, que aportaron al mejoramiento del capítulo.

Los autores del Capítulo 7 sobre cambios en el hábitat para los peces agradecen a Paulo Pompeu y Elizabeth Anderson por sus oportunas sugerencias a la construcción del capítulo.

Por su puesto a Esri Colombia por su aporte en la elaboración de los mapas de las especies introducidas del Capítulo 8, en especial a Helena Gutiérrez por su generosidad y a Raul Alejandro Carvajal por la depuración de los registros biológicos y los mapas generados. A los investigadores y/o curadores de diferentes colecciones biológicas nacionales que proporcionaron los datos: Francisco Villa-Navarro (UT); Carlos DoNascimento (IAvH); José I. Mojica (UNAL-ICN); a la plataforma InvBasa liderada por la Universidad Nacional de Colombia y Fundación Humedales; a la Universidad de Antioquia; ENEL, Universidad Surcolombiana; SiB Colombia y GBiF. Por último, a los pescadores deportivos y pescadores en general que enviaron fotos y registros para su confirmación. Gina C. Avella del MADS aportó parte de la información sobre los peces ornamentales. A Antonio Machado-Allison y Donald Taphorn por sus observaciones a la construcción del capítulo.

Los autores del Capítulo 9 sobre la presión de la actividad pesquera agradecen a Wolfgang Stotz por su asesoría en el desarrollo y manejo de la información. A Katty

Camacho por su apoyo en la corrección de estilo. A todos los pescadores de la cuenca del río Magdalena que proporcionaron de forma desinteresada la información de su actividad. A los evaluadores Miguel Petrere Jr. y Charles Olaya quienes con sus aportes nos ayudaron a mejorar el documento.

Los autores del Capítulo 10 sobre el estado de conservación y manejo, agradecen a los evaluadores Luis Orlando Duarte y Andrés Hernández Serna por el tiempo y su dedicación para mejorar la calidad del documento; al igual que a Camilo Bernal por su colaboración en la identificación de algunas medidas de manejo. Los aportes de los capítulos precedentes (1 a 9) sentaron las bases para la elaboración de este capítulo final.

Finalmente, toda nuestra gratitud al Instituto Alexander von Humboldt y a su director Hernando García por apoyar esta publicación y facilitar su divulgación en la reconocida serie editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros de nuestro país.

Luz Jiménez-Segura

Profesora Titular
Investigador Senior
Instituto de Biología
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Antioquia
Editora invitada

Carlos A. Lasso

Investigador Senior
Editor Serie Recursos Hidrobiológicos y
Pesqueros Continentales de Colombia
Instituto de Investigación de Recursos
Biológicos Alexander von Humboldt
Editor



Palmar inundable, Cimitarra, Santander. Foto: Catalina Osorio.



RESUMEN EJECUTIVO

La cuenca del río Magdalena es el sistema fluvial más representativo del norte de los Andes. Su historia está ligada al levantamiento de las cordilleras Central y Oriental. Presenta una precipitación promedio de 2.150 mm/año. Tiene un caudal promedio de $7.154 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y transporta cerca de 180 M ton de sedimentos al año (datos año 2015). Con una producción de $710 \text{ ton/km}^2/\text{año}$, se clasifica entre los diez primeros ríos con mayor tasa de erosión a nivel global. El río tiene una diversidad geomorfológica importante, con regiones de generación de sedimentos en las pendientes de las cordilleras y con áreas de transporte y sedimentación, como la planicie inundable de la Depresión Momposina, el abanico fluvial más extenso de los Andes del norte. En la última década, la cuenca del Magdalena ha experimentado un incremento en las tasas de erosión del 34%, debido en gran parte a la degradación ambiental y a los niveles de deforestación de más del 70% en los últimos 50 años, con impactos en las zonas inundables y costeras, con pérdidas del área de humedales > al 80% y de biota y servicios ecosistémicos en ciénagas y zonas costeras, incluyendo la Ciénaga Grande, la bahía de Cartagena y los arrecifes coralinos de Islas del Rosario. Más del

90% de su cuenca no se ha estudiado en relación con la evolución de canales, zonas de inundación y de otros ambientes fluviales.

La ictiofauna de la cuenca del Magdalena es la mejor conocida en contraste con las restantes cuencas hidrográficas de Colombia, producto de una dinámica de investigación enfocada en su mayoría en esta región del país, al constituirse en el principal eje de desarrollo económico. Paralelamente, este último escenario ha resultado también en una mayor intervención antrópica de la cuenca y de su biota. No obstante, persisten importantes vacíos de información en el inventario taxonómico de la misma, así como de la distribución geográfica de las especies, y consecuentemente, sobre los patrones derivados de riqueza, endemismo y diversidad. Se presenta aquí la lista de las especies nativas válidas para la cuenca del Magdalena, acompañada de un análisis de su distribución geográfica, tomando como referencia la regionalización hidrográfica propuesta por el IDEAM a efectos hidrográficos. Se reconocen 233 especies que corresponden al 14,5% de la diversidad peces agua dulce Colombia, agrupadas en siete órdenes y 33 familias. El 68% de las

RESUMEN EJECUTIVO

especies son endémicas del Magdalena y 75 especies están restringidas a una única subcuenca o sección dentro de la cuenca. La sección del Medio Magdalena se distingue por reunir la mayor riqueza y número de especies endémicas, mientras que la sección del Bajo-Medio Cauca fue la más disímil. La orogénesis de las cordilleras, incursiones marinas y dispersión entre cuencas, a través de capturas de cabeceras, son los procesos que han sido recientemente postulados para explicar este patrón biogeográfico heterogéneo dentro de la cuenca.

Existen estudios genético-poblacionales para 14 especies nativas y dos exóticas, y el desarrollo de *loci* microsatélites publicados para 13 de 17 especies. En general, la diversidad genética de los peces es alta para los “stocks naturales” de especies de interés pesquero, sin embargo, los coeficientes de endogamia también son altos en el bocachico, *Prochilodus magdalenae*; el capaz, *Pimelodus grosskopfii* y el barbudo, *Pimelodus yuma*. La mayoría de las especies de peces muestran flujo génico de uno o varios grupos genéticos que cohabitan en la misma área, excepto en algunos casos donde exhiben estructura genética a escalas geográficas locales (la sabaleta, *Brycon henni*) o regionales (*Brycon henni*, *P. grosskopfii* y *P. yuma*). Además, se desconocen los impactos ecológicos, genéticos y sanitarios de los repoblamientos y la introducción de especies exóticas y/o trasplantadas en la ictiofauna nativa. La falta de datos históricos no permite evidenciar la pérdida de diversidad genética y la ausencia de marcadores moleculares o inconsistencia en su uso, limitan las comparaciones entre los pocos estudios genéticos poblacionales publicados. Se discute la relevancia de continuar el desarrollo de *loci* de microsatélites específicos para las especies, principalmente las de mayor interés

en las pesquerías y desarrollo acuícola. Esto puede brindar una oportunidad a corto plazo para evaluar el estado general de las especies de peces a una escala nacional y la pertinencia de replantear los programas de repoblamiento.

La elevación en los Andes es un factor definitivo en la estructura de los ensamblajes de peces y los ecosistemas en que habitan. Los ensamblajes en el río Magdalena se estructuran mediante la interacción entre el tipo de ecosistema, la elevación y el ciclo de lluvias. Basados en información disponible en diferentes fuentes sobre la ecología de los peces del río Magdalena, se presentan algunas características de la comunidad de peces y de sus ensamblajes. La mayor riqueza de especies se encuentra en las zonas por debajo de los 700 m de elevación y, en particular, en los ecosistemas de corrientes (ríos y quebradas). La mayor diferencia en la composición de especies (recambio de especies) entre cuerpos de agua se observa en las zonas arriba de los 1.600 m s.n.m. Esta característica les confiere particularidades a los ensamblajes, en términos de la riqueza de especies en cada uno de los gremios tróficos, de las estrategias de vida y de los nichos funcionales en los que se estructuran los patrones de la ictiofauna en los Andes noroccidentales. En la cuenca se reconocen cuatro grandes gremios tróficos: carnívoros, detritívoros, omnívoros y planctófagos. La estrategia de vida más diversa en esta cuenca andina es la oportunista. El conocimiento de la ecología de los peces en el río Magdalena aún es incipiente, pero es posible aportar a partir de la información disponible para la toma de decisiones por parte de los diferentes actores de la cuenca.

Se reconocen varios servicios ecosistémicos generados por las poblaciones de peces en



Felipe Villegas

la cuenca del río Magdalena. En lo concerniente a los servicios de aprovisionamiento se valora la pesca artesanal, junto con sus beneficios como el aporte al empleo y a la seguridad alimentaria, presentándose conjuntamente aspectos relacionados con servicios de abastecimiento relacionados con pesca recreativa y deportiva, recursos genéticos y piscicultura. En cuanto a los servicios de regulación y mantenimiento, se describen los aportes a la regulación en la dinámica de la red trófica y el balance de nutrientes, a la reducción de contaminantes, a la transformación de materia orgánica en los sistemas de interacción peces-hábitat, bioturbación, transporte de los nutrientes-carbón-minerales, energía y la dispersión de semillas, junto con control biológico de plagas y enfermedades tropicales. Con relación a los servicios culturales se contemplan los relacionados con interacciones físicas e intelectuales asociados con la demanda para la educación e información y conocimiento local, y aquellos asociados con interacciones espirituales y simbólicas. Se concluye que el grado de desarrollo actual del conocimiento en la cuenca subestima los servicios ecosistémicos brindados por los peces, se enfatiza en la necesidad de modificar los paradigmas de manejo tradicional y se presentan recomendaciones para propender por su materialización.

La contaminación del agua del río Magdalena es el resultado de procesos temporales y espaciales complejos, su origen y evolución es un evento multidimensional. Esta síntesis corresponde a una compilación de informes técnicos, documentos institucionales, artículos científicos, tesis y trabajos grados. La sistematización de datos, sitios, tiempo y la búsqueda de referencias sobre efectos en la biota y salud, fue la tarea central de esta compilación, pero encontró en las múltiples metodologías, asincronía

temporal y vacíos espaciales de investigación, la mayor dificultad para comparar, contrastar o usar como complemento. Sin embargo, se diseñó una estructura que busca presentar de forma organizada los tipos y formas de contaminación y su comportamiento a lo largo de esta corriente fluvial, información que puede ayudar a comprender la riqueza, abundancia, dinámicas y riesgos de los ensamblajes de peces de este sistema hídrico. Estos registros merecen una atención especial de los investigadores, comunidades y de las autoridades responsables de manejo y conservación de los recursos naturales, para buscar soluciones técnicas, jurídicas, políticas, económicas y sociales.

La transformación de los hábitats fluviales de la cuenca del río Magdalena, han resultado de los efectos acumulativos y concurrentes de diversas intervenciones antrópicas. Los análisis que se realizan integran tres factores principales para cuantificar los cambios en los hábitats de agua dulce a escala de la cuenca: a) conectividad hidrológica, b) régimen de caudales, y c) el régimen de sedimentos y geomorfológico. Cada uno de estos componentes es analizado de manera espacialmente explícita para la red fluvial, indicando las zonas que concentran los mayores niveles de transformación. Específicamente, se documentan cambios asociados a la pérdida de los corredores de conexión entre hábitats de zonas bajas, medias y altas; modificaciones en la conectividad lateral asociadas a la modificación del régimen de caudales por el efecto concurrente de la operación de embalses; las demandas de agua para agricultura y la expansión de la frontera agropecuaria en zonas de humedales y los cambios en los regímenes de transporte de sedimentos. A su vez, estos cambios se discuten respecto a intervenciones prospectivas de los sectores de navegación, irrigación, minería y energía.

RESUMEN EJECUTIVO

Los análisis aquí presentados pueden contribuir a acelerar la aplicación en los instrumentos de gestión de la cuenca, incorporando la integridad de los hábitats como objetivos de la planificación inter-sectorial. Específicamente, pueden contribuir a la adopción de criterios para salvaguardar y restaurar la conectividad hidrológica, la aplicación regional de caudales ambientales y definir prioridades de monitoreo, protección o restauración de hábitats críticos.

Se identificaron 43 especies introducidas en Colombia, todas ellas presentes en la cuenca del río Magdalena y repartidas así: 13 especies trasplantadas de una cuenca a otra (5 órdenes, 8 familias), incluyendo una especie identificada a nivel de género y una variedad; 30 especies exóticas u originarias de otros continentes (6 órdenes, 9 familias), incluyendo un híbrido y una variedad de origen *ex situ*. Todas las especies consideradas son de interés para la acuicultura, pesca comercial, pesca deportiva y ornamento-acuariofilia. Se hace un análisis comparativo del estatus actual de estas especies en relación al 2012, fecha en la cual se realizó la última evaluación de las introducciones y se muestra la distribución actual de estas especies. De acuerdo a esto, se registraron 13 introducciones nuevas (siete especies trasplantadas y seis especies exóticas), de las cuales en 12 especies (una trasplantada más 11 exóticas), se amplió la distribución geográfica, prueba de su dispersión posterior a 2012. En la actualidad se cultivan 15 especies introducidas: seis especies exóticas en 121 municipios y nueve trasplantadas en 92 municipios, la mayoría son policultivos (varias especies). La falta de controles de seguridad en estas instalaciones de cultivo, más la liberación intencionada, siembras y escapes, son las razones que explican la distribución actual de gran parte de las especies.

La gestión clásica identifica a la sobrepesca como la responsable del agotamiento de los peces y como el factor primordial a controlar. Así, la pesca selectiva (tallas de peces y tamaño de ojos de malla) se plantea como la forma de reducir los efectos que esta genera en los ecosistemas y a su vez aumentar los rendimientos pesqueros. No obstante, hallazgos recientes desafían esta narrativa sugiriendo que el patrón de explotación de los pescadores a pequeña escala podría estar más cerca de un enfoque ecosistémico. Para analizar este planteamiento se realizó un análisis del efecto de las presiones que ejerce la pesca artesanal sobre las comunidades de peces y el ecosistema, soportada en la identificación de los cambios en la producción pesquera, en la estructura trófica y en los tamaños de las especies, junto con las modificaciones en la biomasa relativa, composición, biomasa óptima, tasa de explotación y artes de pesca. Al final se contempla la posible respuesta de los pescadores hacia una autorregulación, concluyendo que la gestión clásica ha generado efectos contrarios a lo deseado. En consecuencia, como contribución a los administradores de la pesca, se presentan recomendaciones dirigidas a modificar los paradigmas de manejo actuales y se reafirma la necesidad de fortalecer los procesos de gobernanza.

Finalmente, el uso de los peces y la relación con los ecosistemas acuáticos ha sido una constante en la historia del país, pero solo hasta la década de 1970 se vio la necesidad de llevar registro de las capturas y regular su uso para su conservación. Análisis de las categorías de amenaza de los peces de la cuenca indican que el Magdalena presenta el mayor número de especies amenazadas del país, siendo una de las más amenazadas de todos los Andes



Felipe Villegas

tropicales, con esfuerzos insuficientes por manejar las especies o por conservarlas. Así, las medidas se han basado en el enfoque clásico de manejo de pesquerías monoespecíficas de zonas templadas, centrándose en las especies comerciales de consumo, y más recientemente, ha incluido especies ornamentales y algunas medidas para los ecosistemas acuáticos, con un enfoque jerárquico que no incluye a los pescadores en la formulación de las medidas, y con falencias en el seguimiento y en la evaluación de sus objetivos. Se evidenció que las medidas cubren solo un

cuarto de las especies de la cuenca y que es necesario cambiar al manejo de las pesquerías multiespecíficas tropicales, requiriéndose una estrategia a nivel nacional, de largo plazo, que integre y articule las diferentes medidas, instrumentos y órganos de manejo, ordenamiento e implementación de acciones para la conservación de la cuenca y sus recursos acuáticos. Todo esto debe estar enmarcado en una visión socioecosistémica incluyente y participativa de protección de los ecosistemas acuáticos, con soluciones basadas en la naturaleza a escala de cuenca.



Puerto Nare, Antioquia. Foto: Eduardo Navarro-Osorio.



EXECUTIVE SUMMARY

The Magdalena River basin is the largest river system in the northern Andes of South America. Its history is linked to the rise of the Central and Eastern mountain ranges. It has an average annual rainfall of 2,150 mm/year. Its flow of $7,154 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, transports about 180 million tons of sediment per year (2015 data), to produce $710 \text{ ton/km}^2/\text{year}$, which ranks it among the top ten rivers in the world with the highest rates of erosion. The basin has extraordinary geomorphological diversity, with many regions that generate high levels of sediments from mountain slopes, others with high levels of sediment transport and still others with extensive areas of deposition of those sediments, such as the floodplain of the Momposina Depression, the most extensive fluvial fan of the northern Andes. In the last decade, the Magdalena River basin has experienced an increase in erosion rates of 34%, due in large part to environmental degradation and deforestation levels of more than 70% in the last 50 years. The sediments from that erosion are causing serious impacts on the floodplains and in coastal areas, where wetlands have lost more than 80% of their areas as well as many species of plants, animals and the ecosystem

services previously provided by the extensive marshes and swamps in coastal areas, including the Ciénaga Grande, the bay of Cartagena and the coral reefs of the Rosarios Islands. More than 90% of the basin has not been scientifically mapped in detail to chart the evolution of river channels, flood zones and other fluvial environments.

The fish fauna of the Magdalena River basin is the best known of all the hydrographic basins of Colombia. This is because the basin is the main axis of economic development in the country and as a result the subject of most of the research carried out here. For the same reason, the basin is also the most impacted by human development and intervention of the basin and its biota. However, even today, important information gaps persist in its taxonomic inventory, as well as in the geographic distribution of species, and consequently, on the patterns of fish species richness, endemism and diversity. The list of native fish species found in the Magdalena River basin is presented here, accompanied by an analysis of their geographic distribution, using the hydrographic regionalization proposed by IDEAM. We record 233 species

EXECUTIVE SUMMARY

in the Magdalena River basin, which is 14.5% of Colombia's total freshwater fish diversity, grouped into seven orders and 33 families. Of the 233 species, 68% are endemic and 75 species are restricted to just a single drainage or section within the basin. The Middle Magdalena section is distinguished by having the greatest species richness and the most endemic species, while the Lower-Middle Cauca section was the most dissimilar. The orogenesis of the mountain ranges, marine incursions and dispersal between basins, through headwater captures, are the processes that have recently been postulated to explain this heterogeneous biogeographic pattern within the basin.

There are population-genetics studies for 14 native and two exotic commercial species, and microsatellite loci have been published for 13 of 17 species. In general, the genetic diversity of fish is high for the "natural stocks" of species of fishing interest, however, the inbreeding coefficients are high in some species such as the bocachico, *Prochilodus magdalenae*, the capaz, *Pimelodus grosskopfii* and the barbudo, *Pimelodus yuma*. Most fish species show gene flow from one or more genetic groups that coexist in the same area, except in some cases where they exhibit genetic structure at the local (sabaleta, *Brycon henni*) or regional level (*Brycon henni*, *P. grosskopfii* and *P. yuma*). In addition, the ecological, genetic and health impacts of the fish stock repopulations and the introduction of exotic and/or transplanted species in the native ichthyofauna are unknown. The lack of historical data does not allow analysis of the possible loss of genetic diversity and the absence of molecular markers or inconsistency in their use limits the comparisons between the few population genetic studies

published. The need for continuing the development of specific microsatellite loci for species of greatest interest in fisheries and aquaculture development is discussed. This would provide a short-term opportunity to assess the general status of fish species on a national scale and the need for rethinking stocking programs.

Elevation is a defining factor in the Andes that determines the structure of fish assemblages and which ecosystems they inhabit. Fish assemblages in the Magdalena River are structured by the interaction between the type of ecosystem, elevation and the rain cycle. Using the bio-ecological information available from different sources on the fishes of the Magdalena River, we describe some characteristics of the fish assemblages. The highest species richness is found in lotic ecosystems (rivers and streams) below 700m a.s.l elevation in the Magdalena River basin. The greatest difference in species composition (species turnover) is observed in areas above 1,600m where diverse communities assemble that differ in species richness of each of the trophic guilds, as well as in their life history strategies and the functional niches in which the patterns of the fish fauna are structured in the north-western Andes. Four major trophic guilds are recognized in the basin: carnivores, detritivores, omnivores, and planktivores. The most common life history strategy in this Andean basin is the opportunistic one. Although our knowledge of the ecology of the fishes of the Magdalena River is still incipient, it is possible from available information to better inform the decision-making process used by the different actors in the basin.

Several ecosystem services generated by fish populations in the Magdalena River



Carlos A. Lasso

basin are described in this chapter. Food for people as well as employment and food security is provided by a valuable artisanal fishery in this region and recreational and sport fishing also contribute to local economies. Natural aquatic systems have also provided species and genetic resources to renew stocks used in fish farming. The regulation of trophic dynamics and nutrient balance are also described in this chapter, as well as the role of natural aquatic systems in the reduction of pollutants, and the transformation of organic matter as fish interact with their habitats. Other ecosystem services include bioturbation, transport of nutrients, carbon and minerals as well as energy transfer and seed dispersal, together with biological control of tropical pests and diseases. In relation to cultural services, those related to physical and intellectual interactions correlate with the local demand for education and information and incorporation of local knowledge. Those associated with spiritual and symbolic interactions are considered as well. It is concluded that our current level of knowledge of the basin underestimates the ecosystem services provided by fish, emphasizing the need to modify the traditional extractive management paradigms and create new management recommendations as well as promoting those ideas to get them put into practice.

The contamination of the water of the Magdalena River is the result of complex temporal and spatial processes, and its origins and evolution is a multidimensional event. This synthesis corresponds to a systematic compilation of technical reports, institutional documents, scientific articles, theses and graduate work. The organization of the data from many different sites and times and the search for references on the impacts of contamination

on biota and health was the central task of this compilation. The information found comes from multiple methodologies, from different periods in time, and revealed research gaps in the spatial coverage of the basin that have made it very difficult to directly compare, contrast or even present coherently. However, a protocol was designed that seeks to present the information in an organized way and categorize the types and forms of contamination and their impacts all along this river system. This information will help us understand the richness, abundance, dynamics and risks facing the fish assemblages in these waters. These data records deserve special attention from researchers, communities and the authorities responsible for the management and conservation of our natural resources, to seek technical, legal, political, economic and social solutions.

The transformation of the fluvial habitats of the Magdalena River basin has resulted from the cumulative and concurrent effects of various anthropic interventions. The analyses carried out integrate three main factors to quantify changes in freshwater habitats at the basin scale: a) hydrological connectivity, b) flow regime, and c) sediment and geomorphological regime. Each of these components is analyzed in a spatially explicit way for the river network, indicating the areas with the highest levels of transformation. Specifically, changes associated with the loss of connecting corridors between habitats in low, medium and high zones are documented; modifications in lateral connectivity associated with the modification of the flow regime due to the concurrent effect of the operation of reservoirs; the demands of water for agriculture and the expansion of the agricultural frontier in wetland areas and the changes in sediment

EXECUTIVE SUMMARY

transport regimes. In turn, these changes are discussed with respect to prospective interventions in the navigation, irrigation, mining and energy sectors. The analyses presented here can contribute to accelerate the application of management tools for better basin management that incorporates the integrity of habitats as a major objective of inter-sectorial planning. Specifically, they can contribute to the adoption of criteria to safeguard and restore hydrological connectivity, the regional application of environmental flows and define priorities for monitoring, protection or restoration of critical habitats.

In Colombia's Magdalena River basin, 43 fish introduced species are identified, distributed as follows: 13 species were transplanted from one basin to another (5 orders, 8 families), including one species identified at the level of genus and one variety; in all, 30 exotic species were found (some native to other continents) comprising six orders and nine families (including one hybrid and one variety of *ex situ* origin). All of these non-native species are of interest for aquaculture, commercial fishing, sport fishing or the ornamental aquarium fish industry. A comparative analysis is made of the current status of these species in relation to 2012, the year when the last evaluation of exotic species in Colombia was carried out, and the current distribution of these species is also shown. According to this, 13 new introductions were recorded (seven transplanted species and six exotic species), and 12 of those have expanded their known geographic range since 2012 (one transplanted plus 11 exotic species). Currently, 15 introduced species are being cultivated in aquaculture facilities: six exotic species in 121 municipalities and nine transplanted species in 92 municipalities, most of them are being

reared in polycultures ponds of various species. The lack of security controls to prevent accidental escape into the wild in these aquaculture facilities, plus the deliberate release, seeding and escapes are the reasons that explain the current distribution of most of the species.

Classic fishery management strategies usually identify overfishing as cause of fish stock depletion and as the primary factor to control. Thus, selective fishing regulations controlling fish sizes and/or net mesh size have traditionally been proposed as the best way to reduce the impacts of overfishing on ecosystems and in turn increase fishing yields. However, recent findings challenge this narrative by suggesting that the pattern of exploitation of small-scale fishers may be closer to a sustainable ecosystem approach. To analyze this approach, and study of the effect of artisanal fishers on fish communities and the aquatic ecosystem a research program was designed and carried out. The study took into account the observed changes in fishery production, trophic structure and sizes of the harvested species, together with changes in relative biomass, catch composition, optimal biomass, exploitation rate and fishing gear. Also, the possible response of fishers towards self-regulation was considered, concluding that classical management practices have produced effects contrary to what is desired. Consequently, as a contribution to fisheries managers, recommendations are presented aimed at modifying current management paradigms. The need to strengthen enforcement of fishing regulations is reaffirmed.

Finally, although the use of fish and human's intimate dependency on aquatic ecosystems has been a constant in the history of Colombia, it was only in the 1970s that



Carlos A. Lasso

the need to accurately record fish catches and regulate the fishery was necessary to ensure the sustainability and conservation of Colombia's freshwater fishery resources. Analysis of the threat categories for fish in the basin indicates that the Magdalena River has the highest number of threatened species in the country, and that the tropical Andes is one of the most threatened ecosystems of all, with insufficient efforts to manage or conserve its species. Until now, fishery management strategies have been based on the classic approach used for monospecific temperate zone fisheries that focus on commercial species for consumption. More recently ornamental species have also been included and some protective measures for aquatic ecosystems have been introduced. The decision making process has suffered from its hierarchical approach and does not include fishers when formulating

regulations or evaluating objectives. It is also hindered by incorrect and incomplete data about the correct identification and amounts of each species harvested. It was shown that the current fishery management regulations cover only a quarter of the species in the basin and that it is necessary to change to a different management strategy for tropical multispecific fisheries. This will require the creation of a long-term national strategy that integrates and articulates the different regulatory strategies, data collection protocols and institutions of management, and fishery biologists and fishers to organize and implement actions needed for the conservation of the basin and its aquatic resources. All this must be framed within an inclusive and participatory socio-ecosystemic vision of protection of aquatic ecosystems, with solutions based on nature at the basin scale.



Megaleporinus muyscorum. Foto: Jorge E. García-Melo.



INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Magdalena es una de las cuencas que, a nivel global, alberga una de las ictiofaunas con mayor endemismo. La historia de la cuenca es tal vez una de las más interesantes dentro de la dinámica hidrogeomorfológica que se conoce en Suramérica. Es la única cuenca en el mundo con tres cordones montañosos ubicados en sentido sur-norte dentro de la zona tropical y que es bañada dos veces al año por el agua que arrastran los vientos de la zona de convergencia tropical. Dentro de los Andes, es un río que resalta por su amplio plano de inundación que se inunda y se seca, dos veces al año. Este contexto provee de escenarios climáticos y paisajísticos muy diversos a los que los peces han respondido después de millones de años de evolución.

El crecimiento de la población humana colombiana y su desarrollo económico en la cuenca del río Magdalena ha generado múltiples presiones sobre la red fluvial y sus ambientes naturales y, de paso, para la conservación de los peces y de las diferentes funciones que ellos cumplen en el ecosistema acuático y como proveedores de alimento para la población ribereña. Atender los conflictos para reducir la presión que se da requiere de conocimiento que permita tener criterio en la toma de decisiones. Es por esto que el libro fue concebido en tres partes: en la primera, se presenta el conocimiento existente sobre la ictiofauna que habita el

río Magdalena. En la segunda, se identifican los conflictos que afectan las condiciones ambientales que favorecen la permanencia de las poblaciones de las especies de peces y, en la tercera, se abordan los manejos desarrollados en Colombia relacionados con el uso y la conservación. En los análisis biogeográficos a nivel global y neotropical, la cuenca del río Magdalena es considerada como una unidad biogeográfica, pero en algunos casos y asociados con temas de índole administrativo para el Estado colombiano, se nombra como Magdalena-Cauca, así que en algunos capítulos el lector la encontrará referenciada con esta denominación.

Estamos seguros que éste libro será de utilidad para los diferentes sectores de la sociedad colombiana y para los tomadores de decisiones en los procesos de desarrollo que involucren o consideren la transformación de la red fluvial de la cuenca del río Magdalena. El río Magdalena, como lo dice Wade Davies en su libro *Río Magdalena, historia de sueños*, “...no es solo la arteria fluvial más importante del país, es la razón por la cual Colombia existe como nación”. Los colombianos somos responsables por lo que le suceda. Es tiempo de tomar decisiones individuales, colectivas y gremiales que permitan que el río continúe fluyendo para que fertilice los suelos de nuestro país y pueda ofrecer buenas condiciones de vida a los colombianos que viven con él, para él y de él.



Puerto Nare, zona inundable. Foto: Eduardo Navarro-Osorio.



PARTE I

Conocimiento sobre la
ictiofauna de la cuenca
del río Magdalena



Río Magdalena, Neiva. Foto: Carlos A. Lasso.



1. ASPECTOS FÍSICOS DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA, COLOMBIA: GEOLOGÍA, HIDROLOGÍA, SEDIMENTOS, CONECTIVIDAD, ECOSISTEMAS ACUÁTICOS E IMPLICACIONES PARA LA BIOTA

Juan D. Restrepo, Andrés Cárdenas-Rozo, Juan F. Paniagua-Arroyave y Luz Jiménez-Segura

Resumen

La cuenca del río Magdalena es el sistema fluvial más representativo del norte de los Andes. Su historia está ligada al levantamiento de las cordilleras Central y Oriental. Presenta una precipitación promedio de 2.150 mm/año. Tiene un caudal de 7.154 m³ s⁻¹, transporta cerca de 180 M ton de sedimentos al año 2015, para una producción de 710 ton/km²/año, lo que lo clasifica entre los 10 primeros ríos con mayor tasa de erosión a nivel global. Muestra una diversidad geomorfológica importante, con regiones de generación de sedimentos en las pendientes de las cordilleras y con áreas de transporte y sedimentación, como la planicie inundable de la Depresión Momposina, el abanico fluvial más extenso de los Andes del norte. En la

última década, la cuenca del Magdalena ha experimentado un incremento en las tasas de erosión del 34 %, debido en gran parte a la degradación ambiental y a los niveles de deforestación de más del 70% en los últimos 50 años, con impactos en las zonas inundables y costeras, con pérdidas del área de humedales > al 80% y de biota y servicios ecosistémicos en ciénagas y zonas costeras, incluyendo la Ciénaga Grande, la bahía de Cartagena y los arrecifes coralinos de Islas del Rosario. Más del 90 % de su cuenca no se conoce científicamente en relación con la evolución de canales, zonas de inundación y de otros ambientes fluviales.

Palabras clave. Caudal, conectividad hídrica, deforestación, geomorfología, zonas inundables.

Restrepo, J. D., Cárdenas-Rozo, A., Paniagua-Arroyave, J.F. & Jiménez-Segura, L. 2020. Aspectos físicos de la cuenca del río Magdalena, Colombia: geología, hidrología, sedimentos, conectividad, ecosistemas acuáticos e implicaciones para la biota. En: Jiménez-Segura, L. & C. A. Lasso (Eds.). XIX. *Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible*. Pp: 41-83. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. DOI: 10.21068/B2020RRHXIX01

ASPECTOS FÍSICOS DE LA CUENCA

Abstract

The Magdalena River basin is the largest river system in the northern Andes of South America. Its history is linked to the rise of the Central and Eastern mountain ranges. It has an average annual rainfall of 2.150 mm/year. Its flow of $7.154 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, transports about 180 million tons of sediment per year (2015 data), to produce $710 \text{ ton/km}^2/\text{year}$, which ranks it among the top ten rivers in the world with the highest rates of erosion. The basin has extraordinary geomorphological diversity, with many regions that generate high levels of sediments from mountain slopes, others with high levels of sediment transport and still others with extensive areas of deposition of those sediments, such as the floodplain of the Momposina Depression, the most extensive fluvial fan of the northern Andes. In the last decade, the Magdalena River basin has experienced an increase in erosion rates of 34%, due in large part to environmental degradation and deforestation levels of more than 70% in the last 50 years. The sediments from that erosion are causing serious impacts on the floodplains and in coastal areas, where wetlands have lost more than 80% of their areas as well as many species of plants, animals and the ecosystem services previously provided by the extensive marshes and swamps in coastal areas, including the Ciénaga Grande, the bay of Cartagena and the coral reefs of the Rosarios Islands. More than 90% of the basin has not been scientifically mapped in detail to chart the evolution of river channels, flood zones and other fluvial environments.

Keywords. Deforestation, floodplains, flow, geomorphology, hydric connectivity.

Introducción

De todos los ríos del continente suramericano, el Magdalena es incomparable. La

geografía de la cuenca está caracterizada por el levantamiento de tres cordilleras andinas en diferentes intervalos del tiempo geológico, desde hace 80 millones de años, con el inicio de la cordillera Central. Es también un sistema fluvial único en toda Suramérica dada la diversidad geológica y climática. Ningún río está confinado por cuatro flancos de montañas andinas en un marco tectónico y estructural complejo como el Magdalena, ni tampoco rodeado por condiciones climáticas y atmosféricas que provienen del Caribe, Orinoco, Amazonas y Pacífico. En el marco global, aunque el río Magdalena no está dentro del listado de los grandes ríos, está en los diez primeros lugares de los ríos con mayor producción de sedimentos. En Colombia, el Magdalena es el río que ha forjado la historia de los asentamientos humanos y de la conquista. Alrededor de su eje sur-norte está asentada más del 77% de la población del país y su cuenca genera cerca del 80% del PIB nacional. Su región hidrográfica genera el 70% de la producción de energía hidráulica, 70% de las cosechas agrícolas, 90% del café y 50% de la pesca de agua dulce. Todos estos indicadores económicos han tenido un costo: la degradación ambiental de la cuenca, con una gran aceleración en los últimos 40 años. Quizás, la deforestación por más de 100 años y con picos extremos en las décadas 1950-2000 y 2000-2010, ha transformado los suelos de manera dramática y, como producto, se aceleraron los procesos de erosión y transporte de sedimentos hacia las zonas bajas, inundables y costeras. Otros flujos no menos importantes, como los de nitrógeno-fosforo y metales pesados producto del crecimiento urbano, agrícola e industrial, incluyendo el pesticida. La minería de oro descarga cada año mas de 100 toneladas de Mercurio al río Magdalena, comprometiendo la sostenibilidad de ecosistemas estratégicos en los cauces, riberas, zonas



Paula Ruíz

inundables y costas. El Magdalena es pues, una gran “cinta transportadora” de flujos continentales de origen natural, como agua, sedimentos, minerales y nutrientes, pero con la “impronta humana” se incrementan exponencialmente en estos flujos y han alterado los balances físico y químicos de los ecosistemas acuáticos de la cuenca.

En este capítulo se sintetizan los aspectos físicos de la cuenca del río Magdalena. Comienza con la historia geológica y el levantamiento de la cordillera Central desde hace más de 80 millones de años y reconstruye la localización de su nacimiento y desembocadura hace 15 millones de años. Luego, describe el marco geográfico-climático en el contexto suramericano, incluyendo características de precipitación, escorrentía y caudal. A continuación, se presentan las características geomorfológicas y se resaltan las diferentes partes de la cuenca en términos de producción, transporte y almacenamiento de sedimentos a lo largo del cauce principal. Se sigue con una presentación del conocimiento actual de los sedimentos que lleva el río Magdalena, tanto en su cantidad total de transporte como también en la magnitud de producción o erosión por kilómetro cuadrado de área de la cuenca. Se incluyen análisis de las tasas de deforestación y de su impacto en la erosión y el transporte de sedimentos.

El capítulo continúa hacia las zonas inundables y costeras, en un marco de conectividad hídrica de las sub-cuencas hidrográficas. Se presentan características generales de las planicies de inundación del Magdalena, de aspectos del impacto humano, de la transferencia de sedimentos, de frecuencias de inundación y de necesidades de investigación en relación con la conectividad río-ciénagas. También, se analizan algunas evidencias de cómo las transferencias de

sedimentos y escorrentía continental han sido una de las variables causantes de la degradación de ecosistemas costeros estratégicos de la cuenca Magdalena, como por ejemplo el estuario de la bahía de Cartagena y los arrecifes coralinos de Islas del Rosario.

Para darle al lector un contexto de los ecosistemas para los peces, se presenta la descripción de los principales hábitats de la cuenca del río Magdalena. Por último, el capítulo plantea reflexiones para los tomadores de decisiones en términos de la erosión y sedimentos, de la viabilidad de obras de infraestructura ante estos indicadores del transporte de sedimentos, del estado de las planicies inundables y de las necesidades de investigación de conectividad hídrica en los sistemas reguladores del ciclo hidrológico, proveedores de la pesca del “Gran Magdalena”. Recorrer la diversidad física del río Magdalena en un capítulo es algo ambicioso, pero presentar el río Magdalena como un sistema único, fascinante y en peligro de extinción que requiere de más ciencia y gestión, si ha sido la motivación principal de este capítulo.

Historia geológica del río Magdalena

La historia geológica del río Magdalena está contenida dentro de la historia geológica del norte de Suramérica que se puede dividir en dos intervalos de tiempo principales: el Cretácico (145 a 65 millones de años) y el Cenozoico (65 millones de años al presente). Durante estos dos períodos ocurrieron eventos geológicos que le dieron la configuración actual a Colombia y al río Magdalena. En el intervalo Cretácico (~145 a 65 millones de años) ocurrió un incremento global en el nivel del mar (Miller *et al.* 2020), lo que produjo amplias plataformas marinas en la parte occidental del norte de Suramérica. Adicionalmente, costa afuera

ASPECTOS FÍSICOS DE LA CUENCA

al occidente de estas plataformas, aproximadamente hace 80 millones de años, se empezó a formar un arco magmático con volcanes que salían por encima del nivel del mar (Villamil 1999).

Estos dos ambientes geológicos, la plataforma marina somera y el arco magmático se convirtieron en las cordilleras Oriental y Central, respectivamente. Todo este proceso evolutivo de las cordilleras en el norte de los Andes estuvo acompañado por las colisiones entre la placa Caribe y el norte de la placa de Suramérica. Hace 80 millones de años ya se había iniciado el levantamiento de la cordillera Central. Sin embargo, estas colisiones llevaron a la cordillera cada vez más cerca de la costa del norte de Suramérica generando una compresión de magnitudes gigantescas que finalmente ocasionaron el primer levantamiento de esta cuenca marina somera aproximadamente entre 38 y 24 millones de años aproximadamente. Todos estos eventos generaron el primer estadio del levantamiento de la cordillera Oriental (Nie *et al.* 2010). Una vez formadas y emergidas las cordilleras Central y Oriental, se dio paso al nacimiento del río Magdalena y su valle (Villamil 1999).

Aproximadamente, entre 25 y 20 millones de años, el relieve determinado por planicies altas al oeste del actual Brasil, la cordillera Central, la incipiente cordillera Oriental y los Andes en Ecuador y Perú, se formaron sistemas fluviales que llenaban grandes cuencas receptoras o 'bateas' en ambos flancos de la cordillera Oriental. En consecuencia, la zona del naciente río Magdalena era un humedal de varios kilómetros de extensión dominado por un bosque húmedo tropical que tenía una alta diversidad de aves, anfibios, mamíferos, peces y reptiles (Hoorn *et al.* 2010a). Adicionalmente, durante aproximadamente 24

millones de años, se registraron incursiones marinas esporádicas en partes de lo que hoy en día son la cordillera Oriental, el valle medio del Magdalena y los Llanos orientales (Villamil *et al.* 1999, Hoorn *et al.* 2010b), debido a que la cordillera Central terminaba a la altura de Cicuco (Bolívar), la cordillera Oriental no se había levantado completamente y la cordillera Occidental aun no existía (Figura 1a). En consecuencia, el río Magdalena y su valle no empezaban en el Macizo Colombiano ni terminaban en Bocas de Ceniza. El nacimiento posiblemente estaría cerca a lo que hoy se conoce como el municipio de Girardot (Cundinamarca) y su desembocadura estaba en donde hoy se encuentra la Depresión Momposina (indicada por los sedimentos de la Formación Ciénaga de Oro), donde igualmente formaba un delta (Villamil 1999) (Figura 2.1a).

Luego, durante el Mioceno medio (hace aproximadamente 15 a 12 millones de años) (Figura 1e-f), la cordillera Oriental había sufrido pulsos de levantamiento más rápidos (Parra *et al.* 2009) y así el nacimiento del Magdalena ya se habría desplazado al sur en el Macizo Colombiano (Villamil 1999) (Figura 1b). Además, estudiando las rocas del bosque seco tropical de La Tatacoa (Villavieja, Huila) es posible ver que, hacia el sur, el río Magdalena, para este intervalo de tiempo, tenía un tipo de drenaje trezado (Guerrero 1993) y aun se mantenía en este sector la fauna de bosque húmedo tropical con un potente sistema fluvial (Kay y Madden 1997).

Finalmente, el registro geológico del río Magdalena muestra que durante los últimos cinco millones de años, el delta del Magdalena ha migrado sur-norte desembocando en las playas de Santa Verónica (Atlántico), Galerazamba (Bolívar) y Calamar (Bolívar),



Paula Ruíz

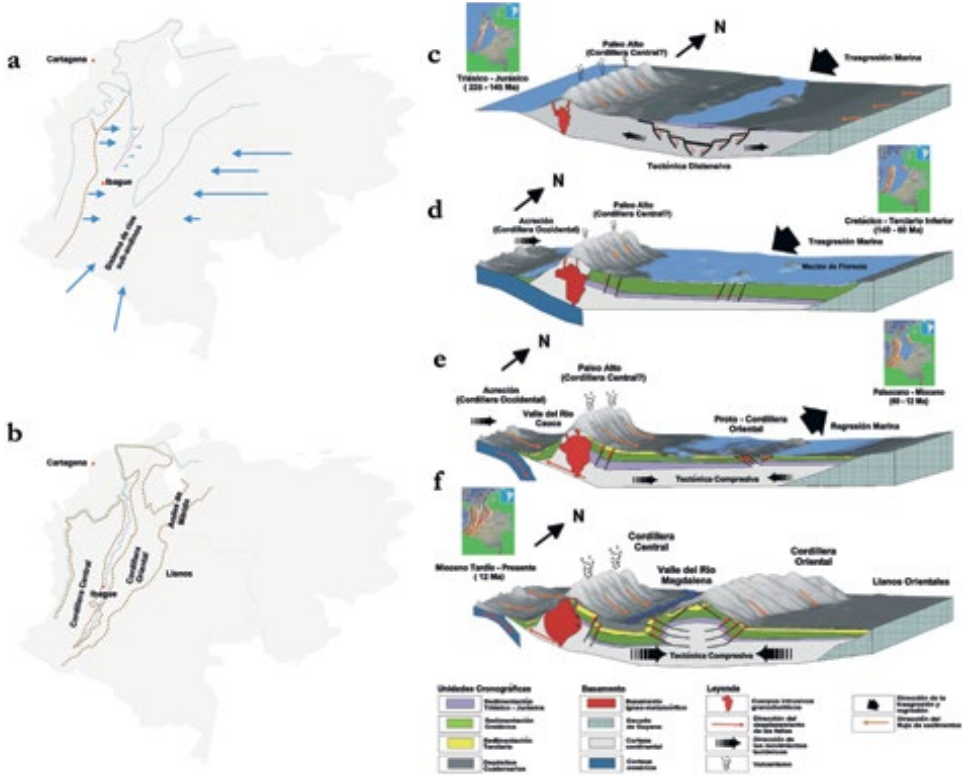


Figura 1. (a-b) Modelo conceptual del levantamiento de las cordilleras Central y Oriental y la posterior formación del río Magdalena. Las líneas punteadas muestran los límites del levantamiento orogénico de las cordilleras Central y Oriental. En el Mioceno medio-Pleistoceno (e-f), el proceso de levantamiento de la cordillera Central se intensificó y la cordillera Oriental comenzó su principal levantamiento durante el Mioceno medio (12 Ma). Tectónicamente, la actividad compresiva aumentó y se invirtieron las estructuras pre-existentes, creando grandes sistemas de fallas inversas en los flancos de las cordilleras Oriental y Central (sistema de fallas de Garzón-Suaza y de Palestina) y profundizando los sistemas de fallas producidos anteriormente. Este evento de levantamiento es considerado como la Orogenia Andina, a partir de la cual se desarrolló la configuración actual de la cuenca del Magdalena. (c-f) Esquema de evolución geológica de la cuenca del Magdalena desde el Mesozoico (250 Ma) hasta el presente. Basado en los trabajos de Irving (1971), Thouret (1981), Fabre (1983), Etayo (1985), Mojica y Franco (1990), Cooper *et al.* (1995), Guerrero *et al.* (1999) y Mojica 1999). Modificado de Restrepo (2006).

debido una combinación entre cambios tectónicos (convergencia de la placa Caribe en el norte de Sur América y deformación de diapiros (volcanes de lodo) (Duque-Caro

1984) y variabilidades climáticas producidas por las fases húmeda (Niña) y seca (Niño) del patrón climático 'El Niño - Oscilación del Sur' (ENOS) (Molinares *et al.* 2012).

ASPECTOS FÍSICOS DE LA CUENCA

En conclusión, es posible afirmar que la historia del río Magdalena y su valle han estado controladas por la historia tectónica del Norte de Suramérica que permitió la generación de las cordilleras Central y Oriental. Por otro lado, su delta ha estado dominado por la historia tectónica y además por fenómenos climáticos globales que le han cambiado su capacidad de transporte de sedimentos y lo han hecho migrar de manera lateral.

Clima e hidrología

Geográficamente, Colombia es el único país americano rodeado por cuatro cuencas: Caribe, Orinoco, Amazonas y Pacífico (Figura 2a). Todas estas áreas oceánicas y continentales le transfieren al interior del país y a la cuenca del Magdalena diferentes flujos de vapor de agua y lluvias. También, otros eventos físicos distantes que alteran el clima y que generan anomalías en las lluvias y sequías de la cuenca, son el Fenómeno del Niño y la Oscilación del Sur (ENOS) procedente del Pacífico y las lluvias que vienen del Océano Índico a través de las llamadas Ondas Madden Julian. Finalmente, y para hacer más complejo este marco geográfico continental irreplicable, las cordilleras y los valles profundos del Cauca y Magdalena generan sistemas de convección y lluvias orográficas (Figura 2a). Es por todas estas señales complejas y que operan en intervalos temporales desde días, meses y años, hasta eventos entre décadas, que la cuenca del Magdalena es un lugar único en el contexto americano, con una alta disponibilidad hídrica pero también con gran incertidumbre sobre su futuro climático e hídrico.

La cuenca del Magdalena presenta una precipitación promedio aproximada de 2.150 mm a^{-1} , con una distribución anual similar a lo largo de toda la cuenca que se

caracteriza por dos estaciones húmedas y dos estaciones secas. Los períodos de menor precipitación ocurren entre diciembre-marzo y junio-septiembre, mientras que los de mayor precipitación entre marzo-mayo y octubre-noviembre (Figura 3). Las estaciones húmedas son comparables en cuanto a duración e intensidad, excepto en el alto Magdalena donde la primera temporada es de mayor duración.

El alto y medio Magdalena se caracterizan por tener precipitaciones de 1.535 mm a^{-1} y 2.185 mm a^{-1} , respectivamente. Sobre el sector medio de la cordillera Central y en las estribaciones de la cordillera Occidental hay precipitaciones mayores a 4.500 mm a^{-1} , mientras que el centro del Huila y el altiplano cundiboyacense constituyen las zonas más secas con precipitaciones inferiores a 500 mm a^{-1} (Figura 2b). El fondo del valle del Magdalena, con una altura promedio de 74 m, registra una temperatura media anual de 28°C (Figura 2b) con variaciones diurnas cercanas a los 10°C y una humedad relativa del 70-75%. La parte baja de la cuenca o región Caribe tiene una precipitación promedio anual de 1.632 mm, con una distribución espacial que varía entre 500 y 3.000 mm a^{-1} (Figura 2b). A nivel del mar la temperatura promedio anual se encuentra entre $28\text{-}30^\circ\text{C}$ (Figura 2b) y la humedad relativa varía entre el 75% y el 85%.

La cuenca del Magdalena tiene una de las escorrentías más altas en Suramérica (Shiklomanov 1999, Restrepo 2006) y se caracteriza por variaciones espaciales que van desde los 100 mm a^{-1} en el centro del Huila, hasta los 3.000 mm a^{-1} en el oriente antioqueño (cordillera Central) y el nudo de Paramillo (cordillera Occidental) (Figura 2b). Debido a que las precipitaciones más altas de la cuenca se presentan en el valle medio



Paula Ruiz

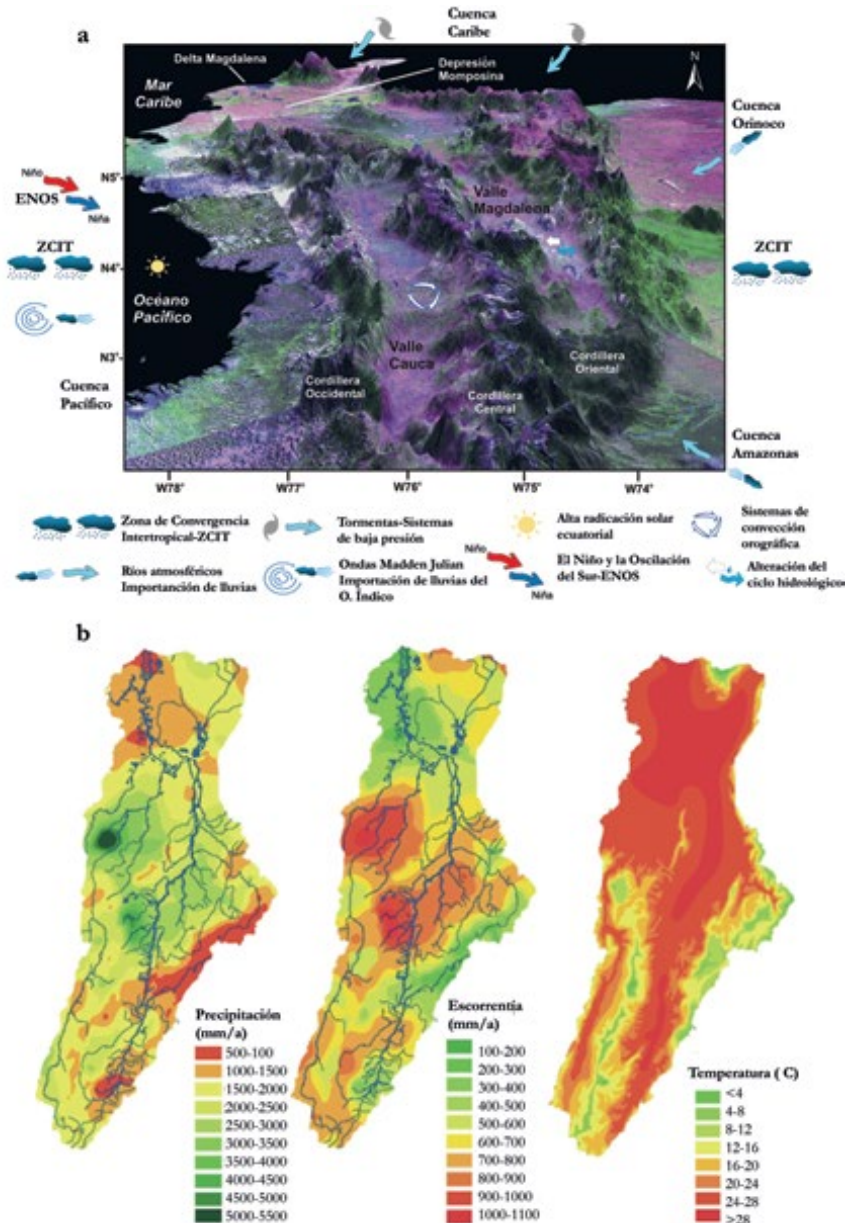


Figura 2. (a) Procesos geográficos y climáticos del norte de los Andes que hacen de la cuenca del Magdalena una región única en todo el continente americano. (b) Mapas de distribución de precipitación, escorrentía y temperatura en la cuenca del Magdalena. Modificado de Restrepo y Syvitski (2006).

ASPECTOS FÍSICOS DE LA CUENCA

del Magdalena (precipitaciones mayores a 1500 mm a^{-1}) y a que esta zona posee un coeficiente de escorrentía relativamente alto, en ella se observa la mayor escorrentía promedio anual de las zonas geográficas en las que se divide la cuenca -alto, medio y bajo Magdalena-.

El sistema fluvial del Magdalena representa más del 10% de la oferta hídrica del país y está conformado por unas 151 subcuencas tributarias, de las cuales 42 son de segundo orden. Basados en datos diarios de caudal entre los años 1942 y 2015 en la estación hidrométrica, Calamar, que al ser la más próxima a la desembocadura del río al Caribe resume todas las características climáticas e hidrológicas acumuladas de toda la cuenca, ha registrado un caudal promedio de $7.154 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Figura 3). El río Magdalena presenta una alta variabilidad interanual del caudal debido a eventos como el Niño y La Niña, los cuales generan pulsos de caudal de más de $10.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en algunos años Niña y, de menos de $5.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en años Niño (Figura 3). De hecho, más del 30% de la varianza del caudal acumulado del Magdalena es debida al Fenómeno ENOS-El Niño y la oscilación del sur (Restrepo *et al.* 2006). Previamente, Restrepo y Kjerfve (2000) calcularon para la estación Calamar un caudal medio de $7.200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, con caudales mínimos de $4.068 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en marzo y caudales máximos superiores a $10.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ durante noviembre. A escala interanual, el caudal en la estación Calamar exhibe anomalías en ambas fases del fenómeno ENOS. Durante el fenómeno de La Niña, se registra un caudal medio de $8.747 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y los caudales pico exceden los $12.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, mientras que, en la fase cálida del fenómeno de El Niño, el caudal medio es de $5.512 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ con valores mínimos cercanos a $2.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

A partir de los registros de caudal en las estaciones hidrológicas de Arrancaplumas, Peñoncito y Calamar, que sirven como punto de referencia para el alto, medio y bajo Magdalena, respectivamente, se calcula que los tributarios del alto Magdalena aportan el 18,5% del caudal total del río, mientras que los tributarios del medio y el bajo Magdalena contribuyen con $2.914 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y $2.917 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, representando el 40,7% y el 40,8% del caudal registrado en la estación Calamar, respectivamente. Con un área de drenaje de 59.615 km^2 y un caudal de $2.373 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, el río Cauca aporta el 32,7% del caudal total del río Magdalena, convirtiéndose en su principal tributario (Restrepo 2006).

Estudios globales sobre el estado ambiental de los recursos hídricos, como los desarrollados por el Instituto Mundial de los Recursos (World Resource Institute-WRI) en el marco del Análisis Piloto de los Ecosistemas Globales: Ecosistemas de Agua Dulce (Revenga *et al.* 1998, 2000) y las Naciones Unidas dentro de su Programa Mundial de Valoración del Recurso Hídrico (UN/WWAP 2003), han señalado que los mayores sistemas fluviales del mundo incluyen cuencas con áreas de drenaje superiores a 100.000 km^2 , caudales cercanos a $1000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ o cuencas hidrográficas que presentan gran relevancia regional en un contexto socioeconómico y político. Estas cuencas fluviales constituyen cerca del 56% de la superficie continental de la tierra y albergan aproximadamente al 70% de la población mundial (Revenga *et al.* 2000). El río Magdalena, con un área de drenaje de 257.000 km^2 , hace parte de estos grandes sistemas fluviales y es considerado como el río andino de mayor importancia en los Andes del norte.



Paula Ruíz

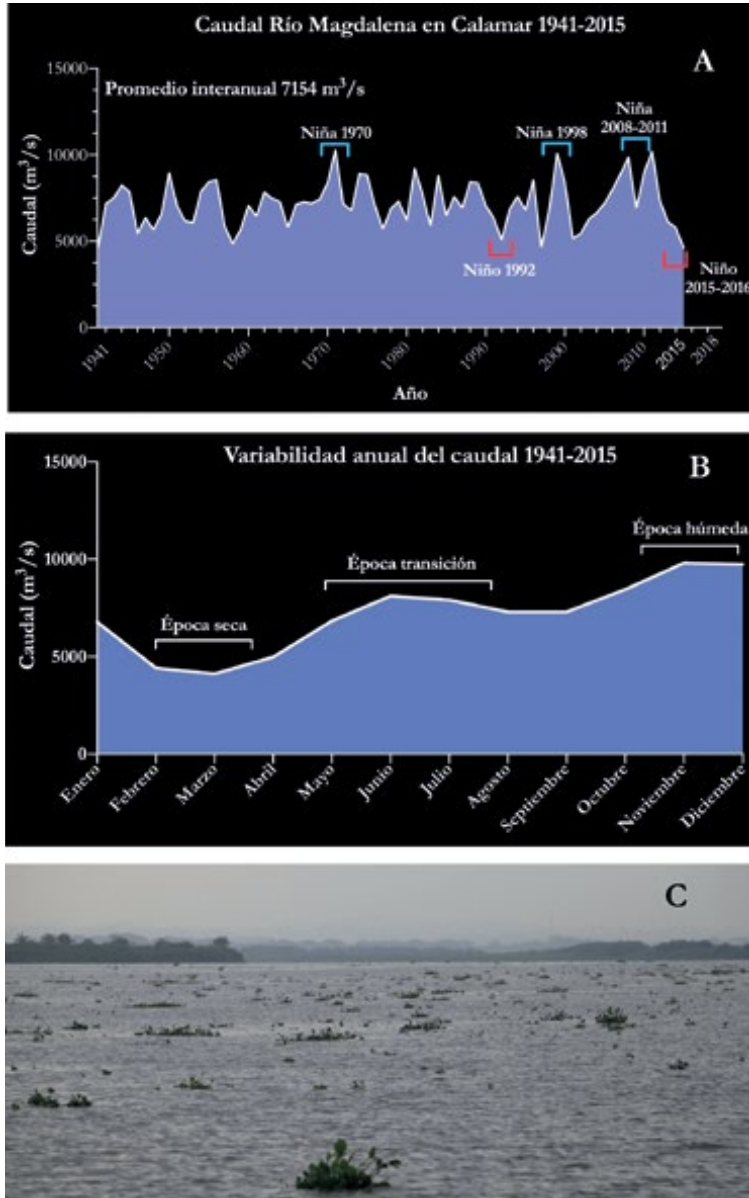


Figura 3. a) Series de promedios anuales entre los años 1942-2015 del caudal en el río Magdalena en la estación más aguas abajo en Calamar. b) Variaciones intra-anales del caudal en la estación Calamar mostrando las épocas seca, transición y húmeda. c) Vista del Magdalena en Calamar durante un evento de aguas altas y deriva de macrófitas (tarulla o buchón: *Eichhornia spp*) en diciembre de 2016. Foto: Robinson Henao.

ASPECTOS FÍSICOS DE LA CUENCA

Geomorfología general del sistema fluvial del río magdalena

La diversidad de geformas que exhibe la cuenca del río Magdalena refleja las variaciones espaciales en la morfodinámica de su sistema fluvial. Esta variación se enmarca en la geodinámica del norte de Suramérica que dicta, no sólo la hidro-climatología (cuánta agua hay disponible), sino también la morfología general de la cuenca a través de la relación entre la morfodinámica del río (cómo se mueven el agua y los sedimentos) y su marco geotectónico (qué rocas hay y cómo se distribuyen en montañas y valles). Pero antes de describir la geomorfología, es decir, las formas del terreno -geformas- y los procesos físicos que las gobiernan, se presentará un contexto corto sobre cómo funcionan los sistemas fluviales en general.

El Magdalena y los ríos tropicales

Entre los ríos tropicales que drenan Suramérica, el Magdalena se caracteriza por su alta producción de sedimentos, $\sim 710 \text{ ton/km}^2/\text{año}$ (Restrepo *et al.* 2015, ver más adelante) a pesar de su área modesta, $\sim 257.438 \text{ km}^2$ que lo ubica en el puesto 31 entre los ríos del mundo (Best 2019). De acuerdo con el marco geológico y geomorfológico de los ríos tropicales del mundo, los sedimentos son producidos en la parte alta de la cuenca (zona de erosión o producción), ubicada en el caso del Magdalena en el cinturón orogénico de los Andes, en las cordilleras Central y Oriental para el cauce principal, y en las cordilleras Central y Occidental para el río Cauca. En la parte baja (zonas de transporte y deposición) se forman planos aluviales extensos una vez el río es “desconfinado” del frente montañoso. Estos territorios se

Tabla 1. Porcentaje de aparición a lo largo del cauce principal del río Magdalena de los tipos morfológicos de canal aluvial de acuerdo con la nomenclatura de tipos de canal (Church 2006). Datos (y algunas definiciones) tomados de Nardini *et al.* (2020).

Morfología del cauce en planta del Magdalena	%
Recto	11,3
Sinuoso	4,6
Meándrico	1,8
Errante ^a	9,1
Digerente ^b	25,5
Multicanal	7,3
Multicanal – Meándrico	1,4
Trenzado de islas	18,4
Multicanal – Trenzado de islas	6,0
Anastomosado y Sinuoso	4,9
Anastomosado y Meándrico	1,0
Anastomosado y Trenzado de islas	8,7

^a Traducido del inglés “wandering”.

^b Traducido del inglés “swallowing”, propuesto por Nardini *et al.* (2020) para la configuración de tipo transitivo en planta del ensanchamiento puntual del cauce.



Paula Ruíz

caracterizan por morfologías de patrones anastomosados, sistemas de agradación vertical o sistemas avulsivos (Latrubesse *et al.* 2005, Tabla 1). Para el Magdalena, las zonas de transporte y deposición permiten la formación de planicies de inundación caracterizadas por ciénagas y humedales, altamente productivos biológicamente, que en sentido geomorfológico permiten el almacenamiento de sedimentos y solutos.

Características geomorfológicas del sistema fluvial del río Magdalena

La cuenca del Magdalena se desarrolla a partir de divisorias ubicadas en las cordilleras Occidental y Oriental, con la cordillera Central incluida dentro de la cuenca. El nacimiento del río está ubicado en la Laguna Magdalena a 3.685 m de elevación en el macizo colombiano, entre los departamentos de Cauca y Huila. Con una longitud del cauce principal de aproximadamente 1.612 km, las geoformas del río varían de acuerdo con las zonas típicas del sistema fluvial: erosión (producción), transporte (transferencia) y deposición (almacenamiento) (Figura 4a). Tomando el cauce del río Magdalena de sur a norte, estas zonas controlan el comportamiento geomorfológico del río, en tanto dictan las geoformas que éste exhibe y su evolución (Church 2006). A lo largo de la cuenca, los ríos tributarios del Magdalena también exhiben lateralmente diferentes zonas geomorfológicas de erosión, transporte y depositación, al considerar cada río como un sistema único dentro de la macro cuenca.

Es posible entender las zonas típicas del cauce con base en el “Balance de Lane”. Este balance representa la relación entre el ancho y profundidad del canal como el equilibrio entre la potencia del flujo (pendiente

del flujo y el caudal) y el suministro de sedimentos (cantidad de sedimentos y su transporte) (Dust y Wohl 2012). En esencia, el entendimiento de las zonas generales de acuerdo con la morfodinámica le dan al sistema fluvial un carácter de “cinta transportadora” (Figura 4b), en tanto el sedimento producido en las zonas de erosión es transportado y luego depositado dentro de la cuenca o en un cuerpo de agua receptor (Buffington y Montgomery 2013).

A continuación, se presenta una compilación de las zonas fluviales para la cuenca del río Magdalena. Cabe anotar que esta discusión no pretende evidenciar el detalle de la complejidad geomorfológica del sistema fluvial del río Magdalena. Por el contrario, da cuenta de las ideas generales que permitirían un entendimiento de primer orden. Para estudios más detallados, se remite al lector a manuscritos científicos sobre la morfometría, la morfodinámica y el transporte de sedimentos (p. e. Nardini *et al.* 2020, Restrepo *et al.* 2006, 2020, Restrepo 2015, Restrepo y Syvitski 2006).

Zona de erosión o producción

La zona de erosión (Figuras 4 c-d) se caracteriza por la producción de sedimentos. Predominan los cauces confinados, de pendientes altas relativamente estables y controlados por procesos coluviales de suministro limitado de sedimentos gruesos (bloques). Los sedimentos son producidos por movimientos de masa y tienden a formar secuencias de cascadas, escalones-piscinas o piscinas-rápidos (Church 2006, Whipple 2004). Esta morfología depende altamente de los controles estructurales dados por la geología local (Charlton 2008).

ASPECTOS FÍSICOS DE LA CUENCA

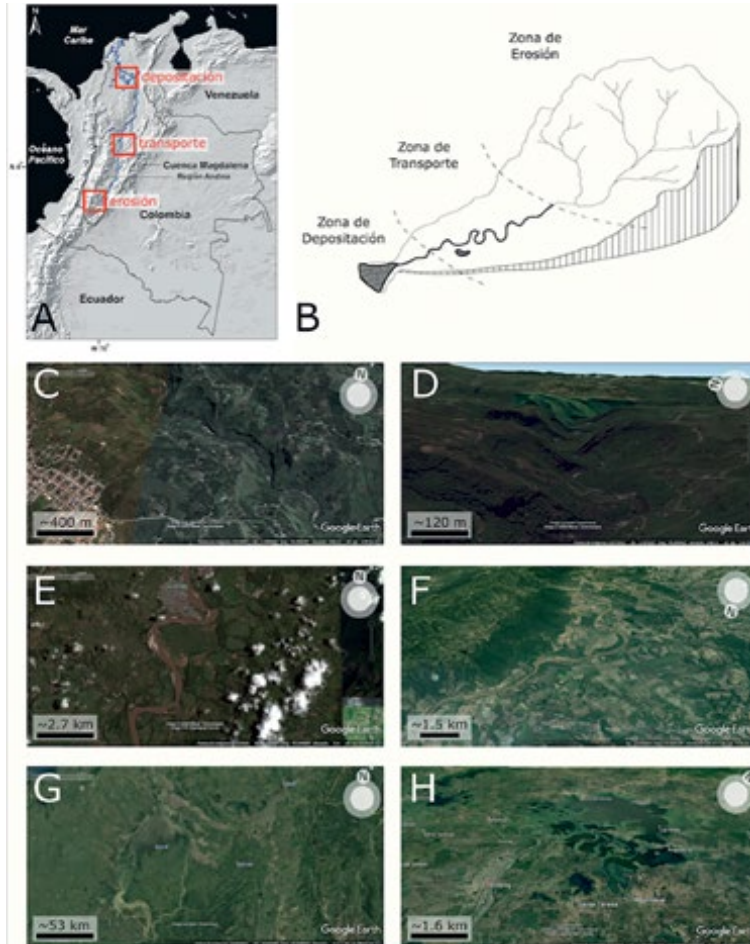


Figura 4. Geomorfología general del sistema fluvial del río Magdalena. A) Ubicación general en el norte de Suramérica. Datos de topografía de radar tomados de <http://srtm.csi.cgiar.org/>. B) Esquema general de las zonas de un sistema fluvial de acuerdo con las zonas de erosión, transporte y depositación (modificado de Charlton 2008, Fig. 2.1). (C-H) Ejemplos de cada zona para el sistema del río Magdalena. C) Zona de erosión en tramo confinado del Estrecho del Magdalena cerca a San Agustín, Huila, con influencia de controles estructurales y movimientos de masa. Fuente: U.S. Geological Survey (2009). Imagen: Maxar Technologies (2020). D) Topografía aproximada del cauce en el Estrecho del Magdalena, vista en dirección aguas abajo. Fuente: Landsat / Copernicus (2013). Imagen: Maxar Technologies (2020). E) Imagen satelital de la zona de transporte con morfología meándrica en el tramo cerca a La Dorada, Caldas. Imagen: Maxar Technologies (2020); U.S. Geological Survey (2010). F) Mosaico de imágenes aéreas oblicuas de la zona del río entre Cundinamarca y Tolima cercadelos municipios de Ambalema y Beltrán. Imagen: CNES / Airbus (2020). G) Imagen satelital de la zona de depositación en la Depresión Momposina. Imagen: Landsat / Copernicus (2011). H) Sistema lagunar de la Ciénaga de Pijino, cerca de Mompós. Fuente: Google. Imagen: Maxar Technologies, CNES / Airbus (2020).



Paula Ruíz

A lo largo del cauce del río Magdalena, sin considerar los ríos tributarios de los flancos de las cordilleras Central y Oriental, la zona de erosión puede encontrarse aproximadamente entre el nacimiento en la Laguna Magdalena hasta el embalse de Betania, El paisaje se muestra montañoso, con planicies inundables angostas y discontinuas. Esta zona se caracteriza por canales individuales total o parcialmente confinados de material grueso (gravas a bloques) de régimen de transporte de fondo. Estos cauces son relativamente estables en su morfodinámica, que se desestabiliza por la ocurrencia de flujos de detritos (Church 2006, Nardini *et al.* 2020).

Zona de transporte o transferencia

La zona de transporte (Figura 4 e-f) sirve de transición al agua y los sedimentos en su camino hacia la desembocadura. Predomina la migración y avulsión de canales aluviales por la alta disponibilidad de sedimentos finos y baja pendiente del cauce. De acuerdo con el balance de Lane, se distinguen los canales anastomosados (sedimentos finos con alta disponibilidad de sedimentos), los trenzados (sedimento más grueso) y los meándricos (menor disponibilidad de sedimentos) (Church 2006). Asimismo, los cauces pueden encontrarse como canales múltiples, si el régimen fluvial es dominado por inundaciones periódicas y los bancos son resistentes a la erosión (Nanson y Knighton 1996).

En la cuenca del Magdalena, la zona de transporte puede encontrarse entre la salida del embalse de Betania y la ciudad de Barrancabermeja. En su parte más alta -entre Betania y el río Saldaña- el paisaje se caracteriza por canales múltiples principalmente confinados con transporte de fondo de sedimentos gruesos. En tramos intermedios, entre el río Saldana y La Dorada, los

canales drenan colinas bajas con presencia de planicies de inundación angostas discontinuas, confinadas por depósitos aluviales previos, con cauces individuales que transportan sedimentos gruesos, principalmente arenas. En su parte más baja, entre la Dorada y Barrancabermeja, el paisaje está formado por colinas bajas, con un sistema fluvial de planicies de inundación angostas pero continuas. Debido al suministro alto de sedimentos, el sistema fluvial exhibe canales múltiples del tipo trenzado con presencia de islas con actividad lateral irregular, confinados por depósitos aluviales previos (Buffington y Montgomery 2013, Nardini *et al.* 2020).

Zona de deposición o almacenamiento

En la zona de deposición (Figura 4g-h), la baja pendiente y poca energía para el transporte permite el desarrollo de planicies de inundación bien desarrolladas que aumentan el tiempo de residencia del sedimento, el flujo superficial durante inundaciones y el flujo subterráneo (Charlton 2008). Los cauces se encuentran desacoplados de las pendientes en los flancos de las planicies inundables, en tanto que estas planicies adquieren continuidad longitudinal. Mientras que la conectividad entre los cauces principales y las planicies inundables es alta, hay baja capacidad de transferencia longitudinal de sedimentos (Wohl 2020).

En el canal principal del río Magdalena, la zona de deposición se encuentra entre Barrancabermeja y su desembocadura en Bocas de Ceniza, en la ciudad de Barranquilla. En la primera parte, entre Barrancabermeja y Mompo, el río exhibe planos aluviales lateralmente poco confinados, con canales anastomosados de textura de arena fina. En condiciones naturales, los niveles del canal están regulados por diques, que

ASPECTOS FÍSICOS DE LA CUENCA

los separan a su vez de ciénagas de extensión importante, p. e., Ciénaga de Barbacoas entre Puerto Berrío y Barrancabermeja o Ciénaga de San Silvestre contigua a Barrancabermeja (Nardini *et al.* 2020). La Depresión Momposina, una zona extensa de lagunas y ciénagas en conexión con el canal principal del Magdalena y el río Cauca que constituye ~10% del área del sistema fluvial del Magdalena (Restrepo *et al.* 2020). En contraste con zonas de deposición típicas, en la zona de deposición entre Mompox y la ciudad de Barranquilla, el paisaje se caracteriza por colinas de relieve moderado que permiten la generación de canales únicos altamente dinámicos, parcialmente confinados entre meándricos y sinuosos. La última sección del río, cercana a la desembocadura en Bocas de Ceniza, corresponde a colinas bajas con planicies de inundación discontinuas. En esta zona los canales están confinados por flancos de valles y obras antropogénicas (Nardini *et al.* 2020).

Planicies inundables en la zona de deposición

Las planicies inundables cuentan con gran importancia hidrológica, ecológica y geomorfológica dentro del sistema fluvial del río Magdalena. Tradicionalmente, el “estado de salud” de estas planicies se ha identificado como prioritaria para el balance ecosistémico del sistema fluvial del río Magdalena (McInerney *et al.* 2017, The Nature Conservancy *et al.* 2016). Las preguntas sobre la conectividad hidrológica de las zonas de deposición del río Magdalena, expresada en la cantidad y recurrencia de los flujos de agua a los sistemas lagunares, evolución geomorfológica en la sedimentación en las ciénagas y morfodinámica de canales, así como la influencia sobre la ecología de estas zonas inundables constituye una prioridad de investigación actual para nuestro país (Restrepo *et al.* 2020).

Las desembocaduras del río Magdalena

El sistema fluvial del río Magdalena sigue su camino dentro del “continuo del agua” (Restrepo 2008) y se conecta con el Mar Caribe en dos desembocaduras principales: Bocas de Ceniza para el cauce principal y, las bahías de Barbacoas y de Cartagena donde desemboca el Canal del Dique. La morfología de estas desembocaduras depende tanto de la influencia continental como marina. En el caso del Canal del Dique, la morfología indica la dominancia de la desembocadura fluvial, explicada por una alta descarga de sedimentos en bahías parcialmente protegidas del oleaje y con rangos mareales de pequeña amplitud. Por otro lado, la morfología del delta en Bocas de Ceniza está controlada por una alta descarga de sedimentos y alta energía del oleaje, por una plataforma continental estrecha con presencia de cañones submarinos y obras de defensa en los flancos que mantienen la morfología aparentemente constante (Restrepo y López 2008).

Los sedimentos del Magdalena

El aporte de sedimentos en la desembocadura de un río al mar refleja la sumatoria de todos los procesos de erosión y deposición que ocurren en la cuenca hidrográfica. Los factores que controlan estos procesos de aportes sedimentarios incluyen área de la cuenca de drenaje (superficie del continente que drena el río, expresada en kilómetros cuadrados), clima (balance hidrológico entre precipitación y evaporación), geología (actividad tectónica, tipos de suelos y formaciones rocosas), topografía (relieve) e hidrología (escorrentía, velocidad de la corriente, descarga de agua en metros cúbicos por segundo). Otros procesos que alteran las tasas de transporte incluyen las actividades humanas como deforestación,



Paula Ruíz

la construcción de embalses, cambios en el curso del río, dragado de canales, minería y cambios en el uso de los suelos como resultado de prácticas de agricultura y ganadería (Figura 5a).

Una manera de estimar la magnitud de la erosión en un sistema fluvial es la de calcular el transporte neto de sedimentos o tasa de denudación (producción de sedimentos). Este valor, expresado en toneladas de sedimentos anual y por unidad de área de drenaje ($t/km^2/año$), se define como la cantidad de material que se transporta el sistema fluvial a partir de un área dada y en un período de tiempo específico y es un indicador de la evolución del paisaje, de la variabilidad hidrológica y el cambio climático, de las variaciones en el uso del suelo y de la magnitud en la erosión continental.

Para Suramérica, es sorprendente como los ríos de la costa Pacífica de Colombia y el Magdalena, que vierte sus aguas al Caribe, presentan la mayor producción de sedimentos a los océanos entre todos los ríos del continente documentados hasta el momento. Los ríos de la cuenca Pacífica tienen excesivas descargas de agua y sedimentos en relación con el tamaño de sus áreas hidrográficas. El total de descarga de sedimentos es de 110 millones de toneladas por año, valor que refleja una producción total de sedimentos de la cuenca Pacífica de 1.430 toneladas por kilómetro cuadrado, anualmente (Larubesse y Restrepo 2014).

El río San Juan (vertiente Pacífico), con una producción de sedimentos de 1.250 toneladas/ $km^2/año$ representa el valor más alto de aporte de sedimentos al mar de cualquier río en Sudamérica (Amazonas, 190; Orinoco, 150; Paraná, 30 toneladas por kilómetro cuadrado, anualmente). La combinación de factores como pequeñas

áreas hidrográficas, altas pendientes (relieve pronunciado) y tasas de precipitación (con valores de hasta 11.000 mm en el bajo San Juan), y la actividad tectónica, con una alta ocurrencia de temblores y terremotos, promueven altas tasas de erosión y aportes de sedimentos al Océano Pacífico.

En cuanto a los sistemas fluviales del Caribe, un estudio sobre las tasas de erosión de la cordillera de los Andes (Larubesse y Restrepo 2014) indica que los ríos de la cuenca Caribe de Colombia depositan al Mar Caribe 178 millones de toneladas de sedimentos por año, lo cual indica una producción de sedimentos de 920 toneladas por kilómetro cuadrado por año. Las descargas de sedimentos del Magdalena han sido relacionadas por varios estudios como de la misma magnitud que la del Amazonas, Paraná y Orinoco, no obstante tengan áreas de drenaje de superior proporción. El Magdalena aporta el 11% del total de sedimentos depositados por los ríos sobre la costa este de Sur América y el 89% del total de sedimentos de los ríos colombianos que drenan al Mar Caribe. También, este río tiene la más alta producción de sedimentos por kilómetro cuadrado de cuenca de drenaje, 710 toneladas/ $km^2/año$ que cualquier río a lo largo de la costas Caribe y Atlántica (Figura 5b).

En cuanto a las tendencias de la erosión en el Magdalena entre 1980 y 2000, los análisis muestran que el 68% de la cuenca del Magdalena experimentó tendencias ascendentes en el aporte de sedimentos, mientras que el 31% de la región muestra tendencias decrecientes. En conclusión, los resultados tanto del análisis de usos del suelo, como de las tendencias temporales en el transporte de sedimentos, permiten establecer que la magnitud de los procesos erosivos en el sistema fluvial

ASPECTOS FÍSICOS DE LA CUENCA

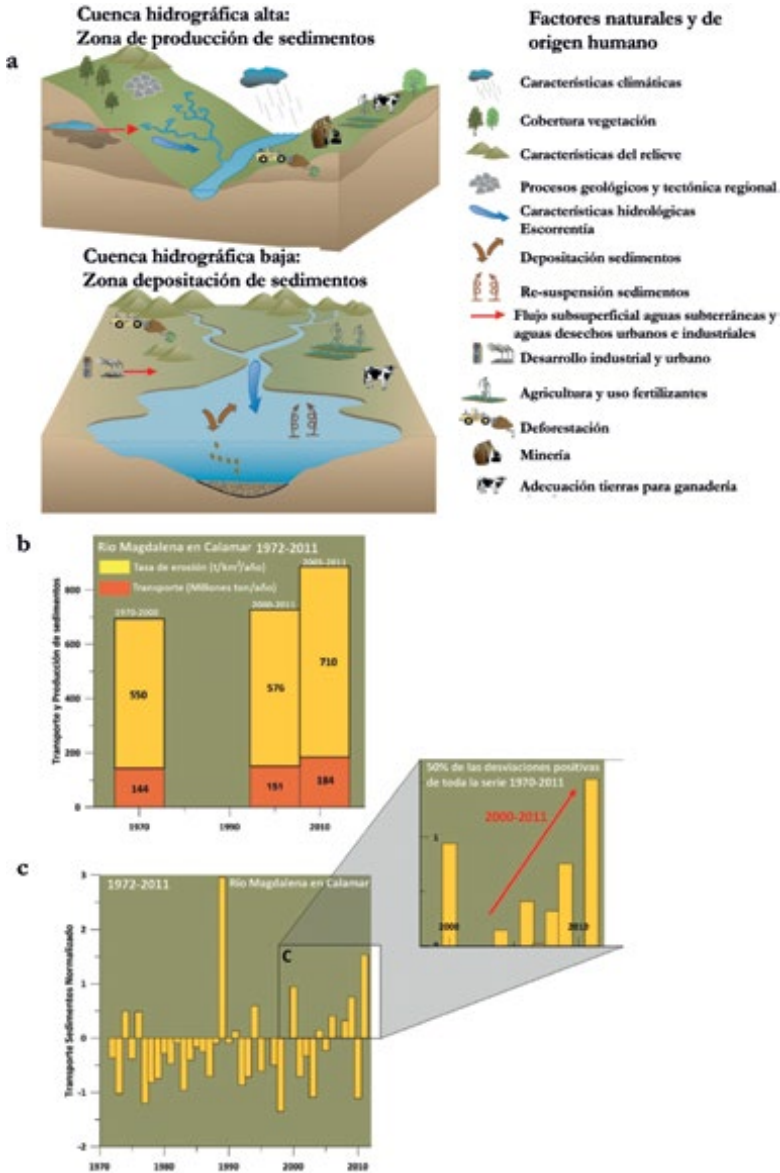


Figura 5. a) Esquema conceptual de los factores de origen natural y de actividades humanas que controlan la erosión en la cuenca y el transporte de sedimentos aguas abajo en el río Magdalena. b) Análisis de las tendencias inter-decadales 1970-2010 del transporte y producción de sedimentos en la cuenca del Magdalena. c) Análisis de las tendencias normalizadas del transporte de sedimentos en el Magdalena 1970-2010, estación Calamar, mostrando las altas desviaciones del incremento en los sedimentos en la década 2000-2010. Fuente: Restrepo *et al.* (2015).



Paula Ruíz

Magdalena se incrementaron dramáticamente al final de los años noventas (Restrepo y Syvitski 2006).

En la última década, la cuenca del río Magdalena ha experimentado un incremento en las tasas de erosión del orden del 34 %, pasando de $550 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ antes del año 2000 a $710 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ en el periodo 2000-2010 (Figura 5b), con un aumento en el transporte total de sedimentos de 44 Mt a^{-1} . Este ascenso en el transporte coincide con las tendencias ascendentes de deforestación en Colombia entre los años 2005 y 2010 (Figuras 5c y 6). El análisis de la producción de sedimentos indica que el 78 % de la cuenca se encuentra en estado crítico de erosión dada la pérdida de bosques primarios de más del 60 % en el periodo entre los años 1980 y 2010 (Restrepo 2015, Restrepo *et al.* 2015). Observando los datos espaciales de la erosión en la cuenca, en 32 sistemas tributarios principales y más de 50 estaciones de aforo, con series de datos sobre transporte de sedimentos entre 10 y 30 años, indica que el promedio de erosión en toda la cuenca es de $710 \text{ ton km}^{-2} \text{ año}^{-1}$, con valores máximos hasta de $2.200 \text{ ton km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ en la cuenca del río Carare, una de las tasas de erosión más altas a nivel global. Los sitios críticos o “hot spots” corresponden a sistemas de la cuenca oriental como Carare, Opón ($1.975 \text{ ton km}^{-2} \text{ año}^{-1}$) y Lebrija ($1.260 \text{ ton km}^{-2} \text{ año}^{-1}$), y ríos como Negro ($1.730 \text{ ton km}^{-2} \text{ año}^{-1}$), La Miel ($1.250 \text{ ton km}^{-2} \text{ año}^{-1}$), Saldaña ($1.270 \text{ ton km}^{-2} \text{ año}^{-1}$), Coello ($1.035 \text{ ton km}^{-2} \text{ año}^{-1}$) y Cauca ($830 \text{ ton km}^{-2} \text{ año}^{-1}$) (Restrepo 2015).

La deforestación y los sedimentos

En el río Magdalena, los análisis de cambios en el uso y deforestación por medio del procesamiento de imágenes de satélite para el periodo 1980-2000 (Figuras 6c-d), indican que el área de

bosques en la cuenca disminuyó de 46% en 1980 a 27% en 2000, con una tasa de deforestación de 1.9% o 234.000 ha/año. En este mismo periodo, la interpretación de mapas de usos del suelo muestra que las zonas agrícolas en la cuenca se duplicaron en un periodo de dos décadas (Restrepo y Syvitski 2006) (Figuras 6 c y d). Otras evaluaciones sobre la deforestación en el Magdalena han mostrado que hasta el año 2000 las áreas naturales de bosques eran del orden de 23 % (evaluación de deforestación, The Nature Conservancy, Fundación Alma, Fundación Humedales y AUNAP 2016) y de al menos 10 % en el año 2005 (Figura 6e), valor este basado en el mapa de ecosistemas de la cuenca del Magdalena levantado por el Instituto Humboldt en un estudio de la Universidad Eafit (Restrepo 2015) (Figura 6e).

En general, desde la década de los años setenta, las tasas de deforestación se han incrementado casi exponencialmente sin mostrar ninguna desaceleración en las tres últimas décadas. De acuerdo con el estudio global de cuencas fluviales del Instituto Mundial de los Recursos (WRI, por sus siglas en inglés) (Revenga *et al.* 2000), la cobertura de bosques primarios en la cuenca del Magdalena era del 90% antes de los asentamientos humanos. Hoy en día los bosques primarios no superan el 10% en cobertura (Restrepo 2006). Otra cifra no menos dramática del colapso ambiental de la cuenca del Magdalena es a partir del análisis de deforestación en los trópicos húmedos entre 1990-2010 que incluye cifras de deforestación en Colombia y en Latinoamérica (Figura 5a-b). Estos valores de deforestación están basados en los datos del Global Forest Watch de la Universidad de Maryland, Estados Unidos, los cuales son obtenidos con más de 4.000

ASPECTOS FÍSICOS DE LA CUENCA

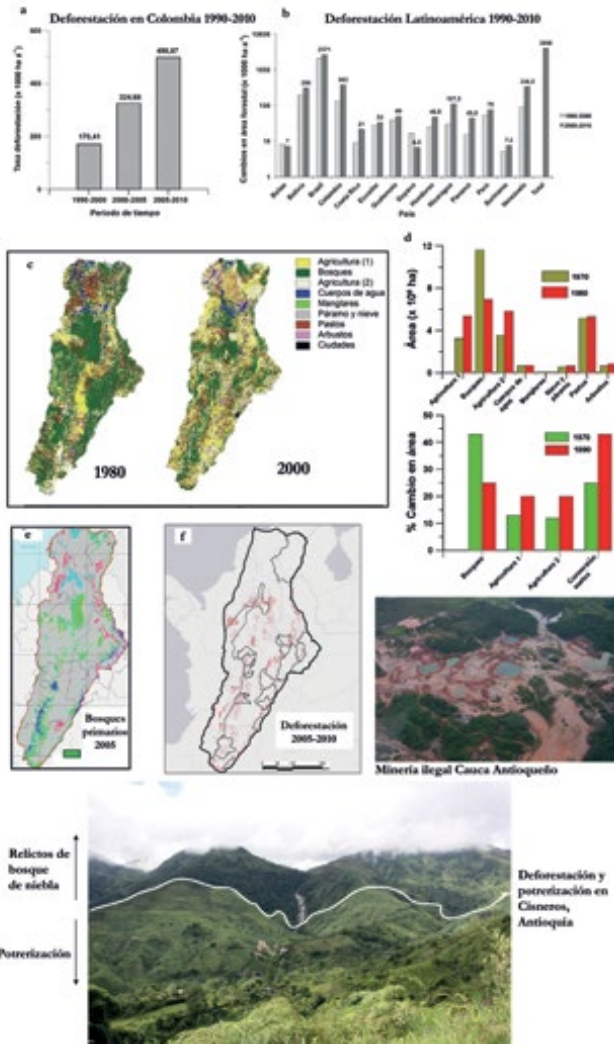


Figura 6. a) Deforestación en Colombia y b) en Latinoamérica con base en los datos del Global Forest Watch de la Universidad de Maryland, Estados Unidos, los cuales son basados en más de 4000 imágenes Landsat y algoritmos más precisos para identificar deforestación a gran resolución en el periodo 1990-2010 (Kim *et al.* 2015). c-d) Mapa de cambio en el uso de los suelos (1980-2000) para la cuenca del Magdalena. Obsérvese el incremento para el periodo 2000 de las áreas de agricultura (amarillo) y la reducción de las áreas de bosques (verde) (Restrepo y Syvitski 2006). e) Mapa de bosques primarios presentes en la cuenca del Magdalena al año 2000 (Instituto Alexander von Humboldt, ver Restrepo 2006). f) Mapa de deforestación en la cuenca del Magdalena entre los años 2005 y 2010 (Restrepo 2015). Se incluyen dos fotos de procesos agresivos y expansivos de cambio de uso del suelo en la cuenca del Magdalena, la minería ilegal y la potrerrización.



Paula Ruíz

imágenes Landsat y algoritmos más precisos para identificar deforestación a gran resolución en el periodo 1990-2010 (Kim *et al.* 2015) y con una resolución mucho más confiable que los datos de deforestación del IDEAM a partir de imágenes MODIS de resolución espacial mucho menor. Cuando el IDEAM estimó una tasa de deforestación promedio aproximada de 340.000 hectáreas por año entre 2005-2010, el análisis de Kim *et al.* (2015) calculó casi 500.000 hectáreas de tala de bosques en el país (Figura 6a), un aumento de casi el 50% en relación con los datos reportados por el IDEAM. De hecho, de todos los países latinoamericanos con bosques húmedos tropicales, Colombia tiene la más alta tasa de deforestación después de Brasil (Figura 6b).

Mediante la calibración del modelo numérico como parte de un proyecto entre las universidades Eafit y Colorado en los Estados Unidos, para el periodo entre los años 1980 a 2010, modelo que combina variables climáticas, hidrológicas, litológicas, morfométricas y del impacto humano por deforestación, se explicó el 86 % de la variabilidad del transporte de sedimentos en la cuenca del Magdalena. Cerca del 10% del transporte de sedimentos acumulado de las tres últimas décadas se debió a la deforestación; cerca de 160 millones de toneladas de sedimentos se han generado por la deforestación entre el 2000 y el 2010. Al convertir el transporte de sedimentos anual del Magdalena a la altura de Calamar, en número de volquetas de seis toneladas y dado un valor específico de densidad de los sedimentos, el Magdalena ha transportado al mar Caribe y al Canal del Dique 15 millones de volquetas anuales o 40.000 volquetas por día, para un promedio de 1.650 volquetas por hora (Restrepo *et al.* 2015).

El sistema hídrico continuo: ciénagas y zona costera

Los sistemas inundables del Magdalena

La construcción de las planicies de inundación requiere de: (1) gran cantidad de suministro de agua y sedimentos (Figura 5a); (2) límites geográficos y espaciales (tectónicos) amplios y no confinados para la acomodación y almacenamiento de los materiales transportados desde la cuenca; y (3) largos periodos de tiempo para la acumulación y depositación de grandes cantidades de sedimentos incorporados en estos abanicos de captación. Entender y predecir la construcción, funcionamiento, destrucción y medidas de conservación de los planos de inundación, en el marco de la dinámica fluvial, hidroclimatología y anomalías interanuales y cambios en las cuencas hidrográficas, es una necesidad crítica local, regional y global para la habitabilidad y sostenibilidad de estas grandes fábricas de servicios ambientales (Dunne y Aalto 2013).

Los sistemas inundables del bajo Magdalena, como por ejemplo las ciénagas del bajo Magdalena y la planicie aluvial de la Depresión Momposina (Figura 7), sobre la cual confluyen las descargas fluviales de los ríos y tributarios del Cauca, Magdalena y San Jorge, son uno de los grandes abanicos fluviales inundables de Suramérica (Latrubesse 2015). Se trata de una especie de “delta interior”. Esta planicie de inundación, compuesta por sistemas de ciénagas, caños y humedales, desempeña un papel como regulador o “amortiguador hídrico” de toda la región del bajo Magdalena. Las zonas inundadas de estas llanuras se expanden al recibir el exceso de agua durante las temporadas de lluvias intensas y se contraen en la medida que liberan agua lentamente durante la

ASPECTOS FÍSICOS DE LA CUENCA

estación más seca, ayudando a mantener el flujo del río Magdalena en épocas secas.

La destrucción de los humedales y de los planos de inundación del río Magdalena (Figura 8), producto de las actividades humanas como la alteración hidráulica, el taponamiento de caños de conexión, el desvío de cauces para irrigación de zonas de agricultura, la construcción de obras civiles, y el aumento del relleno por sedimentos como resultado los procesos erosivos en la parte media y alta de la cuenca del Magdalena, así como la minería del oro en el bajo Cauca, han dado como resultado el deterioro de un mecanismo natural para el control y regulación de flujos extremos e inundaciones (Jaramillo *et al.* 2015, The Nature Conservancy *et al.* 2016). Gran parte de los eventos extremos de inundación en regiones como Mompos, Magangué, Calamar, Canal del Dique, Cartagena y Barranquilla son absorbidos por esta “esponja fluvial”, cuya eficiencia, por lo antedicho, es cada vez menor (Restrepo y Escobar 2018).

El área de planos inundables de toda la cuenca del Magdalena ocupa una extensión de 26.214 km² (aprox. 10% del área total de la cuenca) y casi el 50% de toda esta extensión inundable, cerca de 13 157 km², está formada por la confluencia de los ríos Cauca, San Jorge y Magdalena en la Depresión Momposina (The Nature Conservancy 2016), el sistema avulsivo anastomosado más extenso del norte de los Andes (Latrubesse 2015), con al menos 55 m de espesor de depósitos sedimentarios del Holoceno (Smith 1986). Tomando todo el sistema de inundación del Magdalena, existen cerca de 1.900 ciénagas (The Nature Conservancy 2016).

El problema de las inundaciones y su recurrencia en las zonas inundables del

Magdalena se debe en gran medida a la cantidad de sedimentos que se almacenan en esta región, producto de la erosión en el río Magdalena. Una cifra preliminar del estudio de EAFIT-Universidad de Colorado indica que entre el 20 y 45% (entre 30 y 70 millones de toneladas por año) de los sedimentos del sistema Magdalena-Cauca-Cesar quedan retenidos en la Depresión Momposina. No cabe duda de que el impacto ambiental de la erosión disminuye la capacidad de carga hidrológica de las lagunas del Magdalena, y por lo tanto, genera eventos de inundación más pronunciados y recurrentes. Además, hay que tener presente que las actividades humanas descritas contribuyen a aumentar la escorrentía, y por tanto la proporción de las lluvias que van a parar a los ríos. Las imágenes de satélite MODIS-NASA (Figura 7 b-c), analizadas durante el evento de inundación del Fenómeno de la Niña de 2008, muestran que no todas las lagunas del sistema de inundación mostradas en el modelo de elevación digital en una parte de la región Momposina (Figura 7), reciben sedimentos del sistema fluvial principal. Después de analizar 300 imágenes diarias en el año 2008 (Kettner *et al.* 2010), se calculó muy preliminarmente el área de influencia de los sedimentos del Magdalena en el sistema lagunar. Este cálculo del área efectiva de captura de sedimentos es necesario para estimar la capacidad de amortiguación de la escorrentía del sistema lagunar.

Los servicios ambientales de las ciénagas del Magdalena

La cuenca del río Magdalena tiene un total de 1.290.000 ha de planicies inundables que corresponden a cerca del 10% del área total de la cuenca. Estos planos de inundación son ecosistemas de gran importancia para la salud integral del río y entre sus servicios ecosistémicos se pueden



Paula Ruíz

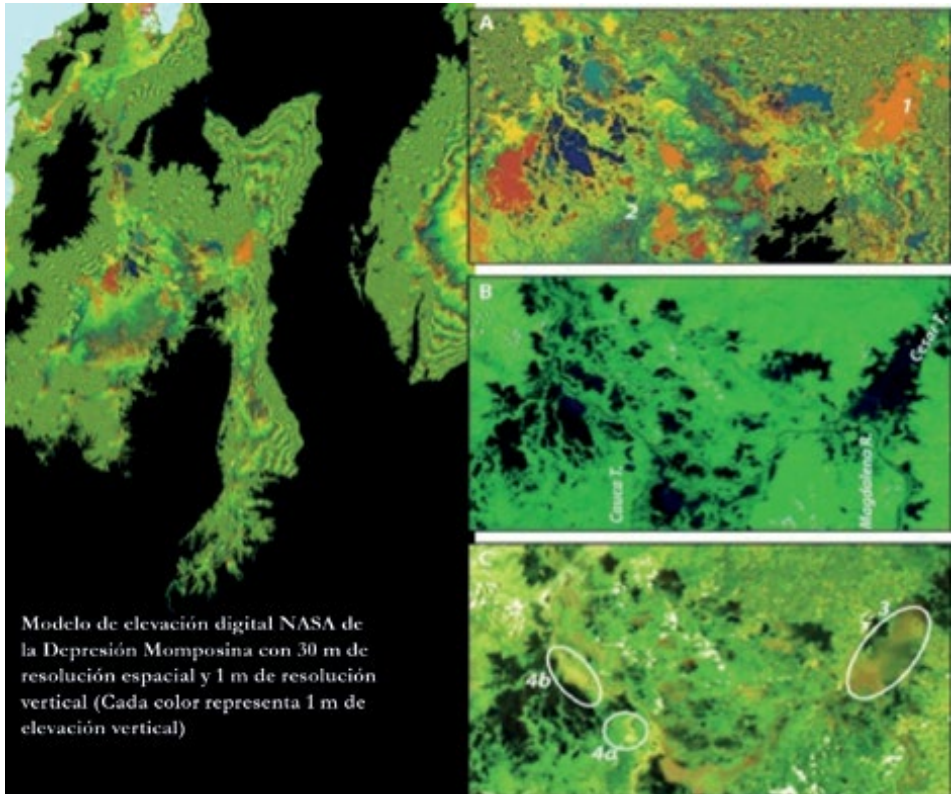


Figura 7. Modelo digital de elevación de la planicie de inundación de la planicie inundable de la Depresión Momposina, en donde cada color representa diferencias de un metro de elevación. (B-C) Imágenes satelitales MODIS mostrando las ciénagas sin sedimentos (aguas negras) y algunas lagunas con presencia de sedimentos una vez se activa la conectividad entre río y planicie inundable (sedimentos en amarillo). Ajustado de Kettner *et al.* (2010). Este tipo de análisis permite reconocer estados de conectividad hídrica entre río-ciénaga y además estimar el área de influencia de sedimentación de cada planicie inundable.

mencionar los siguientes (Walschburger *et al.* 2015): a) reducen el riesgo de los daños por inundaciones al aumentar la capacidad de almacenamiento hídrico; b) los bosques presentes en planicies inundables reducen la velocidad de flujo de las aguas durante crecidas; c) las planicies proveen una altísima diversidad de hábitats para la vida silvestre, como las ciénagas, que son zonas

de desove de peces, forrajeo y producción primaria; d) recargan los acuíferos y regulan los flujos durante aguas bajas; e) mejoran la calidad del agua: retención de sedimentos y nutrientes, filtración y bio-depuración de contaminantes, entre otros; f) retienen y acumulan carbono; g) son espacios importantes para la cultura local y nacional y ofrecen diversos espacios

ASPECTOS FÍSICOS DE LA CUENCA

para la recreación: pesca, ecoturismo, canotaje, otros; h) beneficios ecológicos: hábitats, biodiversidad, especies amenazadas, especies invasoras, otros; i) protección de riberas y reducción de erosión.

Entre estos servicios hay varios muy importantes que ni siquiera se valoran económicamente y se siguen considerando externalidades, como son la depuración natural de aguas servidas, el control de la erosión, la provisión de recurso pesquero, amortiguación de inundaciones, regulación de flujos, conservación de la vida silvestre y la recreación, entre otros muchos más (Walschburger *et al.* 2015).

Los ríos son sistemas continuos con conectividad hídrica entre las partes alta, media, baja y litoral. Son “cintas transportadoras” de flujos de agua, sedimentos y elementos como nutrientes y contaminantes (Figura 8). En este contexto de continuidad hídrica, uno de los servicios ambientales más importantes de las zonas de inundación es la regulación hidrológica en términos de variabilidad diaria, mensual e interanual. Esta controla en gran medida la dinámica de las especies migratorias (bocachicos, bagres), los cuales dependen de ciertos niveles, época del año y duración de caudales para completar su ciclo vital en diferentes hábitats del río principal, afluentes y ciénagas. Los peces salen de las ciénagas a finales de la época de aguas bajas del río Magdalena y comienzan a remontarlo al iniciarse el incremento de caudales con las lluvias de abril. Luego entran a desovar en varios de los afluentes o tributarios principales del río una vez estos hayan alcanzado cierto nivel de aguas. Desovan en estos afluentes y las larvas eclosionan y derivan aguas abajo conformando el denominado “ictio-plancton”. Una vez entran de nuevo al cauce principal del río son arrastrados aguas

abajo y cuando pasan por diferentes bocas de ciénagas son arrastrados aguas adentro de estas. En estas ciénagas, en donde el río aporta anualmente nutrientes, se inician cadenas alimentarias (fito y zooplancton) de las cuales se alimentan estas larvas y juveniles de peces. Si el río no alcanza ciertos niveles se desconectan las ciénagas del río y se pierden estos hábitats esenciales para la alimentación y reproducción de la mayoría de especies migratorias y residentes. La dinámica hidrológica controla en gran parte los mecanismos ecológicos de migración de especies entre planos de inundación y río (Jiménez-Segura *et al.* 2016, Walschburger *et al.* 2015).

Alteraciones en la dinámica hidrológica de zonas inundables

Según Patiño y Estupiñán (2016), más de seis millones de hectáreas de humedales en Colombia (cerca del 24% de toda la superficie de pantanos y ciénagas) tienen superficies del terreno con unidades del paisaje relacionadas con las actividades humanas. El 95% de las causas del deterioro ambiental de las áreas inundables es por ganadería, agricultura y deforestación (Figura 8). Una evaluación espacial de coberturas entre 1950 y 1980 ha mostrado que el 88% del área de humedales de la cuenca Magdalena-Cauca se perdió en un periodo de 30 años (Beach y Luzzader-Beach 2012). Igualmente, *Colombia Anfibia-Un País de Humedales*, elaborado por el Instituto Alexander von Humboldt (Jaramillo *et al.* 2016), ha señalado que más del 30% de las ciénagas del Bajo Magdalena han perdido su conectividad natural con el río. Dicho con otras palabras, se está presenciando la extinción de los sistemas cenagosos y de inundación del Magdalena sin líneas base sólidas y que científicamente permitan entender la evolución del deterioro ambiental, sus causas y posibles estrategias de mitigación.



Paula Ruíz

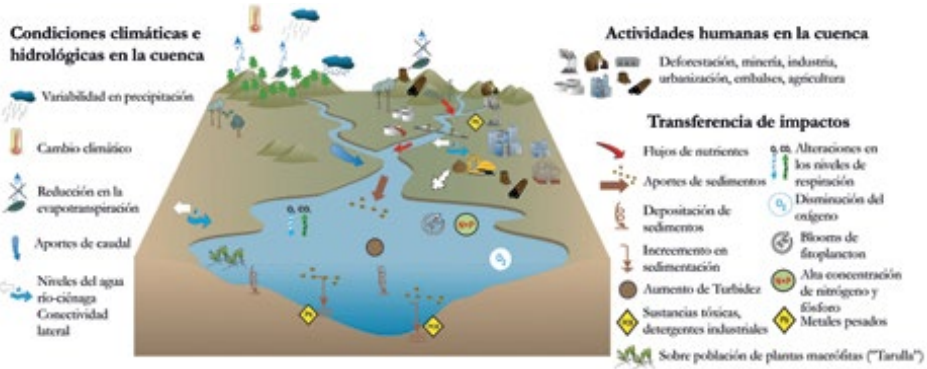


Figura 8. Modelo conceptual de conectividad hídrica entre la cuenca y las zonas bajas inundables mostrando los factores naturales y de origen humano que alteran la capacidad hídrica y la calidad ambiental de las ciénagas del río Magdalena. Se presentan imágenes de impactos humanos en las ciénagas del bajo Magdalena en la región debajo de Barrancabermeja, incluyendo ganadería de búfalo, expansión de macrófitas como “tarulla o buchón (*Eichhornia spp*)” que disminuyen el espejo de agua, aportan a la turbidez fluvial y a procesos de desecamiento y desertificación. Fotos: Robinson Henao.

ASPECTOS FÍSICOS DE LA CUENCA

La dinámica hidrológica es el proceso natural del cual dependen otros factores biofísicos como la ecología de los sistemas acuáticos (humedales, ciénagas y canales), la geomorfología e hidráulica fluviales, las características geoquímicas de los sedimentos y la fisicoquímica de las aguas. Esta dinámica se altera al cambiar la conectividad hidrológica entre el río y los planos inundables-ciénagas por medio de varios factores: (1) variaciones hidrológicas a escala de cuenca; (2) alteraciones de caudales por medio de la operación de hidroeléctricas; (3) construcción local de canales y diques; (4) uso del agua en zonas medias y altas de la cuenca; (4) variabilidad climática; y (5) reducción de la capacidad de amortiguamiento hídrico de los planos de inundación (espejo de agua) por el aporte de sedimentos desde la cuenca y las actividades locales como deforestación, ganadería, y minería (Figuras 5a y 8).

El transporte sedimentos a las zonas bajas inundables (Figura 8) es probablemente una de las principales causas de la alteración del amortiguamiento hídrico en el bajo Magdalena (Figura 7). El incremento observado en la erosión, deforestación, degradación ambiental y del transporte de sedimentos de la cuenca media y alta del Magdalena durante las últimas tres décadas (Figuras 5c-d y 6), ha incrementado en 33% el transporte de sedimentos (Restrepo *et al.* 2015, Restrepo y Escobar 2018). Además, recientes estudios han mostrado, en un marco preliminar, los bajos niveles de conectividad entre el río Magdalena y las ciénagas, observados preliminarmente por tecnología satelital para las últimas dos décadas (Restrepo *et al.* 2020) (Figura 10).

De nuevo, es pertinente mencionar que a medida que se ha incrementado la erosión en la región andina durante los últimos 50

años, producto de las actividades de origen humano, principalmente la deforestación, la ganadería, la minería, el incremento en las tasas de urbanización, entre otras más (Restrepo 2006, 2015, Restrepo y Syvitski 2006, Restrepo *et al.* 2006, Restrepo *et al.* 2015), la capacidad de almacenamiento de escorrentía fluvial en los planos inundables se ha disminuido considerablemente (Restrepo y Escobar 2018). También, gran parte de las ciénagas del medio y bajo Magdalena han perdido su conectividad natural con el río debido al desvío de canales para riego agrícola, principalmente cultivos de palma de aceite. Grandes extensiones de espejos de agua de ciénagas han sido secadas o drenadas por la expansión agresiva de estos cultivos, situación que ha generado conflictos sociales y ambientales en las comunidades vulnerables de estos sistemas inundables (Figura 9).

Estudios de conectividad hídrica entre el río Magdalena y los planos de inundación no existen o no se encuentran publicados y disponibles al público en general. Menos las evaluaciones anuales e interanuales de las variaciones de dicha conectividad. Recientemente, Restrepo *et al.* (2020) presentan la aplicación y validación en campo de datos satelitales para la estimación de caudales y umbrales de conectividad río-ciénagas (Figura 10). Los autores muestran la gran confiabilidad estadística de las series satelitales diarias 1998-2020 en tiempo real cercano para el análisis de umbrales de carga y recarga de los planos de inundación. Este estudio solo analiza años Niño, Niña y años neutrales de la reconstrucción de niveles de conectividad en el periodo 2010-2016. Los mapas de frecuencia de conectividad 2013-2017 en las ciénagas de Barbacoas y parte inicial de la región Momposina a la altura de El Plato, sugieren frecuencias



Paula Ruíz



Figura 9. Zonas de cultivo de palma en las proximidades de ciénagas del bajo Magdalena. Se observa la chimenea de una de las extractoras de aceite de palma, un paisaje similar al de las refinerías de petróleo en Barrancabermeja. Fotos: Robinson Henao.

de conectividad entre el río y las ciénagas menores al 25% (Figura 10a-d). De hecho, al observar imágenes satelitales Landsat en la época Niña 2010-2011, se observa la alta variabilidad de los pulsos de conexión que solo se logran en niveles muy altos del Magdalena después de eventos de avulsión del canal principal (Figura 10e).

Al observar el marco de estudios previos sobre geomorfología, sedimentación, im-

pactos ambientales y conectividad hídrica de los planos de inundación del Magdalena, es más que evidente el “abandono” en el que se encuentran estos ecosistemas estratégicos y sus comunidades de pescadores vulnerables, no solo desde la perspectiva de la falta de mitigación y control de impactos, sino también de la poca presencia de la academia nacional para estudiar y analizar cómo funcionan estos sistemas y cuáles variables críticas

ASPECTOS FÍSICOS DE LA CUENCA

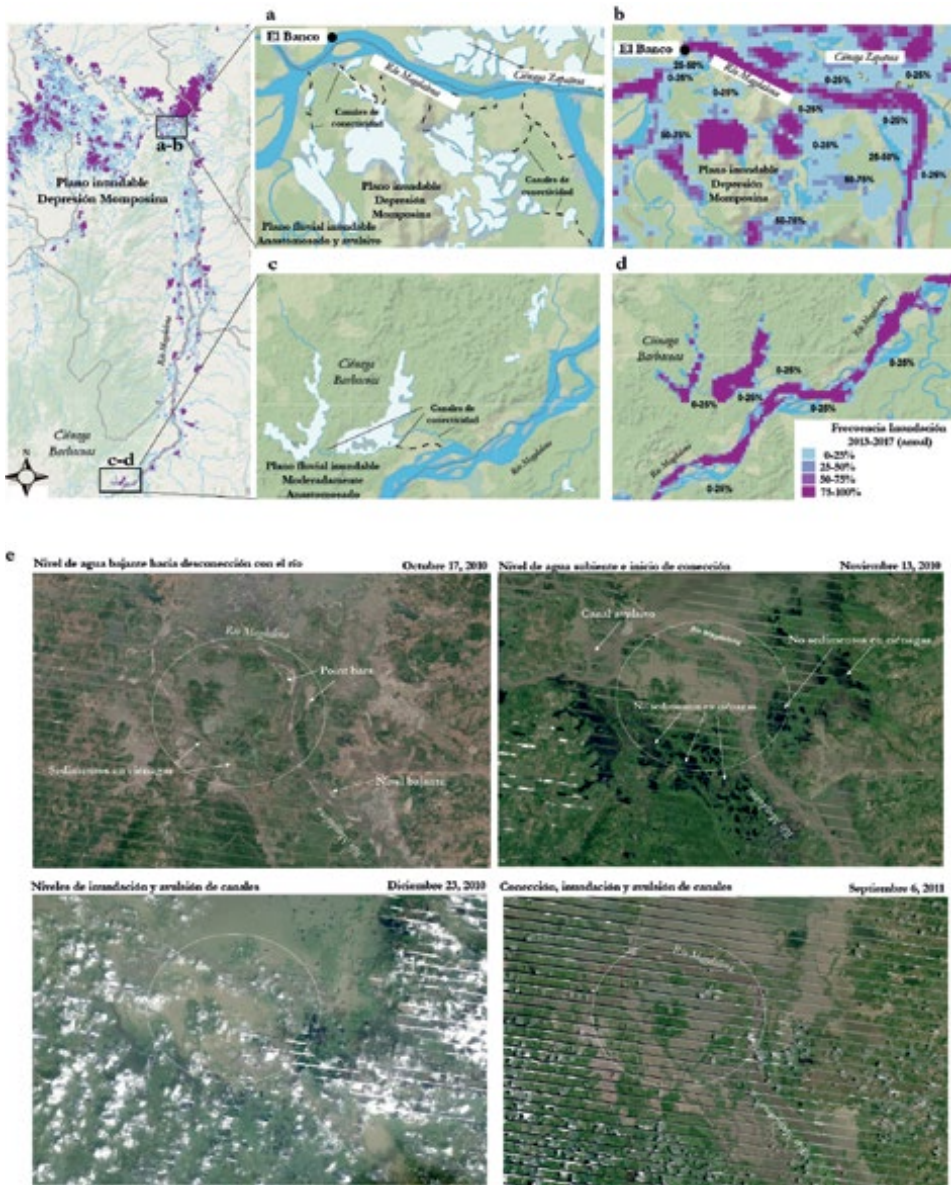


Figura 10. a-d) Mapas de frecuencias de inundación 2013-2017 en Barbaças y Depresión Momposina a partir de datos satelitales. e) Imágenes del satélite Landsat mostrando diferentes fases de conexión-desconexión entre el río Magdalena y las ciénagas de la Depresión Momposina en un año Niña 2010-2011. Modificado de Restrepo *et al.* (2020).



Paula Ruíz

se deben mitigar para su “salvación” y sostenibilidad. En Colombia, con base en nuestro modesto conocimiento, no existe ningún estudio científico que haya explorado la conectividad hídrica entre ciénaga-río Magdalena, sus cambios en periodos de tiempo decadales y cómo estos cuerpos inundables han absorbido todo el deterioro ambiental aguas arriba de la cuenca del Magdalena. Aún no se han desarrollado estudios en las zonas inundables del Magdalena en cuanto a: (1) la geomorfología en planta; (2) la variación morfológica durante las últimas décadas; (3) las tasas de sedimentación para los últimos 100 años; (4) la eficiencia del sistema para almacenar sedimentos; (5) la relación entre las tasas de erosión-transporte de sedimentos de la cuenca alta y media del Magdalena con los niveles de sedimentación en los planos inundables para los últimos 30 años, periodo en el cual hay registro de transporte de sedimentos; (6) la conectividad hidrosedimentológica entre río y ciénagas y (7) la recurrencia de eventos extremos de inundación en las zonas bajas y su relación con la capacidad de almacenamiento hídrico.

Probablemente, la dinámica hidrológica y sedimentaria de los planos de inundación (humedales y ciénagas) del Magdalena es uno de los principales vacíos o “Caja Negra” de información científica del complejo sistema de amortiguamiento hídrico de toda la cuenca. Esta información es necesaria como línea base ambiental del funcionamiento de las zonas inundables para: (1) planes de manejo de sistemas biológicos; (2) estrategias de restauración de humedales y ciénagas; (3) línea base para la evaluación futura del impacto de obras de intervención hidráulica y de infraestructura civil y (4) para la evaluación de la transferencia de impactos desde

las cuencas media y alta hacia los planos de inundación.

Trasladando los sedimentos y contaminantes del Magdalena al Mar Caribe

En los litorales, los procesos continentales interactúan y se combinan con los procesos de origen oceánico. De hecho, los factores naturales y de origen humano en los ríos incrementan o disminuyen los flujos horizontales de materiales a las zonas costeras con sus respectivos impactos en la morfología (sedimentos) o en los ecosistemas (nutrientes y elementos tóxicos). Los ríos son, por lo tanto, el principal mecanismo del transporte de sedimentos, nutrientes y contaminantes hacia las costas y mares (Figura 11).

En Colombia se ha discutido durante los últimos diez años en qué forma y hasta qué punto los flujos de agua y sedimentos del Magdalena han afectado los ecosistemas costeros adyacentes, incluyendo el conjunto de arrecifes coralinos de 145 km² de extensión en las Islas del Rosario, el cual conforma actualmente un área marina protegida. Algunos estudios (Restrepo *et al.* 2006, Restrepo y Alvarado 2011) han mostrado que la cobertura actual de coral vivo en las Islas del Rosario es de sólo el 22% con respecto a su valor inicial (Restrepo y Alvarado 2011). Esta situación ha sido atribuida a diferentes factores, incluyendo: (1) flujos de agua dulce que inducen el blanqueamiento de los corales; (2) incrementos en las cargas de nutrientes y sedimentos, los cuales fortalecen la capacidad de las macroalgas para competir por el substrato bentónico; (3) incremento de la contaminación antrópica en áreas urbanas (aguas residuales y sustancias tóxicas); y (4) turismo y sobreexplotación de las estructuras coralinas para emplearlas en construcción.

ASPECTOS FÍSICOS DE LA CUENCA



Figura 11. Modelo conceptual de conectividad hídrica desde las cuencas de los ríos hacia las zonas inundables y región costera. Las regiones hidrográficas también incluyen las costas, deltas, estuarios, bahías y ecosistemas marinos proximales, hasta donde llegan los flujos de sedimentos, nutrientes y contaminantes desde el interior del continente. Fuente: Restrepo (2008).

Durante el periodo entre los años 1972-2012, el río Magdalena ha transportado hacia el mar Caribe un promedio de 184 millones ton por año. En el Canal del Dique, un ramal del río Magdalena hacia las bahías de Barbacoas y Cartagena, el transporte promedio de sedimentos ha sido de 7.9 millones de toneladas por año. Durante 28 años de monitoreo (1984-2012), el Canal del Dique ha transportado hacia estas bahías 222 millones toneladas de sedimentos.

Basados en un estudio entre la Universidad Eafit y el INVEMAR (Restrepo *et al.* 2006), los análisis sobre el desarrollo y estructura de la comunidad de corales en las islas del Rosario, incluyendo Barú, Grande, Rosario y Tesoro, y utilizando la cobertura de algas como indicador del estado arrecifal, indican que en el archipiélago se han presentado cambios significativos en el desarrollo de

los corales, con una marcada reducción de la cobertura de coral vivo y un incremento muy significativo en la cobertura de algas. Por ejemplo, en isla Grande, la cobertura de coral vivo pasó de 95% en 1983 a 41% en 2004, mientras que la cobertura de algas aumentó del 5% en 1983 al 59% en el 2004. En general, y para el período analizado entre 1983 y 2004, los resultados muestran que han ocurrido cambios dramáticos en la estructura y cobertura de los corales de las islas del Rosario.

A pesar de las evidencias en campo y de varios estudios sobre la reducción de cobertura de coral en las islas del Rosario (Restrepo *et al.* 2006, Restrepo y Alvarado 2011), hasta hace poco no se había contestado científicamente la pregunta: *¿Existe conexión entre el aporte de nutrientes y sedimentos en suspensión del Magdalena y el Canal del Dique con la*



Paula Ruíz

disminución de la superficie de coral vivo en las islas? Un estudio de la compañía E coral contratado por el Grupo Argos (2012-2014), con la ejecución científica de las universidades Eafit y Texas Austin (Restrepo *et al.* 2016), comprobó mediante la calibración de imágenes de satélite Modis-Nasa, que las aguas de las islas del Rosario son más bien un estuario externo del río Magdalena (Figura 12). Los resultados muestran que de un total de 13 años de análisis (2000-2013), los aportes de aguas turbias (concentraciones de sedimentos mayores a 15 mg.l^{-1}) fueron observados, en general para todas las áreas en las islas del Rosario, cerca del 30% de todo el tiempo o un total de cuatro años. En otras palabras, durante la última década, aguas turbias del Magdalena y el Canal del Dique han alterado las condiciones cristalinas del litoral externo de Barú e islas del Rosario en una tercera parte del tiempo. Esto demuestra que los arrecifes del Rosario no están afectados sólo por las aguas del Dique en eventos llamados “bombazos” o episódicos. Más bien, estas alteraciones se presentan de forma continua a escalas intra e inter anual. También, durante algunos meses, las áreas litorales y arrecifales de Barú e islas del Rosario parecen más bien unas lagunas fluviales internas con altos valores de turbidez (Figura 12).

Esta descomposición ambiental de los arrecifes concuerda con las tendencias temporales del transporte de sedimentos; el incremento en los flujos de sedimento del Magdalena y del Canal del Dique comenzó hacia mediados de la década del ochenta, época desde la cual este aumento ha sido progresivo y más marcado. Los resultados permiten señalar que, ante el incremento de la actividad humana en la cuenca del Magdalena, la destrucción de ecosistemas coralinos aumentará significativamente en cuanto a extensión e intensidad.

En cuanto a la Bahía de Cartagena, sistema terminal de almacenamiento de la contaminación y de los problemas ambientales de la cuenca del Magdalena, un 33% del transporte de sedimentos hacia la Bahía de Cartagena es debido a la deforestación en la cuenca del Magdalena. Durante la última década, los aportes de agua y sedimentos del Canal del Dique hacia la Bahía de Cartagena se han incrementado en 28% y 48%, respectivamente (Restrepo *et al.* 2016, 2018). Cerca de 2000 toneladas de sedimentos por día descarga el Canal del Dique a la Bahía de Cartagena por medio de grandes plumas de turbidez (Figura 12). Varios metales pesados, incluyendo el mercurio, cadmio, cromo, cobre y níquel, se encuentran en los sedimentos de la bahía en concentraciones superiores a los niveles de impacto potencial (TEL) utilizados por la NOAA de los Estados Unidos (Tosic *et al.* 2018).

En relación con la salud de la pesca, se detectaron tres metales en los peces (cromo, mercurio y plomo) (Tosic *et al.* 2018). Este es el primer estudio que analiza concentraciones de cromo y plomo en peces de la Bahía de Cartagena, a diferencia de estudios anteriores que solo midieron el mercurio. Las concentraciones de cromo en los peces llegaron a ser hasta dos veces más altas que las concentraciones límite establecidas por organismos internacionales de $1.000 \mu\text{g}$ de cromo/kg de pescado. Las concentraciones del mercurio fueron tres veces más altas que las concentraciones que han mostrado un efecto de toxicidad en niños de $100 \mu\text{g}$ de mercurio/kg de pescado, especialmente en época seca. En cuanto al plomo, las concentraciones fueron hasta ocho veces más altas que la concentración límite definida para niños por la Unión Europea de $50 \mu\text{g}$ de Plomo/kg de pescado (Tosic *et al.* 2018).

ASPECTOS FÍSICOS DE LA CUENCA

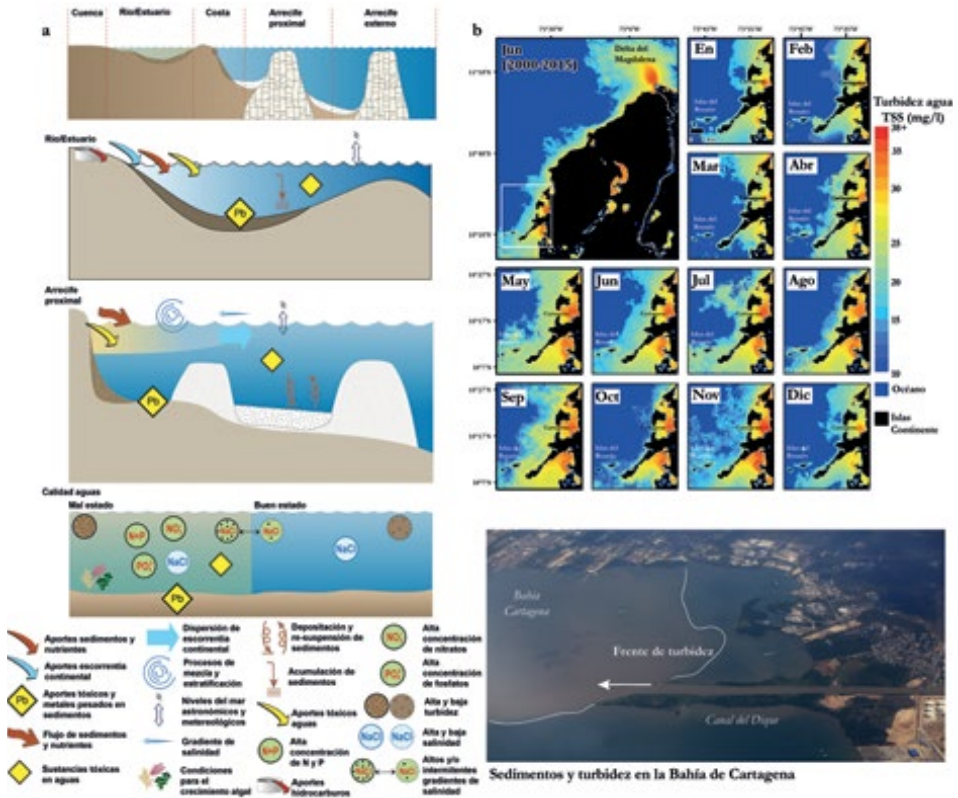


Figura 12. a) Modelo conceptual de conectividad hídrica y transferencia de impactos hacia las zonas costeras y ecosistemas costeros, incluyendo los arrecifes. Se muestra en el panel inferior la comparación entre un sistema marino-costero en mal y buen estado, dependiendo de condiciones como turbidez, concentración de nutrientes, niveles de oxígeno, salinidad y calidad de los sedimentos. b) Imágenes satélite Modis de la región de Cartagena calibradas en campo para estimar la concentración de sedimentos en suspensión (niveles de turbidez) de las aguas de la bahía y costeras. Las plumas de turbidez del Magdalena y Canal del Dique se observan en colores rojo, amarillo, naranja y verde. Modificado de Restrepo *et al.* (2016). Al final se incluye una foto aérea de la desembocadura del Canal del Dique en la Bahía de Cartagena, en donde se observa la pluma de sedimentos que proviene del Magdalena. Fotos: Robinson Henao.

Sistemas acuáticos en la cuenca del río Magdalena: ecosistemas para los peces

Hasta el momento se han presentado diferentes contextos de la cuenca, enmarcados desde la historia geológica, el clima

e hidrología, la geomorfología, los sedimentos y la conectividad hídrica. En esta sección final, se introduce al lector a los ecosistemas presentes en la cuenca del río Magdalena y que son hábitat para los peces. Según el Convenio de Diversidad Biológica



Paula Ruíz

pactado en 1992, se le llama ecosistema a “un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y microorganismos en su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional”. Los humedales son un tipo de ecosistema y existen diversas definiciones para humedal. Tal vez la más aceptada para los trópicos es aquella propuesta por Junk (2014) donde los define como “ecosistemas que están en la interfaz entre ambientes acuáticos y terrestres, pueden ser continentales o costeros, superficiales o subterráneos, naturales o artificiales, permanentes o periódicamente inundados. Sus aguas, que pueden dulces, altamente ó ligeramente) salinas y son el hogar de plantas y comunidades animales adaptadas a su dinámica del agua”.

En la última década, el Instituto Alexander von Humboldt ha avanzado en la caracterización y tipificación de los humedales de Colombia. Colombia Anfibia (Jaramillo *et al.* 2015) resaltó la diversidad de nombres que recibe un mismo tipo de ecosistema acuático en las diferentes regiones del país y lanzaron una primera tipificación usando características como el tipo de suelo, la pendiente, clima, hidrología y la vegetación asociada como elementos discriminantes en todas las cuencas del país. Un año antes, Lasso *et al.* (2014) daban los primeros pasos e indicaban los criterios biológicos y ecológicos para delimitar los humedales colombianos, incluyendo la biota asociada y otras características hidro-geomorfológicas del territorio. Ricaurte *et al.* (2019) tipificaron al menos 89 tipos de macrohábitats, 16 de ellos en la región andina y diez en los valles interandinos. La ictiofauna presente en estos macrohábitats no fue considerada por los autores debido a que los peces son móviles y no tipifican necesariamente cada uno de estos hábitats. Entonces, por conveniencia y para el interés de este libro, en la red hidrográfica del río Magdalena

se reconocen ecosistemas superficiales naturales o macrohábitats (corrientes-quebradas, ríos-, lagunas de montaña, ciénagas, lagunas costeras), ecosistemas superficiales artificiales (embalses, jagüeyes, canal del Dique) y ecosistemas subterráneos (río subterráneo en cavernas). Si bien el canal del dique es sistema que comunicaba a diferentes ciénagas a la margen izquierda del cauce del Magdalena, debido a las obras realizadas para su rectificación y construcción de compuertas para regulación de flujos, se tratará aquí como un sistema artificial. Todos estos ecosistemas considerados dentro de dos de los cinco ambientes geomorfológicos descritos en Ricaurte *et al.* (2019) para sistemas continentales colombianos: montañas de los Andes y valle interandino del río Magdalena.

En este aparte se describen las características generales de cada uno de estos ecosistemas y que serán retomados en los siguientes capítulos del libro. Para el lector interesado existen documentos de referencia que describen de las particularidades morfológicas y fisicoquímicas de los diferentes sistemas acuáticos en la cuenca que se le recomienda consultar (Roldan y Ramírez 2008, Jaramillo *et al.* 2015, IDEAM 2018).

Cursos o corrientes de agua (quebradas y ríos)

Son ecosistemas acuáticos con flujo unidireccional; también llamados sistemas loticos ó corrientes. La red de drenaje total en la cuenca del río Magdalena se estima en 101.000 kilómetros (Angarita *et al.* 2018). De acuerdo con la jerarquía dentro de la red hidrológica del río Magdalena usando la propuesta de Horton (1945), se identifican siete órdenes; el cauce del río Magdalena después de Calamar se considera de orden ocho y los nacimientos, como cursos de orden 0. A medida que se incrementa el

ASPECTOS FÍSICOS DE LA CUENCA

orden del curso de agua, aumenta el caudal, el ancho del cauce y cambia el sustrato determinando la complejidad en los meso y micro-hábitats utilizados por la biota acuática (Figura 13). Las condiciones del agua como turbidez, velocidad, conductividad, temperatura y turbulencia están fuertemente influenciadas por el tipo de suelo, el tipo de sustrato, la vegetación de borde y la pendiente del cauce. Resultado de la estacionalidad en las lluvias, el cambio en el caudal tiene una influencia en los cuatro ejes dentro de los cuales se enmarca la dinámica de estos ecosistemas: longitudinal, lateral, vertical y temporal (Ward 1989) y particularmente en algunas de las condiciones del agua como son la conductividad y la carga de sedimentos.

Lagos, lagunas y ciénagas

Son sistemas acuáticos agrupados dentro de los ambientes acuáticos leníticos, lénticos o de aguas quietas. Roldán y Ramírez (2008) afirman que la diferencia entre lagos, lagunas y ciénagas no es muy evidente más allá de diferentes profundidades, así que los agrupan a todos en una sola palabra: *lago* y lo diferencian de acuerdo con su origen (p. e. glaciar, volcánico, tectónico, fluvial, entre otros). En la cuenca del Magdalena se seguirá la terminología de ciénagas que son cuerpos de agua someros formados por la dinámica fluvial y las lagunas de montaña, que son formadas por procesos andinos (p. e. volcánico, glaciar); equivalen a lagunas de inundación en la Orinoquia (Lasso *et al.* 2014) o lagos (lagoas) del plano inundable amazónico (C. Lasso *com. pers.*). Los lagos no son sistemas aislados ni “quietos” ya que dependen de su entorno hidrogeológico comunicándose con la capa freática (conexión vertical), los aportes de suelos que le rodean y de los ríos con los que estén conectados (conexión lateral); además presentan movimientos diarios y

estacionales asociados con la dinámica de las entradas de agua, el gradiente vertical de la temperatura del agua y de la fuerza que ejerce el viento sobre la superficie provocando el rompimiento de la termoclina y recirculando el material acumulado en el fondo.

Las ciénagas son cuerpos de agua que se forman en depresiones dentro de los planos laterales del río Magdalena, que se han generado por la acción de procesos de acumulación lateral de sedimentos producto del desborde del río sobre su plano lateral (avulsión), y que se conectan con el cauce principal del río Magdalena mediante canales meandriformes (Roldán y Ramírez 2008). De acuerdo con su conexión, Arias (1985) agrupa las ciénagas en los siguientes tipos: 1) conectadas directamente al cauce principal del río Magdalena o del río Cauca; 2) aquellas conectadas al cauce de un afluente al cauce principal; 3) aquellas que se unen mediante canales de conexión (conocidos como *caños*) conformando “racimos” de ciénagas y 4) aquellas que se han aislado totalmente del cauce principal del río (conocidas como *madreviejas*) (Figura 13). La longitud del caño o canal de conexión es definitiva en la conectividad del río con el cuerpo de agua cenagoso ya que influye en la cantidad y tipo de sedimento, y nutrientes que ingresan al sistema. Dentro de las ciénagas se presentan tres tipos de ambientes o secciones que ofrecen condiciones particulares para la biota: 1) bahías o bajos (zonas someras, con vegetación sumergida) abundantes en ciénagas con línea litoral o costera muy desarrollada; 2) ambientes de aguas abiertas (condiciones pelágicas, con profundidad variable) y 3) ambiente litoral con vegetación flotante. En las ciénagas tipo 3, las más pequeñas que están conectadas con el cuerpo mayor,



Paula Ruíz

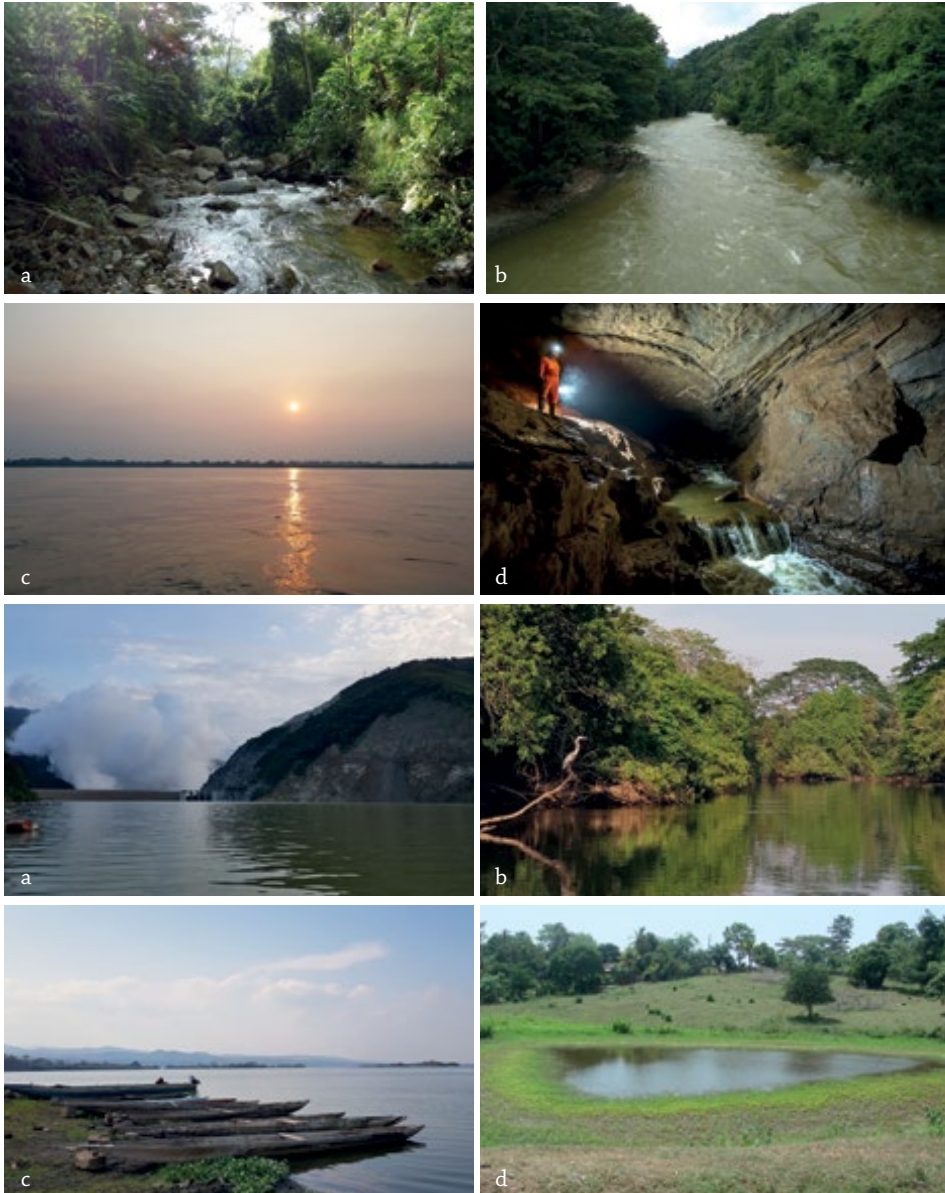


Figura 13. Diferentes ecosistemas acuáticos en la cuenca del río Magdalena. a) Quebrada San Benigno. Foto: Luz Jimenez-Segura. b) Río Porce. Foto: Luz Jimenez-Segura. c) Río Magdalena Foto: Luz Jimenez-Segura. d) Río subterráneo. Caverna La Tronera Foto: F. Villegas. e) Embalse Hidroituango. Foto: Luz Jimenez-Segura. f) Caño San Silvestre Foto: Luz Jimenez-Segura. g) Ciénaga Simití. Foto: Luz Jimenez-Segura. h) Jaguey. Foto: Mónica Morales.

ASPECTOS FÍSICOS DE LA CUENCA

se conocen como “charcas” y pueden conectarse o desconectarse dependiendo del ciclo de lluvias. A pesar de su importancia como zonas de amortiguación a las crecientes, de acumulación de sedimentos y para la producción pesquera en la cuenca, poco se ha avanzado en su tipificación.

Lagunas costeras

Se refiere al complejo cenagoso de la Ciénaga Grande de Santa Marta que, si bien se denomina como ciénaga, los aportes del río Magdalena y la conexión con el Mar Caribe, la ubican dentro del ecosistema lagunar costero. La ciénaga Grande ocupa un total de 5.591 ha (IDEAM 2018) y su dinámica está regulada por los aportes del río Magdalena, de los ríos que bajan de la Sierra Nevada de Santa Marta y por el Mar Caribe. Hacia la región occidental de la ciénaga se encuentra el complejo de ciénagas de Pajarales, que representa al menos un tercio del área total que ocupa la ciénaga; este complejo es alimentado por el río Magdalena a través seis caños artificiales creados para recuperar la conexión perdida con la construcción de la carretera Palermo-Salamina (caños Clarín, Almendros, Alimentador, Renegado y Aguas Negras). Hacia el norte se encuentra el sitio conocido como la Boca de la Barra por donde ingresan los aportes del Mar Caribe. Al sur-oriental del cuerpo principal de la ciénaga confluyen importantes afluentes provenientes de la Sierra Nevada de Santa Marta como son río Frío, Aracataca y Fundación. Así que dentro de la ciénaga se configuran dos zonas, una hacia el sur (oriental y occidental) donde dominan los aportes de las aguas dulces y, otra hacia el norte donde se incrementa de manera importante la salinidad del agua. Estas zonas pueden ampliarse o replenirse de acuerdo con la

estacionalidad del caudal del río Magdalena y su ingreso a la Ciénaga Grande (INVEMAR 2005).

Embalses y jagüeyes

Los embalses y jagüeyes son reservorios de agua de tipo léntico creados por el hombre con diferentes fines (Figura 13). Los jagüeyes tienen áreas variables (0,01 -0,1 ha), poco desarrollo de la línea costera pues generalmente son circulares y se construyen para proveer de agua a la industria agropecuaria y a labores domésticas en regiones de clima árido con largos periodos de sequía; el volumen de agua almacenado depende de la intensidad de las lluvias y de la duración del verano (Navarro *et al.* 2019). Los embalses ocupan 534 km² (IDEAM 2018) y, en su mayoría, se usan para la generación de energía eléctrica y, gracias al muro que se construye dentro del cauce del río (*presa*), acumulan el agua que aporta un río, liberándola hacia aguas abajo luego de mover las turbinas generadoras. El volumen de agua del embalse resulta entonces del balance entre la cantidad de agua aportada por los afluentes y la cantidad de agua turbinada. En la cuenca del río Magdalena el embalse más pequeño es el del Sisga (15 ha) y los mayores, Betania y Guatapé-Peñol (7.400 ha). Las cuencas con embalses presentan tres sectores: afluentes arriba del embalse, cuerpo del embalse y aguas abajo del embalse; dentro del embalse hay tres zonas: zona entrada de los afluentes ó zona ribarina (llamadas *colas*), zona de transición y zona de la presa ó lacustre (la más profunda). Para mayor detalle sobre el número y características de los embalses y su localización en la cuenca, el lector puede consultar en Jiménez-Segura *et al.* (2015) y Roldán y Ramírez (2008).



Paula Ruíz

Canal del Dique

El Canal del Dique, con una longitud de 115 km, es un canal de comunicación entre ciénagas que fue rectificado para comunicar el cauce del río Magdalena, luego de Calamar (aguas abajo de la Depresión Momposina) con la Bahía de Cartagena y de Barbacoas. El canal conecta al menos ocho diferentes ciénagas y el caudal que trascurre por él está definido por los aportes del río Magdalena y por las ciénagas. Durante los estiajes intensos, las ciénagas se desocupan por lo que se construyeron diques para retener el agua almacenada y controlar su nivel cuando el río reduce su caudal.

Ríos subterráneos

Son cavidades en el subsuelo que van desde conductos alargados simples hasta una red de conductos con decenas de kilómetros que conforman ambientes típicos como pozos, meandros, gateras, salas, galerías, lagos y sifones (Martínez-Hernández 2012). Se forman naturalmente en el suelo por acción mecánica de movimiento de masas de rocas, por disolución del suelo debido al efecto erosivo agua y hielo, por el enfriamiento de lava volcánica ó por acción del oleaje (Cano-Santana y Martínez-Sánchez 1999). Debido a aportes directos de corrientes de origen epigeo o por nivel freático, algunas pueden albergar cuerpos de agua dentro de ellas y biota acuática (permanente o troglobia, troglófila, troglóxena y visitantes ocasionales) (Trajano y Carvalho 2017). En Colombia, Lasso (comun. personal) reconoce cuatro grandes de tipos de cavernas o cuevas: de caliza, cuarcíticas, glaciares y sumergidas-semisumergidas. Muñoz-Saba *et al.* (1998, 2013) identifican 260 sistemas exocársticos en 21 departamentos (Antioquia, Boyacá, Huila, Santander y Tolima). Su dinámica hídrica, biológica y química está fuertemente influenciada por el suelo

que las contiene y por la estacionalidad en las corrientes y en el nivel freático que las alimentan (Rodríguez-Torres y Lasso 2019).

Reflexiones para tomadores de decisión

La erosión y los sedimentos del Magdalena

La erosión de los suelos y el transporte de sedimentos en el Magdalena es uno de los temas más sensibles en la factibilidad de proyectos de navegabilidad. El Magdalena está entre los diez primeros lugares de los ríos a escala global con mayor producción de sedimentos, con cerca de 184 millones de toneladas/año. Al convertir esta cantidad del transporte de sedimentos anual en número de volquetas de seis toneladas, el Magdalena transporta en Calamar 15 millones de volquetas anuales o 40.000 volquetas/día, para un promedio de 1.650 volquetas/hora. Las condiciones climáticas como la alta precipitación, geológicas como drenar un sistema montañoso joven y con alta actividad sísmica, y morfológicas, como sus suelos en altas pendientes, hacen que naturalmente se generen grandes cantidades de sedimentos (Restrepo y Escobar 2018). Adicional a los factores naturales, el impacto ambiental en la cuenca en los últimos 30 años, expresado en el cambio en el uso de los suelos, incrementó las tasas naturales de erosión. Cerca del 34 por ciento de la erosión en la cuenca, o aproximadamente 60 millones de toneladas de sedimentos al año, se generan debido a la deforestación (Restrepo *et al.* 2015). Ante estos números de generación y transporte de sedimentos, de lo más altos a escala global, ¿cuáles serían los costos de dragado anual en el mediano y largo plazo?, asumiendo la continuación de condiciones de degradación ambiental.

ASPECTOS FÍSICOS DE LA CUENCA

Todo este volumen de sedimentos en exceso por actividades humanas está alterando dramáticamente las zonas inundables, ciénagas y humedales al sedimentar estos cuerpos de agua y disminuir su capacidad de almacenamiento hídrico y de conectividad con el río. Más del 70% de la conectividad río - ciénagas en el bajo Magdalena se ha interrumpido en los últimos 20 años, situación que pone en riesgo de “extinción” los servicios ecológicos de los humedales y sus pesquerías, al igual que la capacidad de amortiguamiento hidráulico contra eventos de inundación (Restrepo *et al.* 2020).

La cuenca del río Magdalena y su cauce principal son una de las áreas hidrográficas menos estudiadas y analizadas de todos los grandes ríos suramericanos, incluyendo el Orinoco, Amazonas, Sao Francisco y Paraná. Más del 90 por ciento del río y de su cuenca no se conoce científicamente en relación con la evolución de canales, de zonas de inundación, de barras e islas arenosas y de otros ambientes fluviales. Si no existen modelos físicos de los ambientes fluviales, ¿cómo se puede predecir la factibilidad de las obras de intervención y adecuación hidráulicas? ¿Cuál es la factibilidad ambiental y financiera de un río como el Magdalena para ser una hidrovía eficiente? Y es aquí, en el conocimiento físico y biológico del río, con ciencia de alto nivel y no con los desprestigiados estudios de impacto ambiental estilo “*copy-paste*”, donde ya se debería iniciar en conjunto, academia, gobierno (Cormagdalena) y ONGs, para generar la “*línea base ambiental*” sobre la cual se diseñarán los proyectos de intervención de obras civiles. Este tipo de estudios requiere la transferencia de ciencia hacia los Tomadores de Decisión, practicando una conexión directa de confianza entre

los decisores y la academia del país, al igual que los modelos realizados por Naciones Unidas en la evaluación global de Ecosistemas del Milenio.

Es pertinente resaltar que análisis recientes sobre las condiciones del transporte de sedimentos de los principales ríos del mundo antes del Antropoceno y su comparación con los valores actuales de aportes sedimentarios a la zona litoral, indican que el río Magdalena es el sistema fluvial con mayor incremento en la descarga fluvial de todos los grandes ríos del continente suramericano (Restrepo *et al.* 2015, Restrepo 2018). Esto pone en evidencia, una vez más, que el impacto de los aportes fluviales del Magdalena en la zona litoral ha sido continuo y se ha incrementado en las últimas seis décadas, periodo ya reconocido por las Ciencias Ambientales como el periodo Antropoceno. Ante la continua deforestación e incremento de procesos erosivos naturales o no en la cuenca del Magdalena, es de prever que estas descargas de sedimentos se incrementarán en el futuro. En este contexto, la viabilidad ambiental del sistema arrecifal de islas del Rosario estará en alto riesgo, esto sumado a los otros efectos antrópicos derivados del calentamiento global y la presión local por los recursos marinos.

Marco de conectividad hídrica en la cuenca del Magdalena

En Colombia, la inclusión de un marco de análisis hídrico interconectado entre montaña-ríos- planos de inundación y mar no forma parte de la formación académica tradicional en ciencias naturales y tampoco en el Sistema Nacional Ambiental-Sina. Las cuencas hidrográficas del Caribe y Pacífico, y en especial la del Magdalena, que genera el 80% del PIB nacional, con sus complejidades geográficas, de impacto humano y del manejo político-administrativo, están



Paula Ruíz

completamente sectorizadas políticamente y responden a temas de manejo ambiental local y departamental, más no a la conectividad de todo el sistema hídrico. No existe, al menos, un marco técnico-científico para evaluar cuánto de las transferencias de sedimentos, nutrientes y contaminantes a las planicies de inundación-ciénagas es debido a impacto humano en la parte alta de la cuenca dónde está asentada más del 70% de la población del país.

La transferencia de impactos ambientales desde la cuenca hacia las zonas inundables y ciénagas

El impacto de los flujos del Magdalena (sedimentos, contaminantes y nutrientes) hacia las ciénagas bajas no ha sido aún analizado en el país. Las siguientes preguntas, sobre la dinámica hidro-sedimentológica de las ciénagas del Magdalena, proceso del cual depende el funcionamiento ecológico de estos sistemas, deberían ser prioridad de investigación y de línea base ambiental como insumo científico a proyectos de infraestructura en el río:

1. ¿Cómo ha variado la morfología de los sistemas inundables y la dinámica hidrológica de recarga y vaciado de las ciénagas, en términos de los umbrales de conectividad con el río Magdalena?
2. ¿Cuáles son las tasas de sedimentación en cada sistema lagunar inundable? ¿A qué tasa anual se están llenando los vasos de estos sistemas inundables?
3. ¿Cuál sería la capacidad de amortiguación hídrica futura de cada sistema lagunar?
4. ¿Cuáles son los niveles de metales pesados en los sedimentos de las ciénagas y cómo han variado durante los últimos 50 años?

5. ¿Existe relación entre las tasas de sedimentación-niveles de metales pesados en las ciénagas y las actividades humanas-aportes de sedimentos desde la cuenca del Magdalena?

En el contexto de estas preguntas, dos hipótesis centrales, formuladas en otros estudios (p. e. Restrepo y Escobar 2018, Restrepo *et al.* 2020) y aun no comprobadas, deberían ser analizadas por su relevancia hacia el futuro y la sostenibilidad ambiental de las ciénagas del Magdalena:

1. Las ciénagas han perdido más del 70% de conectividad hídrica anual con el río Magdalena debido a la reducción del espejo de agua y de su capacidad hidráulica por procesos de sedimentación e incremento de nutrientes, que han traído consigo un crecimiento excesivo de plantas acuáticas como la tarulla o el buchón (*Eichornia spp*) adicional a los impactos locales como secado ilegal, ganadería y cambios hidráulicos (canales y diques).
2. Los sedimentos de las ciénagas guardan el registro ambiental de la degradación ambiental de la cuenca del Magdalena en los últimos 50 años y muestran que las tendencias de deforestación y minería en la cuenca están correlacionadas con las tendencias observadas de tasas de sedimentación y de minerales pesados. La última década 2010-2020 refleja claramente, un incremento de degradación ambiental de las ciénagas de cerca del 50% en comparación con la tendencia 1970-2010.

La respuesta a estas preguntas e hipótesis tiene grandes implicaciones en los procesos ecológicos de ciclos de vida de especies

ASPECTOS FÍSICOS DE LA CUENCA

migratorias y por ende en las pesquerías, en la capacidad de regulación hidráulica de los planos de inundación y en la alteración de la resiliencia de estas zonas inundables ante eventos extremos de altos (inundaciones) y bajos (sequías) caudales.

Probablemente, la dinámica hidrológica y sedimentaria de los planos de inundación del Magdalena es uno de los principales vacíos o “Caja Negra” de información científica del complejo sistema de amortiguamiento hídrico de toda la cuenca. Esta información es necesaria como línea base ambiental del funcionamiento de las zonas inundables para: (1) planes de manejo de sistemas biológicos; (2) estrategias de restauración de humedales; (3) línea base para la evaluación futura del impacto de obras de intervención hidráulica y de infraestructura civil; y (4) para la evaluación de la transferencia de impactos desde las cuencas media y alta hacia los planos de inundación.

Bibliografía

- Angarita, H., Wickel, A., Sieber, J., Chavarro, J., Maldonado Ocampo, J., Herrera-R, G., Delgado, J. & Purkey, D. (2018). Basin-scale impacts of hydropower development on the Mompós Depression wetlands, Colombia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22. <https://doi.org/10.5194/hess-22-2839-2018>
- Arias, P. (1985). Las ciénagas en Colombia. *Divulgación Pesquera Inderena*, 22 (2-4), 39-70.
- Beach T. & Luzzadder-Beach, S. (2012). Pre-Columbian people and the wetlands in Central and South America. En Menotti, F. & O’Sullivan, A. (Eds.). *The Oxford Handbook of Wetland Archaeology*. Pp: 83-103. London UK.: Oxford University Press.
- Best, J. (2019). Anthropogenic stresses on the world’s big rivers. *Nature Geoscience*, 12, 7–21. <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0262-x>
- Buffington, J.M. & Montgomery, D.R. (2013). Geomorphic Classification of Rivers. *Treatise on Geomorphology*, 3, 730-767. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00263-3>
- Cano Santana Z. & Martínez Sánchez, J. (1999). *Las cuevas y sus habitantes*. Fondo de Cultura Económica de México. 168 pp.
- Charlton, R. (2008). *Fundamentals of fluvial geomorphology*. Routledge-London. 192 pp.
- Church, M. (2006). Bed material transport and the morphology of alluvial river channels. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 34, 325-354. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.33.092203.122721>
- Cooper, M.A., Addison, F.T., Alvarez, R., Coral, M., Graham, R.H., Hayward, A.B., Howe, S., Martínez, J., Naar, J., Peñas, R., Pulham, A.J. & Taborda, A. (1995). Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, Eastern cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia. *AAPG Bulletin*, 79, 24-46.
- Duque-Caro, H. (1984). Structural style, diapirism, and accretionary episodes of the Sini-San Jacinto terrane, southwestern Caribbean borderland. *Geological Society of America Memoirs*, 162, 303-316.
- Dunne, T. & Aalto, R. (2013). Large river floodplains. En Shroder, J.F. (Ed.). *Treatise on geomorphology*. Pp: 645-678. Netherlands Elsevier.
- Dust, D. & Wohl, E. (2012). Conceptual model for complex river responses using an expanded Lane’s relation. *Geomorphology*, 140, 109–121. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.10.008>
- Etayo, F. (1985). *Contribución al Proyecto Cretácico*. (Publicación especial Ingeominas No. 16). Bogotá D.C.: Ingeominas. 543 pp.
- Fabre, A. (1983). La subsidencia de la cuenca del Cocuy (cordillera Oriental de Colombia) durante el Cretáceo y el Terciario. Segunda parte: esquema de la evolución tectónica. *Geología Norandina*, 8, 35-47.
- Guerrero, J. (1993). *Magnetostratigraphy of the upper part of the Honda Group and Neiva Formation: Miocene uplift of the Colombian Andes*. (Disertación Doctoral). Durham: Duke University. 126 pp.



Paula Ruíz

- Guerrero, J., Marshall, L., Lundberg, J., Horton B., Malabarba, M. & Wesselingh, F. (1997). The Stage for Neotropical Fish Diversificación: A history of tropical South American Rivers. Phylogeny and Classification of Neotropical Fishes. (Informe Técnico). Porto Alegre, Brazil. 234 pp.
- Hoorn, C., Wesselingh, F.P., ter Steege, H., Bermúdez, M.A., Mora, A., Sevink, J., Sanmartín, I., Sanchez-Meseguer, A., Anderson, C.L., Figueiredo, J.P., Jaramillo, C., Riff, D., Negri, F.R., Hooghiemstra, H., Lundberg, J., Stadler, T., Sarkinen, T. & Antonelli, A. (2010a). Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity. *Science*, 330, 927-931.
- Hoorn, C., Wesselingh, F.P., Hovikoski, J. & Guerrero, J. (2010b). The development of the amazonian mega-wetland (Miocene; Brazil, Colombia, Peru, Bolivia). En Hoorn, C. & Wesselingh, F.P. (Eds.). *Amazonia, landscape and species evolution: a look into the past*. Pp 123-142.
- Horton, R.E. (1945). Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins: Hydro-Physical Approach to Quantitative Morphology. *Geological Society of American Bulletin*, 56, 275-370. <http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606>
- IDEAM. (2018). *Estudio Nacional del Agua*. Bogotá D.C.: Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 438 pp.
- Invemar. (2005). *Monitoreo de las condiciones ambientales y los cambios estructurales y funcionales de las comunidades vegetales y de los recursos pesqueros durante la rehabilitación de la ciénaga Grande de Santa Marta*. (Informe técnico). Santa Marta: Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Corpamag y Parques Nacionales Naturales. 91 pp.
- Irving, E. (1971). La evolución estructural de los Andes más septentrionales de Colombia. *Boletín Geológico*, 19, 1-79.
- Jaramillo, Ú., Cortés-Duque, J. & Flórez, C. (2015). *Colombia Anfibia. Un país de humedales*. Volumen 1. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Jiménez-Segura, L.F., Galvis-Vergara, G., Cala-Cala, P., García-Alzate, C.A., López-Casas, S., Ríos-Pulgarín, M.I., Arango, G.A., Manceira-Rodríguez, N.J., Gutiérrez-Bonilla, F. & Álvarez-León, R. (2016). Freshwater fish faunas, habitats and conservation challenges in the Caribbean river basins of northwestern South America. *Journal of Fish Biology*, 89, 65-101. <https://doi:10.1111/jfb.13018>
- Jimenez-Segura, L.F., Restrepo-Santamaria, D., López-Casas, S., Delgado, J., Valderrama, M. & Gómez Gil, D. (2015). Ictiofauna y desarrollo del sector hidroeléctrico en la cuenca del río Magdalena-Cauca, Colombia. *Biota Colombiana*, 15, 3-25.
- Junk, W.J., Piedade, M.T.F. & Lourival, R. (2014). Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 24, 5-22. <https://doi.org/10.1002/aqc.2386>
- Kay, R. F. & Madden, R.H. (1997). Mammals and rainfall: paleoecology of the middle Miocene at La Venta (Colombia, South America). *Journal of Human Evolution*, 32, 161-199.
- Kettner, A., Restrepo, J.D. & Syvitski, J.P.M. (2010). Simulating spatial variability of sediment fluxes in an Andean drainage basin, the Magdalena River. *Journal of Geology*, 118, 363-379.
- Kim, D. H., Sexton, J.O. & Townshend, J. R. (2015). Accelerated deforestation in the humid tropics from the 1990s to the 2000s. *Geophysical Research Letters*, 42, 3495-3501. <https://doi.org/10.1002/2014GL062777>
- Latrubesse, E.M., Stevaux, J.C. & Sinha, R. (2005). Tropical rivers. *Geomorphology*, 70, 187-206. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.02.005>
- Latrubesse, E.M. & Restrepo, J. D. (2014). Sediment yield along the Andes: continental budget, regional variations and comparisons with other basins from orogenic mountain belts. *Geomorphology*, 216, 225-233.
- Latrubesse E.M. (2015). Large rivers, megafans and other Quaternary avulsive fluvial systems: A potential who's who in the geological record. *Earth Science Reviews*, 146, 1-30.

ASPECTOS FÍSICOS DE LA CUENCA

- Lasso, C.A., de Gutiérrez, F.P. & Morales, B. D. (2014). *Humedales interiores de Colombia: identificación, caracterización y establecimiento de límites según criterios biológicos y ecológicos*. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- McInerney, P.J., Stoffels, R.J., Shackleton, M.E. & Davey, C.D. (2017). Flooding drives a macroinvertebrate biomass boom in ephemeral floodplain wetlands. *Freshw. Sci.*, 36, 726–738. <https://doi.org/10.1086/694905>
- Martínez Hernández, J. (2012). *Manual de espeleología*. Madrid: Desnivel-Imprimex. 304 pp.
- Miller, K.G., Browning, J.V., Schmelz, W.J., Kopp, R.E. & Mountain, G.S. (2020). Cenozoic sea-level and cryospheric evolution from deep-sea geochemical and continental margin records. *Science Advances*, 6 (20), 1-15. <https://advances.sciencemag.org/content/6/20/eaaz1346/tab-pdf>
- Mojica, J. (1999). Phanerozoic Paleogeography and Geologic Evolution of Colombia. *Goettingen*, 17, 5-9.
- Mojica, J. & Franco, R. (1990). Estructura y Evolución Tectónica del Valle Superior y Medio del Magdalena, Colombia. *Geología Colombiana*, 17, 41-64.
- Molinares, C.E., Martínez, J.I., Fiorini, F., Escobar, J. & Jaramillo, C. (2012). Paleoenvironmental reconstruction for the lower Pliocene Arroyo Piedras section (Tubará-Colombia): Implications for the Magdalena River-paleodelta's dynamic." *Journal of South American Earth Sciences*, 39, 170-183. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0895981112000442>
- Muñoz-Saba, Y., Andrade, G.I., Baptiste, L.G., Salas, D.S., Villareal, H.F. & Armenteras, D. (1998). Conservación de los ecosistemas subterráneos de Colombia. *Biosíntesis*, 10, 1-4.
- Muñoz-Saba, Y., González-Sánchez, I. & Calvo-Roa, N. (2013). *Cavernas de Santander, Colombia: Guía de campo*. Bogotá D. C.: Universidad Nacional de Colombia. 325 pp.
- Navarro, B., Tovar, H. & Caraballo, P. (2019). Composición y distribución de la ictiofauna asociada a jagüeyes, en la región Caribe colombiana. *Intropica*, 12, 120-126.
- Nanson, G.C. & Knighton, A.D. (1996). Anabranching Rivers: their cause, character and classification. *Earth Surf. Process. Landforms.*, 21, 217-239.
- Nardini, A., Yepez, S., Zuniga, L., Gualtieri, C. & Bejarano, M.D. (2020). A Computer Aided Approach for River Styles-Inspired Characterization of Large Basins: The Magdalena River (Colombia). *Water*, 12, 1147. <https://doi.org/10.3390/w12041147>
- Nie, J., Horton, B.K., Mora, A., Saylor, J.E., Housh, T.B., Rubiano, J. & Naranjo, J. (2010). Tracking exhumation of Andean ranges bounding the Middle Magdalena Valley basin, Colombia. *Geology*, 38(5), 451-454. <https://doi.org/10.1130/G30775.1>
- Parra, M., Mora, A., Sobel, E.R., Streckler, M.R. & González, R. (2009). Episodic orogenic front migration in the northern Andes: Constraints from low-temperature thermochronology in the Eastern cordillera, Colombia. *Tectonics*, 28(4), 1-27. <https://doi.org/10.1029/2008TC002423>
- Patino, J.E. & Estupiñan-Suarez LM. (2016). Hotspots of Wetland Area Loss in Colombia. *Wetlands*, 36(5), 935-943.
- Roldán, G. & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Medellín: Universidad Católica de Oriente y Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Editorial Universidad de Antioquia. 442 pp.
- Restrepo, J.D., Kettner, A.J. & Brackensridge, R. (2020). Monitoring water discharge and floodplain connectivity for the northern Andes utilizing satellite data: A tool for river planning and science-based decision-making. *Journal of Hydrology*, 586, 124-132.
- Restrepo, J.D. & Escobar, H.A. (2018). Sediment load trends in the Magdalena River basin (1980–2010): Anthropogenic and climate-induced causes. *Geomorphology*, 302, 76-91. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.12.013>



Paula Ruiz

- Restrepo, J.D., Escobar, R. & Tosic, M. (2018). Fluvial fluxes from the Magdalena River into Cartagena Bay, Caribbean Colombia: Trends, future scenarios, and connections with upstream human impacts. *Geomorphology*, 302, 92-105. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.11.007>
- Restrepo, J.D. (2018). Sediment Transfers from the Andes of Colombia during the Anthropocene. En Cediel, F. & Shaw, R.P. (Eds.). *Geology and Tectonics of Northwestern South America*. Pp: 126-139. Amsterdam: Frontiers in Earth Sciences, Springer.
- Restrepo, J. D., Park, E., Aquino, S. & La-trubesse, E. (2016). Coral reefs chronically exposed to river sediment plumes in the southwestern Caribbean: Rosario Islands, Colombia. *Science of the Total Environment*, 553, 316-329.
- Restrepo, J. D. (2015). El impacto de la deforestación en la erosión de la cuenca del río Magdalena. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 39, 250-267.
- Restrepo, J. D., Kettner, A. & Syvitski, J.P.M. (2015). Recent deforestation causes rapid increase in river sediment load in the Colombian Andes. *Anthropocene*, 10, 13-28.
- Restrepo, J.D. (2008). Applicability of LOI-CZ catchment-coast continuum in a major Caribbean basin: The Magdalena River, Colombia. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 77, 214-229. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.09.014>
- Restrepo, J.D. & Syvitski, J.P.M. (2006). Assessing the Effect of Natural Controls and Land Use Change on Sediment Yield in a Major Andean River: The Magdalena Drainage Basin, Colombia. *Ambio: a Journal of the Human Environment* 35, 44-53.
- Restrepo, J.D., Zapata, P., Díaz, J.M., Garzón, J. & García, C. (2006). Fluvial Fluxes into the Caribbean Sea and their Impact on Coastal Ecosystems: The Magdalena River, Colombia. *Global and Planetary Change*, 50, 33-49.
- Restrepo, J.D. & Alvarado, E. (2011). Assessing Major Environmental Issues in the Caribbean and Pacific Coasts of Colombia, South America: An Overview of Fluvial Fluxes, Coral Reef Degradation, and Mangrove Ecosystems Impacted by River Diversion. En Wolanski, E. & McLusky, D.S. (Eds.). *Treatise on Estuarine and Coastal Science*. Pp: 289-314. Waltham Academic Press.
- Restrepo, J.D. & López, S.A. (2008). Morphodynamics of the Pacific and Caribbean deltas of Colombia, South America. *Journal of South American Earth Sciences*, 25, 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2007.09.002>
- Restrepo, J.D., Kjerfve, B., Restrepo, J.C. & Hermelin, M. (2006). Factors Controlling Sediment Yield from a Major South American Drainage Basin: The Magdalena River, Colombia. *Journal of Hydrology*, 316, 213-232.
- Restrepo, J.D. (2006). *Los Sedimentos del Río Magdalena: Reflejo de la Crisis Ambiental*. Medellín: Fondo Editorial Universidad EAFIT. 267 pp.
- Restrepo, J. D. & Kjerfve, B. (2000). Magdalena River: Interannual variability (1975-1995) and revised water discharge and sediment load estimates. *Journal of Hydrology*, 235, 137-149.
- Revenga, C., Brunner, J., Henninger, N., Kassem, K. & Payne, R. (2000). *Pilot Analysis of Global Ecosystems: Freshwater Systems*. Washington D.C.: World Resource Institute. 65 pp.
- Revenga, C., Murray, S., Abramovitz, J. & Hammond, A. (1998). *Watersheds of the world: Ecological value and vulnerability*. Washington D.C.: World Resource Institute. 83 pp.
- Ricaurte, L., Patiño, J., Zambrano, D., Arias-G, J., Acevedo, O., Aponte, C., Medina, R., González, M., Rojas, S., Flórez, C., Estupinan-Suarez, L., Jaramillo, Ú., Santos, A., Lasso, C., Duque, A., Calle, S., Velez, J., Acosta, J., Duque, S. & Junk, W. (2019). A Classification System for Colombian Wetlands: An Essential Step Forward in Open Environmental Policy-Making. *Wetlands*, 10, 13-19.
- Rodríguez-Torres, J. & Lasso, C. (2019). Geología e hidroquímica de las cuevas y cavernas de El Peñón (Andes), Santander, Colombia. En Lasso, C. A., Barriga, J.C. &

ASPECTOS FÍSICOS DE LA CUENCA

- Fernández-Auderset, J. (Eds.). *Volumen VII. Biodiversidad subterránea y epigea de los sistemas cársticos de El Peñón (Andes), Santander, Colombia*. Pp. 83-88. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Colombia. Serie Editorial Fauna Silvestre Neotropical.
- Shiklomanov, I. (1999). *World Water Resources and their Uses: Discharge of Selected Rivers of the World*. State Hydrological Institute and UNESCO, International Hydrological Programme. 76 pp. <http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/shiklomanov/index.shtml>
 - Smith, D. G. (1986). Anastomosing river deposits, sedimentation rates and basin subsidence, Magdalena River, northwestern Colombia, South America. *Sedimentological Geology*, 46, 177-196.
 - Stalum, H.H. (1996). River Meandering as a Self-organization Process. *Science*, 271, 1710-1713.
 - The Nature Conservancy, Fundación Alma, Fundación Humedales and AUNAP. (2016). *Estado de las planicies inundables y el recurso pesquero en la Macrocuenca Magdalena-Cauca y propuesta para su manejo integrado*. Bogotá D.C.
 - Thouret, J. C. (1981). *Mapa geomorfoestructural de los Andes Colombianos*. Bogotá D.C.: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 40 pp.
 - Totic, M., Restrepo, J.D., Izquierdo, A., Lonin, S. & Martins, F. (2018). Water and sediment quality in Cartagena Bay, Colombia: Seasonal variability and potential impacts of pollution. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 216, 187-203. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.08.013>
 - Trajano, E. & Carvalho, M.R. (2017). Towards a biologically meaningful classification of subterranean organisms: a critical analysis of the Schiner-Racovitza system from a historical perspective, difficulties of its application and implications for conservation. *Subterranean Biology*, 22, 1-26. <https://doi.org/10.3897/subtbiol.22.9759>
 - Villamil, T. (1999). Campanian-Miocene tectonostratigraphy, depocenter evolution and basin development of Colombia and western Venezuela. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 153 (1-4), 239-275.
 - Walschburger, T., Angarita, H. & Delgado, J. (2015). Hacia una gestión integral de las planicies inundables en la cuenca del Magdalena-Cauca. En Rodríguez-Becerra M. (Ed.). *¿Para dónde va el río Magdalena? Riesgos sociales, ambientales y económicos del proyecto de navegabilidad*. Pp: 145-168. Bogotá D.C.: Foro Nacional Ambiental-FESCO.
 - Ward, J. (1989). The Four-Dimensional Nature of Lotic Ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society*, 8(1), 2-8. <https://doi.org/10.2307/1467397>
 - Whipple, K.X. (2004). Bedrock rivers and the geomorphology of active orogens. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 32, 151-185. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.32.1018.02.120356>
 - Wohl, E.E. (2020). *Rivers in the landscape*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. 183 pp.



Ciénaga Paredes, Puerto Wilches. Foto: Catalina Osorio-Peláez.



Chaetostoma sp. Foto: Felipe Villegas.



2. DIVERSIDAD DE PECES DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA, COLOMBIA

Carlos García-Alzate, Carlos DoNascimento, Francisco A. Villa-Navarro, Jorge E. García-Melo y Guido Herrera-R.

Resumen

El conocimiento de la íctiofauna de la cuenca del Magdalena-Cauca es el más sólido y extensamente consolidado en la actualidad, en contraste con las restantes cuencas hidrográficas del territorio colombiano, producto de una dinámica de investigación enfocada en su mayoría en esta región del país, al constituirse en el principal eje de desarrollo económico. Paralelamente, este último escenario ha resultado también en una mayor intervención antrópica de la cuenca y de su biota. No obstante, persisten importantes vacíos de información en el inventario taxonómico de la misma, así como de la distribución geográfica de las especies; y consecuentemente, sobre los patrones derivados de riqueza, endemismo y diversidad. Se presenta aquí la lista de las especies nativas válidas para el Magdalena-Cauca, acompañada de un

análisis de su distribución geográfica, tomando como referencia la regionalización hidrográfica propuesta por el IDEAM. Se reconocen 233 especies que corresponden al 14,5% de la diversidad de peces dulceacuícolas de Colombia, agrupadas en siete órdenes y 33 familias. El 68% de las especies son endémicas del Magdalena-Cauca y 75 especies están restringidas a una única subcuenca o sección dentro de la misma. La sección del Medio Magdalena se distingue por reunir la mayor riqueza y número de especies endémicas únicas, mientras que la sección del Bajo-Medio Cauca fue la más disímil. La orogénesis de las cordilleras, incursiones marinas y dispersión entre cuencas, a través de capturas de cabeceras, son los procesos que han sido recientemente postulados para explicar este patrón biogeográfico heterogéneo dentro de la cuenca.

García-Alzate, C., DoNascimento, C., Villa-Navarro, F. A., García-Melo, J. E. & Herrera-R., G. 2020. Diversidad de peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia. *En: Jiménez-Segura, L. & C. A. Lasso (Eds.). XIX. Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible.* Pp: 85-113. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. DOI: 10.21068/B2020RRHHXIX02

DIVERSIDAD DE PECES

Palabras clave. Conservación, endemismo, Neotrópico, río Cauca, riqueza.

Abstract

The fish fauna of the Magdalena-Cauca River basin is the best known of all the hydrographic basins of Colombia. This is because the basin is the main axis of economic development in the country and as a result the subject of most of the research carried out here. For the same reason, the basin is also the most impacted by human development and intervention of the basin and its biota. However, even today, important information gaps persist in its taxonomic inventory, as well as in the geographic distribution of species, and consequently, on the patterns of fish species richness, endemism and diversity. The list of native fish species found in the Magdalena-Cauca River basin is presented here, accompanied by an analysis of their geographic distribution, using the hydrographic regionalization proposed by IDEAM. We record 233 species in the Magdalena-Cauca River basin, which is 14.5% of Colombia's total freshwater fish diversity, grouped into seven orders and 33 families. Of the 233 species, 68% are endemic and 75 species are restricted to just a single drainage or section within the basin. The Middle Magdalena section is distinguished by having the greatest species richness and number of unique species, while the Lower-Middle Cauca section was the most dissimilar. The orogenesis of the mountain ranges, marine incursions and dispersal between basins, through headwater captures, are the processes that have recently been postulated to explain this heterogeneous biogeographic pattern within the basin.

Keywords. Cauca River, conservation, endemism, Neotropics, richness.

Introducción

El presente es un tiempo crítico para la sostenibilidad de la biodiversidad en todas sus escalas, como consecuencia del incremento continuo en varias fuentes de deterioro ambiental a nivel global (p. e. explotación de recursos hídricos, deforestación, cambio climático, sobrepoblación humana, entre otros) (Vörösmarty *et al.* 2004, Ripple *et al.* 2017, 2020), cuya acción conjunta ha llevado a varios autores a proponer la definición de una nueva época geológica, *i. e.* el antropoceno (Monastersky 2015, Malhi 2017). El creciente deterioro y alteración de los ecosistemas acuáticos bajo este contexto, ha demandado la necesidad urgente de inventariar la biodiversidad y cuantificar el declive de las poblaciones biológicas asociadas a estos ambientes (Albert *et al.* 2020a). La biodiversidad de organismos dulceacuícolas se estima que se ha reducido en un 50% a nivel global, pero se sospecha que la cifra real de reducción y declive de la diversidad en las aguas continentales es considerablemente superior, debido a su incompleto inventario taxonómico (Tedesco *et al.* 2014). Los peces de agua dulce no sólo figuran como uno de los grupos de vertebrados más diversos, sino que también constituyen uno de los más amenazados por las actividades humanas (Duncan y Lockwood 2001), debido a la alteración de la distribución y flujos de aguas superficiales, subterráneas y atmosféricas a escalas regionales, socavando la resiliencia de los ecosistemas acuáticos y su fauna residente (Rodell *et al.* 2018).

Se estima que la biodiversidad global de peces es superior a las 35.500 especies (Fricke *et al.* 2020), de las cuales, aproximadamente el 43% corresponden a especies estrictamente dulceacuícolas (Nelson *et al.* 2016), estando concentradas tan sólo en Suramérica, alrededor de 5.160 especies (Reis *et al.* 2016).



Liberum Donum Studios

El estado del conocimiento de la diversidad de peces de agua dulce en Colombia ha incrementado notablemente en los últimos tiempos, desde Fowler (1942), quien proporcionó la primera cifra total de especies conocidas para el país (387 spp.), pasando por los listados de Mojica (1999): 838 spp., Maldonado-Campo *et al.* (2008): 1494 spp., hasta la cifra más reciente de 1610 spp. (DoNascimento *et al.* 2020, Figura 1), lo cual es indudablemente el resultado de múltiples factores concurrentes en los últimos 20 años y que tienen que ver con: a) el crecimiento del número de ictiólogos profesionales en el país; b) el aumento y cobertura geográfica de los inventarios ictiológicos, particularmente en regiones hasta hace poco inaccesibles a la comunidad científica, lo cual ha sido posibilitado por la firma del acuerdo de paz con las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia-FARC, y que han permitido incrementar el acervo ictiológico disponible en las colecciones del país; c) el fortalecimiento de las cooperaciones internacionales en la comunidad de ictiólogos; d) finalmente, la consolidación de la Asociación Colombiana de Ictiólogos - ACICTIOS.

Colombia cuenta con una notable diversidad de peces dulceacuícolas, que la posicionan como el segundo país con mayor riqueza global, sólo superado por Brasil (DoNascimento *et al.* 2017), sin embargo, si se considera la diversidad de especies en la extensión continental de ambos países, Colombia pasa a ocupar el primer lugar, con una superficie considerablemente menor (1.142 millones de km² vs. 8.516 millones de km²). Un porcentaje representativo de esta diversidad íctica se encuentra en la cuenca Magdalena-Cauca, principal área de desarrollo social, económico e industrial del país y donde se concentra la mayoría de la población colombiana (80%) (Jiménez-Segura *et al.* 2016).

Los trabajos taxonómicos enfocados en la cuenca Magdalena-Cauca tienen como punto de partida los aportes de Steindachner (1878, 1880), donde se describen varias especies endémicas y emblemáticas de la cuenca (p. e. *Plagioscion magdalanae*, *Poecilia caucana*, *Salminus affinis*, *Trachelyopterus insignis*). A estos dos trabajos pioneros se le suman diversos estudios regionales de variada amplitud espacial: Posada en 1909 (Medellín: Alto Cauca), Miles en 1943 (Valle del Cauca: Alto Cauca), en 1947 (río Magdalena), Díaz del Basto en 1970 (río Cesar), Dahl en 1971 (norte de Colombia), Ortega-Lara *et al.* en 2000 (río Cauca), Maldonado-Ocampo *et al.* en 2005 (Andes de Colombia), Mojica *et al.* en 2006 (Medio Magdalena), Ortega-Lara *et al.* en 2006 (Alto Cauca), Villa-Navarro *et al.* en 2006 (Alto Magdalena), sin mencionar las numerosas descripciones taxonómicas y demás trabajos sistemáticos de especies presentes en la cuenca (para acceder a la lista completa de referencias consultar DoNascimento *et al.* (2017) y las actualizaciones posteriores de la lista de especies de peces de agua dulce de Colombia (<http://doi.org/10.15472/numrso>).

En el presente capítulo se ofrece la lista de especies nativas válidas para la cuenca Magdalena-Cauca y un análisis de su distribución geográfica a nivel regional, posibilitando la descripción de patrones espaciales de riqueza, endemismo y diversidad.

Métodos

Área de estudio

A efectos prácticos y exclusivos de este análisis, se sigue la nomenclatura adoptada para las cuencas, subcuencas y secciones hidrográficas propuesta por el IDEAM (2013), en la cual se considera la cuenca del río Magdalena-Cauca como independiente (en términos de su importancia

DIVERSIDAD DE PECES

socioeconómica), de las restantes cuencas que también drenan hacia la vertiente Caribe de Colombia (las cuales son agrupadas conjuntamente en la Zona Hidrográfica Caribe), denominándose así Zona Hidrográfica Magdalena-Cauca. Consecuentemente, así ha sido tratada igualmente en listados ictiofaunísticos nacionales (Maldonado-Ocampo *et al.* 2008, DoNascimento *et al.* 2017), donde se ha enfatizado su particularidad biogeográfica, en términos de riqueza de especies y endemismo (Rodríguez-Olarte *et al.* 2011). La delimitación geográfica definida para el presente análisis fue implementada mediante la agregación de microcuencas de HydroSHEDS en el Nivel 7. De esta forma, se delimitaron ocho subcuencas o secciones principales: Alto Magdalena, Medio Magdalena, Bajo Magdalena, Cesar, Sogamoso, Alto Cauca y Bajo-Medio Cauca (Figura 1), las cuales guardan correspondencia con la subdivisión de cuencas definidas por el IDEAM (2013), variando únicamente, en la subdivisión del río Cauca en secciones Alta y Bajo-Medio, y en la integración de la subcuenca del río Nechí a la sección del Bajo-Medio Cauca.

El Alto Magdalena abarca desde el nacimiento del río Magdalena (01°55'40"N, 76°35'08"O), en el páramo de Las Papas (Huila), hasta la desembocadura del río Gualí en Honda (Tolima), donde el cauce principal del Magdalena conforma una zona de raudales de 600 m de longitud (Villa-Navarro *et al.* 2006) y donde su pendiente cambia abruptamente, en los chorros de Honda. Entre sus tributarios más importantes se encuentra el río Saldaña (9435 km²), el cual contradictoriamente ha sido poco muestreado (Figura 1), en virtud de haber constituido una zona con problemática de orden público, limitando su acceso a la comunidad científica.

Otros afluentes importantes son los ríos Cabrera, Prado, Sumapáz, Bogotá y Seco, provenientes de la cordillera Oriental, Paez, Patá, Coello, Totare, Recio, Lagunillas y Gualí, que se originan en la cordillera Central.

El Medio Magdalena abarca desde Honda, después de los raudales, hasta Tamalameque (Mojica *et al.* 2006), donde se despliega en una extensa planicie inundable. Sus principales afluentes son los ríos Negro, Ermitaño, Carare, Opón, Sogamoso (este último es considerado como una zona hidrográfica independiente por el IDEAM, 2013, y de la misma forma es analizado en el presente trabajo) y Lebrija, los cuales drenan la cordillera Oriental, y Guarinó, La Miel, Samaná, San Bartolomé y Cimitarra, provenientes de la cordillera Central.

El Bajo Magdalena se inicia a partir de El Banco (Magdalena), y está caracterizado por la vasta planicie de inundación de la que forman parte la Depresión Momposina y las desembocaduras de los ríos Cauca, Cesar y San Jorge. Después de Magangué, el río Magdalena se estrecha nuevamente entre Plato y Calamar, para luego desembocar en el mar Caribe, en Bocas de Ceniza. El río Cesar se origina en la estribación sur de la Sierra Nevada de Santa Marta y en el flanco occidental de la Serranía del Perijá, y desemboca en la ciénaga de Zapatosa, la cual se conecta con el río Magdalena a la altura de El Banco (departamento del Magdalena). El río San Jorge nace en el PNN Paramillo (Antioquia), drena las serranías de San Jerónimo y Ayapel, y desemboca en la depresión Momposina, cerca de Magangué (Magdalena). Sus tributarios principales son los ríos Sucio, San Pedro y Uré. Al igual que otras regiones del país, la sección alta ha sido poco muestreada, debido a problemas de acceso por orden público.

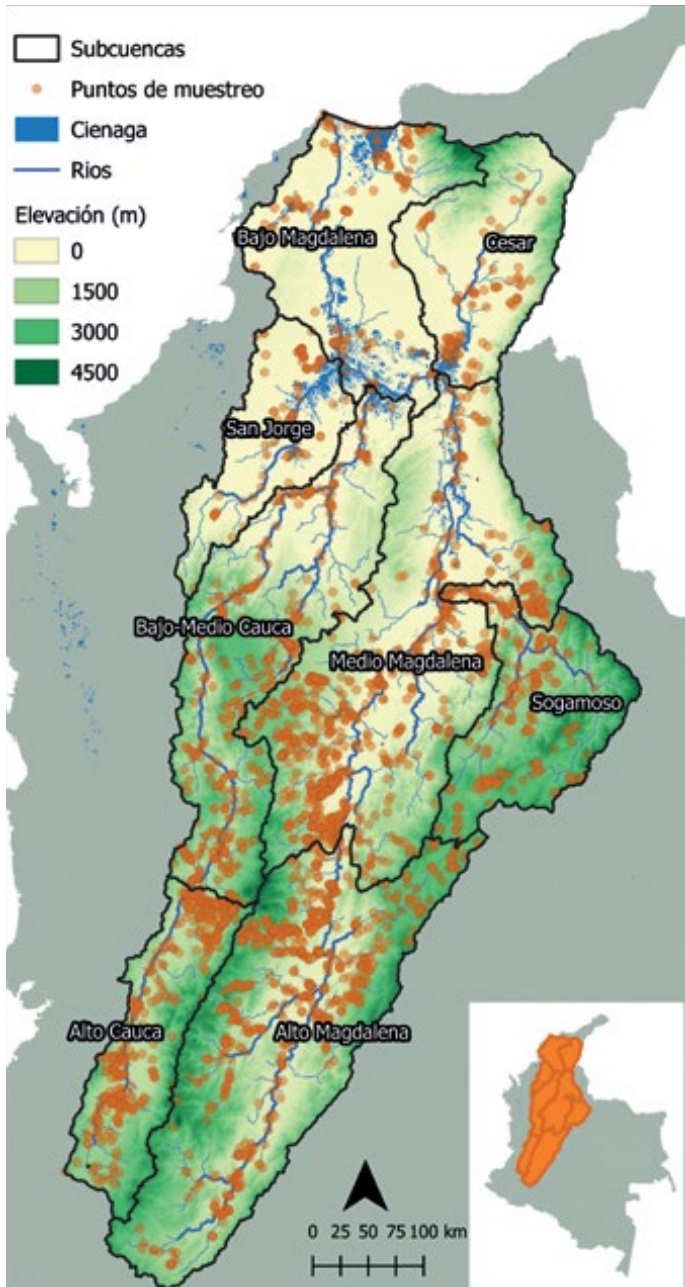


Figura 1. Delimitación de las subcuencas y secciones de la cuenca Magdalena-Cauca y distribución espacial de las localidades únicas de captura.

DIVERSIDAD DE PECES

El río Cauca constituye el principal tributario del río Magdalena. Se origina en los páramos Coconuco y El Buey (Cauca) y desemboca en Bocas de Guamal, en Pinillos (Bolívar). El Alto Cauca se delimita desde su nacimiento hasta la desembocadura del río Risaralda, en La Virginia (Risaralda) (Ortega-Lara *et al.* 2006). Desde su nacimiento hasta una altura de 2000 m s.n.m. es torrencial, pero entre los 1500 a 900 m s.n.m., su valle se ensancha y se torna meándrico (Rodríguez-Olarte *et al.* 2011). Sus principales tributarios son los ríos Palacé, Palo, Timba, Ovejas y Frío. El Medio Cauca comprende el sector después de La Virginia, hasta la desembocadura del río Nechí, y se caracteriza por discurrir a través de un valle profundo y escarpado, con rápidos que se constituyen en una barrera geográfica para algunas especies de peces (Rodríguez-Olarte *et al.* 2011). Sus principales tributarios son los ríos Chinchiná, Tapias, Frío, Armas y San Juan. El Bajo Cauca inicia en la desembocadura del río Nechí, su principal tributario, hasta su desembocadura en el río Magdalena. El río Nechí tiene como tributario principal el río Porce y drena el norte y nordeste antioqueño, incluyendo el Valle de Aburrá. La zona de confluencia de los ríos Magdalena y Cauca, así como de sus tributarios principales, Cesar y San Jorge, conforman una llanura de inundación muy amplia, la cual cubre cerca de 22.000 km² (Rodríguez-Olarte *et al.* 2011).

Análisis de los datos

La lista de especies nativas de la cuenca Magdalena-Cauca se obtuvo a partir de DoNascimento *et al.* (2020). A partir de la misma, se construyó una matriz de distribución de especies por subcuencas/secciones, con base en el conjunto de registros disponibles en GBIF, el cual fue sometido a un proceso de revisión y depuración (*i.e.* remoción de registros duplicados,

validación taxonómica de las especies y posterior ajuste o exclusión de registros inválidos, de acuerdo a las inconsistencias detectadas en el proceso de validación efectuado). Los registros de géneros representados por una única especie de identificación inequívoca para la cuenca Magdalena-Cauca (*p. e.* *Prochilodus magdalenae*, *Pseudoplatystoma magdaleniatum*), pero con determinaciones inconsistentes (epítetos desactualizados o de especies no distribuidas en la cuenca, *p. e.* *Prochilodus reticulatus*, *Pseudoplatystoma fasciatum*), fueron automáticamente asignados bajo la especie válida para el Magdalena-Cauca. Esta matriz de distribución regional de especies fue complementada con los registros documentados en publicaciones taxonómicas pertinentes (descripciones y revisiones taxonómicas) y fue finalmente revisada por expertos en grupos taxonómicos complejos (*p. e.* *Astroblepus*, *Creagrutus*, *Hemibrycon*, *Hyphessobrycon*, *Trichomycterus*), removiendo la presencia de especies con distribución cuestionable en determinadas subcuencas o secciones, que sugieren identificaciones taxonómicas erróneas de los registros originales del conjunto de datos de GBIF.

En total, se obtuvieron registros del GBIF para sólo 202 especies del total de especies válidas reconocidas para la cuenca Magdalena-Cauca. Excepto por *Astyanax fasslii* (Steindachner, 1915), la distribución regional de las restantes 30 especies fue asignada con base en la literatura disponible, incluyendo la descripción original u otras referencias taxonómicas posteriores. Para el caso de *A. fasslii*, no se encontraron registros identificados como esta especie en el conjunto de datos de GBIF, así como tampoco en las bases de datos de las colecciones nacionales a las que se tuvo acceso directo (*i.e.* Colección de Ictiología de la



Liberum Donum Studios

Universidad de Antioquia - CIUA, Colección Zoológica de la Universidad del Tolima - CZUT-IC, Colección de Peces de Agua Dulce del Instituto Alexander von Humboldt - IAvH-P y Museo de Colecciones Científicas de la Universidad del Atlántico Región Caribe - UARC-IC). Asimismo, la única referencia taxonómica disponible para esta especie es su descripción original (Steindachner, 1915), la cual no permite definir con precisión su proveniencia geográfica (Colombia Occidental), por lo cual, su distribución geográfica fue dejada en blanco. Por otro lado, el nombre *Astyanax fasciatus* Cuvier, 1819 (= *Psalidodon fasciatus*), el cual era comúnmente aplicado a poblaciones de *Astyanax* de la cuenca del Magdalena-Cauca, fue reemplazado por la designación indeterminada de *Astyanax* sp., en virtud de que la especie nominal *P. fasciatus* está restringida a la cuenca del río São Francisco en Brasil. Con excepción de *P. xavante* (Garutti y Venere, 2009), distribuida en la cuenca del río Araguaia, en Brasil, todas las demás especies de este género se distribuyen en la cuenca Paraná-Paraguay, cuencas costeras del sur y sureste de Brasil, y cuencas costeras del noroccidente de Argentina (Fricke *et al.* 2020, Terán *et al.* 2020), estando ausente en cuencas del norte del continente, y particularmente aquellas de la región transandina como es el caso del Magdalena-Cauca. El estatus taxonómico de *Astyanax* sp. es incierto en el presente, quedando por definir si el nombre *A. fasslii* aplicaría para alguna de las poblaciones anteriormente designadas bajo *A. fasciatus* para el Magdalena, o si nombres como *A. viejita* Cuvier y Valenciennes, 1850 y *A. hanstroemi* Dahl, 1943, ambos sinonimizados bajo *A. fasciatus* (Lima *et al.* 2003), debieran ser revalidados.

Considerando esta matriz de distribución de especies por subcuencas/secciones, se calculó la riqueza total de especies, la riqueza

de especies endémicas y la diversidad beta, representada en la disimilaridad promedio de Sørensen (β_{sorw}) de la composición de especies (Índice de Sørensen: β_{sorw}). Con el fin de controlar el efecto de la superficie de las subcuencas/secciones y la intensidad de muestreo diferencial entre éstas, sobre las estimaciones de riqueza, fueron incorporados el número de localidades únicas de muestreo y el área (km^2) como predictores de la riqueza total de especies y de especies endémicas, por medio de una regresión lineal. Los residuos de estas regresiones fueron utilizados como valores de riqueza total y de especies endémicas estandarizados. Asimismo, para generar información más detallada de la distribución geográfica de la riqueza de especies, se construyeron modelos de distribución para aquellas especies con 10 o más registros disponibles (135 spp). Los modelos fueron calibrados utilizando MaxEnt v. 3.4 en la plataforma *biomod2*. Los registros de estas especies fueron relacionados con variables ambientales, incluyendo temperatura, precipitación y extensión de las planicies de inundación, a escala de 1 km^2 . Con el fin de limitar los posibles efectos del sesgo de muestreo en la calibración, las localidades únicas de colecta fueron categorizadas como pseudoausencias. La calibración y predicción de los modelos fue restringida a aquellas subcuencas/secciones (Nivel 6 en HydroBASINS) donde existen registros confirmados, con el fin de limitar la sobrepredicción de los modelos. Aquellas especies con modelos de distribución con un promedio menor a 0,7 en el área bajo la curva (AUC), fueron descartados, debido a su bajo desempeño predictivo. Esto resultó en un total de 115 especies para las cuales se obtuvieron modelos de distribución, los cuales fueron sobrepuestos, con el fin de obtener una aproximación de la distribución de la riqueza a lo largo de la cuenca.

DIVERSIDAD DE PECES

Riqueza de especies

Un total de 233 especies de peces se consideran válidas para la cuenca del Magdalena-Cauca (Anexo 1), que corresponden al 14,5% de la diversidad de peces de Colombia, siendo así la tercera cuenca hidrográfica en términos de riqueza, precedida por las cuencas del Amazonas y Orinoco, con 775 y 728 especies, respectivamente. Estas 233 especies se distribuyen en siete órdenes y 33 familias. El orden dominante es Siluriformes con 115 especies (49%), seguido por Characiformes con 88 especies (38%), y en menor proporción se encuentran los restantes órdenes, con una representación porcentual individual no mayor del 5% (Anexo 1). Este patrón de mayor riqueza del orden Siluriformes es observado también en la cuenca del Lago de Maracaibo (Ortega-Lara *et al.* 2012, DoNascimento y Suárez 2020) y contrasta con el patrón general encontrado para las restantes cuencas hidrográficas del país (DoNascimento *et al.* 2020) y del Neotrópico en general, donde el orden Characiformes es el más diverso taxonómicamente (Albert *et al.* 2011, Dagosta y de Pinna 2019, Albert *et al.* 2020b).

La familia más diversa es Characidae (57 sp.), seguida por las familias de Siluriformes, Trichomycteridae (34 sp.), Loricariidae (32 sp.) y Astroblepidae (21 sp.), mientras que las restantes familias están representadas por no más de diez especies, cada una (Figura 2, Anexo 1). Esta alta diversidad concentrada en estas cuatro familias se encuentra representada principalmente por especies endémicas de pequeño tamaño corporal y con distribución altitudinal restringida a ríos y quebradas montañosas y de piedemonte, pertenecientes a los géneros *Trichomycterus*, *Hemibrycon* y *Astroblepus*, con 32, 23 y 21 especies, respectivamente, sumando estos tres géneros el 32,6% de la riqueza total de la cuenca. En el anexo 2 se ilustran algunas

de especies representativas de la cuenca. En cuanto a la riqueza por subcuencas/secciones, destaca en términos absolutos el Medio Magdalena con 164 especies (70,8% del total de especies válidas para la cuenca), seguida por el Bajo-Medio Cauca con 118 especies (50,6%), Sogamoso con 116 especies (49,7%), Alto y Bajo Magdalena con 112 especies (48,0%) y 87 especies (37,3%), respectivamente, Cesar con 76 especies (32,1%), Alto Cauca con 73 especies (31,3%) y finalmente San Jorge, con 64 especies (27,4%) (Anexo 1, Figura 3a). Al observar la figura 3a, donde se representa la riqueza estandarizada por superficie e intensidad de muestreo, sobresale la subcuenca del río Sogamoso, por encima de la subsección del Medio Magdalena, y en términos generales, se mantiene el ordenamiento de las restantes subcuencas y secciones, con excepción del Alto Magdalena, que se posiciona al final, como la región con menor riqueza relativa. Como se puede observar en las figuras 1 y 3a, el mayor esfuerzo de muestreo, en términos de cobertura espacial de localidades de colecta únicas, se encuentra concentrado en el Medio Magdalena, Bajo-Medio Cauca, Sogamoso y Alto Magdalena, lo cual se refleja en las cifras de riqueza presentadas previamente. Rodríguez-Olarte *et al.* (2011) señalan que a pesar de que la riqueza de especies en los ríos andinos disminuye proporcionalmente con el aumento de la elevación, el Alto Cauca y el Alto Magdalena son regiones de relativa alta diversidad de especies de peces. Las condiciones geográficas, definidas por la separación de estas secciones altas, a través de extensos rápidos de casi 200 km de longitud, han causado un aislamiento variable de las especies propias de estas regiones (Maldonado-Ocampo *et al.* 2005). Así, por ejemplo, los géneros monotípicos *Grundulus* (Characidae) y *Eremophilus* (Trichomycteridae), son elementos confinados al altiplano cundiboyacense (Alto Magdalena y Sogamoso).



Liberum Donum Studios

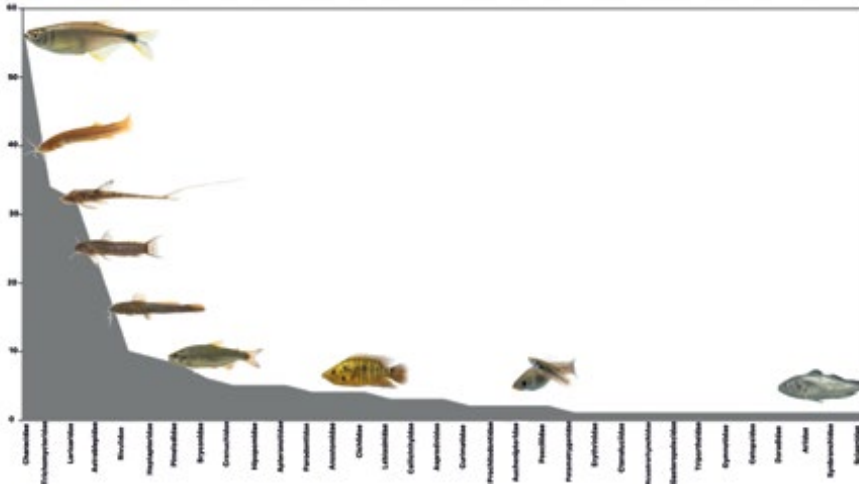


Figura 2. Número de especies por familias de peces de agua dulce, presentes en la cuenca Magdalena-Cauca.

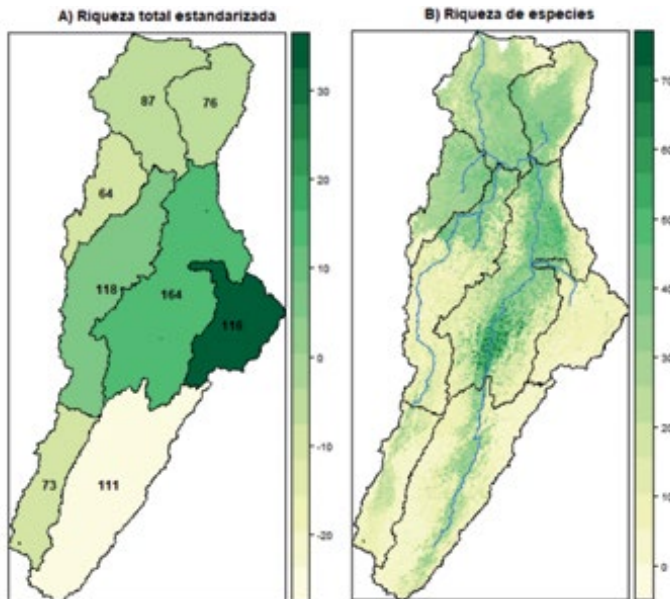


Figura 3. Riqueza de los peces dulceacuícolas de la cuenca Magdalena-Cauca. A) Riqueza total estandarizada para cada una de las subcuencas/secciones del Magdalena-Cauca (el número total de especies está indicado dentro de las áreas). B) Riqueza de especies estimada con base a los modelos de distribución de 115 especies (*i.e.* con 10 o más ocurrencias a escala de 1 km²).

DIVERSIDAD DE PECES

La cuenca Magdalena-Cauca destaca por su elevado grado de endemismo, en donde 158 especies (68,1%) son exclusivas de esta cuenca. El análisis de distribución por subcuencas/secciones indica que 75 de las 158 especies, están restringidas a una única subcuenca/sección (Anexo 1). El Medio Magdalena registra 27 especies endémicas; seguido por Sogamoso con 16 especies; Alto Magdalena con 11 especies; Alto y Bajo-Medio Cauca con 7 especies; Cesar con 6 especies, todas del género *Trichomycterus*; Alto y Bajo Magdalena con 5 especies; y finalmente San Jorge con sólo dos especies (Anexo 1). Al estandarizar estas cifras en relación a la superficie e intensidad de muestreo, se repite el patrón ya observado para la riqueza total, donde destacan la subcuenca del río Sogamoso y la sección del Medio Magdalena, concentrando los mayores valores de riqueza relativa de especies endémicas, y nuevamente el Alto Magdalena se ubica como la región con menor valor, junto con el Bajo-Medio Cauca (Figura 4a).

El Medio Magdalena se caracteriza por tener un tipo de vegetación dominado por el bosque húmedo tropical, en contraste con el Alto y Bajo Magdalena, donde predomina el bosque seco tropical (García *et al.* 2014). Desde este punto de vista, el mayor endemismo registrado en esta sección, podría ser consecuencia de la presencia de esta diferente matriz de vegetación aislada, en combinación con aspectos hidrogeomorfológicos contrastantes de sus principales tributarios. Así, observamos ríos provenientes del flanco occidental de la cordillera Oriental, caracterizados por poseer trechos meándricos extensos, antes de su desembocadura en el Magdalena, y con una coloración de sus aguas distintivamente oscura, como es el caso del Carare, Opón y Negrito (Boyacá y Santander). Por otro lado, los

ríos provenientes del flanco occidental de la cordillera Central (Nare, Samaná), son de aguas casi transparentes y discurren por sectores encajonados, con elevada corriente y con un lecho principalmente constituido por grandes lajas de roca. Si se incorpora la subcuenca del río Sogamoso al Medio Magdalena, las especies endémicas cuadruplican a las registradas en el Alto Magdalena. Lo anterior destaca la importancia de reconocer el alto grado de endemismo a nivel regional de la cuenca, no sólo para su conservación, sino también para comprender mejor los patrones de diversificación y biogeográficos de su ictiofauna.

El gradiente altitudinal y longitudinal de las condiciones ambientales es un factor determinante en la estructuración de los ensamblajes de peces a escalas local y regional, a lo largo de la cuenca Magdalena-Cauca (Carvajal-Quintero *et al.* 2015, Condesaldaña *et al.* 2017). La sobreposición de los modelos individuales obtenidos para 115 especies, muestra que la riqueza de especies es considerablemente mayor en las zonas de tierras bajas de la cuenca, incluyendo las zonas de inundación de los canales principales (Figura 3b). Sin embargo, destaca la sección del Medio Magdalena como aquella con la más alta concentración de especies, lo cual puede tener dos explicaciones potenciales, referidas a procesos biogeográficos y/o la intensidad de los muestreos. Aunque usualmente se espera que la sección baja de las cuencas tenga una mayor riqueza de especies, esta hipótesis no ha sido completamente evaluada en grandes cuencas. Es posible que la mayor diversidad observada en el Medio Magdalena sea el resultado de la interacción del efecto del gradiente altitudinal y la contingencia histórica de su estabilidad ambiental, como ha sido verificado en el caso de la Amazonía (Oberdorff *et al.* 2019). Las áreas bajas de la cuenca



Liberum Donum Studios

han estado sometidas a la influencia de los cambios del nivel del mar, a través de las transgresiones y regresiones marinas, durante las oscilaciones climáticas del pleistoceno, las cuales han afectado la conectividad de las desembocaduras de los ríos, así como la formación y erosión de las planicies de inundación, limitando la calidad y cantidad de los hábitats, así como la conectividad genética, y con ello, el establecimiento de ensamblajes dulceacuícolas, y por lo tanto su diversidad (Jaramillo *et al.* 2017, Albert *et al.* 2020b). Adicionalmente, la estabilidad y el gradiente ambiental del Medio Magdalena han promovido el establecimiento de ensamblajes diversos, que combinan ictiofaunas de tierras bajas y de partes altas de la cuenca (Rodríguez-Olarte *et al.* 2011). Esta hipótesis está sustentada por el alto número de endemismos propios que presenta el Medio Magdalena,

en comparación con otras secciones o subcuencas (Figura 4a). La segunda explicación sobre la mayor riqueza registrada en el Medio Magdalena, guarda relación directa con el mayor esfuerzo de muestreo concentrado en esta sección (Figura 1). A pesar de que los modelos de distribución ajustados, son usualmente útiles para disminuir los efectos de sesgo de muestreo en análisis de distribución de especies, es posible que, dadas las diferencias de muestreo a lo largo de la cuenca, éstas sigan teniendo un efecto marcado sobre los modelos obtenidos. Nuestro análisis de disimilaridad promedio indicó que la sección Bajo-Medio Cauca es la más disímil, seguida por las secciones del Alto y Bajo Magdalena. La sección Alto Cauca resultó como la menos disímil (Figura 4b), reflejando una composición de especies más homogénea, ampliamente compartidas con el resto de la cuenca.

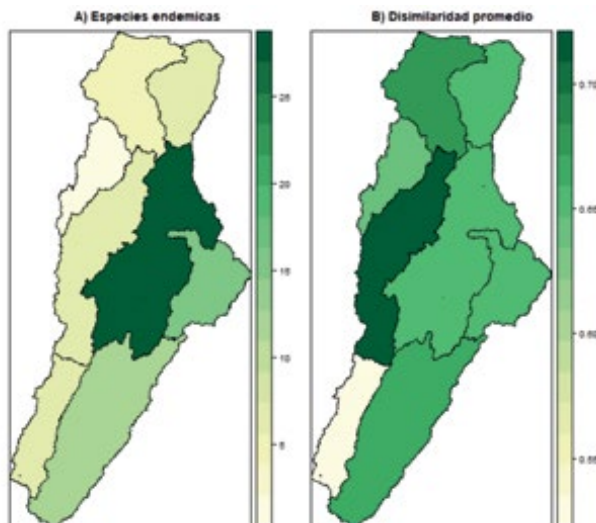


Figura 4. a) Riqueza de especies endémicas estandarizada para cada una de las subcuencas/secciones del Magdalena-Cauca (el número total de especies está indicado dentro de las áreas). b) Índice de disimilaridad promedio de Sørensen (β_{sorw}) de la composición de especies entre las subcuencas/secciones del Magdalena-Cauca.

DIVERSIDAD DE PECES

Biogeografía

Análisis biogeográficos sobre el origen y los procesos que modelaron la distribución de las especies de peces de la cuenca Magdalena-Cauca son relativamente escasos (Vari 1988, Vari y Weitzman 1990, Pérez y Taphorn 1993, Rodríguez-Olarte *et al.* 2011, Rincón-Sandoval *et al.* 2019). Rodríguez-Olarte *et al.* (2011) indican que la fauna de peces de la cuenca está compuesta por un mosaico de linajes antiguos y relictuales, junto con nuevas incorporaciones que han llegado por dispersión a lo largo de las costas, así como especies endémicas que han evolucionado de forma aislada e independiente. La hipótesis de diversificación vicariante presentada por Eigenmann y Allen (1942) ha sido soportada por la presencia de fósiles correspondientes a grupos taxonómicos actualmente extintos en la cuenca (*Arapaima*, *Brachyplatystoma*, *Colossoma*), que revelan conexiones pasadas con las cuencas cisandinas del Amazonas y Orinoco (Lundberg *et al.* 1986, Lundberg y Chernoff 1992, Lundberg 2005). Asimismo, especies vivientes que podrían ser categorizadas como relictuales (*Centrochir crocodili*, *Pseudoplatystoma magdaleniatum*, *Sorubim cuspicaudus*), pertenecientes a grupos mayormente diversificados en cuencas cisandinas, soportan igualmente un origen compartido con las cuencas del Amazonas y Orinoco (Torrico *et al.* 2009, Lundberg *et al.* 2011, Arce *et al.* 2013). La historia geológica de la cuenca Magdalena-Cauca comprende un fuerte componente orogénico, que, sumado a la variación climática en tiempos recientes, han moldeado la evolución de la ictiofauna moderna presente en ella (Rodríguez-Olarte *et al.* 2011).

Los procesos geológicos involucrados en la formación de las cuencas transandinas (Tuirá, Atrato, Ranchería, Lago de Maracaibo), contribuyeron al establecimiento de una

ictiofauna distintiva (Albert *et al.* 2006), registrando uno de los niveles más elevados de endemismos, justamente en la cuenca Magdalena-Cauca (Rodríguez-Olarte *et al.* 2011, Rincón-Sandoval *et al.* 2019). No obstante, la región transandina del norte del continente, generalmente se ha considerado como una sola entidad biogeográfica, lo que dificulta una mejor comprensión de la dinámica de los Andes del norte y su influencia en los patrones de diversificación en cuencas como Lago de Maracaibo, Magdalena, Sinú, Atrato, San Juan y Patía. En este sentido, la diversificación de los diferentes linajes de peces en las cuencas de los Andes del norte es compleja, con clados biogeográficamente estructurados, como resultado de la interacción de varios procesos, como la elevación de los sistemas montañosos, las incursiones marinas y la captura de cabeceras que permitieron la dispersión entre drenajes (García-Melo 2017). En la cuenca Magdalena-Cauca, los pocos trabajos realizados a nivel filogeográfico (Rincón-Sandoval *et al.* 2019, Rangel-Medrano *et al.* 2020), muestran que los patrones encontrados concuerdan con la historia geológica del surgimiento de las cordilleras Central, Occidental y Oriental. La cordillera Central formando una barrera desde el Oligoceno tardío y Mioceno temprano (~23 Ma), la cordillera Occidental levantándose como resultado de la acreción del bloque del Chocó durante el Mioceno Medio (11-16 Ma) y finalmente, la elevación de la cordillera Oriental iniciando el aislamiento de la cuenca del río Magdalena de las cuencas cisandinas ~12 Ma (Hoorn *et al.* 2010), con la subsecuente separación del Orinoco y del río Amazonas (Musilová *et al.* 2015).

Por otro lado, filogenias moleculares calibradas en Stevardiinae (Characidae) (García-Melo 2017), muestran que los procesos de diversificación de las especies distribuidas



Liberum Donum Studios

en la cuenca Magdalena-Cauca, ocurrieron al final del Oligoceno y Mioceno temprano. No obstante, la diversificación de algunas especies de géneros como *Hemibrycon* estuvo influenciada por eventos históricos recientes (menos de 5 Ma), asociados a capturas de cabeceras, que relacionan más estrechamente a especies del Alto Magdalena con especies del Atrato, Patía o Alto Putumayo, que con sus congéneres de las secciones media y baja. Por lo tanto, estos hallazgos sugieren que la cuenca no debería considerarse como una sola unidad biogeográfica homogénea, sino que los variados procesos orogénicos en los últimos 23 millones de años han tenido un efecto diferencial y particular sobre la biogeografía y diversificación de las especies. Las evidencias hasta ahora encontradas apuntan a modelos de aislamiento de la ictiofauna, con una dinámica de diversificación, que puede ser entendida como una respuesta compartida, a una serie compleja de procesos orogénicos que aislaron o modificaron las subcuencas/secciones (Lundberg *et al.* 1998, Kattan *et al.* 2004, Albert *et al.* 2006, Hardman y Lundberg 2006, García-Melo 2017, García-Melo *et al.* 2019b, Rangel-Medrano *et al.* 2020). De esta forma, entender la biogeografía de la cuenca Magdalena-Cauca permitirá delinear estrategias de conservación, teniendo en cuenta el alto grado de deterioro por minería, construcción de embalses, contaminación, deforestación, entre otras presiones humanas.

Conclusiones y recomendaciones

Colombia posee 1610 especies de peces de agua dulce, de las cuales 233 especies (14,5% del total) son válidas para la cuenca Magdalena-Cauca, distribuidas en cinco órdenes y 33 familias.

El mayor esfuerzo en términos de cobertura espacial de los muestreos ictiológicos para

la cuenca Magdalena-Cauca, se encuentra concentrado en orden decreciente en el Medio Magdalena, Bajo-Medio Cauca, Sogamoso y Alto Magdalena.

El 68% de las especies de peces (158 especies) son endémicas de la cuenca Magdalena-Cauca. El análisis de distribución regional indica que 75 especies están restringidas a una única subcuenca o sección, siendo el Medio Magdalena la sección con el mayor número de especies endémicas (44 especies).

No existe un modelo único que explique la distribución actual de las especies del Magdalena-Cauca, siendo varios los procesos identificados en los patrones biogeográficos analizados: procesos vicariantes (producto de la orogénesis de las cordilleras), incursiones marinas y dispersión entre cuencas, a través de capturas de cabeceras.

Bibliografía

- Albert, J. S., Lovejoy, N. R. & Crampton, W. G. (2006). Miocene tectonism and the separation of cis - and trans -Andean river basins: Evidence from Neotropical fishes. *Journal of South American Earth Sciences*, 21, 14-27. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2005.07.010>.
- Albert, J. S., Petry, P. & Reis, R. E. (2011). *Major biogeographic and phylogenetic patterns*. Pp. 21-57. En: Albert, J. S., Reis, R. E. (Eds.). *Historical Biogeography of Neotropical Freshwater Fishes*. University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London. 406 p.
- Albert, J. S., Destouni, G., Duke-Sylvester, S. M., Magurran A., Oberdorff, T., Reis, R. E., Winemiller, K. & Ripple, W. (2020a). Scientists' warning to humanity on the freshwater biodiversity crisis. *Ambio*. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01318-8>.
- Albert, J. S., Tagliacollo, V. A. & Dagosta, F. (2020b). Diversification of Neotropical freshwater fishes. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 51, 27-53. <https://doi.org/10.1146/annurev-eolsys-011620-031032>.

DIVERSIDAD DE PECES

- Arce, H., Reis, R. E., Geneva, A. J. & Sabaj-Pérez, M. H. (2013). Molecular phylogeny of thorny catfishes (Siluriformes: Doradidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 67, 560–577. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ympev.2013.02.021>.
- Carvajal-Quintero, J. D., Escobar, F., Alvarado, F., Villa-Navarro, F. A., Jaramillo-Villa, Ú. & Maldonado-Ocampo, J. A. (2015). Variation in freshwater fish assemblages along a regional elevation gradient in the northern Andes, Colombia. *Ecology and Evolution*, 5, 2608–2620.
- Conde-Saldaña, C. C., Albornoz-Garzón, J. G., López-Delgado, E. O. & Villa-Navarro, F. A. (2017). Ecomorphological relationships of fish assemblages in a trans-Andean drainage, Upper Magdalena River Basin, Colombia. *Neotropical Ichthyology*, 15, e170037.
- Cuvier, G. & Valenciennes, A. (1850). Histoire naturelle des poissons. Tome vingt-deuxième. Suite du livre vingt-deuxième. Suite de la famille des Salmonoides. *Table générale de l'Histoire Naturelle des Poissons*, 22, 1-91.
- Dagosta, F. C. & de Pinna, M. (2019). The fishes of the Amazon: distribution and biogeographical patterns, with a comprehensive list of species. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 431, 1–163. <https://doi.org/10.1206/0003-0090.431.1.1>.
- Dahl, G. (1943). New or rare fishes of the family Characinidae from the Magdalena system. Förhandlingar / Klungl. Fysiografiska sällskapet i Lund = *Proceedings of the Royal Physiographic Society at Lund*, 12, 215-220.
- Dahl, G. (1971). *Los peces del norte de Colombia*. Bogotá, D.C. Ministerio de Agricultura, Instituto de Desarrollo de los Recursos Naturales Renovables (INDERENA). 391 pp.
- Diaz del Basto, J. (1970). *Untersuchungen über die Fischfauna des Rio Cesar Ein Beitrag zur Tiergeographie Kolumbiens*. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades, der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Justus Liebig – Universität Gießen. Germany. 60 pp.
- DoNascimento, C. & Suárez, R. (2020). Ictiología en Venezuela. (<https://ictiovenezuela.blogspot.com>). Versión electrónica consultada 03 ago 2020.
- DoNascimento, C., Herrera-Collazos, E. E., Herrera-R, G. A., Ortega-Lara, A., Villa-Navarro, F. A., Usma-Oviedo, J. S. & Maldonado-Ocampo, J. A. (2017). Checklist of the freshwater fishes of Colombia: a Darwin Core alternative to the updating problem. *ZooKeys*, 708, 25–138. <https://doi.org/10.3897/zookeys.708.13897>.
- DoNascimento, C., Villa Navarro, F. A., Albornoz Garzón, J. G., Méndez López, A. & Herrera-Collazos, E. (2020). Lista de especies de peces de agua dulce de Colombia/ Checklist of the freshwater fishes of Colombia. v2.12. Asociación Colombiana de Ictiólogos. Dataset/Checklist. <http://doi.org/10.15472/numr50>.
- Duncan, J. R. & Lockwood, J. L. (2001). Extinction in a field of bullets: a search for causes in the decline of the world's freshwater fishes. *Biological Conservation*, 102, 97–105.
- Eigenmann, C. H. & Allen, W. R. (1942). *Fishes of Western South America. I. The intercordilleran and Amazonian lowlands of Peru. II.- The high pampas of Peru, Bolivia, and northern Chile. With a revision of the Peruvian Gymnotidae, and of the genus Orestias*. University of Kentucky. 494 pp.
- Fowler, H. W. (1942). Lista de peces de Colombia. *Revista Academia Colombiana de Ciencias*, 5, 128–138.
- Fricke, R., Eschmeyer, W. N. & Van der Laan R. (Eds.). (2020). Eschmeyer's Catalog of fishes: Genera, species, references. (<http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>). Versión electrónica consultada 03 ago 2020.
- García, H., Corzo, G., Isaacs, P & Etter, A. (2014). Distribución y estado actual de los remanentes del bioma de bosque seco tropical en Colombia: Insumos Para Su Gestión. En Pizano C. & García H. (Eds.). *El Bosque seco Tropical en Colombia*. Bogotá, D.C. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).



- García-Melo, J. E. (2017). *New insights into the taxonomy, Systematics and Biogeography of the subfamily Stevardiinae (Characiformes: Characidae)*. (Tesis doctoral). Bogotá, D.C. Facultad de Ciencias, Doctorado en Ciencias Biológicas. Pontificia Universidad Javeriana.
- García-Melo, J. E., García-Melo, L. J., García-Melo, J. D., Rojas-Briñez, D. K., Guevara, G. & Maldonado-Ocampo, J. A. (2019a). Photofish system: An affordable device for fish photography in the wild. *Zootaxa*, 4554, 141-172.
- García-Melo, J. E., Oliveira, C., Da Costa Silva, G. J., Ochoa-Orrego, L. E., García-Pereira, L. H. & Maldonado-Ocampo, J. A. (2019b). Species delimitation of neotropical characins (Stevardiinae): Implications for taxonomy of complex groups. *PLoS ONE*, 14, e0216786. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216786>.
- Garutti, V. & Venere, P. C. (2009). *Astyanax xavante*, a new species of characid from middle rio Araguaia in the Cerrado region, Central Brazil (Characiformes: Characidae). *Neotropical Ichthyology*, 7, 377-383.
- Hardman, M. & Lundberg, J. G. (2006). Molecular phylogeny and a chronology of diversification for "phractocephaline" catfishes (Siluriformes: Pimelodidae) based on mitochondrial DNA and nuclear recombination activating gene 2 sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 40, 410-418. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2006.03.011>.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2013). *Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia*. Bogotá, D. C.: IDEAM.
- Jaramillo, C., Romero, I., Apolito, C. D., Bayona, G., Duarte, E., Louwyte, S., Escobar, J., Luque, J., Carrillo-Briceño, J. D., Zapata, V., Mora, A., Schouten, S., Zavada, M., Harrington, G., Ortiz, J. & Wesselingh, F. P. (2017). Miocene flooding events of western Amazonia. *Science Advances*, 3, e1601693.
- Jiménez-Segura, L. F., Galvis-Vergara, G., Cala-Cala, P., García-Alzate, C., López-Casas, S., Ríos-Pulgarín, M., Arango, G., Mancera-Rodríguez, N. J., Gutiérrez-Bonilla, F. & Álvarez-León, R. (2016). Freshwater fish faunas, habitats and conservation challenges in the Caribbean river basins of north-western South America. *Journal of Fish Biology*, 89, 65-101.
- Kattan, G. H., Franco, P., Rojas, V. & Morales, G. (2004). Biological diversification in a complex region: A spatial analysis of faunistic diversity and biogeography of the Andes of Colombia. *Journal of Biogeography*, 31, 1829-1839.
- Lima, F. C. T., Malabarba, L. R., Buckup, P. A., Pezzi da Silva, J. F., Vari, R. P., Harold, A., Benine, R., Oyakawa, O. T., Pavanelli, C. S., Menezes, N. A., Lucena, C. A. S., Malabarba, M. C. S. L., Lucena, Z. M. S., Reis, R. E., Langeani, F., Casatti, L., Bertaco, V. A., Moreira, C. & Lucinda, P. H. F. (2003). *Genera incertae sedis in Characidae*. *En Reis, R. E., Kullander, S. O., & Ferraris, Jr C. J. (Eds.). Check List of the Freshwater Fishes of South and Central America*. Pp 106-169 Edipucrs, Porto Alegre.
- Lundberg, J. G. 2005. *Brachyplatystoma promagdalenae*, new species, a fossil goliath catfish (Siluriformes: Pimelodidae) from the Miocene of Colombia, South America. *Neotropical Ichthyology*, 3, 97-605.
- Lundberg, J. G. & Chernoff, B. (1992). A Miocene fossil of the Amazonian fish *Arapaima* (Teleostei, Arapaimidae) from the Magdalena River region of Colombia - Biogeographic and evolutionary implications. *Biotropica*, 24, 2-14.
- Lundberg, J. G., Machado-Allison, A. & Kay, R. F. (1986). Miocene characid fishes from Colombia: Evolutionary stasis and extirpation. *Science New Series*, 234, 208-209.
- Lundberg, J. G., Marshall, L. G., Guerrero, J., Horton, B., Malabarba, M. C. S. L. & Wesselingh, F. (1998). The stage for Neotropical fish diversification: A history of Tropical South American rivers. *En Malabarba, L. R., Reis, R. E., Vari, R. P., Lucena, Z. & Lucena, C. A. S. (Eds.). Phylogeny and classification of Neotropical fishes*. Edipucrs, Porto Alegre, 603 pp.
- Lundberg, J. G., Sullivan, J. P. & Hardman, M. (2011). Phylogenetics of the South American catfish family Pimelodidae (Teleostei: Siluriformes) using nuclear and

DIVERSIDAD DE PECES

- mitochondrial gene sequences. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 161, 153-189.
- Malhi, Y. (2017). The concept of the Anthropocene. *Annual Review of Environment and Resources*, 42, 77-104. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102016-060854>.
 - Maldonado-Ocampo, J. A., Vari, R. P. & Usma, J. S. (2008). Checklist of the freshwater fishes of Colombia. *Biota Colombiana*, 9, 143-237.
 - Maldonado-Ocampo, J. A., Ortega-Lara, A., Usma, J. S., Galvis, G. G., Villa-Navarro, F. A., Gamboa, L. V., Prada-Pedrerros, S. & Rodríguez, C. A. (2005). *Peces de los Andes de Colombia: Guía de campo*. Bogotá D.C. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 346 pp.
 - Miles, C. (1943). *Estudio económico y ecológico de los peces de agua dulce del Valle del Cauca*. Cali (Colombia). Publicaciones de la Secretaría de Agricultura del Departamento del Valle. 99 pp.
 - Miles, C. (1947). *Los peces del río Magdalena*. Bogotá D.C. Ministerio de Economía Nacional. Sección de Piscicultura, Pesca y Caza. Bogotá. 214 pp.
 - Mojica, J. I. (1999). Lista preliminar de las especies de peces dulceacuáticos de Colombia *Revista Academia Colombiana de Ciencias*, 23 (Suplemento Especial), 547-565.
 - Mojica, J. I., Galvis, G., Sánchez-Duarte, P., Castellanos, C. & Villa-Navarro, F. A. (2006). Peces del valle medio del río Magdalena, Colombia. *Biota Colombiana*, 7, 23-38.
 - Monastersky, R. (2015). Anthropocene: The human age. *Nature*, 519, 144-147.
 - Musilová, Z., Říčan, O., Říčanová, Š, Janšta, P., Gahura, O. & Novák, J. (2015). Phylogeny and historical biogeography of trans-Andean cichlid fishes (Teleostei: Cichlidae). *Vertebrate Zoology*, 65, 333-350.
 - Nelson, J., Grande, T. & Wilson, M. (2016). *Fishes of the World*. Quinta edición. John Wiley & Sons, Hoboken, 707 pp. <https://doi.org/10.1002/9781119174844>.
 - Oberdorff, T., Dias, M. S., Jézéquel, C., Albert, J. S., Arantes, C. C., Bigorne, R. & Hugueny, B. (2019). Unexpected fish diversity gradients in the Amazon basin. *Science Advances*, 5, eaav8681.
 - Ortega-Lara, A., Murillo, O., Pimienta, C. & Sterling, E. (2000). *Los peces del alto Cauca, riqueza ictiológica del Valle del Cauca*. Cali (Colombia). Editorial Imagen Corporativa. 69 pp.
 - Ortega-Lara, A., Saulo, J., Bonilla, P. A. & Santos, N. L. (2006). Peces de la cuenca alta del río Cauca, Colombia. *Biota Colombiana*, 7, 39-54.
 - Ortega-Lara, A., Lasso-Alcalá, O. M., Lasso, C. A., de Pasquier, G. A. & Bogotá-Gregory, J. D. (2012). Peces de la cuenca del río Catatumbo, cuenca del Lago de Maracaibo, Colombia y Venezuela. *Biota Colombiana*, 13, 71-98.
 - Pérez, A. & Taphorn, D. (1993). Relaciones zoogeográficas entre las ictiofaunas de las cuencas del río Magdalena y Lago de Maracaibo. *Biollania*, 9, 95-105.
 - Posada, A. (1909). *Los peces*. En Estudios científicos del doctor Andres Posada con algunos otros escritos suyos sobre diversos temas. Medellín (Colombia). Imprenta Oficial, 322 pp.
 - Rangel-Medrano, J. D., Ortega-Lara, A. & Márquez, E. (2020). Ancient genetic divergence in bumblebee catfish of the genus *Pseudopimelodus* (Pseudopimelodidae: Siluriformes) from northwestern South America. *PeerJ*, 8, e9028. <https://doi.org/10.7717/peerj.9028>.
 - Reis, R. E., Albert, J. S., Di Dario, F., Mincarone, M. M., Petry, P. & Rocha, L. A. (2016). Fish biodiversity and conservation in South America. *Journal of Fish Biology*, 89, 12-47. <https://doi.org/10.1111/jfb.13016>.
 - Restrepo, J. D., Cárdenas-Rozo, A., Panigua-Arroyave, J.F. & Jiménez-Segura, L. (2020). Aspectos físicos de la cuenca del río Magdalena, Colombia: geología, hidrología, sedimentos, conectividad, ecosistemas acuáticos e implicaciones para la biota. En Jiménez-Segura, L. & C. Lasso (Eds.). *XIX. Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible*. Pp: 41-83. Bogotá D.C. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.



- Ripple, W. J., Wolf, C., Newsome, T. M., Galletti, M., Alamgir, M., Crist, E., Mahmoud, M. I. & Laurance, W. F. (2017). World scientists' warning to humanity: A second notice. *BioScience*, 67, 1026-1028.
- Ripple, W. J., Wolf, C., Newsome, T. M., Barnard, P. & Moomaw, W. R. (2020). World scientists' warning of a climate emergency. *BioScience*, 70, 8–12. <https://doi.org/10.1093/biosci/biz088>.
- Rincón-Sandoval, M., Betancur-R, R. & Maldonado-Ocampo, J. A. (2019). Comparative phylogeography of trans-Andean freshwater fishes based on genome-wide nuclear and mitochondrial markers. *Molecular Ecology*, 28, 1096-1115. <https://doi.org/10.1111/mec.15036>.
- Rodell, M., Famiglietti, J. S., Wiese, D. N., Reager, T., Beaudoin, H. K., Landerer, F. W. & Lo, M-H. (2018). Emerging trends in global freshwater availability. *Nature*, 557, 651-659. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0123-1>.
- Rodríguez-Olarte, D., Mojica, J. I. & Taphorn, D. (2011). Northern south america Magdalena and Maracaibo Basins. En Albert, J. S. & Reis, R. E. (Eds.). *Historical Biogeography of Neotropical Freshwater Fishes*. Pp. 243-257. Los Angeles (USA). University of California Press. 406 pp.
- Steindachner, F. (1878). Zur Fischfauna des Magdalenen-Stromes. *Anzeiger der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Wien, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Classe*, 15, 88-91.
- Steindachner, F. (1880). Zur Fisch-Fauna des Cauca und der Flüsse bei Guayaquil. *Denkschriften der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Classe*, 42, 55–104, Pls. 1–9.
- Steindachner, F. (1915). Beiträge zur Kenntniss der Flußfische Südamerikas. V. *Denkschriften der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse*, 93, 15–106, Pls. 1–13.
- Tedesco, P. A., Bigorne, R., Bogan, A. E., Giam, X., Jézéquel, C. & Hugueny B. (2014). Estimating how many undescribed species have gone extinct. *Conservation Biology*, 28, 1360-1370. <https://doi.org/10.1111/cobi.12285>.
- Terán, G. E., Benitez, M. F. & Mirande, J. M. (2020). Opening the Trojan horse: phylogeny of *Astyanax*, two new genera and resurrection of *Psalidodon* (Teleostei: Characidae). *Zoological Journal of the Linnean Society*, zlaa019, 1–18. <https://doi.org/10.1093/zoolinnean/zlaa019>.
- Torrico; J. P., Hubert, N., Desmarais, E., Duponchelle, F., Nuñez Rodriguez, J., Montoya-Burgos, J., García Davila ,C., Carvajal-Vallejos, F. M., Grajales, A. A., Bonhomme, F. & Renno J. F. 2009. Molecular phylogeny of the genus *Pseudoplatystoma* (Bleeker, 1862): biogeographic and evolutionary implications. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 51, 588–594. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2008.11.019>.
- Vari, R. P. 1988. The Curimatidae, a lowland neotropical fish family (Pisces: Characiformes): Distribution, endemism, and phylogenetic biogeography. En Vanzolini, P. E. & Heyer, W. R. (Eds.). *Proceedings of a Workshop on Neotropical Distribution Patterns*. Pp. 313-348. Rio de Janeiro (Brasil). Academia Brasileira de Ciências.
- Vari, R. P. & Weitzman, S. H. (1990). Review of the phylogenetic biogeography of the freshwater fishes of South America. Pp. 381–393. En: Peters, G. & Hutterer, R. (Eds.). *Vertebrates in the Tropics: Proceedings of the International Symposium on Vertebrate Biogeography and Systematics in the Tropics*. Pp. 381-393. Bonn (Alemania). Alexander Koenig Zoological Research Institute and Zoological Museum.
- Villa-Navarro, F. A., Zúñiga-Upegui, P., Castro-Roa, D., García-Melo, J. E., García-Melo, J. & Herrada-Yara, M. E. (2006). Peces del alto Magdalena, cuenca del río Magdalena, Colombia. *Biota Colombiana*, 7, 3-22.
- Vörösmarty, C., Lettenmaier, D., Lévêque, C., Meybeck, Y., Pahl-Wostl, C., Alcamo, J., Cosgrove, W., Grassl, H., Hoff, H., Kabat, P., Lansigan, F., Lawford, R. & Naiman, R. J. (2004). Humans transforming the global water system. *EOS, American Geophysical Union Transactions*, 85, 509-514.

DIVERSIDAD DE PECES

Anexo 1. Lista de especies de peces de agua dulce válidas de la cuenca del Magdalena-Cauca. Se incluye datos de presencia-ausencia en las subcuencas/secciones.

Orden	Familia	Género	Especie	Bajo-Medio Cauca	Cesar	Bajo Magdalena	Sogamoso	Alto Cauca	Medio Magdalena	Alto Magdalena	San Jorge	
Myliobatiformes	Potamotrygonidae	<i>Potamotrygon</i>	<i>magdalenae</i>	1	1	1	1	0	1	1	1	
		<i>Characidium</i>	<i>cf. boavistae</i>	0	1	0	1	0	1	1	0	
		<i>Characidium</i>	<i>caucanum</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	
	Crenuchidae	<i>Characidium</i>	<i>chancoense</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0
		<i>Characidium</i>	<i>phoxocephalum</i>	1	0	0	0	1	1	0	1	0
		<i>Characidium</i>	<i>cf. zebra</i>	1	1	1	0	1	1	1	1	1
		<i>Hoplias</i>	<i>malabaricus</i>	1	1	1	1	0	1	1	1	1
	Parodontidae	<i>Parodon</i>	<i>alfonsoi</i>	0	1	1	0	0	0	0	1	0
		<i>Parodon</i>	<i>calliensis</i>	1	0	0	0	1	1	0	1	0
		<i>Parodon</i>	<i>magdalenensis</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	0
		<i>Saccodon</i>	<i>dariensis</i>	1	0	0	0	1	1	1	1	0
		<i>Abramites</i>	<i>eques</i>	1	1	1	1	0	1	1	0	1
		<i>Leporellus</i>	<i>vittatus</i>	1	0	0	1	0	1	1	1	0
Anostomidae	<i>Leporinus</i>	<i>striatus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	<i>Megaleporinus</i>	<i>muyscorum</i>	1	1	1	1	0	1	1	1	1	
	<i>Curimata</i>	<i>miuartii</i>	1	1	1	1	0	1	1	0	1	
Prochilodontidae	<i>Cyphocharax</i>	<i>magdalenae</i>	1	1	1	1	0	1	1	1	1	
	<i>Ichthyocephalus</i>	<i>longirostris</i>	1	0	1	1	1	1	1	1	1	
Lebiasinidae	<i>Prochilodus</i>	<i>magdalenae</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	<i>Lebiasina</i>	<i>chucuriensis</i>	0	0	0	1	0	1	1	0	0	
	<i>Lebiasina</i>	<i>floridablancaensis</i>	0	0	0	1	0	1	1	0	0	
		<i>Lebiasina</i>	<i>ortegai</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	



Liberum Donum Studios

Anexo 1. Continuación

Orden	Familia	Género	Especie	Bajo-Medio Cauca	Cesar	Bajo Magdalena	Sogamoso	Alto Cauca	Medio Magdalena	Alto Magdalena	San Jorge		
Characiformes	Ctenolucidae	<i>Ctenolucius</i>	<i>hujeta</i>	1	1	1	1	1	1	1	1		
		<i>Gilbertolus</i>	<i>alatus</i>	1	1	1	1	0	1	0	1		
	Acestrotrichynchidae	<i>Grundulus</i>	<i>bogotensis</i>	0	0	0	1	1	0	1	1	0	
		<i>Astyanax</i>	<i>cf. bimaculatus</i>	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
		<i>Astyanax</i>	<i>caucanus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		<i>Astyanax</i>	<i>fasslii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		<i>Astyanax</i>	<i>filiferus</i>	1	1	0	1	0	1	1	1	1	
		<i>Astyanax</i>	<i>gisleni</i>	1	0	0	0	0	1	1	1	0	
		<i>Astyanax</i>	<i>magdalenae</i>	1	1	1	1	0	1	1	1	1	
		<i>Astyanax</i>	<i>microlepis</i>	1	0	0	0	1	1	1	1	0	
		<i>Astyanax</i>	<i>yaniguies</i>	0	0	0	0	0	1	1	0	0	
		<i>Astyanax</i>	<i>sp.</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		Characidae	<i>Hyphessobrycon</i>	<i>natagaima</i>	0	0	0	1	0	1	1	1	0
			<i>Hyphessobrycon</i>	<i>ocasoensis</i>	1	0	1	0	1	1	1	0	0
			<i>Hyphessobrycon</i>	<i>poeciloides</i>	1	0	0	0	1	1	1	0	0
			<i>Hyphessobrycon</i>	<i>proteus</i>	1	1	1	1	0	1	1	0	1
			<i>Argopleura</i>	<i>conventus</i>	0	0	1	0	0	1	1	1	0
			<i>Argopleura</i>	<i>diquensis</i>	1	0	1	1	1	1	1	1	0
			<i>Argopleura</i>	<i>magdalenensis</i>	1	1	0	1	1	1	1	1	0
			<i>Gephyrocharax</i>	<i>caucanus</i>	1	0	0	0	1	1	0	0	0
<i>Gephyrocharax</i>	<i>melanocheir</i>	1	1	1	1	0	1	1	1	1			
<i>Gephyrocharax</i>	<i>torresi</i>	0	0	0	0	0	1	1	0	0			
<i>Hemibrycon</i>	<i>antioquiiae</i>	0	0	0	0	0	1	1	0	0			

DIVERSIDAD DE PECES

Anexo 1. Continuación

Orden	Familia	Género	Especie	Bajo-Medio Cauca	Cesar	Bajo Magdalena	Sogamoso	Alto Cauca	Medio Magdalena	Alto Magdalena	San Jorge
		<i>Hemibrycon</i>	<i>arilepis</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
		<i>Hemibrycon</i>	<i>boquiae</i>	1	0	0	0	1	1	0	0
		<i>Hemibrycon</i>	<i>catroense</i>	1	0	0	0	0	0	0	0
		<i>Hemibrycon</i>	<i>cardalensis</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
		<i>Hemibrycon</i>	<i>caucanus</i>	1	0	0	0	1	0	0	0
		<i>Hemibrycon</i>	<i>clausen</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
		<i>Hemibrycon</i>	<i>colombianus</i>	0	0	1	1	0	1	1	0
		<i>Hemibrycon</i>	<i>decurrens</i>	0	0	1	0	0	1	1	0
		<i>Hemibrycon</i>	<i>dentatus</i>	1	1	0	0	1	0	0	0
		<i>Hemibrycon</i>	<i>fasciatus</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
		<i>Hemibrycon</i>	<i>foncensis</i>	0	0	0	1	0	1	0	0
		<i>Hemibrycon</i>	<i>gutierrezii</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
		<i>Hemibrycon</i>	<i>iqueima</i>	0	0	0	0	0	0	1	0
		<i>Hemibrycon</i>	<i>paez</i>	0	0	0	0	0	0	1	0
		<i>Hemibrycon</i>	<i>palomae</i>	0	0	0	0	1	0	0	0
		<i>Hemibrycon</i>	<i>plutarcoi</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
		<i>Hemibrycon</i>	<i>rafaelense</i>	1	0	0	0	0	0	0	0
		<i>Hemibrycon</i>	<i>raqueliae</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
		<i>Hemibrycon</i>	<i>tolimae</i>	0	0	0	0	0	0	1	0
		<i>Hemibrycon</i>	<i>velox</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
		<i>Hemibrycon</i>	<i>viralinica</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
		<i>Hemibrycon</i>	<i>yacopiae</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
		<i>Carlastyanax</i>	<i>aurocaudatus</i>	1	0	0	0	1	1	0	0



Liberum Donum Studios

Anexo 1. Continuación

Orden	Familia	Género	Especie	Bajo-Medio Cauca	Cesar	Bajo Magdalena	Sogamoso	Alto Cauca	Medio Magdalena	Alto Magdalena	San Jorge	
Characiformes	Characidae	<i>Creagrutus</i>	<i>affinis</i>	1	1	1	1	0	1	1	0	
		<i>Creagrutus</i>	<i>brevipinnis</i>	1	0	0	1	1	0	0	0	0
		<i>Creagrutus</i>	<i>caucanus</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0
		<i>Creagrutus</i>	<i>dulima</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0
		<i>Creagrutus</i>	<i>guanes</i>	0	0	0	1	0	1	0	0	0
		<i>Creagrutus</i>	<i>magdalenae</i>	1	1	1	1	0	1	1	1	0
		<i>Microgenys</i>	<i>minuta</i>	1	0	0	1	1	1	1	1	0
		<i>Nanocheirodon</i>	<i>insignis</i>	1	1	1	1	0	1	1	0	1
		<i>Saccoderma</i>	<i>hastata</i>	1	1	1	1	0	0	1	1	1
		<i>Acestrocephalus</i>	<i>anomalous</i>	0	0	1	1	0	1	1	1	0
		<i>Cynopotamus</i>	<i>magdalenae</i>	1	1	1	1	0	1	1	0	1
		<i>Roeboides</i>	<i>dayi</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		<i>Genycharax</i>	<i>tarpon</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	0
		<i>Gasteropelecus</i>	<i>maculatus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		<i>Brycon</i>	<i>fowleri</i>	1	0	0	0	0	0	1	1	1
		<i>Brycon</i>	<i>henni</i>	1	0	0	1	1	1	1	1	0
		<i>Brycon</i>	<i>labiatus</i>	1	0	0	0	1	0	1	0	0
<i>Brycon</i>	<i>moorei</i>	1	0	1	0	1	1	1	1	0		
<i>Brycon</i>	<i>rubricauda</i>	1	0	0	0	0	0	1	1	0		
<i>Salminus</i>	<i>affinis</i>	1	0	1	1	1	1	1	1	1		
<i>Triporthetus</i>	<i>magdalenae</i>	1	1	1	1	0	1	1	1	1		
<i>Gymnotus</i>	<i>ardilii</i>	0	1	0	1	0	1	1	0	0		
<i>Brachyhypopomus</i>	<i>occidentalis</i>	1	1	1	1	0	1	1	0	1		
<i>Eigenmannia</i>	<i>camposi</i>	0	0	1	0	0	0	1	1	0		

DIVERSIDAD DE PECES

Anexo 1. Continuación

Orden	Familia	Género	Especie	Bajo-Medio Cauca	Cesar	Bajo Magdalena	Sogamoso	Alto Cauca	Medio Magdalena	Alto Magdalena	San Jorge	
Gymnotiformes	Hypopomidae	<i>Eigenmannia</i>	<i>humboldtii</i>	1	1	1	1	0	1	1	1	
		<i>Eigenmannia</i>	<i>zenuensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1
		<i>Sternopygus</i>	<i>aequilabiatus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Apterontidae	<i>Apterontatus</i>	<i>eschmeyeri</i>	1	0	1	1	1	1	1	1	0
		<i>Apterontatus</i>	<i>magdalenensis</i>	1	0	0	1	0	1	1	1	0
		<i>Apterontatus</i>	<i>mariae</i>	1	1	1	0	1	1	1	1	1
		<i>Apterontatus</i>	<i>milesi</i>	1	0	1	1	1	1	1	1	0
		<i>Apterontatus</i>	<i>rostratus</i>	1	1	1	0	1	1	1	1	0
		<i>Eremophilus</i>	<i>mutisii</i>	0	0	0	1	0	1	1	1	0
		<i>Trichomycterus</i>	<i>arhuaco</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Trichomycterus</i>	<i>bannequi</i>	0	0	0	0	0	0	1	1	0		
Siluriformes	Trichomycteridae	<i>Trichomycterus</i>	<i>bogotensis</i>	0	0	0	0	0	1	1	0	
		<i>Trichomycterus</i>	<i>cachiraensis</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	
		<i>Trichomycterus</i>	<i>calai</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	
		<i>Trichomycterus</i>	<i>caliensis</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	
		<i>Trichomycterus</i>	<i>cerritoensis</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	
		<i>Trichomycterus</i>	<i>chapmani</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	
		<i>Trichomycterus</i>	<i>donascimientoi</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	
		<i>Trichomycterus</i>	<i>ferreri</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	
		<i>Trichomycterus</i>	<i>kankuamo</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	
		<i>Trichomycterus</i>	<i>latistriatus</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	
<i>Trichomycterus</i>	<i>manaurensis</i>	0	1	0	0	0	0	0	0			
<i>Trichomycterus</i>	<i>medellinensis</i>	1	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Trichomycterus</i>	<i>mogotensis</i>	0	0	0	1	0	0	0	0			



Liberum Donum Studios

Anexo 1. Continuación

Orden	Familia	Género	Especie	Bajo-Medio Cauca	Cesar	Bajo Magdalena	Sogamoso	Alto Cauca	Medio Magdalena	Alto Magdalena	San Jorge
Siluriformes	Trichomycteridae	<i>Trichomycterus</i>	<i>montesi</i>	0	1	0	0	0	0	0	0
		<i>Trichomycterus</i>	<i>nabusimakensis</i>	0	1	0	0	0	0	0	0
		<i>Trichomycterus</i>	<i>retropinnis</i>	0	0	0	0	0	0	0	1
		<i>Trichomycterus</i>	<i>romeroi</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
		<i>Trichomycterus</i>	<i>rosablanca</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
		<i>Trichomycterus</i>	<i>ruitoquensis</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
		<i>Trichomycterus</i>	<i>sandovali</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
		<i>Trichomycterus</i>	<i>santanderensis</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
		<i>Trichomycterus</i>	<i>sketi</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
		<i>Trichomycterus</i>	<i>stellatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	1
		<i>Trichomycterus</i>	<i>straminius</i>	0	0	0	1	0	1	0	0
		<i>Trichomycterus</i>	<i>sucrensis</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
		<i>Trichomycterus</i>	<i>tetuanensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	1
		<i>Trichomycterus</i>	<i>torcoromaensis</i>	0	0	1	0	0	0	0	0
		<i>Trichomycterus</i>	<i>transandianus</i>	0	0	0	0	0	0	1	1
		<i>Trichomycterus</i>	<i>uisae</i>	0	0	0	0	1	0	0	0
		<i>Trichomycterus</i>	<i>valleduparensis</i>	0	1	0	0	0	0	0	0
		<i>Paravandellia</i>	<i>phaneronema</i>	1	0	0	1	1	1	1	1
		Callichthyidae	<i>Callichthys</i>	<i>fabricioi</i>	1	0	1	0	1	1	1
<i>Callichthys</i>	<i>oibaensis</i>		0	0	0	1	0	0	0	0	
<i>Hoplosternum</i>	<i>magdalenae</i>		1	1	1	1	0	1	1	1	
Astroblepidae	<i>Astroblepus</i>	<i>ardiladuartei</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	
	<i>Astroblepus</i>	<i>ardilai</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	
	<i>Astroblepus</i>	<i>bellezaensis</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	

DIVERSIDAD DE PECES

Anexo 1. Continuación

Orden	Familia	Género	Especie	Bajo-Medio Cauca	Cesar	Bajo Magdalena	Sogamoso	Alto Cauca	Medio Magdalena	Alto Magdalena	San Jorge
Siluriformes	Astroblepidae	<i>Astroblepus</i>	<i>cacharas</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
		<i>Astroblepus</i>	<i>chapmani</i>	1	0	0	0	1	0	0	0
		<i>Astroblepus</i>	<i>curitiensis</i>	0	0	0	1	0	1	0	0
		<i>Astroblepus</i>	<i>dux</i>	1	0	0	0	0	0	0	0
		<i>Astroblepus</i>	<i>floridablancaensis</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
		<i>Astroblepus</i>	<i>frenatus</i>	0	0	0	1	0	1	1	0
		<i>Astroblepus</i>	<i>grixabvii</i>	1	0	0	1	1	1	1	0
		<i>Astroblepus</i>	<i>guentheri</i>	0	0	1	0	0	0	0	0
		<i>Astroblepus</i>	<i>homodon</i>	0	0	0	1	0	1	1	0
		<i>Astroblepus</i>	<i>itae</i>	0	0	0	0	0	1	1	0
		<i>Astroblepus</i>	<i>marmoratus</i>	0	0	0	0	0	0	0	1
		<i>Astroblepus</i>	<i>micrescens</i>	0	0	0	1	0	1	1	0
		<i>Astroblepus</i>	<i>nettoferreirai</i>	0	0	0	0	0	1	1	0
		<i>Astroblepus</i>	<i>nicefori</i>	1	0	0	0	0	0	1	1
		<i>Astroblepus</i>	<i>onzagaensis</i>	0	0	0	1	0	1	0	0
		<i>Astroblepus</i>	<i>pradai</i>	0	0	0	1	0	1	0	0
		<i>Astroblepus</i>	<i>santanderensis</i>	0	0	0	1	0	1	1	0
	<i>Astroblepus</i>	<i>verai</i>	0	0	0	1	0	1	1	0	
	<i>Farlowella</i>	<i>yarigui</i>	0	0	0	1	0	1	1	0	
	Loricariidae	<i>Sturisomatichthys</i>	<i>aureus</i>	0	1	1	0	0	0	1	0
<i>Sturisomatichthys</i>		<i>guaitipan</i>	0	0	0	0	0	1	1	0	
<i>Sturisomatichthys</i>		<i>leightoni</i>	1	0	1	1	1	1	1	1	
<i>Crossoloricaria</i>		<i>cephalaspis</i>	0	0	1	0	0	1	1	0	
	<i>Crossoloricaria</i>	<i>variegata</i>	1	1	1	1	1	0	1	1	



Liberum Donum Studios

Anexo 1. Continuación

Orden	Familia	Género	Especie	Bajo-Medio Cauca	Cesar	Bajo Magdalena	Sogamoso	Alto Cauca	Medio Magdalena	Alto Magdalena	San Jorge	
Siluriformes	Loricariidae	<i>Dasylicaria</i>	<i>flamentosa</i>	1	1	1	1	0	1	1	1	
		<i>Dasylicaria</i>	<i>paucisquama</i>	0	0	0	0	0	1	1	0	
		<i>Rineloricaria</i>	<i>magdalenae</i>	1	1	1	1	0	1	1	1	1
		<i>Spatuloricaria</i>	<i>curvispina</i>	1	0	0	1	0	0	0	0	1
		<i>Spatuloricaria</i>	<i>fimbriata</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0
		<i>Spatuloricaria</i>	<i>gymnogaster</i>	1	0	1	1	0	1	1	1	1
		<i>Chaetostoma</i>	<i>aburrense</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		<i>Chaetostoma</i>	<i>brevilabiatum</i>	1	0	0	0	0	0	1	0	0
		<i>Chaetostoma</i>	<i>fischeri</i>	1	0	0	1	1	1	1	1	1
		<i>Chaetostoma</i>	<i>floridablancaense</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0
		<i>Chaetostoma</i>	<i>leucomelas</i>	1	1	0	1	1	1	1	1	0
		<i>Chaetostoma</i>	<i>milesi</i>	1	0	0	1	0	1	1	1	0
		<i>Chaetostoma</i>	<i>thomsoni</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	0
		<i>Cordylancistrus</i>	<i>pijao</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0
		<i>Cordylancistrus</i>	<i>setosus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0
		<i>Cordylancistrus</i>	<i>tayrona</i>	0	1	1	0	0	0	0	0	0
		<i>Dolichancistrus</i>	<i>carnegiei</i>	0	0	0	1	0	1	1	0	0
		<i>Leptoancistrus</i>	<i>cordobensis</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	1
		<i>Panaque</i>	<i>cochliodon</i>	1	0	1	0	1	0	1	1	0
		<i>Hypostomus</i>	<i>honda</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Isoineloricaria</i>	<i>tenuicauda</i>	1	1	1	0	0	0	1	0	0		
<i>Pterygoplichthys</i>	<i>undecimalis</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	0		
<i>Ancistrus</i>	<i>caucanus</i>	0	0	0	1	0	1	0	1	0		
<i>Ancistrus</i>	<i>tolima</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0		

DIVERSIDAD DE PECES

Anexo 1. Continuación

Orden	Familia	Género	Especie	Bajo-Medio Cauca	Cesar	Bajo Magdalena	Sogamoso	Alto Cauca	Medio Magdalena	Alto Magdalena	San Jorge	
Siluriformes	Loricariidae	<i>Ancistrus</i>	<i>vericaucanus</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	
		<i>Lasiancistrus</i>	<i>caucanus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Cetopsidae	<i>Cetopsis</i>	<i>othonops</i>	1	0	0	1	1	1	1	1	0
		<i>Buracocephalus</i>	<i>colombianus</i>	1	1	1	1	0	1	1	0	1
	Aspredimidae	<i>Xylophius</i>	<i>magdalenae</i>	0	0	1	1	0	0	1	1	0
		<i>Dupouyichthys</i>	<i>sapito</i>	1	1	0	1	0	1	1	1	0
		<i>Ageneiosus</i>	<i>pardalis</i>	1	1	1	1	0	1	1	1	1
	Auchenipteridae	<i>Trachelyopterus</i>	<i>insignis</i>	1	1	1	1	0	1	1	1	1
		<i>Centrochir</i>	<i>crocodili</i>	1	1	1	0	0	1	1	1	1
	Ariidae	<i>Notarius</i>	<i>bonillai</i>	0	0	1	0	0	1	1	0	0
		<i>Cetopsorhamdia</i>	<i>boquillae</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	0
	Heptapteridae	<i>Cetopsorhamdia</i>	<i>molinae</i>	1	1	0	1	1	1	1	1	0
		<i>Cetopsorhamdia</i>	<i>nasus</i>	1	0	0	1	1	1	1	1	0
		<i>Imparfinis</i>	<i>nemacheir</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		<i>Imparfinis</i>	<i>timana</i>	0	0	0	0	0	1	1	1	0
		<i>Imparfinis</i>	<i>usmai</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	0
		<i>Pimelodella</i>	<i>floridablancaensis</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		<i>Pimelodella</i>	<i>macrocephala</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	0
		<i>Rhamdia</i>	<i>guatemalensis</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Megalonema</i>		<i>xanthum</i>	1	0	0	1	0	1	1	1	0	
Pimelodidae	<i>Pimelodus</i>	<i>crypticus</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
	<i>Pimelodus</i>	<i>grosskopfii</i>	1	0	1	1	1	1	1	1	1	
	<i>Pimelodus</i>	<i>yuma</i>	0	1	0	0	0	1	1	1	1	



Anexo 1. Continuación

Orden	Familia	Género	Especie	Bajo-Medio Cauca	Cesar	Bajo Magdalena	Sogamoso	Alto Cauca	Medio Magdalena	Alto Magdalena	San Jorge
Siluriformes	Pimelodidae	<i>Pseudoplatystoma</i>	<i>magaleniatum</i>	1	1	1	0	0	1	1	1
		<i>Sorubim</i>	<i>cuspidatus</i>	1	1	1	1	0	1	1	1
Synbranchiformes	Pseudopimelodidae	<i>Pseudopimelodus</i>	<i>attricaudus</i>	1	0	1	0	0	1	0	1
		<i>Pseudopimelodus</i>	<i>magnus</i>	1	0	0	0	1	0	1	0
Cichliformes	Synbranchidae	<i>Synbranchus</i>	<i>marmoratus</i>	1	1	1	1	0	1	1	1
		<i>Geophagus</i>	<i>steindachneri</i>	1	1	1	1	1	1	1	1
	Cichlidae	<i>Andinoacara</i>	<i>latifrons</i>	1	1	1	1	1	1	1	1
		<i>Caquetaia</i>	<i>kraussii</i>	1	1	1	1	1	1	1	1
		<i>Kronoheros</i>	<i>umbifer</i>	1	0	1	1	0	1	1	0
		<i>Rachovia</i>	<i>brevis</i>	0	1	1	0	0	1	1	0
		<i>Rachovia</i>	<i>hummelincki</i>	0	0	1	0	0	0	0	0
		<i>Rachovia</i>	<i>myersi</i>	0	0	1	0	0	0	0	0
	Rivulidae	<i>Rivulus</i>	<i>azurescens</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
		<i>Rivulus</i>	<i>boehlkei</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
Cyprinodontiformes		<i>Rivulus</i>	<i>elegans</i>	1	0	0	0	0	1	0	0
		<i>Rivulus</i>	<i>magalanae</i>	1	1	0	1	1	1	1	1
		<i>Rivulus</i>	<i>pivijay</i>	0	0	1	0	0	1	0	0
		<i>Rivulus</i>	<i>ribesrubrum</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
	Poeciliidae	<i>Rivulus</i>	<i>xi</i>	0	0	0	1	0	1	0	0
		<i>Pratiptichys</i>	<i>caliensis</i>	1	0	0	0	1	1	0	0
incertae sedis	Sciaenidae	<i>Poecilia</i>	<i>caucana</i>	1	1	1	1	1	1	1	1
		<i>Plagioscion</i>	<i>magalanae</i>	1	1	1	1	0	1	0	1

DIVERSIDAD DE PECES

Anexo 2. Especies representativas de la diversidad ictiológica de la cuenca del Magdalena.





Liberum Donum Studios

Anexo 2. Continuación.

Especie endémica (*). Especie con algún grado de amenaza (^). Gymnotiformes: (1) *Eigenmannia camposi*, (2) *Apteronotus eschmeyer*, (3) *Sternopygus aequilabiatus*. Cyprinodontiformes: (4) *Poecilia caucana*, (5) *Rivulus magdalenae**. Synbranchiformes: (6) *Synbranchus marmoratus*. Myliobatiformes: (7) *Potamotrygon magdalenae*^. Cichliformes: (8) *Caquetaia kraussii*, (9) *Geophagus steindachneri*, (10) *Andinoacara latifrons*, (11) *Kronoberos umbrifer*^. Characiformes: (12) *Gasteropelecus maculatus*, (13) *Hoplias malabaricus*, (14) *Ctenopoma bujeta* (15) *Brycon rubricauda**^, (16) *Brycon benni*, (17) *Salminus affinis*^, (18) *Megaleporinus muyscorum*^, (19) *Astyanax* sp., (20) *Gephyrocharax melanocheir*, (21) *Hemibrycon cardalensis**, (22) *Prochilodus magdalenae*^, (23) *Ichthyoelephas longirostris**^, (24) *Cyphocharax magdalenae*. Siluriformes: (25) *Pimelodus yuma*, (26) *Sturisomatichthys leightoni* (27) *Chaetostoma thomsoni** (28) *Rhamdia guatemalensis*, (29) *Ageneiosus pardalis*^, (30) *Pseudopimelodus magnus*, (31) *Trichomycterus* sp., (32) *Trichomycterus mogotensis**, (33) *Trichomycterus banneani**, (34) *Astroblepus onzagaensis**, (35) *Astroblepus grixalvii**. Fotografías: Jorge E. García-Melo, Proyecto Catálogo Visual de Peces de Agua Dulce de Colombia (www.cavfish.unibague.edu.co), utilizando *Photafish System* (García-Melo *et al.* 2019a).



Mercado río Magdalena, Neiva. Foto: Carlos A. Lasso.



3. DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA GENÉTICA DE LOS PECES DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA, COLOMBIA

Edna J. Márquez Fernández, Natalia Restrepo-Escobar,
 Any J. Yepes-Acevedo y Juan C. Narváez-Barandica

Resumen

El conocimiento de la diversidad genética y la estructura poblacional son fundamentales para mejorar el manejo y conservación de los peces. La cuenca del Magdalena se destaca por una alta riqueza íctica que se aprovecha como recurso pesquero y acuícola, la cual contrasta con la cantidad de estudios de genética poblacional de su ictiofauna. Una revisión permitió identificar estudios genético-poblacionales en 14 especies nativas y dos exóticas, y en la última década, el desarrollo de loci microsatélites publicados para 13 de 17 especies. En general, la diversidad genética es alta para los “stocks” naturales de especies de interés pesquero; sin embargo, los coeficientes de endogamia también son altos en el bocachico (*Prochilodus magdalenae*); el capaz (*Pimelodus grosskopfii*) y el barbudo (*Pimelodus yuma*). La mayoría de

las especies de peces muestran flujo génico de uno o varios grupos genéticos que cohabitan en la misma área, excepto en algunos casos donde exhiben estructura genética a escalas geográficas locales (la sabaleta, *Brycon henni*) o regionales (*B. henni*, *P. grosskopfii* y *P. yuma*). Además, se desconocen los impactos ecológicos, genéticos y sanitarios de los repoblamientos y la introducción de especies exóticas en la ictiofauna nativa. La falta de datos históricos no permite evidenciar la pérdida de diversidad genética; y la ausencia de marcadores moleculares o inconsistencia en su uso, limitan las comparaciones entre los pocos estudios genéticos poblacionales publicados. Se discute la relevancia de continuar el desarrollo de loci de microsatélites específicos para las especies, principalmente las de mayor interés en las pesquerías y desarrollo acuícola. Esto puede brindar una

Márquez, E., Restrepo-Escobar, N., Yepes-Acevedo, A.J. & Narváez, J. C. 2020. Diversidad y estructura genética de los peces de la cuenca del Magdalena, Colombia. En: Jiménez-Segura, L. & C. A. Lasso (Eds.). XIX. *Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible*. Pp: 115-157. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. DOI: 10.21068/B2020RRHHXIX03

DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA GENÉTICA

oportunidad a corto plazo para evaluar el estado general de las especies de peces a una escala nacional y la pertinencia de replantear los programas de repoblamiento.

Palabras clave. Characiformes, endogamia, genética poblacional, marcadores moleculares, Siluriformes.

Abstract

Knowledge of genetic diversity and population structure are essential to improve the management and conservation of fish stocks. The Magdalena-Cauca River basin stands out for its high fish species richness and abundance used both as a fishery and an aquaculture resource, which contrasts with the number of population genetic studies of its ichthyofauna. Our review found population-genetics studies for 14 native and two exotic commercial species, and microsatellite loci have been published for 13 of 17 species. In general, the genetic diversity of fish is high for the “natural stocks” of species of fishing interest, however, the inbreeding coefficients are high in some species such as the bocachico *Prochilodus magdalenae*, the capaz *Pimelodus grosskopfii* and the barbudo *Pimelodus yuma*. Most fish species show gene flow from one or more genetic groups that coexist in the same area, except in some cases where they exhibit genetic structure at the local (sabaleta, *Brycon henni*) or regional level (*B. henni*, *P. grosskopfii* and *P. yuma*). In addition, the ecological, genetic and health impacts of the fish stock repopulations and the introduction of exotic and/or transplanted species in the native ichthyofauna are unknown. The lack of historical data does not allow analysis of the possible loss of genetic diversity and the absence of molecular markers or inconsistency in their use limits the comparisons between the few

population genetic studies published. The need for continuing the development of specific microsatellite loci for species of greatest interest in fisheries and aquaculture development is discussed. This would provide a short-term opportunity to assess the general status of fish species on a national scale and the need for rethinking stocking programs.

Keywords. Characiformes, molecular markers, population genetics, Siluriformes.

Introducción

La cuenca del Magdalena alberga 233 especies de peces dulceacuícolas (García-Alzate *et al.* 2020); riqueza íctica que contrasta con la disponibilidad de información genética para valorar el estado de sus poblaciones y la comprensión de procesos evolutivos y ecológicos. Es claro que, en las recientes décadas, la genética ha jugado un papel importante en los estudios de filogenética de grupos, el descubrimiento de nuevas especies, la detección de la vulnerabilidad de las especies a cambios en su hábitat y temas asociados con el impacto de la pesca sobre las poblaciones de los peces (Ovenden *et al.* 2015). En ictiología, las aplicaciones de genética poblacional incluyen mapeo genético e identificación de genes para susceptibilidad a enfermedades, tamizaje poblacional para portadores de enfermedades genéticas, análisis de varios genes que especifican rasgos cuantitativos (QTL), diversidad genética y estructura poblacional. Esta información es utilizada para el manejo pesquero, requerimientos de trazabilidad en el mercado de peces y productos ícticos (Salinas *et al.* 2014), identificación de especies crípticas (Ríos *et al.* 2017), programas de reproducción (Hashimoto *et al.* 2010, 2011), identificación de escapes en acuicultura (Bignotto *et al.* 2009, Prado



IAvH

et al. 2012, 2017) y reforzamiento/repoblamiento de poblaciones naturales (Cardoso de Carvalho *et al.* 2013, Casey *et al.* 2016, Dantas *et al.* 2013, Ovenden *et al.* 2015).

La variación genética dentro de las poblaciones y especies se puede analizar a nivel de proteínas y ADN, utilizando aproximaciones con diferentes niveles de resolución. Una visión general de las diferentes aproximaciones utilizadas en peces se condensa

en la Anexo 1, aun cuando la tendencia actual enfoca los esfuerzos hacia análisis del proteoma y del genoma (Bishop *et al.* 2018, Kumar y Kocour 2017). Además, se incluye una comparación entre los dos marcadores más empleados actualmente para el análisis genético de poblaciones (Tabla 1). El desarrollo de ambos tipos de marcadores incluye actualmente la implementación de técnicas de secuenciación genómica y variantes tales como RADSeq, ddRADSeq, DARtseq y GBS.

Tabla 1. Comparación de dos herramientas codominantes vigentes en el análisis genético de poblaciones.

Criterio	SNPs	Microsatélites	Referencias
Nivel de polimorfismo por <i>locus</i>	Bajo (bi-alélico, baja tasa de mutación)	Alto (multialélico, altas tasas de mutación)	Abdul-Muneer (2014) Haasl y Payseur (2011) Putman y Carbone (2014) Zimmerman <i>et al.</i> (2020)
Poder informativo	Menor por su nivel de polimorfismo	Alto por su alto nivel de polimorfismo	Abdul-Muneer (2014) Haasl y Payseur (2011) Putman y Carbone (2014)
Número de <i>loci</i> requerido por análisis	Muchos	Pocos	Bester-Van Der Merwe <i>et al.</i> (2013) Fernández <i>et al.</i> (2013) Fischer <i>et al.</i> (2017) Haasl y Payseur (2011) Hess <i>et al.</i> (2011) Kaiser <i>et al.</i> (2017) Prado <i>et al.</i> (2017) Vignal <i>et al.</i> (2002)
Diversidad	Puede subestimarse por mutación y corrección de lectura del genoma	Es preferido para estimar diversidad	Fischer <i>et al.</i> (2017) Haasl y Payseur (2011) Putman y Carbone (2014)
Análisis filogenómico, estudios demográficos y linajes	Apropiado por su tasa de mutación	No recomendado dada su alta tasa mutacional	Morin <i>et al.</i> (2012)
Tiempos de divergencia	Poca posibilidad para detectar cambios recientes	Alta probabilidad de detectar cambios recientes	Haasl y Payseur (2011) Putman y Carbone (2014)

DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA GENÉTICA

Tabla 1. Continuación

criterio	SNPs	Microsatélites	Referencias
Calidad de la muestra	Requiere grandes cantidades de DNA de buena calidad	Se tolera DNA de baja calidad y cantidad	Andrews <i>et al.</i> (2016) Graham <i>et al.</i> (2015) Morin <i>et al.</i> (2012) Toonen <i>et al.</i> (2013)
Automatización	Alta	Puede haber problemas para asignación del alelo verdadero	Guichoux <i>et al.</i> (2011)
Tiempo para generar datos	Rápido	Requiere desarrollo de marcadores especie-específicos	Ekblom y Galindo (2011) Guichoux <i>et al.</i> (2011) Hernández <i>et al.</i> (2015)
Asignación de alelos	Precisa	Puede presentar problemas	Guichoux <i>et al.</i> (2011) Oosterhout <i>et al.</i> (2004)
<i>Loci</i> heterólogos	N/A	Preferible especie-específicos	Barbará <i>et al.</i> (2007) Fischer <i>et al.</i> (2017) Primmer <i>et al.</i> (2005) Yue <i>et al.</i> (2010)
Costo	Altos (NGS)	Bajos	Ekblom y Galindo (2011) Guichoux <i>et al.</i> (2011) Lemopoulos <i>et al.</i> (2019)
Alta capacidad computacional para análisis y almacenamiento de información	Requerida	No requerida	Laoun <i>et al.</i> (2020)
Aceptación	Requiere validación	Alta incluso en especies no modelo	Abdul-Muneer (2014) Bester-Van Der Merwe <i>et al.</i> (2013) Dann <i>et al.</i> (2013) Guichoux <i>et al.</i> (2011) Haasl y Payseur (2011) Hess <i>et al.</i> (2011) Putman y Carbone (2014) Sunde <i>et al.</i> (2020)

Los estudios genético-poblacionales en la cuenca del Magdalena y en el resto de cuencas colombianas son fraccionados, se centran en especies de interés pesquero (Figura 1), y a la fecha se desconoce la distribución de la diversidad y estructura genética para la mayoría de las especies. De hecho, la producción bibliográfica en el área está representa-

da por 34 trabajos, y varios de los esfuerzos que permanecen como literatura gris, en su mayoría no están accesibles al público en general. Este escaso conocimiento de la diversidad genética, la demografía y la estructura poblacional de nuestra fauna íctica limita la selección e implementación de medidas efectivas para su manejo y protección.



IAvH

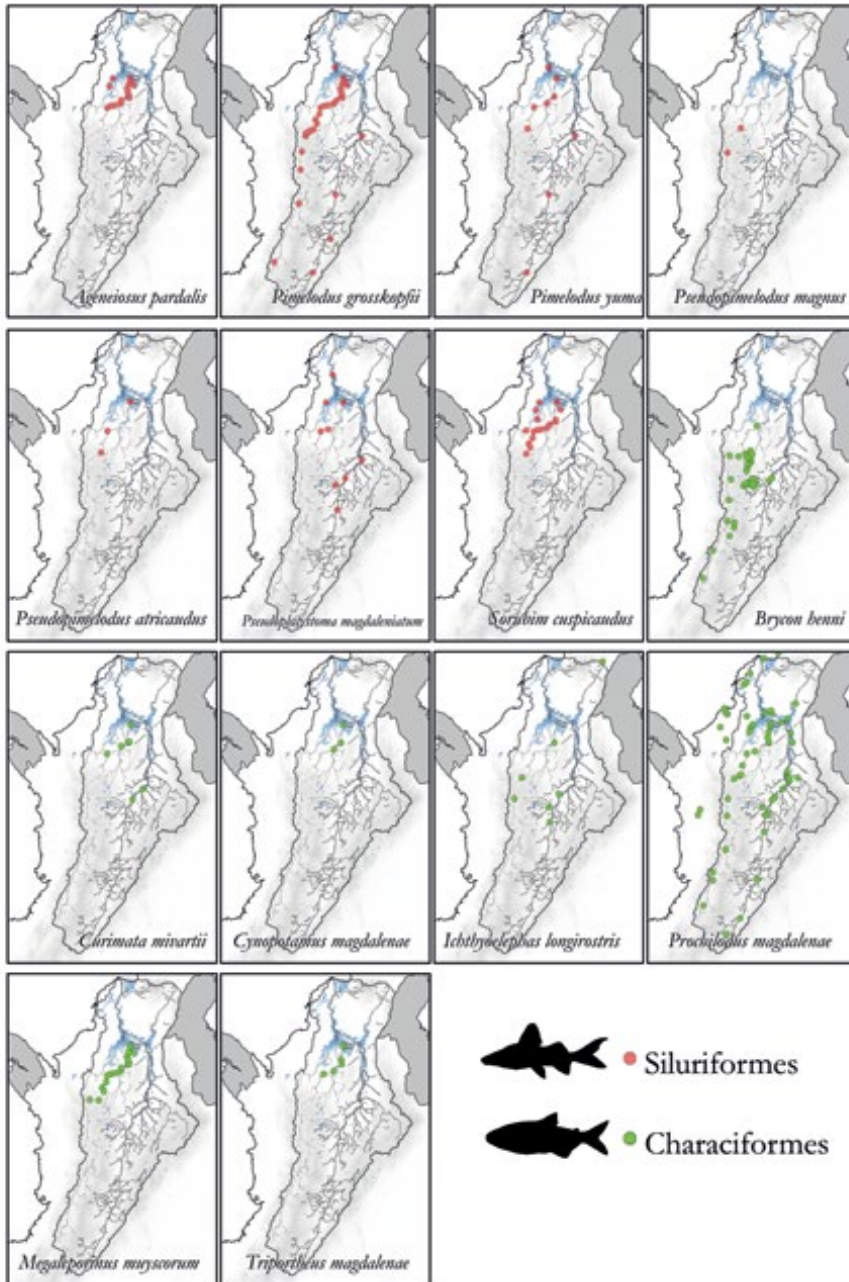


Figura 1. Distribución de las poblaciones incluidas en estudios genético-poblacionales con énfasis en la cuenca del Magdalena. Mapa: Juliana Herrera Pérez.

DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA GENÉTICA

En este capítulo se revisan los estudios genético-poblacionales de especies ícticas disponibles, con énfasis en la cuenca del Magdalena. En la primera parte se incluyen los conceptos básicos para el entendimiento de aspectos de la genética de poblaciones, se proporciona un resumen práctico de las herramientas utilizadas para los análisis realizados y luego se provee información relacionada con la diversidad y estructura genética que se encuentra en literatura gris o publicada.

Conceptos básicos de utilidad

La genética es la rama de la biología que estudia la herencia de los caracteres que pasan de generación en generación. Tales caracteres están especificados por genes, segmentos de ADN que codifican productos funcionales y que pueden exhibir variaciones (alelos) entre individuos y poblaciones (ver revisión de Gerstein *et al.* 2007). El conjunto de alelos de todos los genes encontrados en una población que se cruza libremente se conoce como el acervo genético de la población. La variación de alelos y genotipos del acervo genético y la manera como esta variación cambia de una generación a la siguiente, es objeto de estudio de la genética de poblaciones, una de las ramas de la genética que estudia el cambio de las frecuencias alélicas de las poblaciones de organismos en el espacio y en el tiempo.

En las poblaciones naturales, la diversidad genética y la composición del acervo genético de una población puede cambiar con el tiempo debido a factores tales como mutaciones, deriva genética, tamaño de la población, cuello de botella, efecto fundador, selección natural, migración (flujo génico) y patrones de apareamientos no aleatorios (tipo de reproducción, selección sexual/apareamiento asociativo,

endogamia). Aun cuando la mutación es la fuente principal de nuevos alelos en un grupo de genes, los otros factores actúan para aumentar o disminuir su frecuencia en la población.

La deriva genética ocurre como resultado de fluctuaciones aleatorias en la transferencia de alelos de una generación a la siguiente, especialmente en poblaciones pequeñas formadas, por ejemplo, como resultado de condiciones ambientales adversas (efecto de cuello de botella) o la separación geográfica de un subconjunto de la población (efecto fundador). El resultado de la deriva genética tiende a reducir la variación genética dentro de la población y a aumentar la divergencia entre poblaciones. Si dos poblaciones de una especie determinada se diferencian genéticamente al punto de perder la capacidad de cruzarse, se consideran especies nuevas (especiación).

En muchos casos, los efectos de la selección natural (Freeland 2020) en un alelo dado son direccionales dado que favorecen un fenotipo (expresión del genotipo) extremo. El alelo confiere una ventaja selectiva y se extiende por todo el conjunto de genes (selección direccional positiva), o confiere una desventaja selectiva y desaparece de él (selección direccional negativa, selección purificadora). Otro tipo de selección favorece el fenotipo intermedio y su genotipo asociado, reduciendo la frecuencia de fenotipos extremos (selección estabilizadora). En otros casos, sin embargo, la selección favorece dos o más fenotipos a expensas del intermedio (selección disruptiva) o mantiene la diversidad porque selecciona alelos particulares a favor o en contra de acuerdo con algunas situaciones (selección balanceadora), lo que puede conferir



IAvH

ventajas al heterocigoto (en inglés, *overdominance*) o a la frecuencia de un genotipo en la población (selección dependiente de la frecuencia o en inglés, *frequency-dependent selection*) (Freeland 2020).

El flujo génico se refiere a la transferencia de genes de una población a otra y puede ser medido mediante pruebas indirectas utilizando los estimadores para medir diferenciación genética entre poblaciones o subdivisión poblacional tales como distancias genéticas (Nei 1972, 1978) y estimadores F_{ST} (Wright 1951) y/o sus análogos

F'_{ST} , ϕ_{ST} (Excoffier *et al.* 1992), G_{ST} (Nei 1973), D' est de Jost (Jost 2008, Meirmans y Hedrick 2011), entre otros. Cuando estos valores son significativos y diferentes de cero, hay diferencias entre las poblaciones evaluadas; en caso contrario se infiere que hay flujo génico. También se pueden utilizar pruebas de asignación basados en métodos Bayesianos como las disponibles en el programa STRUCTURE (Pritchard *et al.* 2000), las cuales asignan individuos a su población de origen más probable comparando sus genotipos con los perfiles genéticos de diversas poblaciones (Figura 2).

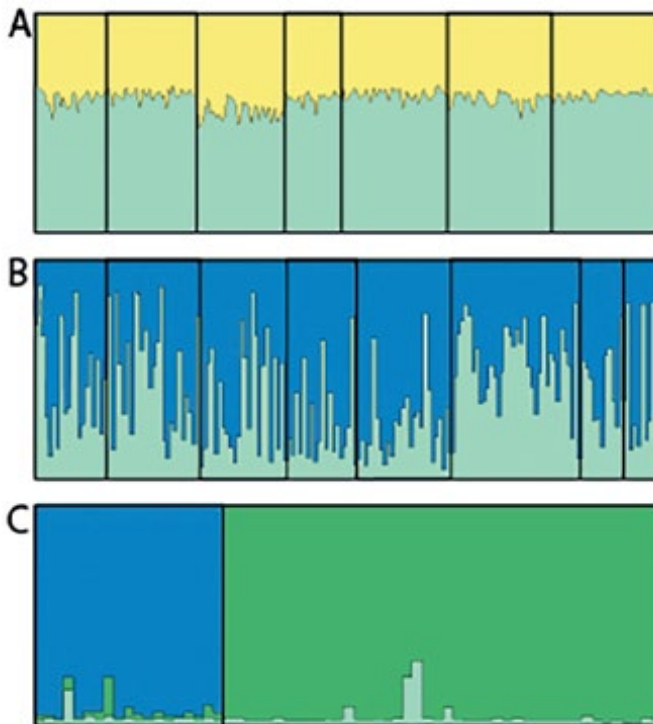


Figura 2. Gráficos basados en pruebas de asignación que muestran diferente número probable de poblaciones: una población (A) Landínez-García y Márquez (2018), coexistencia de grupos genéticos; (B) Restrepo-Escobar *et al.* (aceptado) y estructura geográfica; (C) Landínez-García y Márquez (2020).

DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA GENÉTICA

Herramientas moleculares desarrolladas para las especies de la cuenca del Magdalena

A la fecha, se han desarrollado cebadores especie-específicos para amplificar *loci* microsatélites en 17 especies de interés pesquero de la cuenca del Magdalena, de las cuales 13 se han publicado o están en proceso de publicación (Tabla 2). La importancia de estos avances radica en que el uso de los cebadores desarrollados en una especie para amplificar *loci* microsatélites en otras especies filogenéticamente distantes (cebadores heterólogos), pueden presentar amplificación fallida, niveles más bajos de polimorfismo, tamaños similares para diferentes alelos (homoplasia), fallas en la unión de los cebadores a las secuencias blanco en algunos genotipos (alelos nulos), motivos de repetición interrumpidos e

incluso la amplificación de *loci* no ortólogos (Barbará *et al.* 2007, Primmer *et al.* 2005, Rutkowski *et al.* 2009, Yue *et al.* 2010). Considerando estas limitaciones, hay que tener precaución en la interpretación de resultados basados en cebadores heterólogos para evitar subestimar la diversidad de la especie evaluada por limitaciones propias de la herramienta utilizada. Por ejemplo, la evaluación de las mismas poblaciones con cebadores heterólogos (Arrieta-Echeverry 2014, Julio-Gaviria, 2013, Orozco -Berdugo y Narváez-Barandica, 2014) y homólogos o específicos de especie (Landínez-García *et al.* 2020), evidencia una subestimación de la heterocigosidad observada y, en consecuencia, una sobreestimación del índice de endogamia, cuando se emplean marcadores heterólogos (Figura 3).

Tabla 2. Microsatélites diseñados para las especies de peces de la cuenca del Magdalena. Na: Número de alelos/*locus*; Ho: Heterocigosidad observada; He: Heterocigosidad esperada; PIC: Contenido de información polimórfica, C: motivo de repetición compuesto, EP: Análisis en proceso, NC: Valor no calculado.

Especie	Número de loci	Tipo de repetición					Na	Ho	He	PIC	Referencia
		2	3	4	5	C					
<i>Brycon henni</i>	21	-	4	10	7	-	3 – 10	0.461 – 0.645	0.604 – 0.662	0.383 – 0.817	Landínez-García y Márquez (2020)
<i>Brycon moorei</i>	15	-	-	13	2	-	EP	EP	EP	EP	Sin publicar
<i>Curimata mivartii</i>	27	-	15	8	4	-	6 – 23	0.734 – 0.773	0.793 – 0.810	0.549 – 0.946	Landínez-García y Márquez (2018)
<i>Cynopotamus magdalenae</i>	20	-	11	5	4	-	4 – 18	0.766 – 0.768	0.770 – 0.770	0.551 – 0.907	Landínez-García y Márquez (sometido)
<i>Grundulus bogotensis</i>	30	2	6	21	1	-	EP	EP	EP	EP	Sin publicar
<i>Hoplias malabaricus</i>	14	5	3	6	-	-	1 – 3	0.000 – 0.170	0.136 – 0.505	NC	Gondim <i>et al.</i> (2010)
<i>Ichthyoelephas longirostris</i>	24	-	3	17	4	-	4 – 18	0.250 – 0.857	0.401 – 0.935	0.375 – 0.871	Landínez-García y Márquez (2016)



IAvH

Tabla 2. Continuación

Especie	Número de loci	Tipo de repetición					Na	Ho	He	PIC	Referencia
		2	3	4	5	C					
<i>Megaleporinus muyscorum</i>	22	-	7	7	8	-	5 – 19	0.414 – 0.929	0.468 – 0.906	0.503 – 0.953	Yepes-Acevedo y Márquez (sometido)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	21	-	5	14	2	-	11 – 37	0.257 – 0.830	0.430 – 0.956	0.399 – 0.949	Landínez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Salminus affinis</i>	9	-	2	6	1	-	EP	EP	EP	EP	Sin publicar
<i>Triportheus magdalenae</i>	14	-	3	8	3	-	EP	EP	EP	EP	Sin publicar
<i>Ageneiosus pardalis</i>	21	-	3	12	6	-	7 – 15	0.320 – 0.920	0.622 – 0.910	0.601 – 0.903	Restrepo-Escobar y Márquez (2020)
<i>Pimelodus grosskopfii</i>	10	1	-	2	1	6	3 – 16	0.650 – 0.943	0.600 – 0.867	NC	Hernández-Escobar <i>et al.</i> (2010)
<i>Pimelodus grosskopfii</i>	18	-	1	15	2	-	9 – 30	0.340 – 0.920	0.771 – 0.948	0.748 – 0.946	Restrepo-Escobar y Márquez (2020)
<i>Pimelodus yuma</i>	14	-	3	7	4	-	8 – 23	0.375 – 0.938	0.536 – 0.955	0.505 – 0.937	Joya <i>et al.</i> (2021)
<i>Pseudopimelodus atricaudus</i>	13	-	-	9	4	-	4 – 18	0.412 – 1.000	0.367 – 0.925	0.525 – 0.892	Rangel-Medrano y Márquez (2021)
<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>	25	-	-	21	4	-	2 – 20	0.281 – 0.909	0.493 – 0.881	0.473 – 0.890	García-Castro <i>et al.</i> (aceptado)
<i>Sorubim cuspicaudus</i>	24	-	7	10	7	-	5 – 14	0.300 – 0.940	0.419 – 0.887	0.383 – 0.876	Restrepo-Escobar y Márquez (2020)

Los genomas mitocondriales de especies colombianas se han descrito y anotado en bases de datos especializadas como GenBank (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>) o MitoFish (Iwasaki *et al.* 2013). Allí se alberga el genoma mitocondrial completo de 50 especies de peces colombianos, de los cuales 12 pertenecen a especies que habitan en la cuenca del Magdalena: *Ageneiosus pardalis* (Acceso GenBank KM983421; NC_026717); *Braichyhypopomus occidentalis* (Acceso GenBank AP011570; NC_015078); *Brycon henni* (Acceso GenBank KP027535; NC_026873); *Curimata mivartii* (Acceso Gen-

Bank KP025764; NC_025951); *Eigenmannia humboldtii* (Acceso GenBank MH263668); *Geophagus steindachneri* (Acceso GenBank KR150866; NC_033545); *Grundulus bogotensis* (Acceso GenBank KM677190; NC_026195); *Ichthyoelephas longirostris* (Acceso GenBank KP025763; NC_025950); *Megaleporinus muyscorum* (Acceso GenBank MH286914); *Potamotrygon magdalenae* (Acceso GenBank KX151183; NC_036041); *Pseudoplatystoma magdaleniatum* (Acceso GenBank KP090204; NC_026526) y *Sorubim cuspicaudus* (Acceso GenBank KP090205; NC_026211).

DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA GENÉTICA

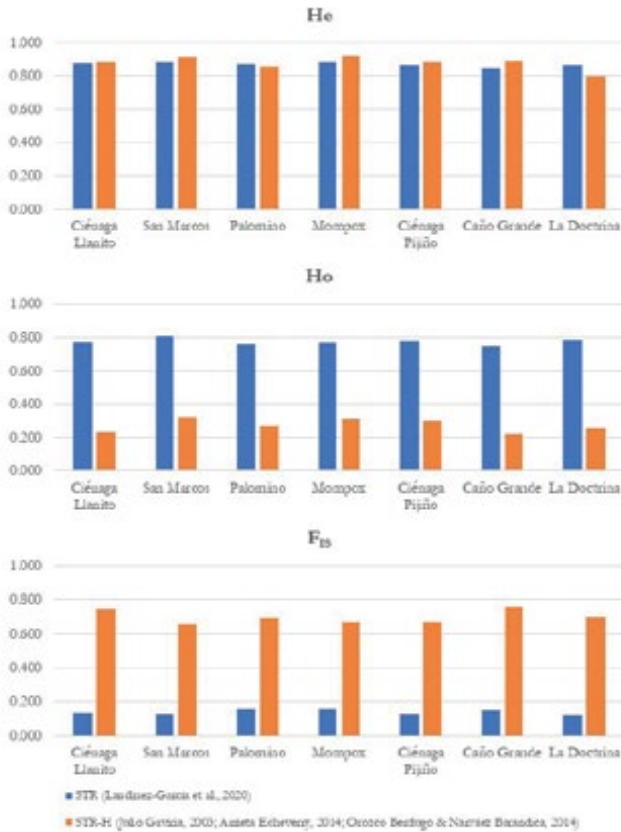


Figura 3. Comparación de los estimadores de diversidad genética en el bocachico (*Prochilodus magdalanae*) evaluados mediante cebadores especie-específicos y heterólogos (diseñados en *Prochilodus lineatus*). Ho: Heterocigosidad observada; He: Heterocigosidad esperada; F_{IS} : Índice de endogamia, STR: loci microsatélites amplificados con cebadores especie-específicos, STR-H: loci microsatélite amplificados con cebadores heterólogos.

Diversidad genética de los peces en la cuenca del Magdalena

A diferencia de los análisis biogeográficos y filogenéticos de especies ícticas (García-Alzate *et al.* 2020), los estudios sobre genética de poblaciones son escasos y se enfocan principalmente en especies de interés pesquero. Particularmente, se encuentran 27 estudios que describen la diversidad de

16 especies (Anexo 2). En términos generales, las especies estudiadas en la cuenca del Magdalena presentan valores promedios de heterocigosidad esperada (He) iguales o superiores a los descritos para las especies neotropicales (Siluriformes: $0,609 \pm 0,21$; Characiformes: $0,657 \pm 0,16$ ver Hilsdorf y Hallerman 2017), lo cual indica que sus poblaciones presentan alta diversidad genética.



IAvH

A pesar de esta gran diversidad, trabajos empleando cebadores especie-específicos para amplificar *loci* microsatélites han mostrado que algunas poblaciones naturales de la vizcaína (*Curimata mivartii*, ciénaga las Culebras), el moncholo (*Hoplias malabaricus*, ríos San Jorge y Sinú), el bocachico (*Prochilodus magdalenae*, ríos Nare, Cauca y Magdalena, San Jorge, Cesar), el capaz (*Pimelodus grosskopfii*, río Cauca cuenca media y baja), el nicuro (*Pimelodus yuma*, río Cauca cuenca baja) y el bagre sapo (*Pseudopimelodus magnus*, río Cauca cuenca baja), presentan índices significativos de endogamia por encima del 10%, lo que sugiere susceptibilidad a la pérdida de la eficacia biológica (Soulé 1980). Además, niveles de endogamia menores del 10% en la vizcaína (*Curimata mivartii*) el jetudo (*Ichthyoelephas longirostris*), el comelón (*Megaleporinus muyscorum*), la doncella (*Ageneiosus pardalis*) y el blanquillo (*Sorubim cuspicaudus*), sugieren hacer seguimiento de sus poblaciones para evitar afectaciones potenciales en su eficacia biológica (Frankham *et al.* 2014). Por otro lado, los altos valores en los índices de endogamia observados para sabaleta (*Brycon henni*) en río Chinchiná, Ríofrío, río Risaralda, río Campo Alegre), y el bocachico (*Prochilodus magdalenae* en los ríos Nare, Cauca y Magdalena, San Jorge, Cesar) pueden ser resultado del uso de cebadores heterólogos.

Los estudios genéticos también han evidenciado poblaciones con alta diversidad genética y sin signos de endogamia en *P. magdaleniatum* (ríos Cauca y Magdalena), *S. cuspicaudus* (río Cauca), *B. henni* (ríos Ituango y Espíritu Santo), el chango (*Cynopotamus magdalenae*) y el bagre sapo (*Pseudopimelodus atricaudus* en río Cauca; secciones S5, S6/S8). Estos resultados sugieren un alto potencial genético para enfrentar las afectaciones antropogénicas de las zonas estudiadas.

Estructura poblacional de los peces en la cuenca del Magdalena

Los 26 estudios sobre estructura poblacional realizados a la fecha incluyen 14 especies (Anexo 3), de las cuales la más estudiada es *Prochilodus magdalenae* (7), seguida de *Brycon henni* (4), *Pseudoplatystoma magdaleniatum* (3), *Ageneiosus pardalis* (2), *Sorubim cuspicaudus* (2), *Pimelodus grosskopfii* (2), *Pimelodus yuma* (2), *Ichthyoelephas longirostris* (2), *Megaleporinus muyscorum* (1), *Curimata mivartii* (1), *Cynopotamus magdalenae* (1), *Hoplias malabaricus* (1), *Pseudopimelodus atricaudus* (1) y *Pseudopimelodus magnus* (1).

Las evidencias de flujo génico se han encontrado en *Ageneiosus pardalis*, *Curimata mivartii*, *Cynopotamus magdalenae*, *Megaleporinus muyscorum*, *Pseudopimelodus atricaudus*, *Pseudopimelodus magnus*, *Pseudoplatystoma magdaleniatum* y *Sorubim cuspicaudus*, especies que conforman un solo grupo genético que se distribuye a lo largo de la cuenca media y baja del río Cauca (García-Castro *et al.* 2021, Landínez-García y Márquez aceptado, Rangel-Medrano y Márquez 2021, Restrepo-Escobar *et al.* aceptado, Yepes-Acevedo y Márquez sometido).

En contraste, *B. henni* exhibe una estructura geográfica muy marcada, la cual puede ser explicada por características comportamentales de la especie, tipo de migración lateral hacia tributarios de cuencas principales y preferencia de un hábitat de aguas claras y oxigenadas (Hurtado-Alarcón *et al.* 2011, Landínez-García y Márquez 2020, Muñoz *et al.* 2019). La presencia de barreras geográficas naturales, además de la preferencia del hábitat, también pueden explicar la estructura genética observada en *Ichthyoelephas longirostris* (Landínez-García y Márquez 2016, Perdomo-Aguirre *et al.* 2014).

DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA GENÉTICA

De manera similar, las barreras naturales como la amplia zona de inundación en el bajo Cauca, el cambio de pendiente entre los poblados de Cáceres y La Virginia; las amplias escalas geográficas y los eventos climáticos extremos podrían explicar las altas diferencias genéticas encontradas en *Pimelodus grosskopfii* y *Pimelodus yuma* (= *Pimelodus clarias*) en varios sectores de los ríos Cauca y Magdalena (Villa-Navarro 2002). Incluso barreras artificiales como los embalses del río Magdalena parecen limitar el flujo génico de *P. grosskopfii* (Betania y Prado; Villa-Navarro 2002), *P. yuma* (Betania; Villa-Navarro 2002) y *P. magdalenae* (Betania; Fontalvo *et al.* 2018), en sectores circunvecinos.

La presencia de barreras naturales y artificiales y los efectos de la contaminación también se han propuesto como causas de las diferencias genéticas encontradas entre las poblaciones de *S. cuspidatus* (Cabarcas y Burbano 2008) y *P. magdalenae* (Hernández-H. *et al.* 2017) en el río San Jorge, al igual que en *P. magdalenae* en tres sitios del alto Cauca (La Balsa, Riofrío y La Virginia) (López-Macías *et al.* 2009). Actividades antrópicas como repoblamientos y la sobrepesca pueden contribuir a la subestructuración observada en *P. magdalenae* en la cuenca media y baja del río Magdalena (Julio-Gaviria 2013).

Trabajos posteriores evidenciaron la presencia de grupos genéticos de *P. magdalenae* que coexisten a lo largo de la cuenca del Magdalena (Arrieta-Echeverry 2014, Fontalvo *et al.* 2018, Landínez-García *et al.* 2020, Orozco-Verdugo y Narváez-Barandica 2014). En ausencia de estructuración geográfica, la proporción desigual de los grupos pueden explicar las diferencias genéticas entre los sitios examinados. Igualmente, *P. grosskopfii* (Restrepo-Escobar *et al.*,

aceptado) y *P. yuma* (Joya *et al.* 2021), exhiben grupos genéticos que coexisten en la cuenca media y baja del río Cauca, aun cuando en estos casos, las proporciones iguales de cada grupo reflejan similitudes genéticas entre sitios.

La coexistencia de grupos genéticos puede ser explicada por un aislamiento reproductivo espacial o temporal. La preferencia de los sitios reproductivos (*homing*) no se ha descrito en las especies que habitan la cuenca del Magdalena, aun cuando este comportamiento se ha sugerido para otras especies neotropicales (Abreu *et al.*, 2009, Batista y Alves-Gomes 2006, Dantas *et al.*, 2013, Hatanaka *et al.*, 2006, Hatanaka y Galetti Jr. 2003; Pereira *et al.*, 2009). La explicación del aislamiento reproductivo temporal se basa en el comportamiento hidrológico bimodal de la cuenca y la presencia de varios picos reproductivos de las especies (Jiménez-Segura *et al.* 2010, López-Casas *et al.* 2016, Orozco-Berdugo y Narváez-Barandica 2014); como se ha descrito para la especie neotropical *Prochilodus lineatus* (Rueda *et al.* 2013). Ambas explicaciones ameritan trabajos futuros para dilucidar las causas probables de estos patrones de estructuración genética.

Papel de la acuicultura en la diversidad y la estructura genética

La acuicultura ha jugado un papel significativo en las últimas cinco décadas en la diversidad genética de las poblaciones naturales de peces, debido al desarrollo de nuevos paquetes de cultivo de peces nativos en Colombia (Atencio 2001). Uno de los mayores logros fue el cultivo de *P. magdalenae* y dorada, *B. moorei* (Atencio *et al.* 2003, Atencio *et al.* 2006, Solano 1973), que trajo consigo el fomento de sus cultivos en el sector rural. Adicionalmente,



IAvH

debido al descenso de sus capturas en las cuencas de los ríos Magdalena-Cauca y Sinú, se consideró que el repoblamiento de los ambientes naturales con individuos de bocachico y doradas provenientes de cultivos, podrían aumentar sus abundancias en estas cuencas. Esta práctica, demandada principalmente por los entes territoriales, las corporaciones autónomas y las empresas privadas como estrategia de compensación, promovió en la acuicultura nacional el establecimiento de un nuevo renglón dentro de la economía del sector: producir individuos para repoblar. En Colombia, el repoblamiento de bocachico se ha realizado por largo tiempo y generalmente sin criterios técnicos y científicos, promoviendo la translocación de peces entre cuencas sin contar con la valoración genética de los reproductores que se utilizan para la producción de la semilla (Heffernan 2009).

A partir de 2010 se realizaron investigaciones para determinar la diversidad genética de reproductores de *P. magdalanae* de varias estaciones piscícolas que hacen repoblamientos en las cuencas Magdalena-Cauca y Sinú (Narváez-Barandica *et al.*, 2015). Estos estudios analizaron 1139 reproductores de siete estaciones piscícolas empleando entre 6 a 7 *loci* microsatélites heterólogos de *Prochilodus lineatus*. Los resultados indicaron de manera general una diversidad genética baja, altos niveles de endogamia y desviación del equilibrio Hardy-Weinberg, productos de un déficit de heterocigotos. Además, los niveles de endogamia de las poblaciones naturales en la cuenca del Magdalena encontrados en diferentes trabajos son inferiores a los encontrados en individuos provenientes de las piscícolas (Anexo 2), lo cual debe ser considerado en la toma de decisiones sobre potenciales repoblamientos como lo establecen las normas 0002838 del 28 de diciembre de

2017 y 00000417 del 7 de marzo de 2019 de la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca, AUNAP.

Otros estudios en piscícolas que evaluaron la diversidad genética de especies exóticas del género *Oreochromis*, encontraron niveles de diversidad genética superiores (excepto en Narváez-Barandica, 2006 y Torres Jaramillo *et al.* 2010), al valor promedio descrito para Perciformes neotropicales ($0,530 \pm 0,08$ ver Hilsdorf y Hallerman 2017). No obstante, los valores de endogamia superaron el 10% en varias piscícolas de Atlántico, Magdalena, Huila, Meta, Risaralda y Valle del Cauca (Narváez-Barandica 2006, Briñez *et al.* 2011), mientras que fueron menores en otras piscícolas de Antioquia (Montoya-López *et al.* 2019).

Con respecto a las especies exóticas en el medio natural, sólo hay un estudio genético-poblacional con *O. niloticus* que se desarrolló en las cuencas del Magdalena y Sinú (Narváez-Barandica 2006). Se describió que los niveles de diversidad genética fueron bajos y el análisis de estructuración genética permitió identificar tres linajes genéticos co-distribuidos entre los seis cuerpos de agua estudiados. También se observaron valores de endogamia superiores al 10% (Anexo 2). Adicionalmente, el análisis de relaciones genéticas permitió inferir que el origen de esas poblaciones fueron los programas de repoblamientos que se organizaron desde los centros piscícolas oficiales y privados del norte del país.

Conclusiones

En Colombia y en particular en la cuenca del Magdalena, los estudios sobre la diversidad y la estructura genética de especies icticas nativas son relativamente pocos y se han concentrado en especies de interés pesquero: *Prochilodus magdalanae*,

DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA GENÉTICA

Pseudoplatystoma magdaleniatum, *Ageneiosus pardalis*, *Sorubim cuspicaudus*, *Pimelodus grosskopfii*, *Pimelodus yuma*, *Ichthyoelephas longirostris*, *Brycon henni*, *Megaleporinus muyscorum*, *Curimata mivartii*, *Cynopotamus magdalenae*, *Hoplias malabaricus*, *Pseudopimelodus atricaudus*, *Pseudopimelodus magnus*, *Oreochromis niloticus* y *Oreochromis* “híbrido rojo”.

A pesar de las condiciones ambientales de la cuenca del Magdalena, las 16 especies estudiadas hasta ahora exhiben alta diversidad genética, aun cuando se observa un déficit generalizado de heterocigotos en *P. magdalenae*, *P. grosskopfii* y *P. yuma*. Este déficit puede explicarse de manera no excluyente por varias alternativas que incluyen limitaciones técnicas de la herramienta utilizada (posibles alelos nulos), la coexistencia de varios grupos genéticos en los sitios analizados (efecto Wahlund), y valores de endogamia (F_{IS}) que superan el 10%.

Entre las especies estudiadas en medio natural, *B. henni* exhibió diferencias genéticas entre localidades, incluso entre distancias muy cortas, lo que ha llevado a proponer que esta especie conforma poblaciones discretas discontinuas a lo largo de su ámbito de distribución. En escalas geográficas mayores, *Pimelodus grosskopfii* y *Pimelodus yuma* (= *Pimelodus clarias*) exhiben diferencias genéticas entre poblaciones de varios sectores de los ríos Cauca y Magdalena. En los demás casos, las especies exhiben flujo génico de uno o varios grupos genéticos que cohabitan en los rangos estudiados.

En la información disponible, las piscícolas exhiben un déficit de heterocigotos superior al de las poblaciones naturales que se proponen suplementar. Además, el impacto ecológico, genético y sanitario de

los repoblamientos está poco estudiado y es prácticamente desconocido en el caso de la introducción de especies exóticas. En este contexto, y además de las amenazas ambientales, las especies de peces de la cuenca del Magdalena están expuestas a factores que pueden erosionar su diversidad genética y afectar no sólo las especies ecológicamente importantes, sino también la sostenibilidad de la pesca.

Finalmente, la evidencia empírica directa que documente la pérdida de diversidad genética es escasa o está ausente para la mayoría de las especies debido a la ausencia de datos históricos, la probable ocurrencia gradual de endogamia en varias generaciones y la presencia de factores de confusión de la endogamia que incluyen aspectos técnicos y biológicos. Adicionalmente, los datos disponibles no pueden compararse por inconsistencia en el uso de herramientas moleculares adecuadas para resolver preguntas en el nivel microevolutivo.

Recomendaciones y perspectivas

En este panorama, se recomienda adelantar estudios genético-poblacionales en escalas espaciales y temporales que permitan valorar el estado de las poblaciones de peces de la cuenca del Magdalena y profundizar en el entendimiento de sus procesos evolutivos y ecológicos. Estos estudios deben sumarse a los que vienen desarrollándose en especies de los géneros *Grundulus*, *Panaque*, *Astyanax*, *Hypostomus*, *Cyphocharax*, *Triportheus* y *Salminus*, entre otros, y a los esfuerzos encaminados al análisis genómico de *P. magdalenae*, *B. moorei*, *P. grosskopfii* e *I. longirostris*.

En las poblaciones naturales, los valores de endogamia (F_{IS}) superiores al 10% ameritan



IAvH

el desarrollo de estrategias de manejo para evitar potenciales efectos nocivos en la eficacia biológica de las especies. Además, la baja diversidad genética encontrada en piscícolas debe ser considerada por sus manejadores para el mejoramiento de la calidad genética de sus reproductores, y por las entidades involucradas en planes de repoblamiento, para evitar efectos deletéreos relacionados con la calidad genética de parentales y alevinos; aspectos considerados en la normativa actual de la AUNAP. De manera adicional, todos los actores involucrados en repoblamientos deben evitar la translocación de especies entre cuencas, con el fin de preservar la integridad genética de las especies nativas. De otro lado, se debe impedir la introducción de especies exóticas que ocasionen impactos ecológicos negativos tales como desplazamientos y competencia por hábitat y recursos, depredación, alteración del acervo genético por habilidad potencial para formar híbridos o transporte de patógenos y parásitos que afectan a las especies nativas.

Debido al advenimiento de herramientas moleculares polimórficas y multialélicas desarrolladas específicamente para especies endémicas, se recomienda usarlas como herramienta común que permita la comparación de datos genéticos en escalas geográficas mayores y la construcción de mapas de diversidad que permitan visualizar la distribución de la diversidad y estructura genética espacial y temporal de las especies ícticas.

A partir de la información acumulada hasta la fecha, las perspectivas de trabajos futuros se orientan en tres direcciones. En primer lugar, estarían los estudios genético-poblaionales en escalas espaciales, temporales y estacionales que permitan comprender sus procesos evolutivos y ecológicos y valorar

el estado de las poblaciones de peces de la cuenca Magdalena-Cauca. En el caso de poblaciones genéticamente erosionadas, estos estudios deben estar encaminados a la priorización de medidas para su manejo o conservación. En segundo lugar, estarían los estudios interdisciplinarios orientados a estimar los impactos ecológicos, genéticos y sanitarios de los repoblamientos y de la introducción de especies no nativas. En tercer lugar, estarían los estudios dirigidos al desarrollo o uso de herramientas moleculares. Los altos costos, los requerimientos de ADN de alta calidad, equipos robustos de cómputo y personal entrenado en bioinformática, pueden limitar los análisis de datos genómicos con fines de monitoreo de la diversidad genética. En momentos en que los peces locales están expuestos a amenazas a un ritmo acelerado, es urgente mejorar nuestro conocimiento sobre ellos, lo que requiere utilizar herramientas más accesibles para un mayor número de especies o muestras. Debido a su menor costo y a que los análisis relacionados pueden hacerse en equipos informáticos más populares, el uso de microsátélites puede ser una solución muy apropiada para evaluar, en una primera etapa, el estado general de especies de peces a escala nacional.

Bibliografía

- Abdul-Muneer, P. M. (2014). Application of microsatellite markers in conservation genetics and fisheries management: Recent Advances in population structure analysis and conservation strategies. *Genetics Research International*, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2014/691759>
- Abreu, M. M. De, Pereira, L. H. G., Vila, V. B., Foresti, F. & Oliveira, C. (2009). Genetic variability of two populations of *Pseudoplatystoma reticulatum* from the Upper Paraguay River Basin. *Genetics and Molecular Biology*, 32(4), 868–873. <https://doi.org/10.1590/S1415-47572009005000075>

DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA GENÉTICA

- Andrews, K. R., Good, J. M., Miller, M. R., Luikart, G. & Hohenlohe, P. A. (2016). Harnessing the power of RADseq for ecological and evolutionary genomics. *Nature Reviews Genetics*, 17(2), 81. <https://doi.org/10.1038/nrg.2015.28>
- Arrieta-Echeverry, J. A. (2014). *Evaluación de la variabilidad y estructura genética de la población silvestre y cultivada de bocachico Prochilodus magdalenae (Characiformes: Prochilodontidae) en la cuenca del río Sinú, Córdoba-Colombia* [Tesis de pregrado, Universidad del Magdalena].
- Atencio, V. (2001). Producción de alevinos de especies nativas. *Revista MVZ-Córdoba* 6(1): 9-14.
- Atencio, V., Kerguelén, E., Wadnipar, L. & Narváez, A. (2003). Manejo de la primera alimentación del bocachico (*Prochilodus magdalenae*). *Revista MVZ-Córdoba* 8(1): 254-260.
- Atencio, V., Carrasco, S.C.P., Cruz, U.A.B. & Tirado, E.C.M. (2006). Efecto de la densidad de siembra en el alevinaje de la dorada (*Brycon sinuensis* Dahl, 1955). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 19(2), 197-203.
- AUNAP. (2017). Resolución número 0002838 del 28 de diciembre de 2017.
- AUNAP. (2019). Resolución número 0000417 del 7 de marzo de 2019.
- Banda-Correa, N. (2015). *Evaluación de la estructura genética de la población de Hoplias malabaricus (Bloch, 1794) asociada a la cuenca de los ríos Sinú y San Jorge, Córdoba - Colombia*. [Tesis de pregrado, Universidad de Córdoba].
- Barbará, T., Palma-Silva, C., Paggi, G. M., Bered, F., Fay, M. F. & Lexer, C. (2007). Cross-species transfer of nuclear microsatellite markers: Potential and limitations. *Molecular Ecology*, 16(18), 3759-3767. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03439.x>
- Batista, J. D. S. & Alves-Gomes, J. A. (2006). Phylogeography of *Brachyplatystoma rousseauxii* (Siluriformes - Pimelodidae) in the Amazon Basin offers preliminary evidence for the first case of "homing" for an Amazonian migratory catfish. *Genetics and Molecular Research*, 5(4), 723-740.
- Bester-Van Der Merwe, A., Blaauw, S., Du Plessis, J. & Roodt-Wilding, R. (2013). Transcriptome-wide single nucleotide polymorphisms (SNPs) for abalone (*Haliotis midae*): Validation and application using goldengate medium-throughput genotyping assays. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(9), 19341-19360. <https://doi.org/10.3390/ijms140919341>
- Bignotto, T. S., Prioli, A. J., Prioli, S. M. A. P., Maniglia, T. C., Boni, T. A., Lucio, L. C., Gomes, V. N., Prioli, R. A., Oliveira, A. V., Júlio-Junior, H. F. & Prioli, L. M. (2009). Genetic divergence between *Pseudoplatystoma corruscans* and *Pseudoplatystoma reticulatum* (Siluriformes: Pimelodidae) in the Paraná River Basin. *Brazilian Journal of Biology*, 69(2 Suppl), 681-689. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842009000300022>
- Bishop, C. R., Hughes, J. M. & Schmidt, D. J. (2018). Mitogenomic analysis of the Australian lungfish (*Neoceratodus forsteri*) reveals structuring of indigenous riverine populations and late Pleistocene movement between drainage basins. *Conservation Genetics*, 19(3), 587-597. <https://doi.org/10.1007/s10592-017-1034-7>
- Briñez, R. B., Caraballo, O. X. & Salazar, V. M. (2011). Genetic diversity of six populations of red hybrid tilapia, using microsatellites genetic markers. *Revista MVZ Córdoba*, 16(2), 2491-2498.
- Cabarcas Montalvo, M. P. & Burbano, C. (2008). Variabilidad y estructura genética de *Sorubim cuspidatus* (Orden: Siluriformes) en el río San Jorge, Colombia. I Congreso Latinoamericano De Genética Humana IX Congreso Colombiano De Genética, 131-132.
- Cardoso de Carvalho, D., Seerig, A. S., Dos Santos Alves Figueiredo Brasil, B., Vieira Crepaldi, D. & Aparecida Andrade de Oliveira, D. (2013). Molecular identification of the hybrid between the catfish species *Pseudoplatystoma corruscans* and *Pseudoplatystoma reticulatum* using a set of eight microsatellite markers. *Journal of Fish Biology*, 83(3), 671-676. <https://doi.org/10.1111/jfb.12194>
- Casey, J., Jardim, E. & Martinsohn, J. TH. (2016). The role of genetics in fisheries management under the E.U. common fisheries policy. *Journal of Fish Biology*, 89, 2755-2767. <https://doi:10.1111/jfb.13151>



IAvH

- Castañeda, D. (2012). *Evaluación de la calidad genética de sistemas de reproductores de bocachico Prochilodus magdalenae (pisces: prochilodontidae) usados para repoblamiento en dos estaciones piscícolas*. [Tesis de pregrado, Universidad del Magdalena].
- Dann, T. H., Habicht, C., Baker, T. T. & Seeb, J. E. (2013). Exploiting genetic diversity to balance conservation and harvest of migratory salmon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 70(5), 785–793. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2012-0449>
- Dantas, H. L., dos Santos Neto, M. A., Oliveira, K. K. C., Severi, W., Diniz, F. M. & Coimbra, M. R. M. (2013). Genetic diversity of captive and wild threatened catfish *Pseudoplatystoma corruscans* in the São Francisco River. *Reviews in Fisheries Science*, 21(3–4), 237–246. <https://doi.org/10.1080/10641262.2013.800787>
- De la Rosa, J., Fontalvo, P. P., Orozco-Berdugo, G. & Narváez Barandica, J. C. (2020). Genetic characterization the stocks of *Prochilodus magdalenae* (Pisces: Prochilodontidae) used in stoking programs in Colombia. *BAG, Journal of Basic and Applied Genetics*, XXXI (1), 53–63. <https://doi.org/10.35407/bag.2020.31.01.06>
- Ekblom, R. & Galindo, J. (2011). Applications of next generation sequencing in molecular ecology of non-model organisms. *Heredity*, 107, (1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/hdy.2010.152>
- Excoffier, L., Smouse, P. E. & Quattro, J. M. (1992). Analysis of molecular variance inferred from metric distances among DNA haplotypes: application to human mitochondrial DNA restriction data. *Genetics*, 131(2), 479–491.
- Fernández, M. E., Goszczynski, D. E., Lirón, J. P., Villegas-Castagnasso, E. E., Carino, M. H., Ripoli, M. V, Rogberg-Muñoz, A., Posik, D. M., Peral-García, P. & Giovambattista, G. (2013). Comparison of the effectiveness of microsatellites and SNP panels for genetic identification, traceability and assessment of parentage in an inbred Angus herd. *Genetics and Molecular Biology*, 36(2), 185–191. <https://doi.org/10.1590/S1415-47572013000200008>
- Fischer, M. C., Rellstab, C., Leuzinger, M., Roumet, M., Gugerli, F., Shimizu, K. K., Holderegger, R. & Widmer, A. (2017). Estimating genomic diversity and population differentiation - an empirical comparison of microsatellite and SNP variation in *Arabidopsis halleri*. *BMC Genomics*, 18(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s12864-016-3459-7>
- Fontalvo, P. P., Orozco-Berdugo, G. & Narváez Barandica, J. C. (2018). Diversity and genetic structure of *Prochilodus magdalenae* (Pisces: Prochilodontidae) upstream and downstream Betania dam, Colombia. *Intropica*, 13(2), 87–100.
- Frankham, R., Bradshaw, C. J. A. & Brook, B. W. (2014). Genetics in conservation management: Revised recommendations for the 50/500 rules, Red List criteria and population viability analyses. *Biological Conservation*, 170, 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.12.036>
- Freeland, J.R. (2020). *Molecular Ecology, 3rd Edition*. John Wiley & Sons.
- Gallo, H. & Diaz-Sarmiento, J. (2003). Variabilidad genética del Bagre Rayado *Pseudoplatystoma fasciatum* (Pisces: Pimelodidae) en el río Magdalena (Colombia). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 27(105), 559–606.
- Gallo López, C. & Burbano, C. (2008). Diversidad genética de *Ageneiosus caucanus* (Siluriformes: Ageneiosidae) en dos poblaciones del río San Jorge, Mediante *loci* microsatelitales heterólogos. I Congreso Latinoamericano de Genética Humana IX Congreso Colombiano De Genética, 55–56.
- García-Alzate, C., Donascimento, C., Villa-Navarro, F.A., García-Melo, J. E. & Herrera-R, G. 2020. Diversidad de peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia. En Jiménez-Segura, L. & C. Lasso (Eds.). XIX. *Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible*. Pp: 85–113. Bogotá D.C. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- García-Castro, K. L., Landínez-García R. M., Rangel-Medrano, J. D. & Márquez, E. J. (Aceptado). Population genetics of the en-

DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA GENÉTICA

- dangered catfish *Pseudoplatystoma magdaleniatum* (Siluriformes: Pimelodidae) based on species-specific microsatellite *loci*
- Gerstein, M. B., Bruce, C., Rozowsky, J. S., Zheng, D., Du, J., Korb, J. O., Emanuelsson, O., Zhang, Z.D., Weissman, S. & Snyder, M. (2007). What is a gene, post-ENCODE? History and updated definition. *Genome Research*, 17, 669–681. <https://doi.org/10.1101/gr.6339607>
 - Gondim, S. G. D. C. A., Resende, L. V., Bron-dani, R. P. V., Collevatti, R. G., Silva Júnior, N. J. D. & Pereira, R. R. (2010). Development of microsatellite markers for *Hoplias malabaricus* (Erythrinidae). *Genetics and Molecular Research* 9(3): 1513-1517.
 - Graham, C. F., Glenn, T. C., McArthur, A. G., Boreham, D. R., Kieran, T., Lance, S., Manzon, R. G., Martino, J. A., Pierson, T., Rogers, S. M., Wilson, J. Y. & Somers, C. M. (2015). Impacts of degraded DNA on restriction enzyme associated DNA sequencing (RADs eq). *Molecular Ecology Resources*, 15(6), 1304-1315. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12404>
 - Guichoux, E., Lagache, L., Wagner, S., Chaumeil, P., Léger, P., Lepais, O., Lepoittevin, C., Malausa, T., Revardel, E., Salin, F. & Petit, R. J. (2011). Current trends in microsatellite genotyping. *Molecular Ecology Resources*, 11(4), 591–611. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2011.03014.x>
 - Haas, R. J. & Payseur, B. A. (2011). Multilocus inference of population structure: A comparison between single nucleotide polymorphisms and microsatellites. *Heredity*, 106(1), 158–171. <https://doi.org/10.1038/hdy.2010.21>
 - Hart, D. L. & Clark, A. G. (1997). *Principles of population genetics*. Sinauer Associates.
 - Hashimoto, D. T., Mendonça, F. F., Senhorini, J. A., Bortolozzi, J., Oliveira, C., Foresti, F. & Porto-Foresti, F. (2010). Identification of hybrids between Neotropical fish *Leporinus macrocephalus* and *Leporinus elongatus* by PCR-RFLP and multiplex-PCR: Tools for genetic monitoring in aquaculture. *Aquaculture*, 298, 346–349. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.11.015>
 - Hashimoto, D. T., Mendonça, F. F., Senhorini, J. A., Oliveira, C., Foresti, F. & Porto-Foresti, F. (2011). Molecular diagnostic methods for identifying Serrasalmid fish (Pacu, Pirapitinga, and Tambaqui) and their hybrids in the Brazilian aquaculture industry. *Aquaculture* 321, 49-53. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.08.018>
 - Hatanaka, T. & Galetti Jr., P. M. (2003). RAPD markers indicate the occurrence of structured populations in a migratory freshwater fish species. *Genetics and Molecular Biology*, 26(1), 19–25. <https://doi.org/10.1590/S1415-47572003000100004>
 - Hatanaka, T., Henrique-Silva, F. & Galetti, P. M. (2006). Population substructuring in a migratory freshwater fish *Prochilodus argenteus* (Characiformes, Prochilodontidae) from the São Francisco River. *Genetica*, 126(1-2), 153–159. <https://doi.org/10.1007/s10709-005-1445-0>
 - Heffernan, C. (2009). Biodiversity versus emergencies: the impact of restocking on animal genetic resources after disaster. *Disasters* 33(2): 239-252.
 - Hernández, H. D., Navarro, M. O. & Muñoz, F. J. (2017). Diversidad genética del bocachico *Prochilodus magdalenae* en el departamento de Sucre. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 9(S), 99. <https://doi.org/10.24188/recia.v9.ns.2017.527>
 - Hernández, C. L., Ortega-Lara, A., Sánchez-Garcés, G. C. & Alford, M. H. (2015). Genetic and morphometric evidence for the recognition of several recently synonymized species of Trans-Andean *Rhamdia* (Pisces: Siluriformes: Heptapteridae). *Copeia*, 103(3), 563–579. <https://doi.org/10.1643/ci-14-145>
 - Hernández-Escobar, C., Carrillo-Avila, M., Ostos-Alfonso, H., Valbuena, R., Olivera-Ángel, M. & Galetti Jr., P. M. (2010). Isolation and characterization of microsatellite *loci* of the neotropical migratory catfish *Pimelodus grosskopfii* (Siluriformes: Pimelodidae). *En: Agostini C, Agudelo PA, Bâ K, Barber PA, Bisol PM, Brouat C, et al. Permanent Genetic Resources added to Molecular Ecology Resources Database 1*



IAvH

- October 2010-30 November 2010. *Molecular Ecology Resources*. 2011; 11(2):418–21.
- Hess, J. E., Matala, A. P. & Narum, S. R. (2011). Comparison of SNPs and microsatellites for fine-scale application of genetic stock identification of Chinook salmon in the Columbia River Basin. *Molecular Ecology Resources*, 11(SUPPL. 1), 137–149. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02958.x>
 - Hilsdorf, A. W. S. & Hallerman, E. M. (2017). *Genetic Resources of Neotropical Fishes*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-55838-7>
 - Hurtado-Alarcón, J. C., Mancera-Rodríguez, N. J. & Saldamando-Benjumea, C. I. (2011). Variabilidad genética de *Brycon henni* (Characiformes: Characidae) en la cuenca media de los ríos Nare y Guatapé, sistema Río Magdalena, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 59(1), 269–282.
 - Iwasaki, W., Fukunaga, T., Isagozawa, R., Yamada, K., Maeda, Y., Satoh, T. P., Sado, T., Mabuchi, K., Takeshima, H., Miya, M. & Nishida, M. (2013). Mitofish and mitoannotator: A mitochondrial genome database of fish with an accurate and automatic annotation pipeline. *Molecular Biology and Evolution*, 30(11), 2531–2540. <https://doi.org/10.1093/molbev/mst141>
 - Jiménez-Segura, L. F., Palacio, J. & Leite, R. (2010). River flooding and reproduction of migratory fish species in the Magdalena River basin, Colombia. *Ecology of Freshwater Fish*, 19(2), 178–186. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2009.00402.x>
 - Jost, L. O. U. (2008). GST and its relatives do not measure differentiation. *Molecular ecology*, 17(18), 4015–4026.
 - Joya, C. D., Landínez-García, R. M. & Márquez E. J. (2021) Development of microsatellite loci and population genetics of the catfish *Pimelodus yuma* (Siluriformes: Pimelodidae). *Neotropical Ichthyology*, 19(1):e200114. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2020-0114>
 - Julio Gaviria, Y. P. (2013). *Evaluación de las relaciones y diferencias genéticas del Boscachico Prochilodus magdalenae (Characiformes, Prochilodontidae) asociados a dos rutas migratorias en la parte baja de la cuenca del río Magdalena-Colombia* [Tesis de pregrado, Universidad del Magdalena].
 - Kaiser, S. A., Taylor, S. A., Chen, N., Sillett, T. S., Bondra, E. R. & Webster, M. S. (2017). A comparative assessment of SNP and microsatellite markers for assigning parentage in a socially monogamous bird. *Molecular Ecology Resources*, 17(2), 183–193. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12589>
 - Kumar, G. & Kocour, M. (2017). Applications of next-generation sequencing in fisheries research: A review. *Fisheries Research*, 186, 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2016.07.021>
 - Landínez-García, R. M. & Márquez, E. J. (2016). Development and characterization of 24 polymorphic microsatellite loci for the freshwater fish *Ichthyoelephas longirostris* (Characiformes: Prochilodontidae). *PeerJ*, 4, e2419. <https://doi.org/10.7717/peerj.2419>
 - Landínez-García, R. M. & Márquez, E. J. (2018). Microsatellite loci development and population genetics in Neotropical fish *Curimata mivartii* (Characiformes: Curimatidae). *PeerJ*, 6, e5959. <https://doi.org/10.7717/peerj.5959>
 - Landínez-García, R. M. & Márquez, E. J. (2020). Population genetics of the fish *Brycon henni* (Characiformes: Bryconidae) using species-specific polymorphic microsatellite loci. *Revista de Biología Tropical*, 68(September), 847–861.
 - Landínez-García, R. M. & Márquez E. J. (Sometido) Genetic diversity and gene flow of *Cynopotamus magdalenae* (Characiformes: Characidae) in disturbed habitats of the Cauca River, Colombia.
 - Landínez-García, R. M., Narváez, J. C. & Márquez, E. J. (2020). Population genetics of the freshwater fish *Prochilodus magdalenae* (Characiformes: Prochilodontidae), using species-specific microsatellite loci. *PeerJ*:e10327 doi 10.7717/peerj.10327
 - Laoun, A., Harkat, S., Lafri, M., Gaouar, S. B. S., Belabdi, I., Ciani, E., De Groot, M., Blanquet, V., Leroy, G., Rognon, X. & Da Silva, A. (2020). Inference of Breed Structure in Farm Animals: Empirical comparison bet-

DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA GENÉTICA

- ween SNP and microsatellite performance. *Genes*, 11(1), 57. <https://doi.org/10.3390/genes11010057>
- Lemopoulos, A., Prokkola, J. M., Uusi-Heikkilä, S., Vasemägi, A., Huusko, A., Hyvärinen, P., Koljonen, M. L., Koskinie-mi, J. & Vainikka, A. (2019). Comparing RADseq and microsatellites for estimating genetic diversity and relatedness—Implications for brown trout conservation. *Ecology and Evolution*, 9(4), 2106–2120. <https://doi.org/10.1002/ece3.4905>
 - López Macías, J. N., García Vallejo, F., Rúbio Rincón, E., Castillo Giraldo, A. & Cerón, F. (2009). Diversidad Genética del Bocachico (*Prochilodus reticulatus*) de la Cuenca Alta del Río Cauca (Colombia). *Acta Biológica Paranaense*, 38 (December 2016). <https://doi.org/10.5380/abpr.v38i0.16928>
 - López-Casas, S., Jiménez-Segura, L. F., Agostinho, A. A. & Pérez, C. M. (2016). Potamodromous migrations in the Magdalena River basin: Bimodal reproductive patterns in neotropical rivers. *Journal of Fish Biology*, 89, 157–171. <https://doi.org/10.1111/jfb.12941>
 - Meirmans, P. G. (2006). Using the AMOVA framework to estimate a standardized genetic differentiation measure. *Evolution*, 60(11), 2399–2402. <https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2006.tb01874.x>
 - Meirmans, P. G. & Hedrick, P. W. (2011). Assessing population structure: FST and related measures. *Molecular Ecology Resources*, 11(1), 5–18. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02927.x>
 - Montano Arias, D. A., Forero, G. & Sandoval, P. (2010). Análisis de la variabilidad genética del bagre rayado *Pseudoplatystoma fasciatum* Linnaeus, 1766 de dos localidades de los ríos Magdalena y Amazonas, en Colombia. *Revista de Investigaciones UNAD*, 9(2), 519–525. <https://doi.org/10.22490/25391887.707>
 - Montoya-López, A. F., Tarazona-Morales, A. M., Olivera-Angel, M. & Betancur-López, J. J. (2019). Genetic diversity of four broodstocks of tilapia (*Oreochromis sp.*) from Antioquia, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 32(3), 201–213. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v32n3a05>
 - Morin, P. A., Archer, F. I., Pease, V. L., Hancock-Hanser, B. L., Robertson, K. M., Huebinger, R. M., Martien, K. K., Bickham, J. W., George, J. C., Postma, L. D. & Taylor, B. L. (2012). Empirical comparison of single nucleotide polymorphisms and microsatellites for population and demographic analyses of bowhead whales. *Endangered Species Research*, 19(2), 129–147. <https://doi.org/10.3354/esr00459>
 - Muñoz, L. E., Carranza, J. A. & Arredondo, J. V. (2019). Estructura genética poblacional del pez *Brycon henni* (Characiformes: Characidae) en la región andina de Colombia utilizando marcadores microsatélites. *Revista de Biología Tropical*, 67(4), 733–744. <https://doi.org/10.15517/rbt.v67i4.32006>
 - Narváez-Barandica, J.C. 2006. *Evaluación de la estructura genética y morfométrica de las poblaciones de tilapia (Pisces: Cichlidae: Oreochromis) en algunas ciénagas del norte de Colombia.* (Tesis de maestría). Santa Marta, Colombia. Instituto de Biología Marina, Universidad Nacional de Colombia-INVE-MAR.
 - Narváez-Barandica, J.C., Torregroza, A.C., Arrieta, J., Orozco, G., Aguirre, J.C., Guevara, L.M., Muñoz, E., Quintero, J., Castro, L., Eslava, P., Betancur, R. & Acero, A. (2015). Evaluación de la ecología molecular de los bocachicos (*Prochilodus* spp.) asociados a los ríos que drenan al Caribe colombiano. Informe técnico final; código 11752128352, COLCIENCIAS-UNIMAGDALENA. Santa Marta y Bogotá.
 - Nei, M. (1972). Genetic distance between populations. *The American Naturalist*, 106(949), 283–292.
 - Nei, M. (1973). Analysis of gene diversity in subdivided populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 70(12), 3321–3323.
 - Nei, M. (1978). Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. *Genetics*, 89, 583–590.
 - Nei, M. (1987). *Molecular Evolutionary Genetics*. Columbia University Press.



IAvH

- Van Oosterhout, C., Hutchinson, W. F., Wills, D. P. M. & Shipley, P. (2004). MICRO-CHECKER: Software for identifying and correcting genotyping errors in microsatellite data. *Molecular Ecology Notes*, 4(3), 535–538. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2004.00684.x>
- Orozco Berdugo, G. & Narváez Barandica, J. C. (2014). Genetic diversity and population structure of bocachico *Prochilodus magdalenae* (Pisces, Prochilodontidae) in the Magdalena river basin and its tributaries, Colombia. *Genetics and Molecular Biology*, 37(1), 37–45. <https://doi.org/10.1590/S1415-47572014000100008>
- Ovenden, J. R., Berry, O., Welch, D. J., Buckworth, R. C. & Dichmont, C. M. (2015). Ocean's eleven: a critical evaluation of the role of population, evolutionary and molecular genetics in the management of wild fisheries. *Fish and Fisheries*, 16, 125–159.
- Perdomo, A. & Burbano, C. (2009). Genetic variability of the endangered catfish *Pseudoplatystoma magdaleniatum* (Siluriformes: Pimelodidae), in Colombia using microsatellite markers. *Actualidades Biológicas*, 31(Supl 1), 112.
- Perdomo-Aguirre, Y. A., Cruz-Flor, W. R., Espinosa-León, L. P. & Carrillo-Avila, M. (2014). Caracterización genética de *Ichthyoelephas longirostris* de los ríos La Miel y Ranchería usando marcadores microsatélites. *Orinoquia*, 18(2 sup), 173. <https://doi.org/10.22579/20112629.368>
- Pereira, L. H. G., Foresti F. & Oliveira, C. (2009). Genetic structure of the migratory catfish *Pseudoplatystoma corruscans* (Siluriformes: Pimelodidae) suggests homing behaviour. *Ecology of Freshwater Fish*, 18(2), 215–225. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2008.00338.x>
- Pineda Santis, H., Arboleda Chacón, L., Echeverry Echavarría, A., Urcuqui Inchimá, S., Pareja Molina, D., Oliveria Ángel, M. & Builes Gómez, J. (2007). Caracterización de la diversidad genética en el pez *Brycon henni* (Characiformes: Characidae) en Colombia central por medio de marcadores RAPD. *Revista de Biología Tropical*, 55(December), 1025–1035.
- Do Prado, F. D., Fernandez-Cebrián, R., Hashimoto, D. T., Senhorini, J. A., Foresti, F., Martínez, P. & Porto-Foresti, F. (2017). Hybridization and genetic introgression patterns between two South American catfish along their sympatric distribution range. *Hydrobiologia*, 788(1), 319–343. <https://doi.org/10.1007/s10750-016-3010-5>
- Do Prado, F. D., Hashimoto, D. T., Senhorini, J. A., Foresti, F. & Porto-Foresti, F. (2012). Detection of hybrids and genetic introgression in wild stocks of two catfish species (Siluriformes: Pimelodidae): The impact of hatcheries in Brazil. *Fisheries Research*, 125–126, 300–305. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2012.02.030>
- Primmer, C. R., Painter, J. N., Koskinen, M. T., Palo, J. U. & Merilä, J. (2005). Factors affecting avian cross-species microsatellite amplification. *Journal of Avian Biology*, 36(4), 348–360. <https://doi.org/10.1111/j.0908-8857.2005.03465.x>
- Pritchard, J. K., Stephens, M. & Donnelly, P. (2000). Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*, 155(2), 945–959.
- Putman, A. I. & Carbone, I. (2014). Challenges in analysis and interpretation of microsatellite data for population genetic studies. *Ecology and Evolution*, 4(22), 4399–4428. <https://doi.org/10.1002/ece3.1305>
- Rangel-Medrano, J. D. & Márquez, E. J. (2021). Development of microsatellite loci and population genetics in the bumblebee catfish species *Pseudopimelodus atricaudus* and *Pseudopimelodus magnus* (Siluriformes, Pseudopimelodidae). *Neotropical Ichthyology*, 19(1):e200053. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2020-0053>
- Restrepo-Escobar, N. & Márquez, E. J. (2020). Microsatellite loci development for three catfish species from northwestern South America. *Neotropical Ichthyology*, 18, e190079. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/1982-0224-2019-0079>
- Restrepo-Escobar, N., Yepes-Acevedo, A. J. & Márquez, E. J. (Aceptado). Population genetics of three threatened catfish species in heterogeneous environments of the Cauca River, Colombia.

DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA GENÉTICA

- Ríos, N., Bouza, C., Gutiérrez, V. & García, G. (2017). Species complex delimitation and patterns of population structure at different geographic scales in Neotropical silver catfish (*Rhamdia*: Heptapteridae). *Environmental Biology of Fishes*, 100(9), 1047–1067. <https://doi.org/10.1007/s10641-017-0622-1>
- Roques, S., Chancerel, E., Boury, C., Pierre, M. & Acolas, M. L. (2019). From microsatellites to single nucleotide polymorphisms for the genetic monitoring of a critically endangered sturgeon. *Ecology and evolution*, 9(12), 7017–7029. <https://doi.org/10.1002/ece3.5268>
- Rueda, E. C., Carriquiriborde, P., Monzón, A.M., Somoza, G.M. & Orti, G. (2013). Seasonal variation in genetic population structure of sábalo (*Prochilodus lineatus*) in the Lower Uruguay River. *Genetica*, 141(7-9), 401–407. <https://doi.org/10.1007/s10709-013-9739-0>
- Russello, M. A., Kirk, S. L., Frazer, K. K. & Askey, P. J. (2012). Detection of outlier *loci* and their utility for fisheries management. *Evolutionary Applications*, 5(1), 39–52. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2011.00206.x>
- Rutkowski, R., Sielezniew, M. & Szostak, A. (2009). Contrasting levels of polymorphism in cross-amplified microsatellites in two endangered xerothermophilous, obligatorily myrmecophilous, butterflies of the genus *Phengaris* (*Maculinea*) (Lepidoptera: Lycaenidae). *European Journal of Entomology*, 106(4), 457–469. <https://doi.org/10.14411/eje.2009.058>
- Salinas, C., Cubillos, J. C., Gómez, R., Trujillo, F. & Caballero, S. (2014). “Pig in a poke (gato por liebre)”: The “mota” (*Calophrys macropterus*) fishery, molecular evidence of commercialization in Colombia and toxicological analyses. *EcoHealth*, 11(2), 197–206. <https://doi.org/10.1007/s10393-013-0893-8>
- Solano, J. M. (1973). *Reproducción inducida del bocachico Prochilodus reticulatus*. [Tesis de pregrado, Universidad Jorge Tadeo Lozano].
- Soulé, M. E. (1980). Thresholds for survival: maintaining fitness and evolutionary potential. En M. E. Soulé y B. Wilcox (Eds.), *Conservation Biology: An evolutionary-ecological perspective* (pp. 151–169). Sinauer Associates, Inc.
- Sunde, J., Yildirim, Y., Tibblin, P. & Forsman, A. (2020). Comparing the Performance of Microsatellites and RADseq in Population Genetic Studies: Analysis of Data for Pike (*Esox lucius*) and a Synthesis of Previous Studies. *Frontiers in Genetics*, 11, 218. <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00218>
- Toonen, R. J., Puritz, J. B., Forsman, Z. H., Whitney, J. L., Fernandez-Silva, I., Andrews, K. R. & Bird, C. E. (2013). ezRAD: a simplified method for genomic genotyping in non-model organisms. *PeerJ*, 1, e203. <https://doi.org/10.7717/peerj.203>
- Torres Jaramillo, J., Muñoz, J. E., Cárdenas, H., Álvarez, L. Á. & Palacio, J. D. (2010). Caracterización de tilapia roja (*Oreochromis* sp.) con marcadores moleculares RAPD. *Acta Agronómica*, 59(2), 236–246.
- Vignal, A., Milan, D., SanCristobal, M. & Eggen, A. (2002). A review on SNP and other types of molecular markers and their use in animal genetics. *Genetics Selection Evolution*, 34(3), 275–305. <https://doi.org/10.1186/1297-9686-34-3-275>
- Villa-Navarro, F. A. (2002). *Diferenciación entre poblaciones de Pimelodus clarias y Pimelodus grosskopfii (Siluriformes: Pimelodidae) en la cuenca del río Magdalena (Colombia)*. Tesis de maestría, Universidad del Valle.
- Wright, S. (1951). The genetical structure of populations. *Annals of Eugenics*, 15(1), 323–354.
- Yepes-Acevedo, A. J. & Márquez E. J., (Somético) *Megaleporinus muyscorum* (Characiformes, Anostomidae): Development of microsatellite *loci* and population genetics in the Cauca River, Colombia.
- Yue, G.-H., Kovacs, B. & Orban, L. (2010). A new problem with cross-species amplification of microsatellites: generation of non-homologous products. *Dong Wu Xue Yan Jiu = Zoological Research / “Dong Wu Xue Yan Jiu” Bian Ji We Yuan Hui Bian Ji*, 31(2), 131–140. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1141.2010.02131>.
- Zimmerman, S. J., Aldridge, C. L. & Oyler-McCance, S. J. (2020). An empirical comparison of population genetic analyses using microsatellite and SNP data for a species of conservation concern. *BMC Genomics*, 21, 1–16.

Anexo 1. Marcadores moleculares empleados para determinar la diversidad y estructura poblacional.

Marcador Genético	Tipo	Ventajas	Desventajas
Isoenzimas	Codominante	Tecnología sólida y reproducible.	Pocas tinciones disponibles para la detección de enzimas. Requiere gran cantidad de muestra. El análisis está basado en el fenotipo. Relativa insensibilidad para detectar cambios genéticos. No recomendada para poblaciones con bajo nivel de polimorfismo.
RFLP: Polimorfismo en la longitud de fragmentos de restricción	Codominante	Tecnología robusta y reproducible. No requiere información previa de secuencias. Basada en homología de secuencias (recomendada para análisis filogenéticos entre especies relacionadas). Útil para construir mapas de ligamiento. Marcadores específicos de <i>locus</i> . Poder discriminatorio a nivel de individuo, especies y/o poblaciones.	Requiere grandes cantidades de ADN. No puede automatizarse. Bajo nivel de polimorfismo en algunas especies. Se detectan pocos <i>loci</i> por ensayo. Requiere una librería de sondas disponible. Consume tiempo. Costos. Se requiere distribuir las sondas entre laboratorios colaboradores. Técnicamente dispendiosa. Puede requerir diferentes combinaciones sonda/enzima.
RAPD: ADN polimórfico amplificado al azar	Dominante	No requiere información previa de las secuencias de las especies a estudiar. Metodológicamente sencilla y puede generar datos con mayor variación que la electroforesis de aloenzimas.	La contaminación, la preparación de muestra y las mismas condiciones de PCR pueden reducir su confiabilidad y reproducibilidad debido al uso de cebadores aleatorios. El alineamiento de cebadores al azar no garantiza que las bandas que co-migran sean homólogas (homoplasia). Marcadores dominantes (no permiten detectar heterocigotos a menos que se cuente con el cebador que amplifique el otro alelo). Actualmente, se considera una metodología obsoleta y sus resultados no son publicables.
AFLP: Polimorfismo en la longitud de fragmentos de fragmentos amplificados	Dominante	Es posible obtener información sobre especies sobre las cuales no se tiene una información previa de sus secuencias. Tiene un mayor nivel de reproducibilidad que RAPDs. Metodológicamente más sencilla y puede generar datos con mayor variación que la electroforesis de aloenzimas. Puede ser utilizado para estudiar expresión génica si se utiliza ADNc.	Marcadores dominantes (no es posible detectar los heterocigotos). Es metodológicamente dispendioso.



DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA GENÉTICA

Anexo 1. Continuación

Marcador Genético	Tipo	Ventajas	Desventajas
ADN mitocondrial	Haploide	<p>Presente en múltiples copias/célula (10^2-10^4). Herencia materna. Replicación sin recombinación Tasa de evolución mayor que la del genoma nuclear. Evaluación de relaciones entre taxas recientemente divergentes. Ampliamente usado en genética de poblaciones y estudios evolutivos a diferentes niveles de divergencia.</p>	<p>No permite discriminar fenómenos de hibridación o introgresión génica en la especie bajo estudio. Insensible para detectar eventos más recientes que los de su tasa mutacional.</p>
Genes nucleares: secuenciación	Codominante	<p>Son generalmente más conservados que los genes mitocondriales (análisis de diversidad y de relaciones a nivel de especie). Los espaciadores internos transcritos (ITS) pueden ser informativos para análisis de poblaciones. Utilizados en estudios evolutivos y de taxonomía molecular.</p>	<p>Permite discriminar fenómenos de hibridación o introgresión génica en la especie bajo estudio. Insensible para detectar eventos más recientes que los de su tasa mutacional.</p>
Microsatélites	Codominante	<p>Se encuentran en gran número y espaciados por todo el genoma. Son neutros. Exhiben herencia mendeliana y codominancia. Alto nivel de polimorfismo. Facilidad relativa para rastreo (automatizables). Se recomiendan cuando otros marcadores no muestran un adecuado grado de polimorfismo. Podrían usarse en muestras un poco degradadas. Solo unas pocas copias son suficientes para la amplificación por PCR (estudios de conservación de poblaciones contemporáneas y análisis genético temporal a largo tiempo utilizando DNA antiguo).</p>	<p>Requieren desarrollar cebadores especie específicos: clonación, RAMs (tiempo y dinero), Pirosecuenciación (genoma total o parcial, ej. RAD-Tag; Restriction-site Associated DNA), Diversity Arrays. Requiere cuidados extremos para evitar problemas de genotipificación.</p>
SNP Polimorfismo de un solo nucleótido	Codominante	<p>No requieren desarrollar cebadores especie específicos. Se encuentran en gran número y espaciados por todo el genoma. Exhiben herencia mendeliana y codominancia. Facilidad relativa para rastreo (automatizables).</p>	<p>No pueden usarse en muestras parcialmente degradadas. No se recomiendan cuando la muestra puede presentar un bajo grado de polimorfismo.</p>



Anexo 2. Diversidad genética para las especies de peces de la cuenca del Magdalena. Ho: Heterocigosidad observada; He: Heterocigosidad esperada; F_{is} : Índice de endogamia; *Especies exóticas; STR: loci microsatélites amplificados con cebadores especie-específicos; AFLP: polimorfismo en la longitud de fragmentos amplificados; RAPD: ADN polimórfico amplificado al azar; RAMS: Microsatélites amplificados al azar. STR-H: loci microsatélites amplificados con cebadores heterólogos; NC valor no calculado; ND: Valor no descrito. Los valores en negrita indican endogamia significativa.

Especie	Río	Localidad	Marcador	Ho	He	F_{is}	Referencia
<i>Brycon henni</i>	Cauca cuenca media	Río Campoalegre	STR-H	0,439	0,689	0,368	Muñoz <i>et al.</i> (2019)
<i>Brycon henni</i>	Cauca cuenca media	Río Risaralda	STR-H	0,399	0,628	0,434	Muñoz <i>et al.</i> (2019)
<i>Brycon henni</i>	Cauca cuenca media	Río Riofrío	STR-H	0,241	0,515	0,479	Muñoz <i>et al.</i> (2019)
<i>Brycon henni</i>	Cauca cuenca media	Río Chinchiná	STR-H	0,272	0,625	0,551	Muñoz <i>et al.</i> (2019)
<i>Brycon henni</i>	Cauca cuenca media	Río Espíritu Santo	STR	0,645	0,638	-0,040	Landínez-García y Márquez (2020)
<i>Brycon henni</i>	Cauca cuenca media	Río Ituango	STR	0,598	0,604	-0,009	Landínez-García y Márquez (2020)
<i>Brycon henni</i>	Nare	Quebrada la Magdalena, Grupo genético 1	STR	0,439	0,460	0,086	Landínez-García y Márquez (2020)
<i>Brycon henni</i>	Nare	Quebrada la Magdalena, Grupo genético 2	STR	0,479	0,568	0,151	Landínez-García y Márquez (2020)
<i>Curimata mivartii</i>	Cauca cuenca baja	Río Man	STR	0,773	0,810	0,040	Landínez-García y Márquez (2018)
<i>Curimata mivartii</i>	Cauca cuenca baja	Ciénaga la Panela	STR	0,766	0,802	0,059	Landínez-García y Márquez (2018)
<i>Curimata mivartii</i>	Cauca cuenca baja	Ciénaga la Raya	STR	0,734	0,803	0,063	Landínez-García y Márquez (2018)
<i>Curimata mivartii</i>	Cauca cuenca baja	Ciénaga Grande	STR	0,752	0,805	0,083	Landínez-García y Márquez (2018)
<i>Curimata mivartii</i>	Cauca cuenca baja	Ciénaga las Culebras	STR	0,757	0,793	0,112	Landínez-García y Márquez (2018)
<i>Curimata mivartii</i>	Magdalena cuenca media	Ciénaga Chucurí	STR	0,743	0,801	0,067	Landínez-García y Márquez (2018)

DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA GENÉTICA

Anexo 2. Continuación

Especie	Río	Localidad	Marcador	Ho	He	F _{is}	Referencia
<i>Curimata mivartii</i>	Magdalena cuenca media	Puerto Berrío	STR	0,771	0,795	0,087	Landínez-García y Márquez (2018)
<i>Cynopotamus magdalenae</i>	Cauca cuenca baja	S6/S8 (Nechi- Magangué)	STR	0,770	0,768	-0,022	Landínez-García y Márquez (sometido)
<i>Cynopotamus magdalenae</i>	Cauca cuenca baja	S5 (Caucasia-Nechi)	STR	0,770	0,776	-0,005	Landínez-García y Márquez (sometido)
<i>Hoplias malabaricus</i>	San Jorge	Ciénaga de Ayapel	STR	0,022	0,434	0,937	Banda-Correa (2015)
<i>Hoplias malabaricus</i>	Sinú	Ciénaga Grande de Lorica	STR	0,038	0,457	0,940	Banda-Correa (2015)
<i>Hoplias malabaricus</i>	Sinú	Ciénaga Cotocá	STR	0,013	0,466	0,978	Banda-Correa (2015)
<i>Hoplias malabaricus</i>	Sinú	Ciénaga de Betancí	STR	0,035	0,429	0,912	Banda-Correa (2015)
<i>Ichthyoelephas longirostris</i>	Magdalena cuenca media	Río La Miel	STR-H	0,681	0,618	-0,080	Perdomo-Aguirre <i>et al.</i> (2014)
<i>Ichthyoelephas longirostris</i>	Cauca cuenca media	S2/S3 (Ituango-Valdivia)	STR	0,767	0,798	0,014	Landínez-García y Márquez (2016)
<i>Ichthyoelephas longirostris</i>	Cauca cuenca media	S1 (Bolombolo-Ituango)	STR	0,731	0,771	0,084	Landínez-García y Márquez (2016)
<i>Ichthyoelephas longirostris</i>	Cauca cuenca baja	S6 (Ciénagas Río Caribona)	STR	0,701	0,773	0,092	Landínez-García y Márquez (2016)
<i>Ichthyoelephas longirostris</i>	Magdalena cuenca media	Río San Bartolomé	STR	0,692	0,768	0,091	Landínez-García y Márquez (2016)
<i>Ichthyoelephas longirostris</i>	Nare	Río Samaná norte	STR	0,742	0,796	0,025	Landínez-García y Márquez (2016)
<i>Megaleporinus muyscorum</i>	Cauca	S3/S4	STR	0,698	0,774	0,097	Yepes-Acevedo y Márquez (sometido)



Anexo 2. Continuación

Especie	Río	Localidad	Marcador	Ho	He	F _{IS}	Referencia
<i>Megaleporinus muyscorum</i>	Cauca	S5 (Caucasia-Nechí)	STR	0,727	0,782	0,080	Yepes-Acevedo y Márquez (sometido)
<i>Megaleporinus muyscorum</i>	Cauca	S6/S8 (Nechí-Magangue)	STR	0,738	0,768	0,038	Yepes-Acevedo y Márquez (sometido)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Cauca cuenca alta	La Balsa	AFLP	NC	0,365	NC	López Macías <i>et al.</i> (2009)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Cauca cuenca media	Río Riofrío	AFLP	NC	0,039	NC	López Macías <i>et al.</i> (2009)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Cauca cuenca media	La Virginia	AFLP	NC	0,091	NC	López Macías <i>et al.</i> (2009)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Piscicola (Magdalena cuenca baja)	SENA Centro piscícola y agropecuario de Gaira-Regional Magdalena	STR-H	0,129	0,911	0,853	Castañeda (2012)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Piscicola (Magdalena cuenca baja)	Repelón-AUNAP	STR-H	0,099	0,912	0,887	Castañeda (2012)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	San Jorge	San Benito de Abad	STR-H	0,326	0,877	0,643	Gaviria (2013)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	San Jorge	San Marcos	STR-H	0,318	0,910	0,657	Gaviria (2013)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca baja	Mahates	STR-H	0,311	0,851	0,653	Gaviria (2013)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca baja	Mompox	STR-H	0,309	0,917	0,670	Gaviria (2013)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca baja	Ciénaga Pijijío	STR-H	0,298	0,885	0,673	Gaviria (2013)

DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA GENÉTICA

Anexo 2. Continuación

Especie	Río	Localidad	Marcador	Ho	He	F _{IS}	Referencia
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca baja	Palomino	STR-H	0,270	0,856	0,696	Gaviria (2013)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca baja	Ciénaga Grande de Santa Marta (km 13)	STR-H	0,265	0,878	0,703	Gaviria (2013)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca baja	Gamarra	STR-H	0,276	0,892	0,703	Gaviria (2013)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca baja	Gambote	STR-H	0,253	0,848	0,716	Gaviria (2013)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Cauca cuenca baja	Santa Paula	STR-H	0,232	0,897	0,744	Gaviria (2013)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Cauca cuenca baja	Parte Baja del río Cauca	STR-H	0,194	0,896	0,791	Gaviria (2013)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	San Jorge	San Benito de Abad	STR-H	0,326	0,877	0,632	Orozco Berdugo y Narváez-Barandica (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	San Jorge	San Marcos	STR-H	0,319	0,910	0,654	Orozco Berdugo y Narváez-Barandica (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca alta	Neiva	STR-H	0,330	0,901	0,640	Orozco Berdugo y Narváez-Barandica (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca alta	Sogamoso	STR-H	0,276	0,858	0,685	Orozco Berdugo y Narváez-Barandica (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca media	Ciénaga Llanito	STR-H	0,230	0,884	0,745	Orozco Berdugo y Narváez-Barandica (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca media	Puerto Wilches	STR-H	0,278	0,898	0,694	Orozco Berdugo y Narváez-Barandica (2014)



Anexo 2. Continuación

Especie	Río	Localidad	Marcador	Ho	He	F _{IS}	Referencia
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca media	Barranco de la Loba	STR-H	0,281	0,910	0,695	Orozco Berdugo y Narváez-Barandica (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca media	Ciénaga San Silvestre	STR-H	0,327	0,854	0,624	Orozco Berdugo y Narváez-Barandica (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca media	La Dorada	STR-H	0,293	0,906	0,679	Orozco Berdugo y Narváez-Barandica (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca media	Puerto Boyacá	STR-H	0,248	0,919	0,733	Orozco Berdugo y Narváez-Barandica (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca baja	Ciénaga Canta Gallo	STR-H	0,299	0,829	0,647	Orozco Berdugo y Narváez-Barandica (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca baja	Ciénaga Guacamayal	STR-H	0,299	0,841	0,649	Orozco Berdugo y Narváez-Barandica (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca baja	Ciénaga Zapatosa	STR-H	0,299	0,852	0,655	Orozco Berdugo y Narváez-Barandica (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca baja	Ciénaga Pijiño	STR-H	0,298	0,885	0,666	Orozco Berdugo y Narváez-Barandica (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca baja	Mompox	STR-H	0,309	0,918	0,666	Orozco Berdugo y Narváez-Barandica (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca baja	Ciénaga de Paredes	STR-H	0,290	0,889	0,678	Orozco Berdugo y Narváez-Barandica (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca baja	Gamarra	STR-H	0,276	0,892	0,693	Orozco Berdugo y Narváez-Barandica (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca baja	Palomino	STR-H	0,270	0,856	0,698	Orozco Berdugo y Narváez-Barandica (2014)

DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA GENÉTICA

Anexo 2. Continuación

Especie	Río	Localidad	Marcador	Ho	He	F _{is}	Referencia
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca baja	Ciénaga Grande de Santa Marta (Km 13)	STR-H	0,265	0,878	0,704	Orozco Berdugo y Narváez-Barandica (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca baja	Gambote	STR-H	0,252	0,848	0,709	Orozco Berdugo y Narváez-Barandica (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca baja	La Gloria	STR-H	0,222	0,836	0,736	Orozco Berdugo y Narváez-Barandica (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca baja	Ciénaga Pajarales	STR-H	0,195	0,857	0,777	Orozco Berdugo y Narváez-Barandica (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Cauca cuenca baja	Santa Paula	STR-H	0,232	0,897	0,745	Orozco Berdugo y Narváez-Barandica (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Cauca cuenca baja	Parte Baja del río Cauca	STR-H	0,194	0,896	0,788	Orozco Berdugo y Narváez-Barandica (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Sinú	Tierra Alta	STR-H	0,300	0,850	0,659	Arrieta-Echeverry (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Sinú	Ciénaga de Betancí	STR-H	0,350	0,910	0,640	Arrieta-Echeverry (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Sinú	La Doctrina	STR-H	0,260	0,800	0,698	Arrieta-Echeverry (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Sinú	Caño Grande	STR-H	0,220	0,890	0,756	Arrieta-Echeverry (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Sinú	Ciénaga Grande de Lorica	STR-H	0,160	0,910	0,833	Arrieta-Echeverry (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Piscícola (s Sinú y San Jorge)	CVS (Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge)	STR-H	0,240	0,880	0,870	Arrieta-Echeverry (2014)



Anexo 2. Continuación

Especie	Río	Localidad	Marcador	Ho	He	F _{IS}	Referencia
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Piscicola (Sinú)	CINPIC (Centro de Investigación Piscícola de la Universidad de Córdoba)	STR-H	0,210	0,920	0,980	Arrieta-Echeverry (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	San Jorge	Caimito	RAMS	NC	0,150	NC	Hernández H <i>et al.</i> (2017)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	San Jorge	La Mejía	RAMS	NC	0,158	NC	Hernández H <i>et al.</i> (2017)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	San Jorge	San Benito Abad	RAMS	NC	0,194	NC	Hernández H <i>et al.</i> (2017)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	San Jorge	San Marcos	RAMS	NC	0,166	NC	Hernández H <i>et al.</i> (2017)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Piscicola (San Jorge)	EP1	RAMS	NC	0,196	NC	Hernández H <i>et al.</i> (2017)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Piscicola (San Jorge)	EP2	RAMS	NC	0,192	NC	Hernández H <i>et al.</i> (2017)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca alta	Saldaña	STR-H	0,110	0,847	0,869	Fontalvo <i>et al.</i> (2018)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca alta	Betania	STR-H	0,271	0,804	0,683	Fontalvo <i>et al.</i> (2018)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca alta	Neiva	STR-H	0,254	0,838	0,683	Fontalvo <i>et al.</i> (2018)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca media	La Dorada	STR-H	0,250	0,825	0,691	Fontalvo <i>et al.</i> (2018)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca media	Boyacá	STR-H	0,199	0,844	0,765	Fontalvo <i>et al.</i> (2018)

DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA GENÉTICA

Anexo 2. Continuación

Especie	Río	Localidad	Marcador	Ho	He	F _{IS}	Referencia
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Piscícola (Magdalena cuenca media)	San Silvestre	STR-H	0,268	0,864	0,697	De la Rosa <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	San Jorge y Sinú	CVS (Corporación Autonomía Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge)	STR-H	0,232	0,792	0,707	De la Rosa <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Piscícola (Magdalena cuenca baja)	Repelón-AUNAP	STR-H	0,236	0,851	0,729	De la Rosa <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Piscícola (Cauca)	CVC (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca)	STR-H	0,199	0,837	0,763	De la Rosa <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Piscícola (Magdalena cuenca baja)	SENA Centro piscícola y agropecuario de Gaira-Regional Magdalena	STR-H	0,191	0,884	0,786	De la Rosa <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Piscícola (Sinú)	CINPIC (Centro de Investigación Piscícola de la Universidad de Córdoba)	STR-H	0,181	0,849	0,788	De la Rosa <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Piscícola (San Jorge, Sinú, Bajo Magdalena)	Maracas	STR-H	0,109	0,795	0,859	De la Rosa <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Sinú	La Doctrina	STR	0,788	0,867	0,120	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Sinú	Caño Grande	STR	0,744	0,845	0,151	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Atrato	Beté	STR	0,711	0,791	0,149	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)



Anexo 2. Continuación

Especie	Río	Localidad	Marcador	Ho	He	F _{IS}	Referencia
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Atrato	Palo Blanco	STR	0,722	0,869	0,195	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Cesar	Mata de Palma	STR	0,782	0,873	0,110	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	San Jorge	San Marcos	STR	0,809	0,884	0,130	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Nare	Río Samaná norte	STR	0,659	0,876	0,260	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca media	Chucurí	STR	0,699	0,882	0,223	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca media	Puerto Berrío	STR	0,714	0,883	0,208	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca media	Barrancabermeja	STR	0,727	0,872	0,186	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca media	Puerto Valdivia	STR	0,740	0,886	0,182	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca media	Palagua	STR	0,792	0,895	0,129	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca media	Ciénaga Llanito	STR	0,774	0,879	0,135	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca baja	Palomino	STR	0,759	0,869	0,152	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca baja	Mompox	STR	0,770	0,882	0,154	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)

DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA GENÉTICA

Anexo 2. Continuación

Especie	Río	Localidad	Marcador	Ho	He	F _{IS}	Referencia
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca baja	Ciénaga Pijiño	STR	0,780	0,865	0,125	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca baja	Río Viejo	STR	0,739	0,883	0,184	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca baja	Ciénaga Grande	STR	0,706	0,864	0,197	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Cauca cuenca media	Guarimán	STR	0,773	0,885	0,143	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Cauca cuenca media	Río Espíritu Santo	STR	0,740	0,886	0,182	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Cauca cuenca media	Guaranda	STR	0,719	0,879	0,196	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Cauca cuenca media	Bolombolo	STR	0,667	0,878	0,255	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Cauca cuenca Media	Puente Real	STR	0,667	0,878	0,255	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Cauca cuenca baja	Ciénaga la caimanera	STR	0,752	0,881	0,165	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Cauca cuenca baja	Ciénaga la Panela	STR	0,743	0,887	0,173	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Cauca cuenca baja	Cáceres	STR	0,732	0,885	0,186	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Cauca cuenca baja	Río Man	STR	0,732	0,885	0,186	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)



Anexo 2. Continuación

Especie	Río	Localidad	Marcador	Ho	He	F _{IS}	Referencia
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Cauca cuenca baja	Achí	STR	0,719	0,879	0,196	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Cauca cuenca baja	Margento	STR	0,700	0,885	0,221	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena-Cauca	Grupo genético 1	STR	0,723	0,893	0,192	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena-Cauca	Grupo genético 2	STR	0,742	0,895	0,172	Landinez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Ageneiosus pardalis</i>	Cauca cuenca baja	S5 (Caucasia-Nechí)	STR	0,772	0,832	0,086	Restrepo-Escobar, <i>et al.</i> (aceptado)
<i>Ageneiosus pardalis</i>	Cauca cuenca baja	S6 (Ciénagas Río Caribona)	STR	0,791	0,839	0,060	Restrepo-Escobar, <i>et al.</i> (aceptado)
<i>Ageneiosus pardalis</i>	Cauca cuenca baja	S7/S8 (Tres cruces-Magangué)	STR	0,822	0,839	0,026	Restrepo-Escobar, <i>et al.</i> (aceptado)
<i>Pimelodus grosskopfii</i>	Cauca cuenca media	S1 (Bolombolo-Ituango)	STR	0,682	0,863	0,147	Restrepo-Escobar, <i>et al.</i> (aceptado)
<i>Pimelodus grosskopfii</i>	Cauca cuenca media	S2/S3 (Ituango-Valdivia)	STR	0,679	0,860	0,157	Restrepo-Escobar, <i>et al.</i> (aceptado)
<i>Pimelodus grosskopfii</i>	Cauca cuenca baja	S4 (Valdivia-Caucasia)	STR	0,660	0,852	0,178	Restrepo-Escobar, <i>et al.</i> (aceptado)
<i>Pimelodus grosskopfii</i>	Cauca cuenca baja	S5 (Caucasia-Nechí)	STR	0,618	0,866	0,177	Restrepo-Escobar, <i>et al.</i> (aceptado)
<i>Pimelodus grosskopfii</i>	Cauca cuenca baja	S6 (Ciénagas Río Caribona)	STR	0,607	0,855	0,186	Restrepo-Escobar, <i>et al.</i> (aceptado)
<i>Pimelodus grosskopfii</i>	Cauca cuenca baja	S7/S8 (Tres cruces-Magangué)	STR	0,666	0,849	0,109	Restrepo-Escobar, <i>et al.</i> (aceptado)

DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA GENÉTICA

Anexo 2. Continuación

Especie	Río	Localidad	Marcador	Ho	He	F _{IS}	Referencia
<i>Pimelodus grosskopfii</i>	Cauca cuenca media y baja	Grupo genético 1	STR	0,664	0,866	0,108	Restrepo-Escobar, <i>et al.</i> (aceptado)
<i>Pimelodus grosskopfii</i>	Cauca cuenca media y baja	Grupo genético 2	STR	0,614	0,858	0,218	Restrepo-Escobar, <i>et al.</i> (aceptado)
<i>Pimelodus yuma</i>	Cauca cuenca baja	S4/S5 (Valdivia-Nechí)	STR	0,744	0,832	0,109	Joya <i>et al.</i> 2021
<i>Pimelodus yuma</i>	Cauca cuenca baja	S6 (Ciénagas Río Caribona)	STR	0,703	0,862	0,186	Joya <i>et al.</i> 2021
<i>Pimelodus yuma</i>	Cauca cuenca baja	S7/S8 (Tres cruces-Magangué)	STR	0,729	0,873	0,167	Joya <i>et al.</i> 2021
<i>Pseudopimelodus atricaudus</i>	Cauca cuenca baja	S4 (Valdivia-Caucasia)	STR	0,804	0,840	0,023	Rangel-Medrano y Márquez 2021
<i>Pseudopimelodus atricaudus</i>	Cauca cuenca baja	S5 (Caucasia-Nechí)	STR	0,760	0,804	0,035	Rangel-Medrano y Márquez 2021
<i>Pseudopimelodus atricaudus</i>	Cauca cuenca baja	S8 (Punta Cartagena)	STR	0,798	0,825	0,011	Rangel-Medrano y Márquez 2021
<i>Pseudopimelodus magnus</i>	Cauca cuenca media	S1 (Bolombolo-Ituango)	STR	0,683	0,755	0,064	Rangel-Medrano y Márquez 2021
<i>Pseudopimelodus magnus</i>	Cauca cuenca baja	S4 (Valdivia-Caucasia)	STR	0,638	0,747	0,132	Rangel-Medrano y Márquez 2021
<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i> (= <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>)	Magdalena cuenca media	La Dorada	Isoenzimas	NC	0,262	0,223	Montano-Arias <i>et al.</i> (2010)
<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>	Cauca cuenca baja	Margento	STR	0,798	0,777	-0,014	García-Castro <i>et al.</i> (aceptado)



Anexo 2. Continuación

Especie	Río	Localidad	Marcador	Ho	He	F _{is}	Referencia
<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>	Cauca cuenca baja	Punta Cartagena	STR	0,762	0,770	0,011	García-Castro <i>et al.</i> (aceptado)
<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>	Magdalena cuenca media	Puerto Berrío	STR	0,773	0,791	0,010	García-Castro <i>et al.</i> (aceptado)
<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>	Nare	Río Samaná	STR	0,798	0,778	-0,048	García-Castro <i>et al.</i> (aceptado)
<i>Sorubim cuspicaudus</i>	San Jorge	Montelíbano, Ayapel, San Marcos y San Benito	STR-H	ND	ND	0,210	Cabarcas Montalvo y Burbano 2008
<i>Sorubim cuspicaudus</i>	Cauca cuenca Media	S3 (Río Espíritu Santo)	STR	0,767	0,774	0,018	Restrepo-Escobar, <i>et al.</i> (aceptado)
<i>Sorubim cuspicaudus</i>	Cauca cuenca baja	S4 (Valdivia-Caucasia)	STR	0,788	0,771	-0,065	Restrepo-Escobar, <i>et al.</i> (aceptado)
<i>Sorubim cuspicaudus</i>	Cauca cuenca baja	S5 (Caucasia-Nechí)	STR	0,745	0,783	0,045	Restrepo-Escobar, <i>et al.</i> (aceptado)
<i>Sorubim cuspicaudus</i>	Cauca cuenca baja	S6 (Ciénagas Río Caribona)	STR	0,795	0,783	-0,045	Restrepo-Escobar, <i>et al.</i> (aceptado)
<i>Sorubim cuspicaudus</i>	Cauca cuenca baja	S7/S8 (Tres Cruces-Magangué)	STR	0,745	0,785	0,058	Restrepo-Escobar, <i>et al.</i> (aceptado)
* <i>Oreochromis niloticus</i>	Piscícola Atlántico	Repelón-AUNAP	STR	0,200	0,814	0,775	Narváez-Barandica (2006)
* <i>Oreochromis niloticus</i>	Piscícola Magdalena	Granja piscícola "La Katia"	STR	0,206	0,831	0,773	Narváez-Barandica (2006)
* <i>Oreochromis niloticus</i>	Piscícola Magdalena	SENA Centro piscícola y agropecuario de Gaira-Regional Magdalena	STR	0,100	0,823	0,890	Narváez-Barandica (2006)

**DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA
GENÉTICA**

Anexo 2. Continuación

Especie	Río	Localidad	Marcador	Ho	He	F _{IS}	Referencia
* <i>Oreochromis niloticus</i>	Magdalena cuenca baja	Complejo de Salamanca Occidental de Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM)	STR	0,065	0,817	0,917	Narváez-Barandica (2006)
* <i>Oreochromis niloticus</i>	Magdalena cuenca baja	Complejo del Santuario Fauna y Flora de CGSM	STR	0,070	0,800	0,916	Narváez-Barandica (2006)
* <i>Oreochromis niloticus</i>	Magdalena cuenca baja	Desembocaduras de los ríos de la Sierra Nevada de Santa Marta en CGSM	STR	0,052	0,790	0,938	Narváez-Barandica (2006)
* <i>Oreochromis niloticus</i>	Bolívar	Ciénaga del Totumo	STR	0,119	0,782	0,855	Narváez-Barandica (2006)
* <i>Oreochromis niloticus</i>	Bolívar	Arroyo de Piedra	STR	0,612	0,873	0,273	Narváez-Barandica (2006)
* <i>Oreochromis niloticus</i>	Magdalena cuenca baja	Embalse del Guájaro	STR	0,105	0,804	0,878	Narváez-Barandica (2006)
* <i>Oreochromis niloticus</i>	Simú	Ciénaga Cotocá	STR	0,100	0,819	0,888	Narváez-Barandica (2006)
* <i>Oreochromis niloticus</i>	Simú	Ciénaga Grande de Lórica	STR	0,070	0,807	0,917	Narváez-Barandica (2006)
* <i>Oreochromis niloticus</i>	Piscícolas Antioquia	Nile	STR/ STR-H	0,601	0,650	0,078	Montoya-López et al. (2019)
* <i>Oreochromis</i> "híbrido rojo"	Piscícolas Antioquia	Red 1	STR/ STR-H	0,649	0,675	0,039	Montoya-López et al. (2019)
* <i>Oreochromis</i> "híbrido rojo"	Piscícolas Antioquia	Red 2	STR/ STR-H	0,620	0,686	0,097	Montoya-López et al. (2019)



Anexo 2. Continuación

Especie	Río	Localidad	Marcador	Ho	He	F _{IS}	Referencia
* <i>Oreochromis</i> "híbrido rojo"	Piscícolas Antioquia	Red 3	STR/ STR-H	0,609	0,671	0,094	Montoya-López <i>et al.</i> (2019)
* <i>Oreochromis</i> "híbrido rojo"	Piscícolas Colombia	Piscícola Río Nilo	STR/ STR-H	NC	0,728	0,345	Briñez <i>et al.</i> (2011)
* <i>Oreochromis</i> "híbrido rojo"	Piscícolas Colombia	Alevinos del Valle	STR/ STR-H	NC	0,690	0,345	Briñez <i>et al.</i> (2011)
* <i>Oreochromis</i> "híbrido rojo"	Piscícolas Colombia	Langostinos del Río	STR/ STR-H	NC	0,721	0,345	Briñez <i>et al.</i> (2011)
* <i>Oreochromis</i> "híbrido rojo"	Piscícolas Colombia	Piscícola Primavera	STR/ STR-H	NC	0,837	0,345	Briñez <i>et al.</i> (2011)
* <i>Oreochromis</i> "híbrido rojo"	Piscícolas Colombia	Piscícola El Triunfo	STR/ STR-H	NC	0,705	0,345	Briñez <i>et al.</i> (2011)
* <i>Oreochromis</i> "híbrido rojo"	Piscícolas Colombia	Piscícola Piedra Pintada	STR/ STR-H	NC	0,586	0,345	Briñez <i>et al.</i> (2011)
* <i>Oreochromis</i> spp	Piscícolas Valle del Cauca	Biológicos de Colombia	RAPD	NC	0,256	NC	Torres Jaramillo <i>et al.</i> (2010)
* <i>Oreochromis</i> spp	Piscícolas Valle del Cauca	San Juan	RAPD	NC	0,234	NC	Torres Jaramillo <i>et al.</i> (2010)
* <i>Oreochromis</i> spp	Piscícolas Valle del Cauca	La Linda	RAPD	NC	0,243	NC	Torres Jaramillo <i>et al.</i> (2010)
* <i>Oreochromis</i> spp	Piscícolas Valle del Cauca	La Mina	RAPD	NC	0,240	NC	Torres Jaramillo <i>et al.</i> (2010)
* <i>Oreochromis</i> spp	Piscícolas Valle del Cauca	Procampo	RAPD	NC	0,196	NC	Torres Jaramillo <i>et al.</i> (2010)

DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA GENÉTICA

Anexo 3. Estructura poblacional para las especies de peces de la cuenca del Magdalena. AFLP: polimorfismo en la longitud de fragmentos amplificados; RAPD: ADN polimórfico amplificado al azar; RAMS: Microsatélites amplificados al azar. STR: loci microsatélites amplificados con cebadores especie-específicos; STR-H: loci microsatélites amplificados con cebadores heterólogos; NC: valor no calculado; ND: Valor no descrito.

Especie	Área de estudio	Marcador	Estimador	Valor	P	Estructura/Flujo	Referencia
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Piscícolas SENA y Repelón	STR-H	F _{ST}	0,010	>0,050	Flujo	Castañeda <i>et al.</i> (2012)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuenca baja, San Jorge y Cauca cuenca baja	STR-H	F' _{ST}	0,068	0,000	Estructura	Julio Gaviria (2013)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena-Cauca	STR-H	Φ _{ST}	0,065	< 0,000	Coexistencia de grupos genéticos	Orozco Berdugo y Narváez Barandica (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Río Sinú	STR-H	F _{ST}	0,054	0,000	Estructura	Arrieta-Echeverry (2014)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	San Jorge	RAMS	F _{ST}	0,270	<0,001	Estructura	Hernández H <i>et al.</i> (2017)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena cuencas alta y media	STR-H	F' _{ST}	0,065	<0,001	Coexistencia de grupos genéticos	Fontalvo <i>et al.</i> (2018)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Magdalena-Cauca	STR	F' _{ST}	0,009	0,000	Coexistencia de grupos genéticos	Landínez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Río Sinú	STR	F' _{ST}	0,027	0,000	Coexistencia de grupos genéticos	Landínez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Río Atrato	STR	F' _{ST}	0,047	0,000	Coexistencia de grupos genéticos	Landínez-García <i>et al.</i> (2020)
<i>Brycon henni</i>	Magdalena (Río Humarada) Cauca (ríos Piedras, La Clara y Guaracú)	RAPD	NC	NC	NC	Estructura	Pineda Santis <i>et al.</i> (2007)
<i>Brycon henni</i>	Nare cuenca media y Guatapé cuenca media	RAPD	Φ _{ST}	0,163	<0,001	Estructura	Hurtado-Alarcón <i>et al.</i> (2011)
<i>Brycon henni</i>	Cauca (Ríos Campoalegre, Risaralda, Riofrio y Chinchiná)	STR-H	F _{ST}	0,090	<0,001	Estructura	Muñoz <i>et al.</i> (2019)



Anexo 3. Continuación

Especie	Área de estudio	Marcador	Estimador	Valor	P	Estructura/Flujo	Referencia
<i>Brycon henni</i>	Cauca (ríos Ituango y Espíritu Santo) y Río Nare (Quebrada la magdalena)	STR	F' _{ST}	0,179	< 0,001	Estructura	Landínez-García y Márquez (2020)
<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i> (= <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>)	Magdalena cuenca baja (Plato, Barrancabermeja y la Dorada)	Aloenzimas	F _{ST}	0,006	< 0,050	Estructura	Gallo y Díaz-Sarmiento (2003)
<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>	Magdalena cuenca baja, San Jorge y Cauca cuenca baja	STR-H	F _{ST}	0,003	ND	Flujo	Perdomo y Burbano (2009)
<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>	Cauca cuenca baja (Margento, Punta Cartagena)	STR	F' _{ST}	0,022	> 0,05	Flujo	García-Castro <i>et al.</i> aceptado
<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>	Magdalena cuenca media (Puerto Berrío) y Río Samaná norte	STR	F' _{ST}	-0,016	> 0,05	Flujo	García-Castro <i>et al.</i> aceptado
<i>Ageneiosus pardalis</i> (= <i>Ageneiosus caucanus</i>)	San Jorge	STR-H	ND	ND	ND	Estructura	Gallo Lopez y Burbano (2008)
<i>Ageneiosus pardalis</i>	Cauca cuenca baja (S5, S6, S7/ S8)	STR	F' _{ST}	0,001	0,066	Flujo	Restrepo-Escobar <i>et al.</i> aceptado
<i>Sorubim cuspicaudus</i>	San Jorge (Montelíbano, Ayapel, San Marcos y San Benito)	STR-H	F _{ST}	0,131	ND	Estructura	Cabarcas Montalvo y Burbano (2008)
<i>Sorubim cuspicaudus</i>	Cauca cuenca media y baja (S3, S4, S5, S6, S7/S8)	STR	F' _{ST}	0,004	0,084	Flujo	Restrepo-Escobar <i>et al.</i> aceptado
<i>Pimelodus grosskopfii</i>	Cauca (La Virginia y Timba)	RAPD	Distancia	0,195	NC	Estructura	Villa-Navarro (2002)

DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA GENÉTICA

Anexo 3. Continuación

Especie	Área de estudio	Marcador	Estimador	Valor	P	Estructura/Flujo	Referencia
<i>Pimelodus grosskopfii</i>	Magdalena (Betania, Prado, Honda, Barrancabermeja y Magangué)	RAPD	Distancia	0,147	NC	Estructura	Villa-Navarro (2002)
<i>Pimelodus grosskopfii</i>	Magdalena-Cauca (Barrancabermeja, Betania, Honda, La Virginia, Magangué, Prado y Timba)	RAPD	Distancia	0,166	NC	Estructura	Villa-Navarro (2002)
<i>Pimelodus grosskopfii</i>	Cauca cuenca baja y media (S1, S2/S3, S4, S5, S6 y S7/S8)	STR	F' _{ST}	0,004	0,075	Coexistencia de grupos genéticos	Restrepo-Escobar <i>et al.</i> aceptado
<i>Pimelodus yuma</i> (= <i>Pimelodus clarias</i>)	Magdalena (Barrancabermeja, Betania, Honda y Magangué)	RAPD	Distancia	0,160	NC	Estructura	Villa-Navarro (2002)
<i>Pimelodus yuma</i> (= <i>Pimelodus clarias</i>)	Magdalena-Cauca (Barrancabermeja, Betania, Caucasia, Honda y Magangué)	RAPD	Distancia	0,185	NC	Estructura	Villa-Navarro (2002)
<i>Pimelodus yuma</i>	Cauca cuenca baja (S4/S5, S6 y S7/S8)	STR	F' _{ST}	-0,003	0,605	Coexistencia de grupos genéticos	Joya <i>et al.</i> 2021
<i>Hoplias malabaricus</i>	Sinú cuenca media (Ciénaga de Betancí) y cuenca baja (Ciénaga Cotocá y Ciénaga Grande de Lórica)-San Jorge (Ciénaga de Ayapel)	STR	Φ _{ST}	0,049	<0,001	Coexistencia de grupos genéticos	Banda-Correa (2015)
<i>Ichthyolephas longirostris</i>	Magdalena cuenca media (La Miel)	STR-H	F _{ST}	0,053	<0,050	Estructura	Perdomo-Aguirre <i>et al.</i> (2014)
<i>Ichthyolephas longirostris</i>	Cauca cuenca media y baja (S1, S2/S3 y S6) Magdalena cuenca media (Río San Bartolomé) y Río Samaná norte	STR	F' _{ST}	0,010	0,000	Estructura	Landínez-García y Márquez (2016)



Anexo 3. Continuación

Especie	Área de estudio	Marcador	Estimador	Valor	P	Estructura/Flujo	Referencia
<i>Megaleporinus muyscorum</i>	Cauca (S3/S4, S5, S6/S8)	STR	F'_{ST}	0,006	0,001	Mezcla genética	Yepes-Acevedo y Márquez (sometido)
<i>Curimata mivartii</i>	Cauca cuenca baja (Río Man, Ciénaga la Panela, Ciénaga la Raya y Ciénaga Grande) y Magdalena cuenca media (Ciénaga Chucuri y Puerto Berrío)	STR	F'_{ST}	0,001	0,285	Flujo	Landínez-García y Márquez (2018)
<i>Cynopotamus magdalenae</i>	Cauca cuenca baja (S5 y S6/S8)	STR	F'_{ST}	<0.001	0,357	Flujo	Landínez-García y Márquez (sometido)
<i>Pseudopimelodus atricaudus</i>	Cauca cuenca baja (S4, S5 y S8)	STR	F'_{ST}	0,013	> 0.050	Flujo	Rangel-Medrano y Márquez 2021
<i>Pseudopimelodus magnus</i>	Cauca cuenca media (S1 y S4)	STR	F'_{ST}	0,031	0,055	Flujo	Rangel-Medrano y Márquez 2021



Mercado pesquero, río Magdalena, Neiva. Foto: Carlos A. Lasso.



4. ECOLOGÍA E HISTORIAS DE VIDA DE LOS PECES EN LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA, COLOMBIA

Luz Jiménez-Segura, Juliana Herrera-Pérez, Daniel Valencia-Rodríguez, Isai Castaño-Tenorio, Silvia López-Casas, María I. Ríos, Yesid Rondón-Martínez, Kelly Rivera-Coley, Jenny Morales, María F. Arboleda, Sebastian Muñoz-Duque, Victor Atencio, Andrés Galeano-Moreno, Ruben Valbuena, Jorge Escobar, Juan Ospina-Pabón, Luis E. García-Melo, Diana Gualtero, Juan C. Alonso y Daniel Restrepo-Santamaría

Resumen

La elevación en los Andes es un factor definitivo en la estructura de los ensamblajes de peces y los ecosistemas en que habitan. Los ensamblajes en el río Magdalena se estructuran mediante la interacción entre el tipo de ecosistema, la elevación y el ciclo de lluvias. En este capítulo se analiza la información ecológica disponible en diferentes fuentes sobre los peces del río Magdalena y se presentan algunas características de los ensamblajes de peces. La

mayor riqueza de especies se encuentra en las zonas bajas de la cuenca del río Magdalena y, en particular, en los ecosistemas de corrientes (ríos y quebradas); mientras que la mayor diferencia en la composición de especies entre cuerpos de agua se observa en las zonas arriba de los 1.600 m s.n.m. Esta característica les confiere particularidades a los ensamblajes en términos de la riqueza de especies en cada uno de los gremios tróficos, de las estrategias de vida y de los nichos funcionales en los que se

Jiménez-Segura, L., Herrera-Pérez, J., Valencia-Rodríguez, D., Castaño-Tenorio, I., López-Casas, S., Ríos, M. I., Rondón-Martínez, Y. F., Rivera-Coley, K., Morales, J., Arboleda, M., Muñoz-Duque, S., Atencio, V., Galeano-Moreno, A. F., Valbuena, R., Escobar, J., Ospina-Pabón, J., García-Melo, L., Gualtero, D., Alonso, J. C., Restrepo-Santamaría, D. 2020. Ecología e historias de vida de los peces en la cuenca del río Magdalena, Colombia. En: Jiménez-Segura, L. y C. A. Lasso (Eds.). XIX. *Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible*. Pp. 159-203. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. DOI: 10.21068/B2020RRHHXIX04

ECOLOGÍA E HISTORIAS DE VIDA

estructuran los patrones de la ictiofauna en los Andes nor-occidentales. En la cuenca se reconocen cuatro grandes gremios tróficos: carnívoros, detritívoros, omnívoros y planctófagos. El gremio de los carnívoros es el más rico en especies. La estrategia de vida más diversa en esta cuenca andina es la oportunista. Estas características en la riqueza de especies por ecosistema, por gremio trófico y por estrategia de vida, causa que el ensamblaje del río Magdalena finalmente se estructure en 25 nichos funcionales y, de nuevo, el mayor número de nichos se encuentra en las zonas debajo de los 1.200 m s.n.m. El conocimiento de la ecología de los peces en el río Magdalena aún es incipiente, pero es posible aportar a partir de la información disponible para la toma de decisiones por parte de los diferentes actores de la cuenca.

Palabras clave. Agua dulce, diversidad, historia de vida, ictiofauna, nicho funcional.

Abstract

Elevation is a defining factor in the Andes that determines the structure of fish assemblages and which ecosystems they inhabit. Fish assemblages in the Magdalena River are structured by the interaction between the type of ecosystem, elevation and the rain cycle. This chapter analyzes the bio-ecological information available from different sources on the fishes of the Magdalena River and describes some characteristics of the fish assemblages. The highest species richness is found in lotic ecosystems (rivers and streams) below 700m a.s.l elevation in the Magdalena River basin. The greatest difference in species composition (species turnover) is observed in areas above 1,600m where diverse communities assemble that differ in species richness of each of the trophic

guilds, as well as in their life history strategies and the functional niches in which the patterns of the fish fauna are structured in the northwestern Andes. Four major trophic guilds are recognized in the basin: carnivores, detritivores, omnivores, and planktivores. The most common life history strategy in this Andean basin is the opportunistic one. Although our knowledge of the bio-ecology of the fishes of the Magdalena River is still incipient, it is possible from available information to better inform the decision-making process used by the different actors in the basin.

Keywords. Diversity, freshwater, functional niche, ichthyofauna, life history.

Introducción

La distribución de las especies de agua dulce en los Andes ha sido delimitada por la historia geológica y climática de las cuencas que han llevado a procesos de aislamiento y especiación (Anderson y Maldonado 2011, Rodríguez-Olarte *et al.* 2011, Schaefer 2011, García-Alzate *et al.* 2020). En la actualidad las condiciones ambientales a meso y microescala, como cobertura de bosque ripario, composición del sustrato en el lecho y, la velocidad y temperatura del agua son factores que, en interacción con la elevación, limitan la presencia de las especies de peces en los Andes y en sus valles (De La Barra *et al.*, 2016, Miranda *et al.* 2018, Poveda-Cuellar *et al.* 2018, Hamp 2019). Estas condiciones son modificadas estacionalmente por la dinámica de las lluvias provocando cambios en la abundancia de cada una de las especies en los ríos (Rios-Pulgarin *et al.* 2015). De hecho, la distribución de la precipitación a nivel global ha sido reconocida como uno el factor ambiental con mayor influencia en la distribución de los peces dulceacuícolas (Pelayo-Villamil *et al.* 2015).



I AvH

La región nor-occidental de los Andes es reconocida por sus particularidades climáticas, edáficas y geomorfológicas, definidas por tres ramales andinos ubicados en dirección sur-norte, sobre los cuales los vientos descargan dos veces al año el agua que traen desde la región norte y sur del planeta. La cuenca del río Magdalena, el río más importante para Colombia debido a que sobre su cuenca habita un poco más del 80% de su población, presenta un extenso plano inundable que se expande y contrae dos veces al año en respuesta a la dinámica de la precipitación que, al caer sobre las montañas, arrastra sedimentos y nutrientes desde las zonas altas hacia las zonas bajas (Restrepo *et al.*, 2020); en este escenario, habitan 233 especies de peces (García-Alzate *et al.*, 2020). Este capítulo hace una síntesis del conocimiento contenido en diferentes fuentes primarias (bases de datos) y secundarias (literatura publicada) sobre la distribución geográfica de los peces en la cuenca del río Magdalena, las características de sus hábitats en los diferentes ecosistemas acuáticos dentro del gradiente de elevación de la cuenca y algunas características de sus ensamblajes. Esperamos que el lector logre identificar los patrones más relevantes asociados con las historias de vida de los peces y el contexto ambiental de la cuenca del río Magdalena de manera que dimensione las consecuencias de los cambios que se presentan actualmente en la cuenca y que amenazan la conservación de los peces.

Métodos

En Colombia se han llevado a cabo esfuerzos variados con el objetivo de conocer y describir nuevas especies de peces y la ecología de los mismos. Es por ello por lo que los estudios iniciales, a finales del siglo XIX y durante buena parte del comienzo del siglo XX, se enfocaron en determinar la distribución geográfica de las especies

de peces. Los relatos sobre las condiciones del hábitat de los peces en Colombia son frecuentes en libros sobre la biogeografía nacional, así como las descripciones de especies y claves para su identificación (Eigenmann 1912, 1913, Dahl 1971, Miles 1971). Así como en artículos dispersos en varias de las revistas de divulgación científica y, en algunos catálogos que definen las especies y describen algunas características de sus hábitat e historia de vida (Maldonado-Ocampo *et al.* 2005, Usma *et al.* 2009, Lasso *et al.* 2011, 2011a, Jiménez-Segura *et al.* 2014, Román-Valencia *et al.* 2018).

A partir de reportes de especies en las bases de datos de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales-ANLA, listados en artículos publicados, distribución de especies en localidades monitoreadas por empresas generadoras de energía y bases de datos de trabajos de grado a nivel de pregrado y maestría, se construyó una matriz de datos con la presencia de especies (nativas y no) en las localidades muestreadas. En ella está contenida la información de 171 especies (27 introducidas) representantes de 15 órdenes (42% Characiformes, 38% Siluriformes, 5% Cichliformes, 4% Gymnotiformes, 3% Cyprinodontiformes, 1,5% Clupeiformes, 0,7% Myliobatiformes, 0,7% Perciformes, 0,7% Anabantiformes, 0,7% Cypriniformes, 0,7% Beloniformes, 0,7% Centrarchiformes, 0,7% Elopiformes, 0,7% Salmoniformes y 0,7% Synbranchiformes), reportadas en 437 localidades de colecta distribuidas en intervalos de elevación entre los 4 y 3467 m s.n.m. La validez nominal de cada especie fue revisada en Fricke *et al.* (2020) y su distribución geográfica en Do Nascimento *et al.* (2017). A cada localidad le fue definida su elevación en metros sobre el nivel del mar (m s.n.m.), el tipo de ecosistema que representa (ecosistemas naturales: sistemas

ECOLOGÍA E HISTORIAS DE VIDA

lóticos, ciénagas, caños de conexión entre ciénagas y, sistemas artificiales como embalses, jagüeyes y el Canal del Dique). El orden dentro de la jerarquía de ecosistemas lóticos (clasificación de Horton 1932) asignado a cada curso de agua uso lo propuesto en López-Casas *et al* (2018). A cada especie se le asignó un grupo funcional (torrénticola, reofílico, poza, bentónico-no torrénticola y fusiforme) definido a partir de su conformación corporal y su posición en la columna de agua (Carvajal-Quintero *et al.* 2017), un gremio trófico basado en su dieta de la especie y estrategia de reproducción (siguiendo a Winemiller y Rose 1992).

Dentro de cada gremio es común encontrar a diversos autores usando subcategorías dependiendo del recurso más “utilizado” (omnívoros-invertívoros, carnívoros-invertívoros, algívoros, herbívoros, entre otras), a partir de los ítems que predominan en frecuencia o pesos dentro del tracto digestivo. En la mayoría de los casos, predominan recursos de digestión lenta como plantas, semillas, restos de partes duras de invertebrados, macroalgas, restos óseos, escamas. Determinar cuál es la dieta de un pez debe involucrar la observación de sus estructuras bucales (posición de la boca, tipo de dientes, amplitud de la abertura bucal; Figura 1), la conformación de su tracto digestivo y el uso de isótopos para conocer qué recursos están siendo transferidos a la biomasa. Aunque observar el contenido estomacal puede ser lo más simple y económico, no deja de ser subjetivo. Es por esto que este trabajo usará una clasificación general: omnívoros, carnívoros, detritívoros y planctófagos. Los omnívoros consumen todos los recursos disponibles en el medio acuático. Los detritívoros aprovechan el detrito –plantas en descomposición-, así como también el fango y el biofilm (bacterias, hongos, algas)

asociado a sustratos duros y a las raíces de las plantas sumergidas. Los planctófagos se alimentan de organismos microscópicos del plancton (fito y zooplancton). Los carnívoros comen todos los grupos de invertebrados, peces y otros vertebrados.

Una estrategia de vida se define como un complejo de rasgos o características de la historia de vida de una especie, resultado de su evolución, y diseñados para adaptarse a un entorno particular y, una táctica es la plasticidad de estos rasgos que le permite a las poblaciones de cada especie hacer frente a la variabilidad ambiental (Rochet 2000). Entre los principales rasgos se cuenta la fecundidad, la talla a la que se reproducen por primera vez, si tienen cuidado parental de la prole, entre otras (Winemiller y Rose 1992). Basados en las estrategias *k* y *r* propuestas por Pianka (1979), Winemiller y Taphorn (1989) y posteriormente, Winemiller y Rose (1992), plantearon que los peces pueden presentar tres tipos de estrategias reproductivas basados principalmente en tres rasgos: tiempo de vida de una cohorte, la fecundidad de los individuos y la inversión energética de los parentales en la sobrevivencia de los juveniles. La estrategia *K*, también denominada como de equilibrio, se caracteriza por la baja fecundidad (posturas poco numerosas), la alta sobrevivencia de juveniles debido a que hay algún tipo de cuidado parental, tiempo de vida largo, madurez sexual tardía, varias posturas durante el tiempo de vida (iteroparidad) y densidad poblacional estable. Los peces con estrategia *r1* u oportunista, presentan baja fecundidad, baja sobrevivencia de los juveniles debido a que no hay cuidado parental, tiempo de vida corto, madurez sexual temprana, varias posturas durante el tiempo de vida y densidades poblacionales variables. La estrategia *r2*, periódica o estacional, se caracteriza por

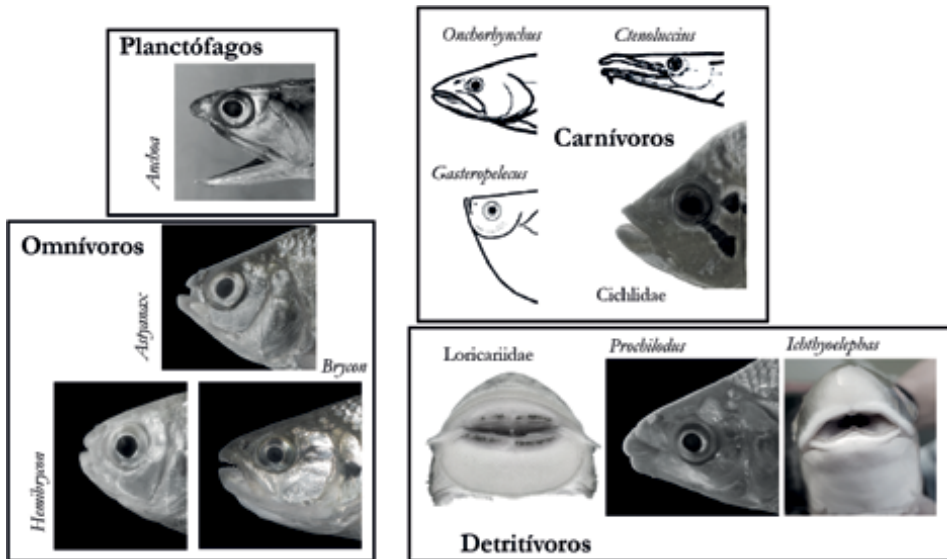


Figura 1. Imágenes del tipo de boca presente en los diferentes gremios tróficos en que se estructuran los ensamblajes de peces en el río Magdalena. Fotografías: Juan Guillermo Ospina, Diseños: Luz Jiménez-Segura.

alta fecundidad, baja sobrevivencia juvenil debido a que no hay cuidado parental, especies longevas y madurez sexual tardía. Basado en esta clasificación se analizó información sobre la estrategia de vida de 132 especies del río Magdalena (Tabla 1). En algunos casos se obtuvo de datos primarios, en otros se siguió a Carvajal-Quintero *et al.* (2017) y, en aquellos donde no se encontró información, se tomó de literatura disponible para especies del género en otras regiones de Suramérica. Sobre esta base de datos, se realizó un análisis multivariante exploratorio de componentes principales para detectar agrupaciones.

A partir de la matriz de datos anterior se realizó un gráfico de barras usando el número de especies en cada intervalo de elevación para describir el cambio en

el número de especies asociado a éste. El tamaño del intervalo de elevación fue definido con base en el gradiente vertical en la temperatura del aire (un grado centígrado por cada 180 m de altitud en la zona intertropical; Goldbruner 1960), la cual influye en la temperatura del agua. Para identificar si la composición de especies está asociada a la elevación y su interacción con el ecosistema acuático se realizó un análisis No Multidimensional usando el índice de Jaccard (presencia/ausencia) y se estimó el estrés para validar la consistencia de la agrupación observada. La distribución de la riqueza de especies por gremio trófico en la elevación y en interacción con el ecosistema acuático se representó con un gráfico de barras y, para identificar los nichos funcionales (siguiendo a Winemiller *et al.* 2015) en que se estructura la

ECOLOGÍA E HISTORIAS DE VIDA

ictiofauna de acuerdo con la elevación en el río Magdalena, se realizó una figura de ondas que visualiza la integración entre la riqueza de especies por gremio trófico, grupo funcional y estrategia reproductiva.

Ecosistemas acuáticos, riqueza y composición de su ictiofauna

En los ríos y quebradas de la cuenca del río Magdalena habita el mayor número de especies (123 sp.), le siguen en importancia las ciénagas (83 sp.), los embalses (73 sp.), los jagüeyes (13 sp.), las lagunas de montaña (20 sp.) y, finalmente, las cavernas (7 sp.). Este número de especies puede cambiar en su interacción con la elevación (Figura 2). La conectividad longitudinal y lateral influyen en la similaridad en la composición de especies entre los diferentes ecosistemas de la planicie aluvial o bien dentro de cada franja de elevación. En las zonas de menor elevación la similaridad es alta entre ecosistemas y a medida que se incrementa la elevación la similaridad entre las corrientes de agua se reduce (Herrera-Pérez *et al.* 2019). En las zonas por debajo de los 300 m s.n.m., la inundación que se presenta dos veces al año (Restrepo *et al.* 2020) conecta lateralmente los ecosistemas presentes en ese intervalo de elevación, facilitando la dispersión y recolonización de los peces entre estos ambientes, lo que homogeniza la composición de especies entre los ecosistemas. A medida que se incrementa la elevación, la conectividad longitudinal de ríos y quebradas (determinada por la pendiente del cauce, la velocidad y temperatura del agua, el tipo de sustrato y la turbulencia) influye en la capacidad de dispersión longitudinal de los individuos incrementando el aislamiento entre los cursos de agua y, con ello, la singularidad de la ictiofauna dentro de cada corriente dentro de la misma franja de elevación (Carvajal-Quintero *et al.* 2015, Herrera-Pérez *et al.* 2019).

Peces en ríos y quebradas

En las franjas de elevación entre los 5 y los 900 m s.n.m se concentra el mayor número de ecosistemas y, a medida que se incrementa la elevación se reduce a lagunas de montaña y quebradas (Jaramillo *et al.* 2015). Las ciénagas se observan principalmente entre los 5 y los 300 m s.n.m. y, particularmente, a los 900 m en la cuenca alta del río Cauca. Así que el cambio en el número y en la composición de especies asociado con la elevación sólo es posible definirlo para los ríos y quebradas. En este tipo de ecosistema acuático e independientemente del orden del cauce, se observa la tendencia a reducir el número de especies nativas a medida que se incrementa la elevación (Figura 3). En el intervalo entre los 4 y los 300 m s.n.m. el número de especies está entre 40 y 110 especies y, la amplitud de ese intervalo se va reduciendo a medida que se avanza en la elevación. Arriba de los 1.200 m s.n.m. el intervalo está entre tres y 14 especies e incluso, a la mayor elevación (>2.000 m s.n.m.), entre una y tres especies. En términos de composición se observa el mayor cambio hacia las zonas altas. Entre 1.800 y 2.400 m s.n.m., la riqueza de especies no es mayor a 15 especies y algunos pocos géneros de especies nativas (*Astroblepus spp*, *Trichomycterus spp*, *Grundulus bogotensis* y *Eremophilus mutisii* (Mojica *et al.* 2012, Prieto-Mojica *et al.* 2017) reúnen más del 90% de la riqueza. A medida que se desciende, entre los 1.200 y los 2.000 m s.n.m. aumenta la riqueza a nivel de géneros de Characiformes como *Astyanax*, *Brycon*, *Chaetostoma*, *Carlastyanax*, *Characidium*, *Saccodon*, *Salminus*, *Prochilodus* y, de Siluriformes como *Cetopsorhamdia*, *Hypostomus*, *Lasiancistrus* y *Trichomycterus*. Entre los 600 y los 1.200 m s.n.m. se encuentran especies de géneros como *Ancistrus*, *Ardinoacara*, *Apteronotus*, *Caquetaia*, *Cetopsis*, *Creagrutus*, *Ctenolucius*, *Cynodonychties*, *Cyphocharax*,



IAvH

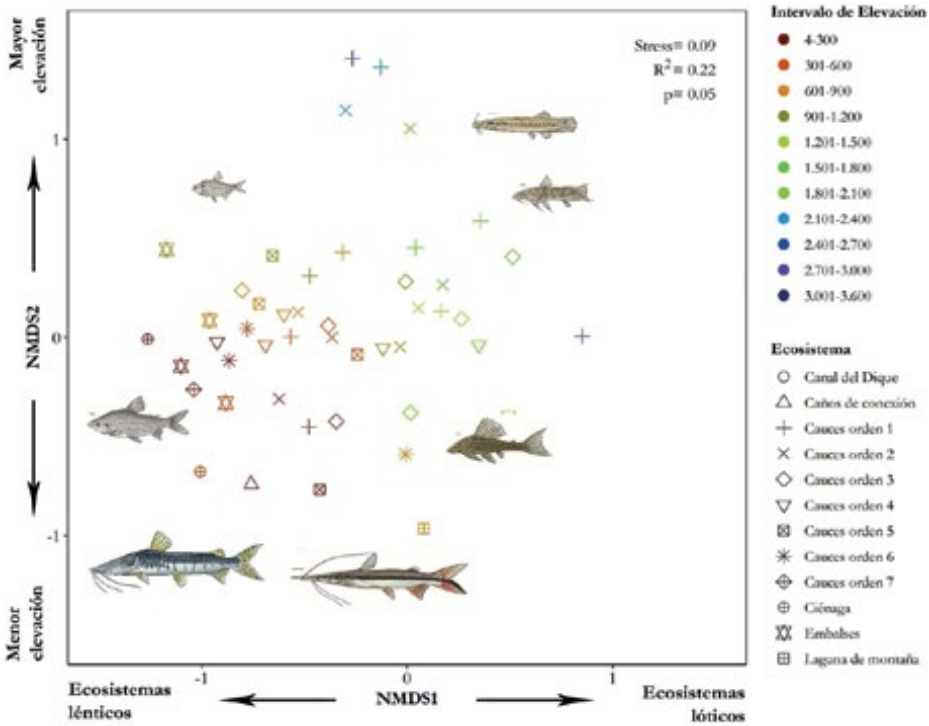


Figura 2. Agregación de los ecosistemas acuáticos de acuerdo con la elevación basada en la composición de especies de peces en la cuenca del río Magdalena.

Acestrocephalus, *Eigenmannia*, *Megaleporinus*, *Ichthyocephalus*, entre otros. En zonas por debajo de los 600 m s.n.m. se encuentran especies de géneros como *Abramites*, *Callichthys*, *Centrochir*, *Pseudoplatystoma*, *Sorubim*, *Pseudopimelodus*, *Curimata*, *Triportheus*, *Hoplias*, *Hoplosternum*, *Panaque*, *Paravendellia*, *Pimelodus*, entre otros.

Este patrón en el cambio del número de especies y en su composición arriba de los 1.200 m s.n.m. ha sido reportado en diversas publicaciones en la vertiente oriental del ramal central andino (Jaramillo-Villa *et al.* 2010), en la vertiente sur-occidental de la cordillera oriental (Carvajal-Quintero

et al. 2015) en la vertiente occidental y oriental de la cordillera central andina (Herrera-Pérez *et al.* 2019). Estos autores atribuyen esta tendencia a la reducción en la diversidad de hábitats como a la oferta de alimento desde las zonas bajas a las cabeceras de los ríos, al incremento en la severidad e inestabilidad en las condiciones del hábitat las cuales dificultan la dispersión y colonización debido a variaciones abruptas de la temperatura, el oxígeno disuelto, la pendiente, la velocidad del agua y la amplitud del canal de los ríos. En la cuenca del río Magdalena, entre los 300 y los 1.200 m s.n.m., las condiciones ambientales que más aportan a la riqueza de especies son

ECOLOGÍA E HISTORIAS DE VIDA

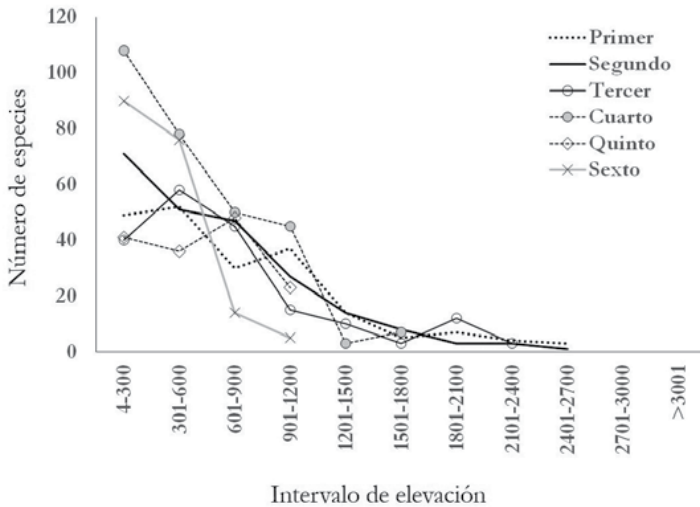


Figura 3. Distribución del número de especies nativas en corrientes de agua según su jerarquía en la red fluvial, a lo largo del gradiente de elevación en el río Magdalena.

aquellas asociadas con la estructura del cauce como el tipo de sustrato dominante, la presencia de diferentes hábitats -pozas, rápidos, rizos, cuevas-, y de la masa de agua (p. e. velocidad, temperatura) (Jiménez-Segura y Álvarez-Bustamante 2015, Herrera-Pérez *et al.* 2019, Hamp 2019).

Características del pulso de caudal tales como la frecuencia, duración y magnitud, está determinada por la elevación. El incremento en la intensidad de las lluvias en cuencas de corrientes de pequeño orden provoca incrementos de caudal de corta duración y los peces que allí habitan presentan adaptaciones como bocas en forma de ventosa, vejigas natatorias reducidas, aletas pectorales fuertes (Maldonado-Ocampo *et al.* 2005), y estructuras de anclaje como odontodes en la cabeza y en las aletas pélvicas (Astroblepidae, Trichomycteridae) (Conde-Saldaña *et al.* 2017, Benezam *et al.* 2018), que les permiten

permanecer en estos ambientes aferrándose a los sustratos duros o escondiéndose en pequeñas cuevas para sobrellevar los pulsos o crecientes momentáneas. Especies como las de los géneros *Astroblepus* spp, *Cordylancistrus* spp se dispersan a lo largo de los cauces logrando sobrepasar saltos y chorros, las adaptaciones morfológicas como bocas en forma de ventosa, aletas pectorales fuertes y pedunculos caudales robustos les permiten resistir la velocidad del flujo y remontar cauces de elevada pendiente (Carvajal-Quintero *et al.* 2015). En estos ambientes, el ensamblaje cambia en su estructura entre temporadas climáticas intra-anales (Jiménez-Segura *et al.*, 2011) y se ha identificado que los periodos ENSO (El Niño y La Niña) generan modificaciones en la distribución de su abundancia y biomasa (Ríos-Pulgarín *et al.*, 2015).

A medida que se avanza hacia las zonas bajas, la magnitud del caudal aumenta,



IAvH

así como el tiempo de duración del pulso y la influencia de las crecientes sobre el plano lateral al cauce. El mayor arrastre de materia orgánica y nutrientes desde las zonas altas hacia las zonas bajas se observa al comienzo de la temporada de crecientes y a medida que aumenta el caudal, se va reduciendo esta concentración (Jiménez-Segura 2007). La estacionalidad en el pulso genera cambios en las condiciones del agua y en la oferta de alimento para los peces dentro de los ecosistemas presentes en las zonas bajas (Marín-Avenidaño y Aguirre-Restrepo 2017; Gutiérrez-Cortés y Pinilla-Agudelo 2016) y provoca los movimientos de las especies migratorias desde sus lugares de crecimiento hacia el río Magdalena y sus afluentes (Jiménez-Segura *et al.* 2016; Gutiérrez-Cortés y Pinilla-Agudelo 2016). La dispersión de estos individuos migrantes genera cambios importantes en la estructura de los ensamblajes, tanto de los que están en las ciénagas (Ríos-Pulgarín *et al.* 2008) como de los que están en el cauce del río y en sus afluentes (López-Casas *et al.* 2016).

Peces en la planicie inundable: ciénagas y caños

Las ciénagas son ecosistemas muy importantes dentro del ciclo de vida de muchas especies de peces en el río Magdalena ya que proveen de hábitat y alimento para sus larvas y juveniles. La riqueza específica entre ciénagas es muy variable (2-63 especies). Entre 17 y 19 especies reúnen el 90% de la abundancia en número y en biomasa, respectivamente; el viejito, *Cyphocharax magdalenae* una especie detritívora reúne cerca del 30% de la abundancia en número. Esta misma especie y otro detritívoro, el bocachico (*Prochilodus magdalenae*) reúnen cerca del 30% de la abundancia en biomasa. Las áreas más ricas (> 30 especies) son las que se ubican en la depresión Momposina o en la parte baja del río Cauca y las más

pobres en especies (< 10 especies) son las que se localizan aguas abajo de la depresión Momposina (p. e. Jobo 9 sp., Luruaco 2 sp.) (Morales y García-Alzate 2018, Rondón-Martínez 2020, UdeA-EPM 2020). Especies omnívoras como las especies endémicas *Abramites eques* y aquellas del género *Argopleura* (*A. conventus*, *A. diquensis* y *A. magdalenensis*) *Astyanax panamensis*, detritívoras como *Dasylicaria paucisquama* y planctófagas como *Anchoa lyolepis* se han reportado sólo en estos ecosistemas.

La oferta de alimento para los peces dentro de estos ambientes está fuertemente asociada con la intensidad en la conexión con el río y los sistemas cenagosos adyacentes. Estudios realizados en la ciénaga de Ayapel describen que los periodos de transición de la inundación al estiaje son definitivos para el aumento del alimento que aprovechan los peces, como es el plancton y los macroinvertebrados (Marín-Avenidaño y Aguirre-Restrepo 2017). Durante el estiaje los peces adultos incrementan su peso y, en el periodo de transición del estiaje a la inundación, maduran sus gónadas y desovan; justo antes de que se presente nuevamente la oferta de alimento a sus larvas luego del ingreso de los nutrientes que lleva el río a la ciénaga (Jiménez-Segura *et al.* 2010). Otros estudios realizados en diferentes ciénagas en la cuenca media y baja del río Magdalena han encontrado que la riqueza de especies está relacionada principalmente con la conectividad con el río, el área del espejo de agua y el desarrollo de la línea de costa (Jiménez-Segura *et al.* 2012). Aquellas ciénagas que han perdido la conexión con el cauce del río Magdalena tienen un menor número de especies (< 15 especies), mientras que ciénagas con un área mayor área, mayor desarrollo de la línea de costa y mayor conectividad con el río, albergaron mayor número de especies de peces

ECOLOGÍA E HISTORIAS DE VIDA

(> 20 especies) (Granado-Lorencio *et al.* 2012, Jiménez-Segura *et al.* 2012). Dentro de una ciénaga, los hábitats más ricos en especies son aquellos próximos a la zona litoral y cercanos a los caños de conexión (Arango *et al.* 2008, Ríos-Pulgarín *et al.* 2008). En las ciénagas y caños dominan en riqueza de especies los órdenes Characiformes (44% de la riqueza, 12 familias siendo la más rica Characidae), Siluriformes (38% de la riqueza, nueve familias siendo la más rica Loricariidae), Gymnotiformes (8%, con tres familias siendo la más rica Sternopygidae), Cichliformes (5%, representado por la familia Cichlidae) y, Cyprinodontiformes, Perciformes, Myliobatiformes y Synbranchiformes (cada uno con una sola especie).

El complejo cenagoso de la ciénaga Grande de Santa Marta alberga 130 especies, principalmente especies de ambientes estuarinos y marinos (Santos-Martínez y Acero 1991), entre estas se encuentran la lisa (*Mugil incilis*), la mojarra rayada (*Eugerres plumieri*) y el mapalé (*Cathorops mapale*). La tilapia nilótica, *Oreochromis niloticus*, una especie introducida en la cuenca, hace parte también de la asociación de especies y se ha convertido en un importante recurso pesquero para los pescadores artesanales. La salinidad difiere en los diferentes ambientes del complejo cenagoso, así que las especies tienen que distribuirse asociadas a esos gradientes de salinidad (Blanco *et al.* 2007). Las especies dulceacuícolas ingresan y permanecen en la región occidental del complejo costero donde hay una fuerte influencia del río Magdalena, en particular, durante la temporada de crecientes.

Peces en lagunas de montaña

De acuerdo con los escasos reportes sobre su ictiofauna, en ellas habitan 20 especies; algunas de ellas muy representativas

y endémicas de estos ambientes como la guapucha (*Grundulus bogotensis*), el capitán de la Sabana, *Eremophilus mutissi* (Prieto-Mojica *et al.* 2017) y el capitán enano, *Trichomycterus bogotensis* en quebradas de la Sabana del río Bogotá, así como en lagunas como la de Fuquene y Guatavita. En la Laguna de San Diego (municipio de Caldas) apenas siete especies reúnen el 90% de la abundancia en número y en biomasa, respectivamente; entre ellas las especies omnívoras del género *Astyanax* spp. y la mojarra amarilla (*Caquetaia kraussii*), son las especies más abundantes. En sistemas lagunares de páramo en el Tolima como Las Mellizas, Danubio y El Meridiano que se encuentran arriba de los 2.000 m s.n.m. solo se ha registrado la especie introducida *Oncorhynchus mykiss* (Villa-Navarro *et al.* 2007). Estos sistemas son aislados de los circundantes cursos de agua y el volumen de agua almacenada está definido por los aportes de las aguas subterráneas y de escorrentía. Es necesario avanzar en el conocimiento relativo con la composición de su ictiofauna y la similaridad con las especies de peces presentes en los afluentes y sistemas próximos y, la manera en que esas especies colonizaron esas lagunas.

Ensamblajes de peces en cuevas

Los peces que habitan las cuevas son poco conocidos, la exploración en ellas es reciente y a las dificultades metodológicas para realizar las capturas y observaciones imponen retos durante las jornadas de pesca. A pesar de esto, se han logrado avances importantes en la descripción de nuevas especies. A la fecha, Lasso *et al.* (2018) reportan en cavernas andinas distribuidas entre los 1.000 y los 2.400 m s.n.m., siete especies hipogeas, todas del género *Trichomycterus*: *T. sandovali*, *T. santanderensis*, *T. sketi*, *T. uisae*, *T. guacamayensis*, *T. rosablanca* y *T. donascimientoi*.



IAvH

Además de estas especies, se encuentran especies visitantes no hipogeas que pueden aprovechar tramos del sistema permanentemente conectados con las corrientes superficiales. Entre ellos, se reporta la presencia de las especies de Poeciliidae y Characidae, Siluriformes como *Rhamdia* y juveniles de *Synbranchus marmoratus* en el cinturón kárstico del Magdalena Medio. Todos estos organismos se dispersan alternativamente dentro o fuera de la caverna en función del periodo hidrológico y de la oferta de recursos.

Ensamblajes de peces en ecosistemas acuáticos formados por el hombre

De los ecosistemas acuáticos formados por el hombre, en los jagüeyes habitan 13 especies; las más abundantes son del género *Astyanax* spp., *Andinoacara latifrons* y *Hoplias teres* (Navarro *et al.* 2019). En el Canal del Dique se han reportado diez especies, siete de ellas reúnen el 90% de la abundancia en número y en biomasa, respectivamente; la arenca, *Triportheus magdalenae* es la especie que reúne cerca del 30% de la abundancia tanto en número como en biomasa.

Debido a que los embalses se forman dentro de cauces de ríos, la composición de la ictiofauna será conformada por aquellas especies nativas que logren persistir en las nuevas condiciones definidas por el lago artificial. La introducción de especies exóticas es un fenómeno comúnmente observado en estos nuevos ambientes. De esta manera lo que cambia es la estructura de la comunidad, principalmente asociada con la abundancia de cada especie. Estos ambientes albergan 73 especies. Entre once y 14 especies reúnen el 90% de la abundancia en número y en biomasa, respectivamente; especies como *Astyanax* sp. reúnen cerca del 30% de la abundancia en número

y *Astyanax microlepis* reúne cerca del 30% de la abundancia en biomasa. La tilapia negra *Coptodon rendalli* y la tilapia plateada *Oreochromis niloticus*, especie originarias de lagos africanos, también son especies abundantes tanto en número de individuos como en biomasa. Su introducción en estos ambientes se ha presentado por repoblamiento o por escapes de piscícolas donde se cultivan de manera intensiva.

A pesar de que el embalse más antiguo en la cuenca (La Regadera) se construyó en el año 1938, el estudio de los peces que habitan estos ecosistemas es reciente debido a que se ha convertido en un ambiente cada vez más importante para la pesca artesanal (Jiménez-Segura *et al.* 2011) y para los piscicultores, ya que la explotación que han hecho del embalse Betania (departamento del Huila) para el cultivo intensivo de tilapias ha sido provechosa económicamente. El cultivo en jaulas ha despertado interesantes discusiones sobre el impacto de esta actividad piscícola en la calidad del agua del embalse, del agua descargada aguas debajo de él y que provee a acueductos de municipios aguas abajo así como el conflicto potencial con la fuerte oscilación en el nivel del agua dentro del embalse resultado de la generación de energía eléctrica, objetivo principal de la formación de la mayoría de los embalses en nuestro país (Jiménez-Segura *et al.* 2014a).

Diversos estudios en cuencas suramericanas han definido que la riqueza de especies de peces dentro de un embalse se reduce con la edad de formación (Agostinho *et al.* 2007, Jiménez-Segura *et al.* 2011, USCO-Emgesa 2020), sin embargo, la composición final de especies estará determinada por la ubicación altitudinal del embalse, así como por la forma del mismo y las características de sus tributarios principales. En la cuenca

ECOLOGÍA E HISTORIAS DE VIDA

del río Magdalena, la riqueza de especies en embalses jóvenes con edades menores a cinco años de formación (p. e. El Quimbo, Hidroitungo e Hidrosogamoso) es aún alta (intervalo: 45-50 sp.) y dominan en número y biomasa las especies nativas (*Astyanax* sp., *A. microlepis* y el Capaz, *Pimelodus grosskopfii*), incluso se pueden encontrar en los primeros años, individuos de especies con comportamientos migratorios como el *Prochilodus magdalenae*, *Salminus affinis* y *Brycon moorei*. Entre tanto, embalses con edades superiores a 10 años (p. e. Porce II, Porce III, Hidromiel, Guatapé-Peñol), la riqueza se reduce a menos de 15 especies y, en la biomasa, dominan las especies introducidas como *Coptodon rendalli*, *Astronotus* sp., *Caquetaia kraussii* y *Oreochromis niloticus* y, en número, las especies del género *Astyanax*. Una tendencia común a todos los ríos regulados por embalses, es que el mayor número de especies se concentra en los ecosistemas de corrientes (quebradas y ríos) presentes dentro del área de influencia del embalse que no fueron inundados, pero si aislados por la formación de la presa.

Dentro del cuerpo de agua del embalse, el mayor número de especies se observa en los sectores de ingreso de los afluentes (denominados como *colas*) y se reduce a medida que se acerca a la presa (Álvarez-Bustamante *et al.* 2018). La disponibilidad de hábitat en la zona litoral dentro del embalse cambia según la profundidad y la proximidad al sector de la presa. En la cola, el embalse tiene menor profundidad, la pendiente del litoral es reducida y la fluctuación del nivel del agua está asociada con el aporte del río. Estas condiciones favorecen el crecimiento de plantas acuáticas (p. e. *Eichhornia crassipes*, *Azolla* sp.) y con ello la oferta de alimento, en particular para larvas y peces juveniles. Cuando se tienen embalses en cascada, el número de especies

se incrementa en aquellos sectores entre el muro de la presa y la cola del embalse que se encuentra inmediatamente aguas abajo, donde hay flujo unidireccional, y en particular, hay aportes de afluentes o tributarios dentro de ese sector. Tal es el caso de los cauces entre la cola del embalse Betania y la presa del embalse de El Quimbo donde ingresa el río Páez (USCO-Emgesa 2018, 2020) y, entre los embalses Porce II y Porce III, donde ingresa el río Guadalupe (Álvarez-Bustamante *et al.* 2018). En la zona entre la presa de El Quimbo y la cola del embalse Betania, se presentan dos lagos someros que albergan especies de peces nativas típicas de ciénagas, así como también tilapias (USCO-Emgesa 2020). La presencia de ecosistemas, como lagos someros y afluentes con caudal importante (similar o mayor a la del río regulado) que ofrecen hábitat para los peces y amortiguan la regulación diaria del caudal que hace el embalse hacia aguas abajo, es muy importante en la recuperación de la riqueza de especies, tal y como se observa en el río La Miel, luego de confluir con el río Samaná, un río con flujo libre (Jiménez-Segura *et al.* 2014b).

Ecología trófica

Los peces en el río Magdalena encuentran diversidad de recursos para alimentarse. Pueden consumir recursos de origen autóctono (generados dentro del medio acuático: microalgas, algas filamentosas, microcrustáceos, larvas y pupas de insectos, invertebrados bentónicos, peces), así como recursos de origen alóctono (generados en sistemas externos al medio acuático: frutos, semillas, flores, insectos terrestres y algunas veces otros vertebrados como anfibios, reptiles y aves) (Maldonado-Ocampo *et al.* 2005, Arenas-Serna 2012, Rivera-Coley 2012, Gamez-Barrera *et al.*, 2014, Jiménez-Segura *et al.* 2014, Rondón-Martínez 2020, USCO-EMGESA 2020).



IAvH

Características morfológicas en las especies de peces, como la posición de la boca, el tipo de dientes, la longitud del intestino, el tamaño del estómago, así como la ubicación en la columna de agua, permiten predecir su dieta (Winemiller *et al.* 2008, Barbosa *et al.* 2020). Otros atributos morfológicos, como ojos en posición dorsal o dorso-lateral, cuerpos deprimidos, pedúnculos caudales largos y aletas fuertes y desarrolladas, son caracteres comunes en especies bentónicas con dietas basadas en el consumo de algas y macroinvertebrados de fondo (Conde-Saldaña *et al.* 2017), representantes de los géneros *Astroblepus*, *Chaetostoma*, *Lasiancistrus*, *Parodon*, *Pimelodella*, *Saccodon*, *Sturisomatichthys* y *Trichomycterus*, que a su vez habitan cuerpos de agua con sustratos rocosos, con zonas de rápidos y vegetación riparia asociada (García-Melo *et al.* 2005, Maldonado-Ocampo *et al.* 2005, Montoya-Ospina 2014, Ramírez y Pinilla *et al.* 2014, Román-Valencia *et al.* 2018, 2005, Valencia y Zamudio 2007, Zúñiga-Upegui *et al.* 2014). Por otro lado, especies con ojos laterales, que dan un mayor amplitud visual, cuerpos comprimidos y pedúnculos caudales anchos, que permiten movimientos más rápidos y estables, se asocian a dietas compuestas por insectos terrestres, larvas de invertebrados y otros peces (Conde-Saldaña *et al.* 2017, Montoya-Ospina 2014), tal es el caso de especies como *Andinoacara latifrons*, *Hoplias teres* y *Geophagus steindachneri* y, especies de los géneros *Astyanax*, *Creagrutus*, *Rivulus* y *Gephyrocharax*, que aprovechan su velocidad y capacidad de camuflaje para obtener sus presas (Román-Valencia 1998, 2005, Atencio-García *et al.* 2005, Maldonado-Ocampo *et al.* 2005, Hernández-Serna *et al.* 2015). Finalmente, la longitud del tracto digestivo parece estar asociado con el tipo de dieta, especies omnívoras y detritívoras presentan tractos largos, mientras

que aquellas con hábitos carnívoros, son generalmente cortos y con un estómago claramente diferenciado (Karachle y Stergiou 2010).

Peces carnívoros. El gremio de los carnívoros en el río Magdalena está conformado por 81 especies. Los recursos más utilizados son invertebrados y peces. Trece especies (entre ellas, *Ctenolucius hujeta*, *Pseudoplatystoma magdaleniatum*, *Hoplias teres*, *Megaleporinus muyscorum*) prefieren consumir otros peces (Maldonado-Ocampo *et al.* 2005); en este grupo, se incluye a *Roebooides dayi* que consume escamas de otros peces (Peterson y Winemiller 1997) y un hematófago, *Paravandellia phaneronema* (Díaz del Basto *et al.* 2018). Sesenta y siete especies consumen invertebrados, entre ellas están *Acestrocephalus anomalus*, *Centrochir crocodilii*, *Potamotrygon magdalenae*, *Bunocephalus colombianus*, y especies de los géneros *Astroblepus* y *Trichomycterus*.

Peces omnívoros. Los omnívoros o también llamados “generalistas” están representados por 53 especies. Entre ellas están el *Abramites eques*, *Andinoacara latifrons*, *Caquetaia kraussii*, *Sorubim cuspicaudus*, *Coptodon rendalli*, *Brycon moorei*, *Ageneiosus pardalis*, y, especies de los géneros *Astyanax*, *Hemibrycon*, *Pimelodus* y *Poecilia*, entre otras. Estas especies presentan boca terminal y dientes de formas diversas, predominando los multicúspides. Especies de los géneros *Saccodon* y *Parodon* presentan en sus contenidos estomacales un alto porcentaje de macroalgas, por lo que determinar si realmente este recurso es metabolizado por estos peces es importante de conocer en un futuro cercano.

Peces detritívoros. 32 especies conforman este gremio. Dentro de este grupo se encuentran aquellos “chupadores” de raíces

ECOLOGÍA E HISTORIAS DE VIDA

sumergidas (*Curimata mivartii*) y del fango (*Prochilodus magdalenae* y *Cyphocharax magdalenae*). Otros son raspadores del biofilm presente sobre sustratos duros como rocas, raíces y troncos sumergidos; dentro de este grupo están las especies de la familia Loricariidae (*Ancistrus* spp., *Chaetostoma* spp., *Hypostomus hondae*) así como también *Prochilodus magdalenae* e *Ichthyoelephas longirostris*. Estas especies, presentan en común, con excepción de *Curimata mivartii*, boca con labios carnosos, numerosos dientes filiformes en los labios y, en el caso de los Loricariidae, boca ventral en forma de ventosa.

Peces planctófagos. Cuatro especies conforman el gremio de los planctófagos: *Triportheus magdalenae*, *Anchoa lyolepis*, *A. trinitatis* y *Gilbertolus alatus*. Estas especies presentan una boca superior que les permite forrajear en la superficie de la columna de agua, adicionalmente presentan espinas branquiales largas y numerosas, las cuales, en el caso de *T. magdalenae*, aumentan en número y longitud relativa conforme los individuos crecen, lo cual se relaciona con una dieta donde predomina el zooplancton en ejemplares adultos (Morales y García-Alzate 2018).

Diversidad trófica entre ecosistemas según gradientes de elevación

La elevación modifica la distribución de la riqueza de especies por gremio trófico, particularmente en los ecosistemas de corriente (Figura 4). En las ciénagas y embalses de la cuenca del río Magdalena se presentan todos los gremios tróficos; algunos con menor riqueza de especies, como los planctófagos. Las ciénagas de El Jobo, Luruaco y Zapatosa en el bajo Magdalena y algunas presentes en el Magdalena medio, como Simití, El Llanito, Guarinocito, Canaletal y

Cachimbero, se caracterizan por presentar especies omnívoras y detritívoras. Además de esto, es común encontrar especies como *Roebooides dayi*, que consumen escamas en las ciénagas del Caribe colombiano.

Dentro del gremio de los carnívoros, los que consumen invertebrados están representados por el mayor número de especies en todas las elevaciones, entre tanto que, los piscívoros son más diversos en las zonas bajas. En las zonas debajo de los 1.000 m s.n.m., los cuatro gremios están representados y a medida que se reduce la elevación se incrementa la riqueza dentro de cada uno; incluso en zonas debajo de los 600 m s.n.m. hay especies planctófagas como *G. alatus* y *T. magdalenae*.

Las quebradas que nacen en las zonas altas de las montañas y se ubican entre 1.000-3.000 m s.n.m., presentan pendientes moderadas, cauces con sustratos rocosos y sombreado debido a la vegetación ribereña, sustratos que albergan diferentes tipos de insectos y macroinvertebrados, fuentes de alimento de las especies de peces que allí habitan. En su mayoría, estas zonas están dominadas por especies de los géneros *Astroblepus* y *Trichomycterus*, quienes aprovechan los macroinvertebrados adheridos a los sustratos, siendo la base de su dieta (Román-Valencia 2001, García-Melo *et al.* 2005, Maldonado-Ocampo *et al.* 2005). La introducción de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en este tipo de ecosistemas, supone una amenaza para la ictiofauna nativa, ya que se conoce su comportamiento oportunista al consumir las presas disponibles (Lasso *et al.* 2020). A medida que se avanza hacia las zonas bajas, hay mayor diversidad de ecosistemas acuáticos (Jaramillo-Villa *et al.* 2015), estas condiciones resultan más favorables para especies pequeñas de



IAvH

los géneros *Hemibrycon*, *Hyphessobrycon*, *Poecilia* y *Rhamdia*, quienes presentan dietas flexibles y amplias, mientras que aquellas con hábitos bentónicos como los géneros *Chaetostoma*, *Lasiancistrus* y las especies *Parodon magdalenensis* y *Saccodon dariensis*, aparentemente aprovechan el biofilm presente sobre los sustratos (Arenas-Serna 2012, Rivera-Coley 2012).

En los embalses hay mayor riqueza de especies con hábitos omnívoros. El aporte de los ríos que fluyen al embalse lleva recursos alóctonos y autóctonos (Agostinho *et al.* 2007) y el biofilm que crece asociado al sedimento que se deposita en la zona de la cola del embalse y, a las raíces de las macrófitas flotantes son fuentes de alimento para los peces (USCO-Emgesa 2018, 2020). Dentro de estos ecosistemas, el embalse El Guájaro en el bajo Magdalena, presenta una estructura trófica más compleja comparado con otros embalses ya que este ambiente es una ciénaga aislada del río Magdalena con un dique artificial que regula el ingreso y la

salida del agua proveniente del cauce principal del río.

El uso de los recursos alimenticios puede darse de diferentes maneras, promoviendo procesos convergentes en los que especies filogenéticamente distantes, aprovechan el mismo recurso a desarrollando diferentes estrategias (Casatti y Castro 2006, Oliveira *et al.* 2010, Guisande *et al.* 2012). Entre ellas aquellas asociadas con el crecimiento (segregación durante la ontogenia), el horario de mayor actividad (segregación nictemeral), la disponibilidad de recursos de acuerdo con la estacionalidad hidrológica (segregación estacional) y la migración entre ecosistemas (segregación espacial).

Durante su período larval los peces son carnívoros y a medida que aumenta el tamaño de la boca, cambian de usar el plancton (protozoarios/rotíferos, microalgas) a alimentarse de organismos microscópicos de mayor tamaño (cladóceros, copépodos y ostrácodos) e incluso, ser

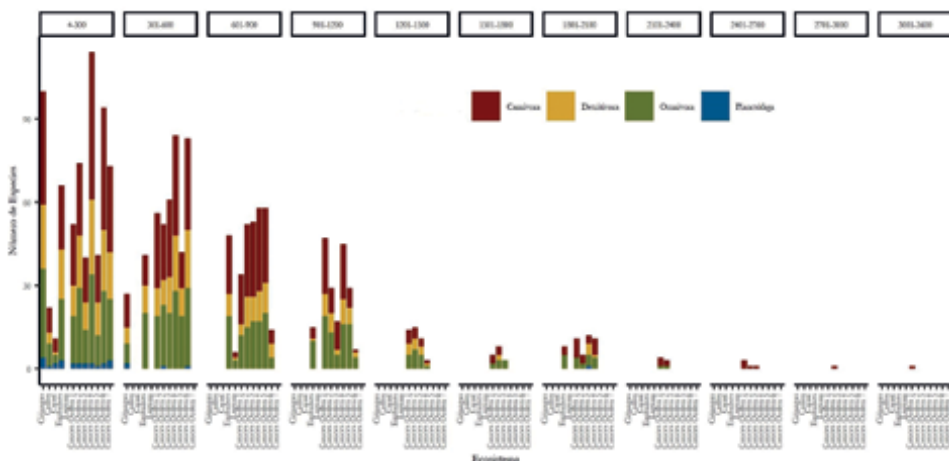


Figura 4. Número de especies por gremio trófico con relación al gradiente de elevación y el tipo de ecosistema acuático dentro de la cuenca del río Magdalena.

ECOLOGÍA E HISTORIAS DE VIDA

caníbales (Prieto y Atencio 2008, Ochoa 2009) y una vez alcanzan el periodo juvenil cambian totalmente de dieta. Tal es el caso del bocachico que se torna detritívoro, o las especies de los géneros *Pimelodus* y *Brycon* que se tornan omnívoras; incluso también especies introducidas como *Micropterus salmoides* que se mantienen carnívoras aumentando el tamaño de sus presas (Nieto 2020). La segregación nocturnal se ha observado particularmente dentro de las ciénagas, donde el forrajeo de los peces cambia entre los ciclos de luz y oscuridad (Hernández-Serna *et al.* 2015); las especies carnívoras y detritívoras son más activas en la noche, mientras que carnívoras comedoras de insectos, las planctófagas y las omnívoras, son más activas durante el día. La segregación estacional, fundamenta el cambio en la oferta de recursos a ser usados en la dieta; reportes de esta segregación se conocen en sistemas cenagosos, donde durante la temporada de inundación, *Trachelyopterus insignis* es omnívora pero cuando comienza el estiaje se torna carnívora, específicamente piscívora, y *Tripopterus magdalenae* cambia también su hábito alimentario dependiendo de la oferta de recurso, pasando de consumir insectos durante la inundación a plancton durante el estiaje (Herrera-Molina 2010, Morales y García-Alzate 2018). Finalmente, la segregación espacial se observa principalmente en especies migratorias que se dispersan estacionalmente por los diferentes ecosistemas de la cuenca, aprovechando los recursos que éstos ofrecen. Tal es el caso de la migración de *Prochilodus magdalenae*, especie detritívora que consume el biofilm asociado al fango cuando se encuentra dentro de las ciénagas y, cuando migra hacia los afluentes del río Magdalena, consume el biofilm presente sobre los sustratos duros como rocas y troncos.

Estrategias de vida

Poca es la información que hay de la historia de vida de los peces del río Magdalena. De las 233 especies listadas por García-Alzate *et al.* (2020), apenas ocho tienen información relativamente completa para determinar los rasgos de vida que la describen, para las otras 225 especies hay disponible información para congéneres o para otras cuencas suramericanas donde se distribuye la especie (Anexo 1).

El tamaño de los peces del Magdalena varía entre los 24-1.500 mm de longitud estándar. Pequeños si se compara con especies en otras cuencas suramericanas como el pirarucu *Arapaima gigas* (máximo 3 m LE) o el bagre dorado *Brachyplatystoma rousseauxii* (1,8 m LE) del Amazonas. En el río Magdalena son más frecuentes los peces de pequeño porte (42%, < 100 mm); el pez de mayor talla es el bagre rayado (1.100 mm) y el más pequeño *Nanocheiroduon insignis* con 29 mm.

En el río Magdalena, el 97% de las especies se ajustan parcialmente a alguna de las tres estrategias propuestas por Winemiller y Rose (1992). Las especies de los géneros *Astyanax* y *Characidium* vinculadas al análisis presentan rasgos de la estrategia periódica o estacional con una variación: maduran de manera temprana permitiendo sugerir una categoría nueva: periódica-maduración temprana (Figura 5). En la cuenca del río Magdalena la estrategia de vida más rica en especies es la oportunista, seguida de la de equilibrio y la periódica (Anexo 1).

Dentro de las corrientes de agua, dominan en número de especies las oportunistas seguidas de las de equilibrio y periódica. En las ciénagas y caños, la más diversa es la estrategia de equilibrio seguida por la



IAvH

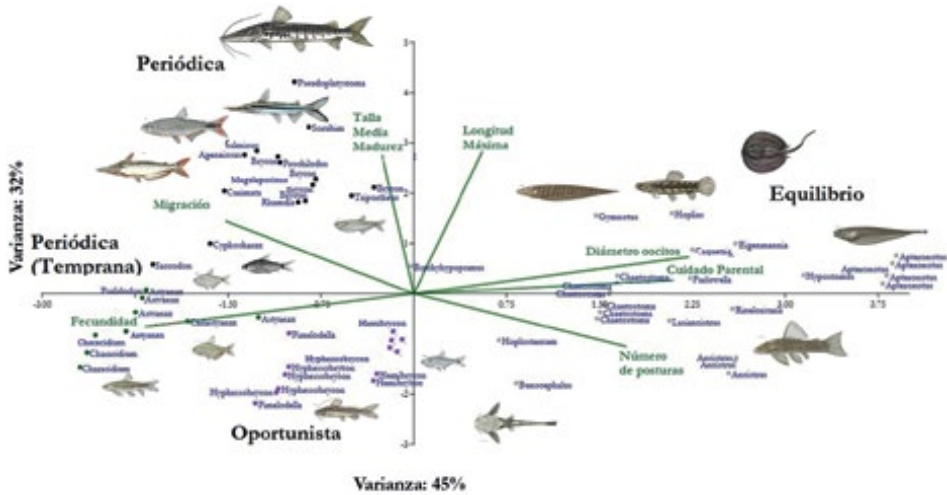


Figura 5. Agrupación de las especies de acuerdo con sus estrategias de vida de los peces en la cuenca del río Magdalena. Diseños de peces tomados del repositorio del Instituto Alexander von Humboldt.

periódica. En los embalses y lagunas de montaña, dominan las oportunistas y las de equilibrio.

Los peces con estrategia oportunista tienen poblaciones numerosas, con tamaños corporales de pequeño a mediano porte, desovan tempranamente y crecen rápido. En términos evolutivos han sido seleccionadas para habitar ambientes torrentosos, donde están permanentemente expuestas a ambientes turbulentos y avenidas torrenciales (expuestas a fuentes de alta mortalidad natural); en embalses donde la cota de llenado fluctúa (por operación de la central hidroeléctrica), nuevos filtros ecológicos podrían operar en la selección de especies con esa estrategia con alto recambio generacional. Dada la relación inversa entre la tasa de crecimiento y los tamaños corporales (Pauly 1979) alcanzar las tallas medias de madurez para los oportunistas

será un objetivo fácil ya que son exitosas en ambientes altamente fluctuantes como los embalses.

De otro lado, los loricáridos pertenecientes a la estrategia de equilibrio, se caracterizan por tener huevos grandes y baja fecundidad en algunas de las especies de los géneros *Ancistrus*, *Chaetostoma* y *Lasiacistrus* pueden elaborar nidos para depositar sus huevos como una táctica de cuidado parental (Sabaj *et al.* 1999, Gros y Sargent 1985) e incluso, llevarlos adheridos sobre el vientre como en algunos representantes de la subfamilia Loricariinae que podrían no presentar un periodo larval o metamorfosis sino una rápida transición de embrión a juvenil (Geerinckx *et al.* 2008). Los peces con estrategia equilibrio tienen amplios intervalos de tallas corporales, maduración tardía, cuidado parental que incrementa la sobrevivencia de la prole (Winemiller

ECOLOGÍA E HISTORIAS DE VIDA

1989, Winemiller y Rose 1992, Secutti y Trajano 2009).

En la cuenca del río Magdalena, se reconocen al menos 30 especies de peces con estrategia periódica o estacional, la mayoría de ellas se dispersan largas distancias (potamódromas; *potamo*: río, *droma*: migrador) (Usma *et al.* 2009, López-Casas *et al.* 2016). Éstas especies realizan recorridos a lo largo de la cuenca, entre ríos afluentes al cauce principal, así como las ciénagas dentro de planos de inundación. Son los principales ecosistemas utilizados por estos peces, particularmente aquellos debajo de los 600 m s.n.m., aunque se reportan hasta los 1.300 m s.n.m. (Jiménez-Segura *et al.* 2016). En la cuenca del río Magdalena, usando el método de etiqueta y la recaptura por parte de pescadores artesanales de esos peces, se plantea que el bocachico es la especie que mayor distancia puede migrar, con cerca de 1.223 km; un migrador de largas distancias (López-Casas *et al.* 2016) así como el bagre rayado (Usma *et al.* 2009). Especies migradoras de distancias medias como el mohíno (*M. muyscorum*), el bagre sapo (*Pseudopimelodus* sp.), el chango (*Cynopotamus magdalenae*), la doncella, el blanquillo, la picuda (*Salminus affinis*), el capaz (*P. grosskopffii*), el nicuro o barbudo (*Pimelodus yuma*), la arenca, el pataló ó jetudo y la vizcaína, migran entre 100 y 500 km. Especies como las sardinas del género *Astyanax* son de migraciones cortas (hasta 50 km).

La mayoría de las descripciones de la migración indican que el cauce principal del río Magdalena es usado por estas especies durante el estiaje como ruta de movimiento ascendente hacia los afluentes, donde se encuentran las áreas de maduración y desove (Kapetsky *et al.* 1978, López-Casas

et al. 2016, 2018, Moreno 2020) (Figura 6). A pesar de que no se tienen estudios detallados y extensivos sobre el seguimiento a las migraciones de los peces en la cuenca del río Magdalena, la divulgación del conocimiento de las migraciones por parte de los pescadores artesanales y, estudios de marcaje y recaptura con etiquetas, permiten describir estos movimientos entre tanto se realizan estudios usando métodos potentes como la telemetría.

Los pescadores reconocen que pueden existir diferentes estrategias que desarrollan estos peces migrantes en asociación con el caudal del río Magdalena y la conectividad que se presente con su plano lateral, particularmente en el momento preciso que inicia la migración (llamada *subienda* durante el primer estiaje del año y, *mitaca* durante el segundo) de cada especie. Entre ellas, cuando salen las *puntas* (grupos de peces migrantes de una misma especie) y cuando migra cada especie, según su tamaño. En general, en la salida de los peces desde las zonas inundables puede darse: al comienzo del descenso del nivel del agua una vez las lluvias reducen su frecuencia en la cuenca y, durante crecidas puntuales del río durante el estiaje, a causa de las lluvias localizadas en afluentes próximos a las ciénagas. Durante el periodo de descenso del nivel del agua, las primeras en salir de las ciénagas son las sardinas o totas (especies del género *Astyanax*), le siguen las arencas, la vizcaína, el mohíno y finalmente, el bocachico. Los bagres (pe. blanquillo, bagre rayado, nicuro, capaz) que habitan principalmente en el cauce principal del río, migran río arriba tras estas especies que han salido de las ciénagas. Estas particularidades de la migración reconocidas por los pescadores requieren de mayor estudio debido a las implicaciones que tiene en el manejo de



IAvH

las pesquerías, recuperación y protección de sus hábitats, y en la conservación de la ictiofauna.

Con la llegada de las lluvias y el aumento del caudal ocasionado por éstas, los cardúmenes de machos y hembras maduros desovan en tramos de los afluentes que mantienen el flujo suficiente para la deriva de los embriones aguas abajo. El cauce del río Magdalena actúa como una incubadora manteniendo a los embriones a flote mientras se desarrollan; una vez la larva eclosiona, es importante que se encuentre próxima a una ciénaga o caño de manera que cuando el agua del río se desborde, sea llevada dentro de la ciénaga en donde continuará con su desarrollo (Ochoa-Orrego *et al.* 2015). Este ciclo se convierte en un circuito que se sucede dos veces al año y en el que los peces se dispersan entre ciénagas- río

Magdalena - ríos afluentes (Jiménez-Segura 2007, Jiménez-Segura *et al.* 2016; López-Casas *et al.* 2016). Si los peces que salen de una ciénaga determinada retornan a esa misma luego de la migración, es una pregunta aún sin resolverse.

Usando la densidad de embriones y larvas de peces potamódromos colectados en el río Magdalena, se ha identificado que éstas especies desovan durante el comienzo de los dos crecientes del año (Jiménez-Segura *et al.* 2010a). Las densidades son mayores durante el primer periodo de crecientes y embriones y larvas ingresan a las ciénagas a través de los caños durante las máximas crecidas (Figura 7) y, prefieren desovar en ríos afluentes al río Magdalena, en particular aquellos con baja pendiente longitudinal y ciénagas próximas (Moreno 2020). La proximidad de las ciénagas a los sitios

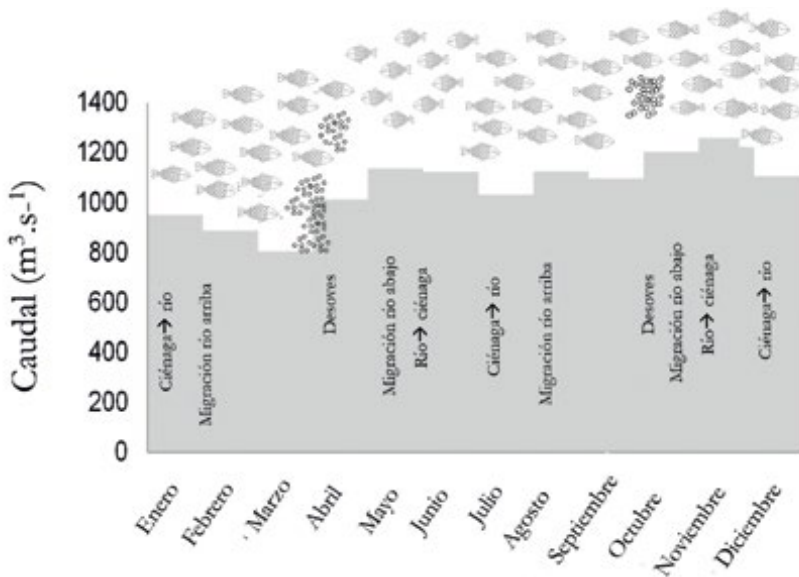


Figura 6. Movimiento de los peces entre los diferentes ambientes acuáticos de importancia para las especies potamódromas usadas por la pesca artesanal en la cuenca del río Magdalena.

ECOLOGÍA E HISTORIAS DE VIDA

de desove es un elemento crucial para la sobrevivencia de las larvas pues el tiempo de deriva no puede exceder a aquel tiempo de desarrollo durante el cual un individuo pasa de embrión a larva y ese tiempo de desarrollo puede cambiar entre especies (Jiménez-Segura 2007). Si se toma como ejemplo al bocachico, su tiempo de desarrollo para alcanzar el periodo de larva con sistema digestivo y aletas funcionando está cercano a las 40 horas (Arias-Gallo *et al.* 2010). Con una temperatura promedio del agua de 27 °C y una velocidad promedio en el cauce del río Magdalena de 0,7 m.s⁻¹ (Jiménez-Segura 2007), teóricamente un embrión que avanza en su desarrollo a medida que deriva por el cauce del río, debería ser llevado por la creciente del río a una ciénaga en el momento en que se convierta en larva. En otras palabras, un embrión que surja de un evento de desove que se dio en el río Magdalena a la altura de Puerto Berrio (Antioquia) deberá encontrar una ciénaga 100 km aguas abajo. Ese embrión, que luego de derivar esa distancia durante 40 horas se ha transformado en una larva, será llevado por la creciente del río hacia las ciénagas donde encontrará alimento (Ochoa 2009) y condiciones

apropiadas para continuar su desarrollo (Jiménez-Segura *et al.*, 2010). Si las condiciones del momento no favorecen su ingreso a la ciénaga en el momento en que el embrión se ha transformado en larva, el individuo continuará derivando por el canal del río y morirá de hambre (ó será depredado) ya que en el río no encontrará las condiciones apropiadas para obtener su alimento (fito y zooplancton) y protección.

Moreno (2020) define que los ríos afluentes más importantes como áreas de desove en términos de la densidad de ictioplancton en los años 2013 y 2014 fueron los ríos Cesar, San Jorge y el sector del río Magdalena próximo a Barrancabermeja y a Honda; seguidos por los ríos Nechí, Sogamoso, Carare y Opón. En el río Cauca las principales áreas de desove se localizan en el sector del río comprendido entre Cáceres y Achí, y en ríos afluentes como Tarazá, Man, Nechí y Caribona (EPM-Integral 2019). Actualizaciones de estos estudios durante el año 2018 y 2019, reiteran que el río Nechí sigue siendo un área importante de desove (EPM-Integral 2019), seguido por el río Magdalena (próximo a Barrancabermeja) (Rivera-Coley *et al.* 2020). En la cuenca alta

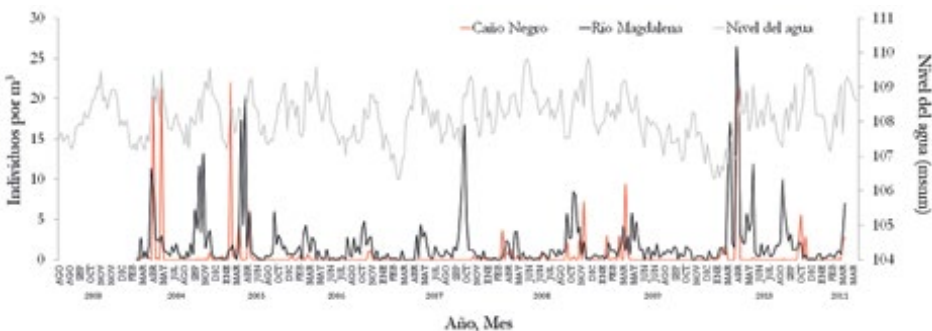


Figura 7. Densidad semanal de ictioplancton de especies migratorias en el río Magdalena entre los años 2004 y 2011, colectado en el sector frente a Puerto Berrio (Antioquia) y en el caño Negro que conecta a la ciénaga La Chiquita con el cauce del río Magdalena.



IAvH

del río Magdalena también se han identificado áreas de desove de peces migratorios, tanto en el canal principal del río como en afluentes. Pareja-Carmona *et al.* (2014) reportaron la presencia de larvas de *Prochilodus magdalenae* y *Pimelodus* spp en el río Magdalena y el río Páez y *Pseudopimelodus* spp. en el río Suaza, antes de la formación del embalse El Quimbo.

Aunque las migraciones reproductivas de las principales especies de peces comerciales son bien reconocidas por los pescadores, la mayor parte de esta información en ambientes tropicales está basada en evidencia empírica o información de desembarcos (Lucas y Baras 2011). Arce-Zuñiga *et al.* (2014) y Salcedo-Bahamon (2017), basados en el monitoreo a desembarcos de la pesca comercial en puertos sobre el río Magdalena entre Magangué (49 m de elevación) y Neiva (442 m s.n.m.), reconocen que el sector del río Magdalena entre las ciudades de Barrancabermeja (75 m s.n.m.) y Neiva, es un área de reproducción para los adultos de bagre rayado mientras que las zonas aguas abajo de Barrancabermeja, son zonas de crecimiento ya que el tamaño de los individuos adultos era significativamente menor. Confirmando así los resultados de los estudios que usan la densidad de ictioplancton, sobre la importancia de la zona baja como área de crianza y los sectores de la zona media y alta, como áreas de desove. López-Casas *et al.* (2018) basados en la velocidad del agua en corrientes del río Magdalena y el tiempo de desarrollo inicial (embrión a larva) de muestras de ictioplancton colectadas en 30 localidades en diferentes sectores de la cuenca del río Magdalena, construyeron un modelo que permite estimar la localización de las áreas de desove para al menos 13 especies migratorias en la cuenca (Figura 8). La predicción de este modelo corrobora la importancia de

la cuenca media del río Magdalena como área de desove para estas especies periódicas que, además son de la mayor importancia en la pesca artesanal (Valderrama *et al.* 2020).

El lugar donde los peces desovan ha sido reconocido como un factor que puede separar genéticamente las poblaciones de especies migratorias (Lucas y Baras 2001), incluso llegando a sugerir en estudios en Suramérica que podría llegar a existir fidelidad (*Homing*) al sitio de desove como en el caso del bagre migrador del Amazonas *Brachyplatystoma rousseauxii* (Duponchelle *et al.* 2016) y del *Pseudoplatystoma corruscans* (Gomez y Pereira 2018). Este mismo comportamiento podría estarse evidenciando en el río Magdalena y el río Cauca, su principal tributario. Los dos confluyen a la depresión Momposina, un área que reúne numerosos sistemas cenagosos que reciben estacionalmente los aportes de estos dos afluentes, pulsando con cada temporada de crecientes. La presencia de áreas cenagosas en el sector bajo de cada uno de los dos ríos (Magdalena y Cauca) así como de afluentes en sus zonas altas donde los peces desovan parece definir una dinámica de migración-desove-deriva dentro de cada uno de estos dos ríos y la probable separación de poblaciones de algunas de estas especies. Hallazgos recientes sobre la genética poblacional de algunas de ellas, definen dos poblaciones diferentes de bagre rayado, una para el río Magdalena y otra población en el río Cauca (Espinosa-León y Carrillo-Ávila 2013). También hay evidencia para el Jetudo (pataló *Ichthyoelephas longirostris*), una especie que realiza migraciones medias (López-Casas *et al.* 2016), y que presenta tres poblaciones diferentes: una en la cuenca media y baja del río Cauca y, otras dos dentro del cauce del río Magdalena arriba de la depresión Momposina (una en el río Samaná Norte y otra en el río San

ECOLOGÍA E HISTORIAS DE VIDA

Bartolomé) (Landínez-García y Márquez 2016). Igualmente, para el Bocachico, Berdugo y Narváez-Barandica (2014) detectaron tres poblaciones: una en el bajo Cauca, otra para el Magdalena, y una tercera en la

ciénaga de Palagua que los autores asocian a los repoblamientos que se realizan en ese sistema. A pesar del escaso conocimiento de la genética poblacional de las especies de peces migradores en la cuenca (Márquez

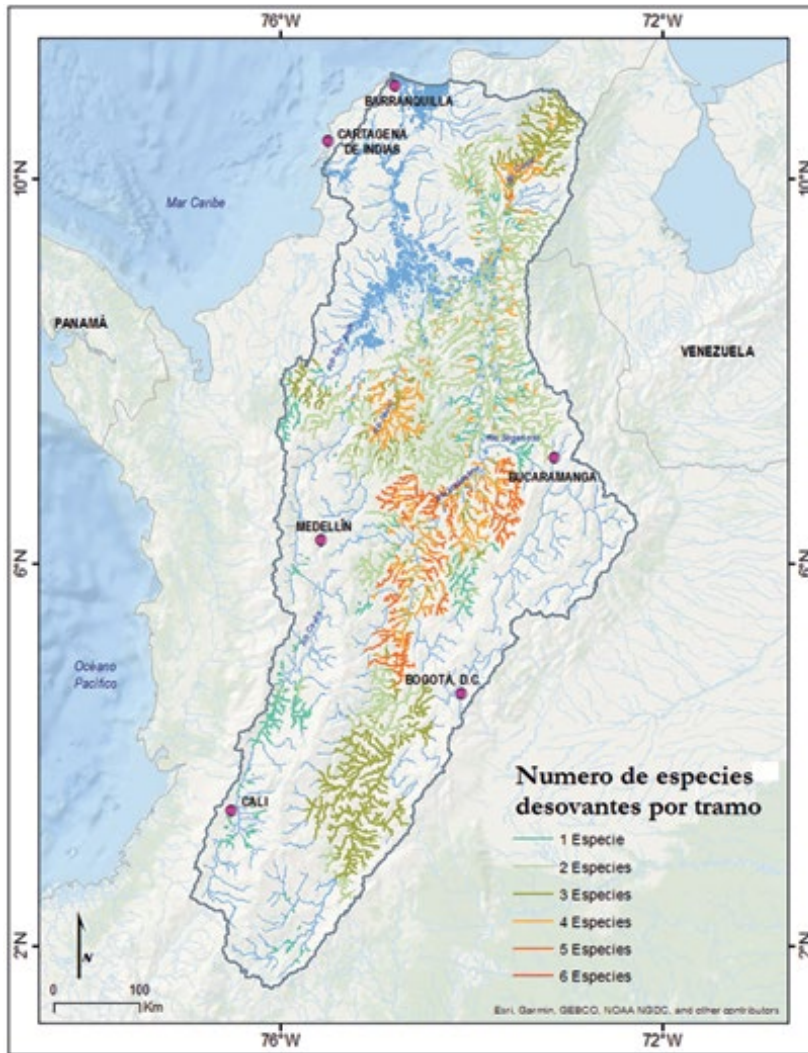


Figura 8. Distribución de las áreas de desove para trece especies migratorias en la cuenca del río Magdalena. Ajustado por Silvia López-Casas de López-Casas *et al.* (2018).



IAvH

et al. 2020), estos estudios aportan evidencia para plantear que las numerosas ciénagas ubicadas dentro de la Depresión Momposina pueden actuar como una barrera semi-permeable que conecta (en periodos de La Niña) y desconecta (en periodos de El Niño) las rutas de dispersión de los individuos de estas especies en su búsqueda de áreas para desovar en el río Magdalena y en el Cauca.

A pesar de que los peces migratorios son reconocidos desde hace décadas tanto por pescadores como por investigadores, aún hoy estamos encontrando nuevas especies. La aplicación de técnicas moleculares ha permitido identificar al bagre sapo, única especie, son en realidad un grupo de al menos tres de ellas, donde habitan diferentes partes de la cuenca del río Magdalena y del Cauca (Rangel-Medrano *et al.* 2020). De igual modo, las especies de barbudo, el nicuro y el capaz, son en realidad tres especies diferentes: *Pimelodus yuma*, *Pimelodus crypticus* y *Pimelodus grosskopfii* (Villa-Navarro 2017). Así que, si bien le pudiera parecer al lector que el conocimiento de las especies periódicas es amplio, es más lo que se desconoce que lo que se conoce por parte de los ictiólogos.

Nicho funcional

En la naturaleza se observan permanentemente convergencias evolutivas en las que individuos filogenéticamente lejanos y que co-existen dentro de un mismo ecosistema, presentan rasgos morfológicos y funcionales similares (Winemiller *et al.* 2015). Algunos autores agrupan las especies de peces en grupos funcionales basados en ciertos aspectos de la dimensión del nicho, omitiendo otras dimensiones importantes que podrían mejorar el poder predictivo. Por esta razón, Winemiller *et al.* (2015) propusieron que las especies de peces se

pueden agrupar en nichos funcionales de acuerdo con las características anatómicas y comportamentales que están involucradas en las cinco dimensiones del nicho funcional: hábitat, historias de vida, dieta, mecanismos de defensa y metabolismo. En el año 2005, Maldonado y colaboradores realizaron el primer planteamiento de grupos funcionales para la cuenca del río Magdalena usando rasgos corporales de las especies (tipo de boca, forma del cuerpo, tamaño del ojo, entre otras) y posición en la columna de agua, dentro de los ecosistemas acuáticos arriba de los 500 m s.n.m.; fundamentalmente grupos funcionales a partir del hábitat de cada especie. Estos autores identificaron tres grupos funcionales: torrentícolas, fusiformes y peces de charcas aisladas (pozas). Carvajal-Quintero (2015) ajustó la propuesta adicionando el grupo Bentónicos no torrentícolas y reofílicos, peces de las zonas bajas. Basado en esta propuesta, Castaño (2019) ajustó el grupo funcional definido por estos autores cuantificando las variables usadas para la agrupación y, estimó el nicho funcional de 132 especies del río Magdalena, acogiendo el planteamiento de Winemiller (2015); el componente metabólico no fue incluido debido a la ausencia de información. Este autor encontró que las especies del río Magdalena se organizan en 25 nichos funcionales siendo la dieta el atributo que genera la mayor agrupación (Figura 9); once de ellos representados por entre una y tres especies (pe. periódica-carnívora-reófila: bagre rayado, pacora, agujeto; periódica-carnívora-torrentícolas: *Characidium spp*; equilibrio-omnívora-pelágica: *Sternopygus aequilabiatus*, *C. aurocaudatus*; oportunista-omnívora-poza: *Creagrutus*, *Hyphessobrycon*; oportunista-omnívora-torrentícola: *Cetoporsomdia*) y, el más rico en especies (18 especies) es el nicho de las especies oportunistas-carnívoras-

ECOLOGÍA E HISTORIAS DE VIDA

torrentícolas dentro del que se agrupan las especies de los géneros *Astroblepus*, *Parodon*, *Saccodon* y *Trichomycterus* (Tabla 1).

Los peces del río Magdalena presentan una particular segregación en el uso de los recursos que ofrecen los diferentes ecosistemas acuáticos a lo largo del gradiente de elevación (Figura 8). La tendencia de cambio en los atributos de la ictiofauna asociada con la elevación está relacionada con el uso del hábitat, los rasgos morfológicos y estrategia de vida de las especies (Carvajal-Quintero *et al.* 2015). En las zonas altas (arriba de los 1.200 m s.n.m.) hay mayor número de especies oportunistas que habitan en sectores de torrentes y son carnívoras (particularmente invertívoras como *Astroblepus* y *Trichomycterus*); aunque también se observan especies con nicho funcional equilibrio-torrente-detritívora

como las especies del género *Chaetostoma*. A medida que se desciende en la elevación, se observa que la riqueza de los nichos funcionales se eleva, particularmente de especies con las diferentes estrategias de vida y, de los grupos funcionales de peces pelágicos y de pozas; tal es el caso del nicho funcional periódica-planctófaga-pelágica que ocupan las especies de *Anchoa* spp., *Gilbertolus alatus* y la Arenca. Condesaña *et al.* (2017) estudiaron 36 especies de peces de un río andino colombiano y evidenciaron también la asociación entre el uso de hábitat y el gradiente altitudinal con rasgos funcionales.

A pesar de que el río Magdalena no es el río mas diverso en su ictiofauna si respecto a otras cuencas como las del río Orinoco y Amazonas, la complejidad de sus estrategias y los diferentes roles funcionales que

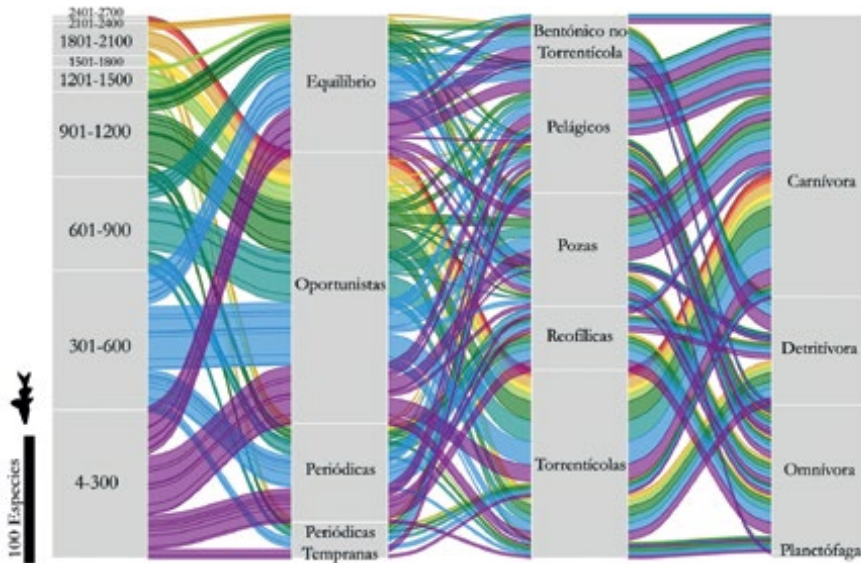


Figura 9. Representación de las tres dimensiones del nicho funcional consideradas para las especies de peces, en el gradiente de elevación dentro de la cuenca del río Magdalena. La barra negra es una escala del número de especies por intervalo de elevación.



IAvH

cumple dentro de los sistemas acuáticos generan diversas preguntas asociadas con su resiliencia de esta comunidad de peces endémicos, ante cambios generados por actividades humanas o bien, por cambios en el clima de nuestro planeta. Preguntas que seguramente serán abordadas por las siguientes generaciones de ictiólogos.

Conclusiones

La riqueza y estructura de los ensamblajes de peces en la cuenca del río Magdalena tiene una fuerte influencia de la elevación en interacción con el tipo de ecosistema acuático y la estacionalidad hidrológica. Los ecosistemas acuáticos más ricos en especies son las quebradas y los ríos y, a medida que se incrementa la elevación se reduce el número de especies. Esta condición influye en la riqueza de los gremios tróficos en las zonas bajas de la cuenca, donde se presenta mayor diversidad de ecosistemas acuáticos y en el que el pulso del caudal genera cambios importantes en la oferta de alimento para los peces.

Condiciones ambientales de los sistemas lóticos como la temperatura, la pendiente, el tipo de sustrato y desarrollo del plano lateral en los diferentes rangos de elevación, generan ensamblajes de especies particulares en los que la composición de especies es diferente entre los cauces arriba de los 1.600 m s.n.m. y, muy similar entre aquellos presentes en las zonas bajas.

La impronta que la elevación deja en de los ensamblajes de peces y la configuración de la cuenca en donde dos cursos de agua confluyen en un gran sistema cenagoso, le confiere otra característica hidro-geomorfológica particular: la influencia de la depresión Momposina en cuanto a la separación en el genotipo de las poblaciones de las especies periódicas-migratorias.

Si bien se cuenta con información biológica sobre las especies de peces del río Magdalena, aún falta un largo camino por recorrer para conocer su respuesta a las condiciones ambientales impuestas por la interacción entre el tipo de ecosistema acuático, la elevación y los ciclos de lluvias y caudal.

Recomendaciones y perspectivas

El río Magdalena es hábitat para especies únicas. Si bien existe un esfuerzo de diversas instituciones para construir conocimiento alrededor de éstos peces y su dinámica, debe ser prioridad avanzar en su conocimiento por parte de la comunidad científica y de las entidades responsables de la gestión de la biodiversidad en el país. Conocer la diversidad de la ictiofauna en los diferentes ecosistemas de la cuenca permite tomar decisiones de manejo y predecir el cambio ante cualquier intervención de origen humano; si no hay una línea base antes del cambio, no hay como cuantificarlo.

La zona sur de la cuenca del río Magdalena y en particular de su afluente, el río Cauca, requiere de mayor compromiso por parte de las autoridades ambientales para conocer la diversidad de su ictiofauna, dadas sus particularidades en términos de su historia geológica y de la presencia de un valle interandino generoso en sistemas cenagosos.

Una de las mejores maneras de gestionar la protección de los ecosistemas acuáticos y de su biota es la de tener acceso a la información que la describe. Así que visibilizar la información que obtienen las diferentes instituciones (privadas, públicas, mixtas) de los sistemas acuáticos a través de la publicación de los datos logrados en plataformas de información de libre acceso (p. e. Sistema de Información Biológica), debe ser una prioridad en la gestión ambiental de la cuenca del río Magdalena.

ECOLOGÍA E HISTORIAS DE VIDA

Bibliografía

- Agostinho, A. A., Gomes, L. C. & Pelicice, F. M. (2007). *Ecología e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil*. Universidade Estadual de Maringá. 501 pp.
- Álvarez-Bustamante, J., Jaramillo-Villa, Ú. & Jiménez-Segura, L. F. (2018). Ictiofauna de embalses en cascada en el cauce de un río tropical andino. *Actualidades Biológicas*, 40(108), 46–58. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v40n108a05>
- Anderson, E. P. & Maldonado-Ocampo, J. A. (2011). A Regional Perspective on the Diversity and Conservation of Tropical Andean Fishes. *Conservation Biology*, 25(1), 30–39. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01568.x>
- Arango-Rojas, A., Jiménez-Segura, L. F. & Palacio-Baena, J. A. (2008). Variación espaciotemporal de la asociación de especies de peces en la laguna de Cachimbero, un humedal en la cuenca media del río Magdalena, Colombia. *Actualidades Biológicas* 30, 161–169
- Arce-Zúñiga, J. W., J. C. Alonso, S. Hernández-B., & Valderrama-B, M. (2014). Determinación del tipo de desove y nivel de fecundación del bagre rayado del Magdalena, *Pseudoplatystoma magdaleniatum* Buitrago-Suárez y Burr, 2007 (Siluriformes: Pimelodidae). *Biota Colombiana* 15 (Supl. 1): 70–82.
- Arenas-Serna, D. (2012). Dieta y sobreposición alimentaria en el ensamble de algunas de las especies de Characiformes en las ciénagas de la cuenca del río Magdalena. (Trabajo de grado). Medellín, Universidad de Antioquia. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Instituto de Biología. 72 pp.
- Atencio-García, V. J., Kerguelén-Durango, E., Dorado, E. C., Carcamo, R. R., Vallejo, A., & Valderrama, M. (2005). Régimen alimentario de siete especies ícticas en el embalse de la hidroeléctrica Urrá (Córdoba, Colombia). *Revista MVZ Córdoba*, 10(2).
- Barbosa, A. S., Pires, M. & Schulz, U. H. (2020). Influence of Land-Use Classes on the Functional Structure of Fish Communities in Southern Brazilian Headwater Streams. *Environmental Management*, 65(5), 618–29.
- Berdugo, G.O. & Barandica, J.C.N. (2014) Genetic diversity and population structure of bocachico *Prochilodus magdalenae* (Pisces, Prochilodontidae) in the Magdalena River basin and its tributaries, Colombia. *Genet Mol Biol* 37:37–45
- Blanco, J. A., Narváez Barandica, J. C. & Vilorio, E. A. (2007). ENSO and the rise and fall of a tilapia fishery in northern Colombia. *Fisheries Research*, 88(1–3), 100–108. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2007.07.015>
- Carvajal-Quintero, J. D., Escobar, F., Alvarado, F., Villa-Navarro, F. A., Jaramillo-Villa, Ú. & Maldonado-Ocampo, J. A. (2015). Variation in freshwater fish assemblages along a regional elevation gradient in the northern Andes, Colombia. *Ecology and Evolution*, 5(13), 2608–2620. <https://doi.org/10.1002/ece3.1539>
- Carvajal-Quintero, JD, Maldonado-Ocampo, JA. & Urbano-Bonilla, A. (2015). Climbing behavior of *Cordylancistrus* sp. in the Colombian Andes. *Universitas Scientiarum*, 20(2), 209–215. <https://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.SC20-2.cbcc>
- Carvajal-Quintero, J.D., Januchowski-Hartley, S.R., Maldonado-Ocampo, J.A., Jezequel, C., Delgado, J. & Tedesco, P.A. (2017). Damming fragments species' ranges and heightens extinction risk. *Conservation Letters* 10:708–716
- Casatti, L. & Castro, R. (2006). Testing the ecomorphological hypothesis in a headwater riffles fish assemblage of the rio São Francisco, southeastern Brazil. *Neotropical Ichthyology*, 4(2), 203–214.
- Castaño, I. (2019). Rasgos eco-morfológicos de los peces de la cuenca Magdalena-Cauca: aporte a la comprensión de los grupos funcionales en los Andes colombianos. (Tesis de grado). Instituto de Biología. Universidad de Antioquia. 27 pp.
- Conde-Saldaña, C. C., Albornoz-Garzón, J. G., López-Delgado, E. O. & Villa-Navarro, F. A. (2017). Ecomorphological relationships of Fish Assemblages in a Trans-Andean Drainage, Upper Magdalena River Basin, Colombia. *Journal of Neotropical Ichthyology*, 15(4), 1–12.



IAvH

- Dahl, G. (1971). *Los peces del norte de Colombia. Inderena. Bogota.*
- De La Barra, E., Zubieta, J., Aguilera, G., Maldonado, M., Pouilly, M. & Oberdorff, T. (2016). ¿Qué factores determinan la distribución altitudinal de los peces de ríos tropicales andinos? *Revista de Biología Tropical*, 64(1), 157–176. <https://doi.org/10.15517/rbt.v64i1.18576>
- Díaz del Basto, J., Mojica, J. I. & Koyro, H. (2018). External morphology of the fish parasite *Paravandellia phaneronema* (Miles 1943) (Siluriformes: Trichomycteridae), under the scanning electron microscope. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 42(165), 323–329. <https://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.646>
- DoNascimento, C., Herrera-Collazos, E.E., Herrera-R, G.A., Ortega-Lara, A., Villa-Navarro, F.A., Usma, S. & Maldonado-Ocampo JA. (2017). Checklist of the freshwater fishes of Colombia: a Darwin core alternative to the updating problem. *ZooKeys* 2017:25–138
- Duponchelle, F., Pouilly, M., Pécheyran, C., Hauser, M., Renno, J.F., Panfil, J... et al. (2016). Trans-Amazonian natal homing in giant catfish. *Journal of Applied Ichthyology*, 53(5): 1511–20. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12665>
- Eigenmann, C. (1912). Some results of an ichthyological reconnaissance of Colombia, South America. *Indiana University Studies*, 8, 1–27.
- Eigenmann, C. (1913). Some results of an ichthyological reconnaissance of Colombia, South America, Part II. *Indiana University Studies*, 18, 1–32.
- Eigenmann, C. (1914). New fishes from western Colombia, Ecuador and Peru. *Indiana University Studies*, 19, 1–15.
- Empresas Publicas de Medellin-Integral. (2019). Resultados del monitoreo del componente ictico en el área de influencia del proyecto hidroeléctrico Ituango (Informe Técnico, ICA 18). 143 pp.
- Espinosa León, L. P. & Carrillo-Ávila, M. 2013. *Evaluación genética de la población del bagre rayado Pseudoplatystoma magdaleniatum en las cuencas Magdalena y Cauca.* (Informe técnico Final). Fundación Bosques y Humedales, Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca-AUNAP, Universidad Surcolombiana-USCO, ECOPETROL. 28pp.
- Fricke, R., Eschmeyer, W. N. & Van der Laan, R. (eds) 2020. *Eschmeyer's catalog of fishes: genera, species, referencas.* <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>. version electronica consultada en 30 Agosto 2019).
- Gámez Barrera, D., Morón, Eliana. & Fuentes, J. (2014). Descripción del hábito alimentario de doce especies de peces asociados a la ciénaga grande de Santa Marta, Colombia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR*, 43(1), 23–42. Retrieved January 23, 2021, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-97612014000100002&lng=en&tlng=es
- García-Alzate, C., Donascimento, C., Villa-Navarro, F.A., García-Melo, J. E. & Herrera-R, G. (2020). Diversidad de peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia. En Jiménez-Segura, L. & C. Lasso (Eds.). *XIX. Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible.* Pp: 85–111. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia.
- García-Melo, L. (2005). Distribución, diversidad y ecología básica de la familia Trichomycteridae (Ostariophysi: Siluriformes) en la cuenca del río Coello departamento del Tolima. (Trabajo de Grado). Ibagué, Colombia: Programa de Biología, Facultad de Ciencias. Universidad del Tolima.
- Geerinckx, T., Verhaegen, Y. & Adriaens, D. (2008). Ontogenetic allometries and shape changes in the suckermouth armoured catfish *Ancistrus cf. triradiatus* Eigenmann (Loricariidae, Siluriformes), related to suckermouth attachment and yolk-sac size. *Journal of Fish Biology*, 72(4), 803–814. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2007.01755.x>
- Goldbrunner, A.W. (firmado con el seudónimo de Toni Gol). 1960. *Las causas meteorológicas de las lluvias de extraordinaria mag-*

ECOLOGÍA E HISTORIAS DE VIDA

- nitid* en Venezuela. Caracas: Ministerio de Obras Públicas, Venezuela.
- Gómez, J. A. & Pereira, L. H. (2018) Genetic Structure Of Pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*) In The Influence Area Of Itaipu Binational Dam Estructura. *Revista Brasileira De Iniciação Científica*, 5 (2), 88–109, 2018
 - Granado-Lorencio, C., Gulfo, A., Alvarez, F., Jiménez-Segura, L. F., Carvajal-Quintero, J. D., & Hernández-Serna, A. (2012). Fish assemblages in floodplain lakes in a Neotropical river during the wet season (Magdalena River, Colombia). *Journal of Tropical Ecology*, 28(3), 271–279. <https://doi.org/10.1017/S0266467412000181>
 - Gross, M.R. & Sargent, R.C. (1985). The evolution of male and female parental care in fishes. *American Zoologist*. 25(3):807-822.
 - Guisande, C., Pelayo-Villamil, P., Vera, M., Manjarrés-Hernández, A., Carvalho, M. R., Vari, R. P., ... Duque, S. R. (2012). Ecological factors and diversification among Neotropical characiforms. *International Journal of Ecology*. <https://doi.org/10.1155/2012/610419>
 - Gutiérrez-C, Á. L. & Pinilla, G. A. (2016). Efectos de la conectividad local sobre los ensamblajes de peces en una planicie de inundación tropical. *Caldasia*, 38(2), 300–313.
 - Hamp, M. (2019). Species-specific microhabitat preferences of ten fish species in the Colombian Andes. (Tesis de Maestría). Universidad de Giessen. Departamento de Ecología Animal y Sistemática. 52 pp.
 - Hernández-Serna, A., Granado-Lorencio, C. & Jiménez-Segura, L. F. (2015). Diel cycle size-dependent trophic structure of Neotropical fishes: A three-year case analysis from 35 floodplain lakes in Colombia. *Journal of Applied Ichthyology*, 31(4), 638–645. <https://doi.org/10.1111/jai.12748>
 - Herrera-Molina, C. A. (2010). Ecología trófica y reproductiva de la arenca *Triportheus magdalenae* y la sardina *Astyanax magdalenae* en el sistema del río Sogamoso, Colombia. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Colombia. 53 pp
 - Herrera-Pérez, J., Parra, J. L., Restrepo-Santamaría, D. & Jiménez-Segura, L. F. (2019). The influence of abiotic environment and connectivity on the distribution of diversity in an Andean fish fluvial network. *Frontiers in Environmental Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00009>
 - Horton, R.E. (1932): «Drainage basin characteristics». *Transactions of the American Geophysical Union*, 13, 350-361
 - Jaramillo-Villa, U., Maldonado-Ocampo, J. A. & Escobar, F. (2010). Altitudinal variation in fish assemblage diversity in streams of the central Andes of Colombia. *Journal of Fish Biology*, 76(10), 2401–2417. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02629.x>
 - Jaramillo, U., Cortes-Duque, J. & Flórez, C. (2015). Colombia anfibia. Un país de humedales. Vol I. Instituto de investigación de recursos hidrobiológicos Alexander von Humboldt. 73 pp.
 - Jiménez-segura, L. F. (2007). Ictioplankton y reproducción de los peces en la cuenca media del río magdalena (sector de puerto berrio, antioquia). Tesis de doctorado. Medellín, Universidad de Antioquia. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Instituto de Biología. 150 pp
 - Jiménez-Segura, L.F., Carvajal-Quintero, J D. & Aguirre, Néstor. (2010). Las ciénagas como hábitat para los peces: estudio de caso en la ciénaga de Ayapel (Córdoba), Colombia. *Actualidades Biológicas*, 32(92), 53–64.
 - Jiménez-Segura, Palacio, J. & Leite, R. (2010a). River flooding and reproduction of migratory fish species in the Magdalena River basin, Colombia. *Ecology of Freshwater Fish*, 19(2), 178–186. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2009.00402.x>
 - Jiménez, L.F., Correa J.D., Lopez-Casas, S., Gulfo, A., Hernandez A., Escobar J. (2011). Comunidad de peces en el río Manso (Caldas, Colombia). En Memorias del XI Congreso de Ictiólogos colombianos. Resumen B062.
 - Jiménez-Segura, L.F., Alvarez-Leon, R., Gutierrez-Bonilla, F., Hernández, S., Valderrama, M. & Villa-Navarro, F. (2011). La pesca y los recursos pesqueros en los embalses colombianos. Capítulo 7.2. En Lasso, C. A., Gutiérrez, F., Morales-Betancourt, M. Agudelo, E., Ramírez-Gil, R. & Ajiaco-Martínez, R.E (Eds). II. *Pesquerías continentales de Colombia: cuencas del Magdale-*



IAvH

- na- Cauca, Sinú, Canalete, Atrato, Orinoco, Amazonas y vertiente del Pacífico. Pp. 233-282. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 306 pp.
- Jiménez-Segura, Granado-Lorencio, C., Gulfo, A., Carvajal, J., Hernández, A., Álvarez, F. & Palacio, J. (2012). *Uso tradicional de los recursos naturales pesqueros y conservación de la biodiversidad en regiones tropicales subdesarrolladas: hacia un modelo de Ecología de la Reconciliación*. (Informe técnico final). Universidad de Antioquia, Universidad de Sevilla, Agencia Española de Cooperación Internacional Para El Desarrollo, Cormagdalena, 168 pag.
 - Jiménez-Segura, L.F., Álvarez, J., Ochoa, L.E., Loaiza, A., Londoño, J.P., Restrepo, D., Aguirre, K., Hernández, A., Correa, J.D. & Jaramillo-Villa, U. (2014). Guía Ilustrada Peces Cañón del río Porce, Antioquia. Medellín (Colombia): EPM, Universidad de Antioquia, Herbario Universidad de Antioquia. 110 pp.
 - Jiménez-Segura, L. F., Restrepo-Santamaría, D., López-Casas, S., Delgado, J., Valderrama, M., Álvarez, J. & Gómez, D. (2014a). Ictiofauna y desarrollo del sector hidroeléctrico en la cuenca del río Magdalena-Cauca, Colombia. *Biota Colombiana*, 15(2), 3–25. DOI 10.21068/c0001
 - Jiménez-Segura, L. F., Maldonado-Ocampo, J. A. & Pérez, C. (2014b). Gradiente de recuperación longitudinal en la estructura de la ictiofauna en un río andino regulado. *Biota Colombiana* 15, 61–80
 - Jiménez-Segura, L.F. y Alvarez-Bustamante, J. (2015). Valoración de la calidad del hábitat para ensamblajes de especies de peces en ríos Andinos. En *Memorias del XIII Congreso Colombiano de Ictiología*. Leticia. P. 81. (Disponible en <https://acictios.org/congreso-colombiano-de-ictiologia-2015/>; última consulta 20 de diciembre de 2020)
 - Jiménez-Segura, Galvis-Vergara, G., Calacala, P., García-Alzate, C. A., López-Casas, S., Ríos-Pulgarín, M. I., ... Álvarez-León, R. (2016). Freshwater fish faunas, habitats and conservation challenges in the Caribbean river basins of north-western South America. *Journal of Fish Biology*, 89(1), 65–101. <https://doi.org/10.1111/jfb.13018>
 - Kapestky, J., Escobar, J., Arias, P. & Zárate, M. (1978). *Algunos aspectos ecológicos de las ciénagas del plano inundable del Magdalena*. Proyecto Para El Desarrollo de La Pesca Continental Inderena-FAO, 15.
 - Karachle, P. & Stergiou, K. I. (2010). Intestine morphometrics of fishes: a compilation and analysis of bibliographic data. *Acta Ichthyol. Piscat.*, 40(1), 45–54.
 - Landínez-García, R. M. & Márquez, E. J. (2016). Development and characterization of 24951 polymorphic microsatellite loci for the freshwater fish *Ichthyoelephas longirostris* 952 (Characiformes: Prochilodontidae). *PeerJ*, 4, e2419. <https://doi.org/10.7717/peerj.2419>
 - Lasso, C. A., Gutiérrez, F. P., Morales-Betancourt, M. A., Agudelo, E., Ramírez-Gil, H. & Ajiaco-Martínez, R. E. (2011). *Catálogo de los recursos pesqueros continentales de Colombia*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Lasso, C. A., De Paula Gutiérrez, F., Morales-Betancourt, M., Agudelo, E., Ramírez-Gil, H. & Ajiaco-Martínez, R. (2011a). *II. Pesquerías continentales de Colombia: cuencas del Magdalena-Cauca, Sinú, Canalete, Atrato, Orinoco, Amazonas y vertiente del Pacífico*. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación Instituto Alexander von Humboldt., Colombia. 306 pp.
 - Lasso, C. A., Mesa S. L. M., Castellanos-Morales, C., Fernández-Auderset, J. & DoNascimento, C. (2018). Peces cavernícolas de Colombia. En *Memorias I Congreso Colombiana de Espeleología y VIII Congreso Espeleológico de América Latina y el Caribe*. San Gil, Santander (Colombia). Pp. 164-169.
 - Lasso, C., Escobar, M.D. Herrera, J., Castellanos M.C., Valencia-Rodríguez, D., Campuzano, J., García, F. & Jiménez-Segura, L.F. (2020). Peces introducidos en el río magdalena y cuencas vecinas, Colombia. En Jiménez-Segura, L. & C. Lasso (Eds.). *XIX. Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible*. Pp: 295-369. Bogotá, D. C.: Instituto de Inves-

ECOLOGÍA E HISTORIAS DE VIDA

- tigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- López-Casas, Jiménez-Segura, L. F., Agostinho, A. A. & Pérez, C. M. (2016). Potamodromous migrations in the Magdalena River basin: bimodal reproductive patterns in neotropical rivers. *Journal of Fish Biology*, 89(1), 157–171. <https://doi.org/10.1111/jfb.12941>
 - López-Casas, S., Rogeliz-Prada, C.A., Angarita, H., Jiménez-Segura, L.F., Moreno-Arias, C. (2018). Modelling potential spawning grounds for Magdalena basin potamodromous fish: a tier 1 tool for environmental impact assessment of hydro-power projects. Tokyo: 12th International Symposium on Ecohydraulics.
 - Lucas, M. & Baras, E. (2001). Migration of Freshwater Fishes. *Oxford: Blackwell Science*. 440 pp.
 - Maldonado-Ocampo, J. A., Ortega-Lara, A., Usma-Oviedo, S., Galvis-Vergara, G., Villa-Navarro, F. A., Vasquez-Gamboa, L., ... Ardila-Rodríguez, C. (2005). *Peces de los andes de Colombia*. Bogota, D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos "Alexander Von Humboldt". 346 pp.
 - Marín-Avendaño, C. & Aguirre-Ramírez, N. (2017). Spatial and temporal variation of fish assemblage associated with aquatic macrophyte patches in the littoral zone of the Ayapel Swamp Complex, Colombia. *Acta Limnológica Brasiliensis*, 29. <https://doi.org/10.1590/s2179-975x6016>
 - Márquez, E., Restrepo-Escobar, N., Yepes-Acevedo, A.J. & Narváez, J. C. (2020). Diversidad y estructura genética de los peces de la cuenca del Magdalena, Colombia. En Jiménez-Segura, L. & C. Lasso (Eds.). XIX. *Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible*. Pp: 113-155. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
 - Mesa, L. & Lasso, C. (2019). *Peces epigeos de El Peñón y áreas adyacentes (Andes), Santander, Colombia*. En: Lasso, C. A., J. C. Barriga y J. Fernández-Auderset (Eds.). Volumen VII. Biodiversidad subterránea y epigea de los sistemas cársticos de El Peñón (Andes), Santander, Colombia. Serie Editorial Fauna Silvestre Neotropical, 401-418.
 - Miles, C. 1971. *Los peces del río Magdalena* («A field book of Magdalena fishes»). Ibaque: Universidad del Tolima. 242 pp.
 - Mojica, J., Usma, J., Alvarez, R. & y Lasso, C. (Editores). (2012). Libro Rojo De Peces Dulcecuícolas De Colombia. En *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
 - Montoya-Ospina, D. (2014). Diversidad, estructura y relaciones ecomorfológicas de la ictiofauna en ecosistemas lóticos del Bosque Seco Tropical, Tolima, Colombia. (Trabajo de Pregrado). Universidad del Tolima, Departamento de Biología. 57 pp.
 - Moreno-Arias, C. (2020). Evaluación de la reproducción de diez especies de peces migratorios en diez tributarios de la cuenca Magdalena y la influencia de variables geomorfológicas. (Investigación de Maestría). Instituto de Biología, Universidad de Antioquia. 84 pag
 - Morales, J. & García-Alzate, C. A. (2018). Ecología trófica y rasgos ecomorfológicos de *Triportheus magdalenae* (Characiformes: Triporthetheidae) en el embalse El Guájaro, cuenca baja del río Magdalena, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 66(3), 1208. <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i3.30621>
 - Navarro, B., Tovar, H. & Caraballo, P. (2019). Composición y distribución de la ictiofauna asociada a jagüeyes, en la región Caribe colombiana. *Intropica*. 120-126. Doi 10.21676/23897864.3277.
 - Nieto, J. D. (2020). Acercamiento a la ecología trófica de *Micropterus salmoides*, pez invasor en embalses andinos. (Tesis de pregrado). Instituto de Biología, Universidad de Antioquia. 23 pp.
 - Ochoa, L. (2009). Alimentación de *Pimelodus* spp (PISCES: PIMELODIDAE) durante su desarrollo ontogénico inicial. (Trabajo de grado). Instituto de Biología. Universidad de Antioquia. 48 pp.
 - Ochoa-Orrego, L. E., Jiménez, L. F. & Palacio, J. (2015). Ictioplancton en la ciénaga de Ayapel, río San Jorge (Colombia): cambios espacio-temporales. *Bol.Cient.Mus. His.Nat.*, 19(1), 103–114.



IAvH

- Oliveira, E. F., Goulart, E., Breda, L., Minter-Vera, C. V., Paiva, L. R. D. S. & Vismara, M. R. (2010). Ecomorphological patterns of the fish assemblage in a tropical floodplain: effects of trophic, spatial and phylogenetic structures. *Neotropical Ichthyology*, 8(3), 569–586.
- Pareja-Carmona, M., Jiménez-Segura, L.F., Villa-Navarro, F., Reinoso-Flórez, G., Gualtero-Leal, D., Ángel-Rojas, V. (2014). Áreas de reproducción de peces migratorios en la cuenca alta del río Magdalena, Colombia. *Biota Colombiana*, 15 (2), 40–53
- Pelayo-Villamil P, Guisande C, Vari RP, Manjarres-Hernández A, García-Rosello E, ..., et al. 2015. Global diversity patterns of freshwater fishes—potential victims of their own success. *Diversity and Distributions*, 21:345–56. DOI: 10.1111/ddi.12271
- Peterson, C. & Winemiller, K. (1997). Ontogenetic diet shifts and scale-eating in *Roeboides dayi*, a Neotropical characid. *Environmental Biology of Fishes*. 49. 111–118. 10.1023/A:1007353425275.
- Pianka, E. R. (1972). R and K selection or b and d selection? *American Naturalist* 106: 581–588
- Poveda Cuellar, J. L., López-Delgado, E. O. & Villa-Navarro, F. A. (2018). Efecto de la cobertura vegetal de ribera en las comunidades ícticas en el bosque húmedo premontano y muy húmedo premontano del Alto Magdalena, Colombia. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 42(163), 216. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.623>
- Prieto, M. & Atencio, V. (2008). Zooplankton en la larvicultura de peces neotropicales. *Rev. MVZ Córdoba*, 13(2), 1415–1425.
- Prieto-Mojica, C., Gallego-Alarcón, F. & Moncaleano, E. (2017). Pez capitan de la sabana (*Eremophilus mutisii*). *Zoociencia*, 4(2), 4–10. <https://revistas.udca.edu.co/index.php/zoociencia/article/view/440>
- Ramírez, A., & Pinilla, G. (2012). Hábitos alimentarios, morfometría y estados gonadales de cinco especies de peces en diferentes períodos climáticos en el río Sogamoso (Santander, Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 17(2), 241–258.
- Rangel-Medrano, J.D., Ortega-Lara, A. & Márquez, E.J. (2020). Ancient genetic divergence in bumblebee catfish of the genus *Pseudopimelodus* (Pseudopimelodidae: Siluriformes) from northwestern South America. *PeerJ* 8: e9028
- Restrepo, J. D., A. Cárdenas-Rozo, J.F. Paniagua-Arroyave & L. Jiménez-Segura. (2020). Aspectos físicos de la cuenca del río Magdalena, Colombia: geología, hidrología, sedimentos, conectividad, ecosistemas acuáticos e implicaciones para la biota. Pp. 41–83. En: Jiménez-Segura, L. y C. Lasso (Eds.). XIX. *Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible*. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Restrepo, D. (2021). Rol ecológico de los peces en dos embalses en los Andes: estudio de sus interacciones tróficas. (Tesis de Maestría). Universidad de Antioquia, Instituto de Biología. 71 pp.
- Ríos-Pulgarín, M. I., Jiménez-Segura, L. F., Palacio, J. A. & Ramírez-Restrepo, J. J. (2008). Comunidad de peces en la ciénaga de ayapel, río Magdalena (córdoba) colombia: cambios espacio-temporales en su asociación. *Actualidades Biológicas*, 30 (88), 29–53.
- Ríos-Pulgarín, M., Barletta, M. & Mancera-Rodríguez, N. (2015). The role of the hydrological cycle on the distribution patterns of fish assemblages in an Andean stream. *Journal of Fish Biology*, DOI 10.1111/jfb.12757
- Rivera-Coley, K. (2012). Dieta y sobreposición alimentaria en el ensamble de algunas de las especies de Siluriformes en las ciénagas de la cuenca del río Magdalena. (Trabajo de pregrado). Medellín, Universidad de Antioquia. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Instituto de Biología. 66 pp.
- Rivera-Coley, K. (2020). Áreas de desove de especies potamódromas en la Cuenca del río Nechi. (Tesis de Maestría). Instituto de Biología, Universidad de Antioquia. 85 pp.
- Rochet, M. J. (2000). A comparative approach to life-history strategies and tactics among four orders of teleost fish. *ICES Journal of Marine Science*, 57(2), 228–239.

ECOLOGÍA E HISTORIAS DE VIDA

- Rodríguez Olarte, D., Mojica, J. & Taphorn, D. (2011). Northern South America Magdalena and Maracaibo Basins. En Albert, J.S. & Reis, R.E. (Eds). *Historical biogeography of Neotropical freshwater fishes*. Pp: 243-257. Los Angeles: University of California Press. <https://doi.org/10.1525/california/9780520268685.003.0016><https://doi.org/10.1525/california/9780520268685.003.0015>.
- Román-Valencia, C. (1998). Alimentación y reproducción de *Creagrutus brevipinnis* en el Alto Cauca, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 46(3), 783–789
- Román-Valencia, C. (2001). Ecología trófica y reproductiva de *Trichomycterus caliense* y *Astroblepus cyclopus* (Pisces: Siluriformes) en el río Quindío, Alto Cauca, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 49(1), 657–666.
- Román-Valencia, C. & Ruiz, R. I. (2005). Diet and Reproduction Aspects of *Astyanax aurocaudatus* (Teleostei: Characidae) from the Upper Part of the Río Cauca, Colombia. *Asociación Colombiana de Ictiólogos*, 8, 9–17. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/253387933>
- Román-Valencia, C, Ruiz-C, R., Taphorn, D. C., & Duque, O. (2018). Guía para la identificación de los peces del río La Vieja, Alto Cauca, Colombia. Zaragoza, Editorial Eumed. 187 pp.
- Rondón-Martínez, Y. F. (2020). *Evaluación de la ictiofauna presente en el complejo cenagoso Zapatosa en función de su estructura y composición, en las campañas 1, 2 y 3, evaluación alimenticia de las campañas 1 y 2, consideraciones y recomendaciones finales* (contrato FN-037-19). (Informe Técnico). Documento Interno de Trabajo. Proyecto GEF Magdalena-Cauca ViVe, Fundación Natura, 79–83.
- Sabaj, M. H., Armbruster, J. W. & Page, L. M. (1999). Spawning in *Ancistrus* (Siluriformes: Loricariidae) with comments on the evolution of snout tentacles as a novel reproductive strategy: larval mimicry. *Ichthyological Exploration of Freshwaters*, 10(3), 217–229. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/266040750>
- Salcedo-Bahamon, M. A. (2017). Aspectos del Crecimiento del Bagre Rayado, *Pseudoplatystoma Magdaleniatum* (Buitrago-Suarez y Burr, 2007) en la Cuenca del Magdalena, Como Insumos Para su Uso y Conservación. (Tesis de Maestría). Neiva, Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. 102pp.
- Santos-Martínez, A. & Acero, A. (1991). Fish community of the Ciénaga Grande de Santa Marta (Colombia): composition and zoogeography. *Ichthyol. Explor. Freshwat.*, 2, 247–263.
- Schaefer, S. (2011). The Andes: Riding the tectonic uplift. En: Albert, J.S. & Reis, R.E. (Eds). *Historical biogeography of Neotropical freshwater fishes*. Pp: 259-278. Los Angeles: University of California Press. <https://doi.org/10.1525/california/9780520268685.003.0016>.
- Secutti, S. & Trajano, E. (2009). Reproductive behavior, development and eye regression in the cave armored catfish, *Ancistrus cryptophthalmus* Reis, 1987 (Siluriformes: Loricariidae), breed in laboratory. *Neotropical Ichthyology*, 7(3), 479–490. <https://doi.org/10.1590/s1679-62252009000300016>
- Universidad de Antioquia-Empresas Públicas de Medellín. (2020). Ensamblaje de peces cuenca media y baja río Cauca dentro del área de influencia del embalse Hidroituango, en los últimos nueve años. (Informe Técnico). Convenio CT-2017-001714. 49 pp.
- Usma, J. S., Valderrama, M., Escobar, M., Ajiaco, R. E., Villa, F., Castro, F., Ramírez, H., Sanabria, A. I., Ortega, A., Maldonado, J., Alonso, J. C. & Cipamocha, C. (2009). Peces dulceacuicolas migratorios en Colombia. En *Plan Nacional de las Especies Migratorias* (Naranjo, L. G. & Amaya-Espinel, J. D. (Eds). Pp. 103–132. Bogotá, DC: World Foundation Found. 490 pp. Available at http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/plan_migratorias_version_web.pdf/ (last accessed 18 March 2015).



IAvH

- USCO-Emgesa. (2018). Caracterización de la biología trófica y reproductiva de la fauna íctica En *Seguimiento al repoblamiento y monitoreo pesquero en el embalse de Betania para la Central Hidroeléctrica El Quimbo*. Pp 236-257. (Informe técnico final). Contrato de servicios N° 840011197, Universidad Surcolombiana, EMGESA S.A E.S.P.
- USCO-Emgesa. (2020). Desarrollo del componente íctico Fase V. *Estudios ecológicos y de biología pesquera para el Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo*. (Informe técnico anual). Contrato 8400134074. Universidad Surcolombiana-EMGESA S.A E.S.P.
- Valencia, C. R., & Zamudio, H. (2007). Dieta y reproducción de *Lasiancistrus caucanus* (Pisces: Loricariidae) en la cuenca del río La Vieja, Alto Cauca, Colombia. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 9(2), 95-101.
- Valderrama M., Escobar, J., Pardo, R., Toro M., Gutiérrez, J. C. & López-Casas, S. (2020). Servicios ecosistémicos generados por los peces en la cuenca del río Magdalena, Colombia. En Jiménez-Segura, L. & C. Lasso (Eds.). XIX. Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible. Pp: 203-233. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Villa-Navarro, F. A., García-Melo, L. J., Herrada, M. E. & Lozano, Y. Y. (2007). Peces. En: Reinoso-Flórez, G., Villa-Navarro, F. A., Esquivel, H. E., García-Melo, J. E. y Vejarano-Delgado, M. A. (Informe técnico). *Biodiversidad Faunística de la Cuenca del río Totare*. Pp. 402-494. Biodiversidad Regional Fase III. Grupo de Investigación en Zoología.
- Villa-Navarro, F. A., Arturo Acero, P. & Cala, P. C. (2017). Taxonomic review of Trans-Andean species of *Pimelodus* (Siluriformes: Pimelodidae), with the descriptions of two new species. *Zootaxa*, 4299(3), 337-360. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4299.3.2>
- Winemiller, K. & Taphorn, D. (1989). La evolución de las estrategias de vida en los peces de los llanos occidentales de Venezuela. *BioLlania*, 6: 77-122.
- Winemiller, K. O. & Rose, K. (1992). Patterns of life history diversification in North American fishes: implications for population regulation. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 49, 2196-2218.
- Winemiller, K.O., Agostinho A.A. & carmaschi P.E. (2008). Fish Ecology in Tropical Streams, En Dudgeon, D. (Ed.). *Tropical Stream Ecology*. Pp. 336-346. California, Academic Press, 370p.
- Winemiller, K. O., Fitzgerald, D. B., Bower, L. M. & Pianka, E. R. (2015). Functional traits, convergent evolution, and periodic tables of niches. *Ecology Letters*, 18(8), 737-751. <https://doi.org/10.1111/ele.12462>
- Zúñiga-Upegui, P. T., Villa-Navarro, F. A., García-Melo, L. J., García-Melo, J. E., Reinoso-Flórez, G., Gualtero-Leal, D. M., & Ángel-Rojas, V. J. (2014). Aspectos ecológicos de *Chaetostoma* sp. (Siluriformes: Loricariidae) en el alto río Magdalena, Colombia. *Biota Colombiana*, 15(2).

ECOLOGÍA E HISTORIAS DE VIDA

Anexo 1. Información sobre algunas características de la historia de vida de especies del río Magdalena.

Especies	Lmax (LE mm)	Estrategia Reproductiva	Posición boca	Forma del cuerpo	Posición en la columna agua	Estrategia migración	Categoría trófica
<i>Abramites eques</i>	185	Periódica	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	Omnívora
<i>Acestrocephalus anomalus</i>	200	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	Ninguna	Carnívora
<i>Ageneiosus pardalis</i>	615	Periódica	Terminal	Cilíndrica	Media	Potamodroma	Omnívora
<i>Ancistrus caucanus</i>	52	Equilibrio	Ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	Detritívora
<i>Ancistrus tolima</i>	77	Equilibrio	Ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	?
<i>Ancistrus vericaucanus</i>	72	Equilibrio	Ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	?
<i>Andinoacara latifrons</i>	170	Equilibrio	Terminal	Comprimida	Media	Ninguna	Omnívora
<i>Apteronotus eschmeyeri</i>	368	Equilibrio	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	Carnívora
<i>Apteronotus magdalenensis</i>	449	Equilibrio	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	Carnívora
<i>Apteronotus mariae</i>	273	Equilibrio	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	Carnívora
<i>Apteronotus milesi</i>	221	Equilibrio	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	?
<i>Apteronotus rostratus</i>	272	Equilibrio	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	Carnívora
<i>Argopleura conventus</i>	36	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	Ninguna	Carnívora
<i>Argopleura diquensis</i>	47	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	Ninguna	Carnívora
<i>Argopleura magdalenensis</i>	48	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	Ninguna	Carnívora
<i>Astroblepus ardiaduartei</i>	?	Oportunista	Ventral	Deprimida	Fondo	No conocida	?
<i>Astroblepus ardilai</i>	106,5	Oportunista	Ventral	Deprimida	Fondo	No conocida	?
<i>Astroblepus bellezaensis</i>	?	Oportunista	Ventral	Deprimida	Fondo	No conocida	?
<i>Astroblepus cacharas</i>	62,4	Oportunista	Ventral	Deprimida	Fondo	No conocida	?

Anexo 1. Continuación

Especies	Lmax (LE mm)	Estrategia Reproductiva	Posición boca	Forma del cuerpo	Posición en la columna agua	Estrategia migración	Categoría trófica
<i>Astrolepys chapmani</i>	130	Oportunista	Ventral	Deprimida	Fondo	No conocida	Carnívora
<i>Astrolepys curritiensis</i>	?	Oportunista	Ventral	Deprimida	Fondo	No conocida	?
<i>Astrolepys floridablancensis</i>	?	Oportunista	Ventral	Deprimida	Fondo	No conocida	?
<i>Astrolepys frenatus</i>	60	Oportunista	Ventral	Deprimida	Fondo	No conocida	Carnívora
<i>Astrolepys grixalvii</i>	300	Oportunista	Ventral	Deprimida	Fondo	No conocida	Carnívora
<i>Astrolepys guentheri</i>	90	Oportunista	Ventral	Deprimida	Fondo	No conocida	Carnívora
<i>Astrolepys homodon</i>	80	Oportunista	Ventral	Deprimida	Fondo	No conocida	Carnívora
<i>Astrolepys itae</i>	?	Oportunista	Ventral	Deprimida	Fondo	No conocida	?
<i>Astrolepys marmoratus</i>	?	Oportunista	Ventral	Deprimida	Fondo	No conocida	?
<i>Astrolepys micrescens</i>	90	Oportunista	Ventral	Deprimida	Fondo	No conocida	Carnívora
<i>Astrolepys nettoferreirai</i>	?	Oportunista	Ventral	Deprimida	Fondo	No conocida	?
<i>Astrolepys nicefori</i>	70	Oportunista	Ventral	Deprimida	Fondo	No conocida	Carnívora
<i>Astrolepys onzagaensis</i>	?	Oportunista	Ventral	Deprimida	Fondo	No conocida	?
<i>Astrolepys pradai</i>	?	Oportunista	Ventral	Deprimida	Fondo	No conocida	?
<i>Astrolepys santanderensis</i>	80	Oportunista	Ventral	Deprimida	Fondo	No conocida	?
<i>Astrolepys veraii</i>	?	Oportunista	Ventral	Deprimida	Fondo	No conocida	?
<i>Astyanax bimaculatus</i>	175	Periódica-tempranas	Terminal	Comprimida	Media	Potamodroma	?
<i>Astyanax caucanus</i>	183	Periódica-tempranas	Terminal	Comprimida	Media	Potamodroma	Omnívora
<i>Astyanax fasslii</i>	60	Periódica-tempranas	Terminal	Comprimida	Media	Potamodroma	?

IAvH



ECOLOGÍA E HISTORIAS DE VIDA

Anexo 1. Continuación

Especies	Lmax (LE mm)	Estrategia Reproductiva	Posición boca	Forma del cuerpo	Posición en la columna agua	Estrategia migración	Categoría trófica
<i>Astyanax filiferus</i>	85	Periódica-tempranas	Terminal	Comprimida	Media	Potamodroma	Omnívora
<i>Astyanax gisleni</i>	60	Periódica-tempranas	Terminal	Comprimida	Media	Potamodroma	?
<i>Astyanax magdalenae</i>	173	Periódica-tempranas	Terminal	Comprimida	Media	Potamodroma	Omnívora
<i>Astyanax microlepis</i>	91	Periódica-tempranas	Terminal	Comprimida	Media	Potamodroma	Omnívora
<i>Astyanax yariguies</i>	120	Periódica-tempranas	Terminal	Comprimida	Media	Potamodroma	?
<i>Brachyhypopomus occidentalis</i>	175	Equilibrio	Terminal	Comprimida	Media-fondo	No conocida	Carnívora
<i>Brycon fowleri</i>	300	Periódica	Terminal	Comprimida	Media	Potamodroma	Omnívora
<i>Brycon henni</i>	350	Periódica	Terminal	Comprimida	Media	Potamodroma	Omnívora
<i>Brycon labiatus</i>	200	Periódica	Terminal	Comprimida	Media	Potamodroma	?
<i>Brycon moorei</i>	530	Periódica	Terminal	Comprimida	Media	Potamodroma	Omnívora
<i>Brycon rubricauda</i>	350	Periódica	Terminal	Comprimida	Media	Potamodroma	Omnívora
<i>Bumocephalus colombianus</i>	115	Equilibrio	Terminal	Deprimida	Fondo	No conocida	Carnívora
<i>Callichthys fabricioi</i>	170	Equilibrio	Ínfera	Cilíndrica	Superficial	Ninguna	Carnívora
<i>Callichthys oibaensis</i>	80,46	Equilibrio	Ínfera	Cilíndrica	Superficial	Ninguna	?
<i>Caquetaia kraussii</i>	281	Equilibrio	Terminal	Comprimida	Media	Ninguna	Omnívora
<i>Carlastyanax aurocaudatus</i>	100	Periódica-tempranas	Terminal	Comprimida	Media	Potamodroma	Omnívora
<i>Centrochir crocodili</i>	225	Equilibrio	Terminal	Cilíndrica	Media	Ninguna	Carnívora
<i>Cetopsis othonops</i>	110	Oportunista	Ínfera	Cilíndrica	Fondo	Ninguna	Carnívora
<i>Cetoporphamdia boquillae</i>	75,6	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Media	Ninguna	Omnívora



Anexo 1. Continuación

Especies	Lmax (LE mm)	Estrategia Reproductiva	Posición boca	Forma del cuerpo	Posición en la columna agua	Estrategia migración	Categoría trófica
<i>Cetopsorhamdia molinae</i>	36	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Media	Ninguna	Carnívora
<i>Cetopsorhamdia nasus</i>	95,7	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Media	Ninguna	Carnívora
<i>Chaetostoma aburrense</i>	200	Equilibrio	Ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	?
<i>Chaetostoma brevilabiatum</i>	119	Equilibrio	Ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	Detritívora
<i>Chaetostoma fischeri</i>	300	Equilibrio	Ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	Detritívora
<i>Chaetostoma floridablancanense</i>	?	Equilibrio	Ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	?
<i>Chaetostoma leucomelas</i>	200	Equilibrio	Ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	Detritívora
<i>Chaetostoma milesi</i>	188	Equilibrio	Ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	Detritívora
<i>Chaetostoma thomsoni</i>	101	Equilibrio	Ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	Detritívora
<i>Characidium boavistae</i>	53	Periódica-tempranas	Terminal	Cilíndrica	Media	Potamodroma	?
<i>Characidium caucanum</i>	77,4	Periódica-tempranas	Terminal	Cilíndrica	Media	Potamodroma	Carnívora
<i>Characidium phoxocephalum</i>	120	Periódica-tempranas	Terminal	Cilíndrica	Media	Potamodroma	Carnívora
<i>Cordylancistrus pijao</i>	?	Oportunista	Ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	Detritívora
<i>Cordylancistrus setosus</i>	98,3	Oportunista	Ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	?
<i>Cordylancistrus tayrona</i>	?	Oportunista	Ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	?
<i>Creagrutus affinis</i>	78	Oportunista	Terminal	Fusiforme	Media	Ninguna	Carnívora
<i>Creagrutus brevipinnis</i>	48	Oportunista	Terminal	Fusiforme	Media	Ninguna	Omnívora
<i>Creagrutus caucanus</i>	83	Oportunista	Terminal	Fusiforme	Media	Ninguna	Carnívora
<i>Creagrutus dulima</i>	92,3	Oportunista	Terminal	Fusiforme	Media	Ninguna	?

ECOLOGÍA E HISTORIAS DE VIDA

Anexo 1. Continuación

Especies	Lmax (LE mm)	Estrategia Reproductiva	Posición boca	Forma del cuerpo	Posición en la columna agua	Estrategia migración	Categoría trófica
<i>Creagrutus guanes</i>	77	Oportunista	Terminal	Fusiforme	Media	Ninguna	?
<i>Creagrutus magdalenae</i>	56	Oportunista	Terminal	Fusiforme	Media	Ninguna	Carnívora
<i>Crossoloricaria cephalaspis</i>	?	Equilibrio	Ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	Detritívora
<i>Crossoloricaria variegata</i>	265	Equilibrio	Ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	Detritívora
<i>Ctenolucius hujeta</i>	260	Periódica	Terminal	Cilíndrica	Media	No conocida	Carnívora
<i>Curimata mivartii</i>	350	Periódica	Terminal	Comprimida	Media-fondo	Potamodroma	Detritívora
<i>Cynodonichthys azurescens</i>	?	Equilibrio	Súpera	Cilíndrica	Superficial	Ninguna	?
<i>Cynodonichthys boehlkei</i>	45	Equilibrio	Súpera	Cilíndrica	Superficial	Ninguna	?
<i>Cynodonichthys magdalenae</i>	70	Equilibrio	Súpera	Cilíndrica	Superficial	Ninguna	?
<i>Cynodonichthys pivijay</i>	?	Equilibrio	Súpera	Cilíndrica	Superficial	Ninguna	?
<i>Cynodonichthys ribesrubrum</i>	?	Equilibrio	Súpera	Cilíndrica	Superficial	Ninguna	?
<i>Cynodonichthys xi</i>	?	Equilibrio	Súpera	Cilíndrica	Superficial	Ninguna	?
<i>Cynopotamus magdalenae</i>	400	Periódica	Súpera	Comprimida	Media	Potamodroma	Carnívora
<i>Cyphocharax magdalenae</i>	251	Periódica	Terminal	Comprimida	Media	Potamodroma	Detritívora
<i>Dasyloricaria filamentosa</i>	322	Equilibrio	Ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	Detritívora
<i>Dasyloricaria paucisquama</i>	25	Equilibrio	ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	Detritívora
<i>Dolichancistrus carnegiei</i>	170	Oportunista	Ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	?
<i>Dupouyichthys sapito</i>	?	Equilibrio	Terminal	Deprimida	Fondo	Ninguna	Detritívora
<i>Eigenmannia humboldtii</i>	486	Equilibrio	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	Carnívora


Anexo 1. Continuación

Especies	Lmax (LE mm)	Estrategia Reproductiva	Posición boca	Forma del cuerpo	Posición en la columna agua	Estrategia migración	Categoría trófica
<i>Eremophilus mutisii</i>	?	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	En la Columna de agua	?
<i>Farlowella yarigui</i>	225	Equilibrio	Ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	?
<i>Gambusia nicaraguensis</i>	41	Equilibrio	Súpera	Cilíndrica	Superficial	Ninguna	?
<i>Gasteropelecus maculatus</i>	64	Oportunista	Súpera	Comprimida	Superficial	Ninguna	Carnívora
<i>Genycharax tarpon</i>	200	Oportunista	Súpera	Comprimida	Media	No conocida	Carnívora
<i>Geophagus steindachneri</i>	198	Equilibrio	Terminal	Comprimida	Media	Ninguna	Carnívora
<i>Gephyrocharax caucanus</i>	60	Oportunista	Súpera	Comprimida	Media	Ninguna	?
<i>Gephyrocharax melanocheir</i>	40	Oportunista	Súpera	Comprimida	Media	Ninguna	Carnívora
<i>Gephyrocharax torresi</i>	42	Oportunista	Súpera	Comprimida	Media	Ninguna	?
<i>Gilbertolus alatus</i>	143	Periódica	Súpera	Comprimida	Media	No conocida	Planctófaga
<i>Grundulus bogotensis</i>	?	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	Ninguna	?
<i>Gymnotus ardilai</i>	430	Equilibrio	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	?
<i>Hemibrycon antioquiiae</i>	83	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	Omnívora
<i>Hemibrycon arilepis</i>	?	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	?
<i>Hemibrycon boquiae</i>	48	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	Omnívora
<i>Hemibrycon cairoense</i>	85	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	?
<i>Hemibrycon cardalensis</i>	87	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	Omnívora
<i>Hemibrycon caucanus</i>	?	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	Omnívora
<i>Hemibrycon colombianus</i>	106	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	?

ECOLOGÍA E HISTORIAS DE VIDA

Anexo 1. Continuación

Especies	Lmax (LE mm)	Estrategia Reproductiva	Posición boca	Forma del cuerpo	Posición en la columna agua	Estrategia migración	Categoría trófica
<i>Hemibrycon decurrens</i>	57	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	Omnívora
<i>Hemibrycon dentatus</i>	118	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	Omnívora
<i>Hemibrycon fasciatus</i>	83	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	Omnívora
<i>Hemibrycon foncensis</i>	?	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	?
<i>Hemibrycon iqueima</i>	?	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	?
<i>Hemibrycon paez</i>	94	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	?
<i>Hemibrycon palomae</i>	89	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	Omnívora
<i>Hemibrycon plutarcoi</i>	?	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	Omnívora
<i>Hemibrycon rafaelense</i>	90	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	?
<i>Hemibrycon raqueliae</i>	99	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	Omnívora
<i>Hemibrycon tolimae</i>	118	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	?
<i>Hemibrycon velox</i>	110	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	?
<i>Hemibrycon virolinica</i>	98	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	?
<i>Hemibrycon yacopiae</i>	89	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	?
<i>Hoplias teres</i>	552	Equilibrio	Terminal	Cilíndrica	Media-fondo	No conocida	Carnívora
<i>Hoplosternum magdalenae</i>	115	Equilibrio	Terminal	Cilíndrica	Media	No conocida	Omnívora
<i>Hyphessobrycon natagaima</i>	47	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	Ninguna	Omnívora
<i>Hyphessobrycon ocaseoensis</i>	51,7	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	Ninguna	Omnívora
<i>Hyphessobrycon poeciloides</i>	90	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	Ninguna	Omnívora


Anexo 1. Continuación

Especies	Lmax (LE mm)	Estrategia Reproductiva	Posición boca	Forma del cuerpo	Posición en la columna agua	Estrategia migración	Categoría trófica
<i>Hypessobrycon proteus</i>	74	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	Ninguna	Carnívora
<i>Hypostomus hondae</i>	350	Equilibrio	Ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	Detritívora
<i>Ichthyoelephas longirostris</i>	800	Periódica	Ínfera	Fusiforme	Media	Potamodroma	Detritívora
<i>Imparfinis nemacheir</i>	99	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Media-fondo	Ninguna	Carnívora
<i>Imparfinis timana</i>	106,905	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Media-fondo	Ninguna	Carnívora
<i>Imparfinis usmai</i>	114,81	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Media-fondo	Ninguna	Carnívora
<i>Isorineloricaria tenuicauda</i>	450	Equilibrio	Ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	Detritívora
<i>Kronoheros umbrifer</i>	475	Equilibrio	Terminal	Comprimida	Media	Ninguna	Carnívora
<i>Lastiancistrus caucanus</i>	235	Equilibrio	Ventral	Deprimida	Fondo	No conocida	Detritívora
<i>Lebiasina chucuriensis</i>	170	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Media	No conocida	?
<i>Lebiasina erythrinoides</i>	250	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Media	No conocida	?
<i>Lebiasina floridablancaensis</i>	190	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Media	No conocida	?
<i>Lebiasina ortegai</i>	124	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Media	No conocida	?
<i>Leporellus vittatus</i>	300	Periódica	Terminal	Fusiforme	Media	Potamodroma	Omnívora
<i>Leporinus striatus</i>	490	Periódica	Terminal	Fusiforme	Media	Potamodroma	Omnívora
<i>Leptoancistrus cordobensis</i>	37	Equilibrio	Ventral	Deprimida	Fondo	No conocida	?
<i>Megaloporinus maysorum</i>	490	Periódica	Terminal	Cilíndrica	Media	Potamodroma	Omnívora
<i>Megalonema xanthum</i>	159	Periódica	Terminal	Fusiforme	Fondo	No conocida	Carnívora
<i>Microgenys minuta</i>	45	Oportunista	Terminal	Fusiforme	Media	Ninguna	Carnívora

ECOLOGÍA E HISTORIAS DE VIDA

Anexo 1. Continuación

Especies	Lmax (LE mm)	Estrategia Reproductiva	Posición boca	Forma del cuerpo	Posición en la columna agua	Estrategia migración	Categoría trófica
<i>Nanochetodon insignis</i>	24	Oportunista	Terminal	Fusiforme	Media	Ninguna	?
<i>Notarius bonillai</i>	460	?	Terminal	Fusiforme	Media	?	?
<i>Panaque cochitodon</i>	450	Equilibrio	Ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	Detritívora
<i>Paravandellia phaneromena</i>	28	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Media	Ninguna	Carnívora
<i>Parodon alfonsoi</i>	106,9	Periódica	Terminal	Cilíndrica	Media	Potamodroma	?
<i>Parodon calliensis</i>	?	Periódica	Terminal	Cilíndrica	Media	Potamodroma	?
<i>Parodon magdalenensis</i>	114	Periódica	Terminal	Cilíndrica	Media	Potamodroma	Omnívora
<i>Pimelodella chagresi</i>	154	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Media	No conocida	Carnívora
<i>Pimelodella floridablancaensis</i>	?	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Media	No conocida	?
<i>Pimelodella macrocephala</i>	26	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Media	No conocida	Carnívora
<i>Pimelodus crypticus</i>	246	Periódica	Terminal	Cilíndrica	Media	Potamodroma	Omnívora
<i>Pimelodus grosskopfii</i>	365	Periódica	Terminal	Cilíndrica	Media	Potamodroma	Omnívora
<i>Pimelodus yuma</i>	350	Periódica	Terminal	Cilíndrica	Media	Potamodroma	Carnívora
<i>Plagioscion magdalenae</i>	700	Periódica	Terminal	Comprimida	Media	No conocida	Carnívora
<i>Poecililia caucana</i>	30	Equilibrio	Súpera	Cilíndrica	Media	Ninguna	Omnívora
<i>Potamorogon magdalenae</i>	500	Equilibrio	ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	Carnívora
<i>Pripiichthys calliensis</i>	28	Equilibrio	Súpera	Cilíndrica	Media-fondo	ninguna	Carnívora
<i>Prochilodus magdalenae</i>	600	Periódica	Ínfera	Fusiforme	Media	Potamodroma	Detritívora
<i>Pseudopimelodus schultzi</i>	207	Periódica	Terminal	Cilíndrica	Fondo	Potamodroma	Carnívora


Anexo 1. Continuación

Especies	Lmax (LE mm)	Estrategia Reproductiva	Posición boca	Forma del cuerpo	Posición en la columna agua	Estrategia migración	Categoría trófica
<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>	1400	Periódica	Terminal	Cilíndrica	Media	Potamodroma	Carnívora
<i>Pterygoplichthys undecimalis</i>	500	Oportunista	Ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	Detritívora
<i>Rachovia brevis</i>	60	Equilibrio	Súpera	Cilíndrica	Media-fondo	Ninguna	?
<i>Rachovia hummelincki</i>	75	Equilibrio	Súpera	Cilíndrica	Media-fondo	Ninguna	?
<i>Rhamdia guatemalensis</i>	474	Periódica	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	Omnívora
<i>Rineloricaria magdalenae</i>	200	Equilibrio	Ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	Detritívora
<i>Roëboides dayi</i>	127	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media	Ninguna	Carnívora
<i>Saccoderma hastata</i>	40	Oportunista	Terminal	Comprimida	Media-fondo	Ninguna	Carnívora
<i>Saccodon dariensis</i>	174	Periódica	Ventral	Cilíndrica	Media-fondo	Potamodroma	Omnívora
<i>Salminus affinis</i>	600	Periódica	Terminal	Comprimida	Media	Potamodroma	Omnívora
<i>Sorubim cuspicaudus</i>	800	Periódica	Terminal	Cilíndrica	Media	Potamodroma	Omnívora
<i>Spatuloricaria curvispina</i>	180	Equilibrio	Ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	?
<i>Spatuloricaria fimbriata</i>	80	Equilibrio	ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	?
<i>Spatuloricaria gymnogaster</i>	370	Equilibrio	Ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	Detritívora
<i>Sternopygus aequilabiatus</i>	1120	Equilibrio	Terminal	Comprimida	Media	Ninguna	Omnívora
<i>Sturisomatichthys aureus</i>	200	Equilibrio	ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	Detritívora
<i>Sturisomatichthys leightoni</i>	180	Equilibrio	ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	Detritívora
<i>Sturisomatichthys panamensis</i>	260	Equilibrio	ventral	Deprimida	Fondo	Ninguna	Detritívora
<i>Synbranchus marmoratus</i>	1500	Equilibrio	Terminal	Cilíndrica	?	Ninguna	Carnívora

ECOLOGÍA E HISTORIAS DE VIDA

Anexo 1. Continuación

Especies	Lmax (LE mm)	Estrategia Reproductiva	Posición boca	Forma del cuerpo	Posición en la columna agua	Estrategia migración	Categoría trófica
<i>Trachomycterus insignis</i>	239	Equilibrio	Terminal	Cilíndrica	Media	No conocida	Carnívora
<i>Trichomycterus arhuaco</i>	?	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus banneai</i>	95	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	Carnívora
<i>Trichomycterus betuliaensis</i>	?	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus bogotensis</i>	94	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus cachiraensis</i>	109	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus caliensis</i>	53	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	Carnívora
<i>Trichomycterus cerritoensis</i>	?	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus chapmani</i>	118	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	Carnívora
<i>Trichomycterus colombia</i>	?	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus donascimientoi</i>	?	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus ferreri</i>	?	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus gironensis</i>	?	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus guacamayoensis</i>	?	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus kankuamo</i>	?	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus latistriatus</i>	46	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	Carnívora
<i>Trichomycterus manauarensis</i>	?	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus mogotensis</i>	?	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus montesi</i>	?	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?



Anexo 1. Continuación

Especies	Lmax (LE mm)	Estrategia Reproductiva	Posición boca	Forma del cuerpo	Posición en la columna agua	Estrategia migración	Categoría trófica
<i>Trichomycterus nabusimakensis</i>	?	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus retropinnis</i>	100	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	Carnívora
<i>Trichomycterus romeroi</i>	66	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus rosablanca</i>	?	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus ruitoquensis</i>	120	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus sandonali</i>	120	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus sanmartinensis</i>	?	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus santanderensis</i>	101	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus sketi</i>	61,5	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus stellatus</i>	78	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus stramineus</i>	67	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus sucrensis</i>	?	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus tetuanensis</i>	?	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus torcoroanaensis</i>	?	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus transandianus</i>	61	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus uisae</i>	57	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Trichomycterus valleduparensis</i>	?	Oportunista	Terminal	Cilíndrica	Fondo	No conocida	?
<i>Triportheus magdalene</i>	360	Periódica	Terminal	Comprimida	Media	Potamodroma	Planctófaga
<i>Xyliphius magdaleneae</i>	80	Equilibrio	Súpera	Cilíndrica	Fondo	Ninguna	Carnívora



Pesca con atarraya. Foto. Jorge E. García-Melo



5. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS GENERADOS POR LOS PECES DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA, COLOMBIA

**Mauricio Valderrama-Barco, Jorge L. Escobar-Cardona,
Raúl Pardo B., Melissa Toro S., Juan C. Gutiérrez C.
y Silvia López-Casas**

Resumen

En este capítulo se identifican y describen los servicios ecosistémicos generados por las poblaciones de peces en la cuenca del río Magdalena. En lo concerniente a los servicios de aprovisionamiento se valora la pesca artesanal, junto con sus beneficios como el aporte al empleo y a la seguridad alimentaria, presentándose conjuntamente aspectos relacionados con servicios de abastecimiento relacionados con pesca recreativa y deportiva, recursos genéticos y piscicultura. En cuanto a los servicios de regulación y mantenimiento, se describen los aportes a la regulación en la dinámica de la red trófica y el balance de nutrientes, a la reducción de contaminantes, a la transformación de materia orgánica en los sistemas de interacción peces-hábitat, bioturbación, transporte de

los nutrientes-carbón-minerales, energía y la dispersión de semillas, junto con control biológico de plagas y enfermedades tropicales. Con relación a los servicios culturales se contemplan los relacionados con interacciones físicas e intelectuales asociados con la demanda para la educación e información y conocimiento local, y aquellos asociados con interacciones espirituales y simbólicas. Se concluye que el grado de desarrollo actual del conocimiento en la cuenca subestima los servicios ecosistémicos brindados por los peces, se enfatiza en la necesidad de modificar los paradigmas de manejo tradicional y se presentan recomendaciones para propender por su materialización.

Palabras clave. Beneficios de la naturaleza, bienestar humano, cultura, ecosistemas de agua dulce, ictiofauna, procesos.

Valderrama, M., Escobar C., J. L., Pardo B., R., Toro S., M., Gutiérrez C., J. C. & López C., S. 2020. Servicios ecosistémicos generados por los peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia. En: Jiménez-Segura, L. & C. A. Lasso (Eds.). XIX. *Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible*. Pp: 205-235. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. DOI: 10.21068/B2020RRHHXIX05

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Abstract

Several ecosystem services generated by fish populations in the Magdalena River basin are described in this chapter. Food for people as well as employment and food security is provided by a valuable artisanal fishery in this region and recreational and sport fishing also contribute to local economies. Natural aquatic systems have also provided species and genetic resources to renew stocks used in fish farming. The regulation of trophic dynamics and nutrient balance are also described in this chapter, as well as the role of natural aquatic systems in the reduction of pollutants, and the transformation of organic matter as fish interact with their habitats. Other ecosystem services include bioturbation, transport of nutrients, carbon and minerals as well as energy transfer and seed dispersal, together with biological control of tropical pests and diseases. In relation to cultural services, those related to physical and intellectual interactions correlate with the local demand for education and information and incorporation of local knowledge. Those associated with spiritual and symbolic interactions are considered as well. It is concluded that our current level of knowledge of the basin underestimates the ecosystem services provided by fish, emphasizing the need to modify the traditional extractive management paradigms and create new management recommendations as well as promoting those ideas to get them put into practice.

Keywords. Benefits from nature, culture, freshwater ecosystems, ichthyofauna, processes.

Introducción

La Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (MADS 2012) reconoce el carácter estratégico de la biodiversidad como fuente

principal y garantía del suministro de los servicios ecosistémicos indispensables para el desarrollo del país, con base en su competitividad y como parte fundamental para el bienestar de la sociedad colombiana. La Clasificación Común Internacional de Servicios Ecosistémicos (CICES, por sus siglas en inglés) (Haines-Young y Potschin 2018) define a los servicios ecosistémicos-SSEE como las contribuciones que los ecosistemas hacen al bienestar humano. En este sentido, CICES sigue la tradición de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (Millennium Ecosystem Assessment MA 2005) e iniciativas como The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) y la Plataforma Intergubernamental para la Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (IPBES por sus siglas en inglés).

Dentro del marco conceptual, uno de los elementos clave más recientemente aportado por el IPBES es la noción de las contribuciones de la naturaleza a las personas (CNP). Esta se basa en el concepto de servicio del ecosistema popularizado por la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MA) (Díaz *et al.* 2018). En cuanto a las CNP son todas las contribuciones, tanto positivas como negativas, de la naturaleza viva (diversidad de organismos, ecosistemas y sus procesos ecológicos y evolutivos asociados a la calidad de vida de las personas). La CICES (Haines-Young y Potschin 2018) clasifica los SSEE en tres categorías asociadas a las siguientes secciones: aprovisionamiento, regulación y mantenimiento, y cultural. Los primeros, de aprovisionamiento, cubren todo el material nutricional, no nutricional y los resultados energéticos de los sistemas vivos; los segundos, servicios de regulación y mantenimiento agrupan todas las formas en las cuales los organismos vivos median o moderan el ambiente que contribuyen a la



IAvH

salud humana, la seguridad o el bienestar. Por último, los servicios culturales contemplan las interacciones activas con los ecosistemas, tales como aquellas que permiten la investigación científica o la creación del conocimiento ecológico tradicional o las que, en términos de cultura o patrimonio, permiten experiencias estéticas o estados físicos y mentales y espirituales de las personas y, de igual forma, están los elementos de los sistemas vivos que tienen un significado simbólico, sagrado o religioso que son utilizados para el entretenimiento o la representación.

Para el desarrollo de este capítulo, metodológicamente se realizó una recopilación de la información secundaria disponible para las tres categorías de servicios ecosistémicos definidos por CICES. Los servicios de aprovisionamiento se consideraron en términos de la pesca artesanal, su valoración y distribución espacial, junto con sus beneficios como generación de empleo y seguridad alimentaria, aunado a aquellos derivados de la pesca recreativa o deportiva y la pesca ornamental; de forma complementaria, se analizó brevemente lo relacionado con recursos genéticos y el aporte a la piscicultura regional en el país. Los servicios de regulación y mantenimiento se describen a partir de su aporte a la regulación en la dinámica de la red trófica y el balance de nutrientes, la reducción de contaminantes, la transformación de la materia orgánica en los sistemas de interacción peces-hábitat (como la bioturbación), transporte de nutrientes-carbono-minerales y energía, transporte de semillas y el aporte al control biológico de plagas y enfermedades tropicales. En cuanto a servicios culturales, que incluyeron actividades conexas, contemplaron aquellos relacionados con interacciones físicas e intelectuales, junto con las espirituales y

simbólicas, complementando además un aspecto relacionado con a la protección del patrimonio cultural asociado a la actividad de uso de los peces. Al final de este capítulo se presentan las conclusiones dirigidas a orientar escenarios y líneas de acción, a ser tenidos en cuenta, para la gestión futura del manejo y conservación de los servicios ecosistémicos generados por los peces en la gran cuenca del río Magdalena.

Servicios de aprovisionamiento

Alimento y beneficios: empleo, valor económico y seguridad alimentaria

Los usuarios del río aprovechan los peces a través de un uso conocido como pesca artesanal continental, el cual se diferencia en pesca de subsistencia (aquella ejercida para autoconsumo) y pesca artesanal comercial (la cual genera beneficios económicos al pescador). Según el destino del producto pesquero, la pesca continental también puede clasificarse en pesca de consumo (para alimento) o pesca ornamental (para recreación o acuarismo).

En la definición y clasificación de los servicios ecosistémicos, la pesca es uno de los servicios más valorados por los habitantes de las riberas de los ríos (Holmlund y Hammer 1999) debido a que, además de contribuir a la seguridad alimentaria, constituye la principal fuente de ingresos y proteínas de muchos habitantes ribereños de los países tropicales (Mosepele 2014). En la cuenca del Magdalena su relevancia se asocia a la alta diversidad de especies sujetas de uso, conformando una pesquería de múltiples especies, con 91 de ellas sujetas de uso (ver listado en el Anexo 1). Estas representan el 39 % de la diversidad total de las especies de peces en la región, de las cuales 65 poseen un uso pesquero de

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

consumo y 40 son aprovechadas o tienen potencial como peces ornamentales; así mismo, 14 de ellas son fuente tanto de consumo como ornamental. A lo anterior, se suman 43 especies que han sido introducidas en el país, todas ellas presentes en la cuenca del Magdalena (13 especies trasladadas y 30 especies exóticas) con interés para la acuicultura, la pesca comercial, la pesca deportiva y/o ornamento-acuariofilia (Lasso *et al.* 2020). Muchas de estas especies parecen estar ya establecidas (condición que refleja el desarrollo de una completa historia de vida en los ambientes naturales en los cuales una especie ha sido introducida o trasladada).

Una característica destacada de la cuenca viene dada por la presencia de especies migratorias: 30 de ellas son nativas, tres son trasladadas (las cachamas y el yamú) y una es exótica (el basa) (ver Anexo 1). Las nativas, entre otras, como el bocachico (*Prochilodus magdalenae*), el bagre rayado (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*), el blanquillo (*Sorubim cuspidus*) y el barbul (*Pimelodus yuma*) desarrollan desplazamientos desde las planicies o ciénagas (ambientes de cría y crecimiento) hacia los canales fluviales (ambientes de reproducción y dispersión) y, en las épocas de verano, cuando las aguas bajan de nivel, generan las conocidas *subiendas* de ejemplares que remontan los cauces o canales de los ríos (Jiménez-Segura *et al.* 2020).

Por el contrario, en los ecosistemas alto andinos, las pesquerías se basan en especies no migratorias con predominancia de nativas como el capitán de la sabana (*Eremophilus mutisii*) y la guapucha (*Grunulus bogotensis*). Estas especies comparten sus ambientes con especies introducidas, donde se destacan la carpa (*Cyprinus carpio*) y la trucha (*Oncorhynchus mykiss*). En aguas

de altitud media, se encuentran tanto especies nativas como la mojarra *Caquetaia kraussii* o la sabaleta *Brycon henni*, como especies exóticas, el “black bass” *Micropterus salmoides* y trasladadas como los pavones, *Cichla ocellaris* variedad *monoculus* (Lasso *et al.* 2020).

En cuanto a la producción pesquera anual en la cuenca del río Magdalena-Cauca, la cual incluye las capturas totales anuales, durante el periodo 1975-2016 ha fluctuado entre las 81.653 t y las 26.132 t (Barreto 2017) (Figura 1). En el año 2019, los desembarques alcanzaron las 14.312 t (Figuras 2-3) dentro de las cuales cinco especies son dominantes, todas migratorias, como el bocachico (41 %), el bagre rayado (11 %), el blanquillo (7 %), el nicuro o barbul (4 %) y el capaz (1 %). Estas especies están acompañadas por una introducida ya establecida como es la tilapia (3 %). Los principales puertos de desembarques están ubicados en el bajo y medio Magdalena (Figura 1).

Con respecto al valor de los desembarques, en el año 2019 este alcanzó 20.382,6 millones COP (valor calculado con precios de primera venta), donde el bocachico aportó el 44 %, seguido por el bagre rayado (18 %), el blanquillo (9 %), el nicuro (6 %), el capaz (4 %) y la tilapia (4 %) (Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca y SEPEC 2020, Figura 3). Si bien, se aprecia la importancia económica de la pesquería a lo largo de la historia, su valor ha disminuido con relación a los datos históricos. En el año 1977 su valor anual se estimó en 910,8 millones USD (Chapman 1978), mientras que para el 2010 solo alcanzó los 237,2 millones USD, ambos a tasa de cambio 2019 (Fundación Humedales 2010). En cuanto a la valoración de una pesquería en particular, como es la del



IAvH

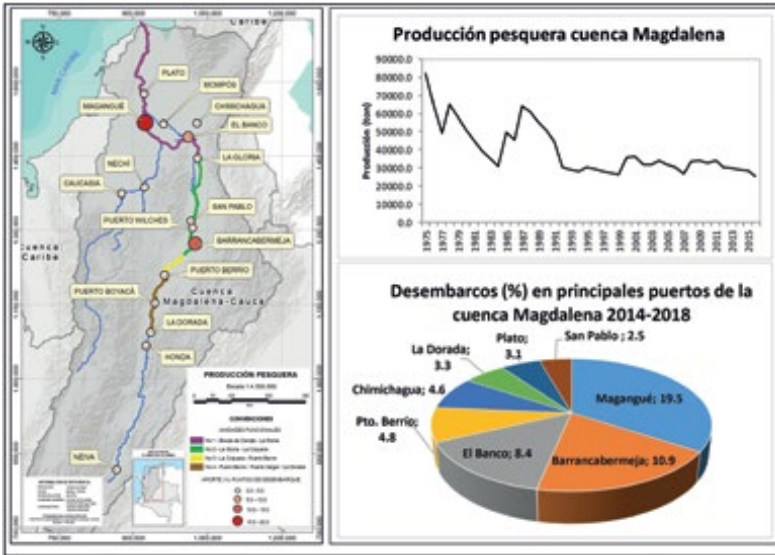


Figura 1. Producción pesquera y puertos de la pesca comercial artesanal en la cuenca Magdalena y grado de importancia por volumen comercializado. Fuente: Instituto Alexander von Humboldt (2019).



Figura 2. Pesca y comercio de bagre rayado *Pseudoplatystoma magdaleniatum* en el río Magdalena. Foto: Fundación Humedales.

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

bagre rayado, Salas-Guzmán *et al.* (2013) establecieron que en el 2013 la producción anual fue de 767,6 t. año⁻¹, cuyo valor comercial equivale a los 16,8 millones USD a tasa de cambio 2019.

Con respecto al valor del mercado de las pesquerías, este se ha estimado de acuerdo a la calidad de la carne, el tamaño del pez y la aceptación tradicional en el mercado de las especies bajo aprovechamiento. Las zonas con especies de mayor valor corresponden a las zonas bajas o planicies inundables de la cuenca, mientras que en las zonas más altas —donde los ecosistemas acuáticos son menos productivos— el valor es menor (Figura 4). Este valor de mercado revela también la importancia de las especies migradoras, que son las de mayor valor comercial. Por lo tanto, para su sostenibilidad, es necesario garantizar la conexión de las zonas bajas con las

zonas más altas de la cuenca como medida de conservación para estas especies con este tipo de rasgos en su historia de vida.

Los beneficiarios de la pesca se encuentran desde los pescadores hasta el consumidor final, pasando por los diferentes eslabones de la cadena de comercialización, representados desde comerciantes locales hasta acopiadores mayoristas, expendedores y transportadores. Con relación a las áreas beneficiadas del servicio ecosistémico asociado a la pesca, Olaya-Rodríguez *et al.* (2017) destacan los municipios de Barrancabermeja (medio Magdalena), Magangué (bajo Magdalena) y se favorecen a otras comunidades como Plato, Caucasia, el Banco (bajo Magdalena), Honda y Puerto Boyacá (medio Magdalena). Las ciudades capitales que reciben mayores beneficios por el servicio asociado a la pesca son Bogotá, Medellín

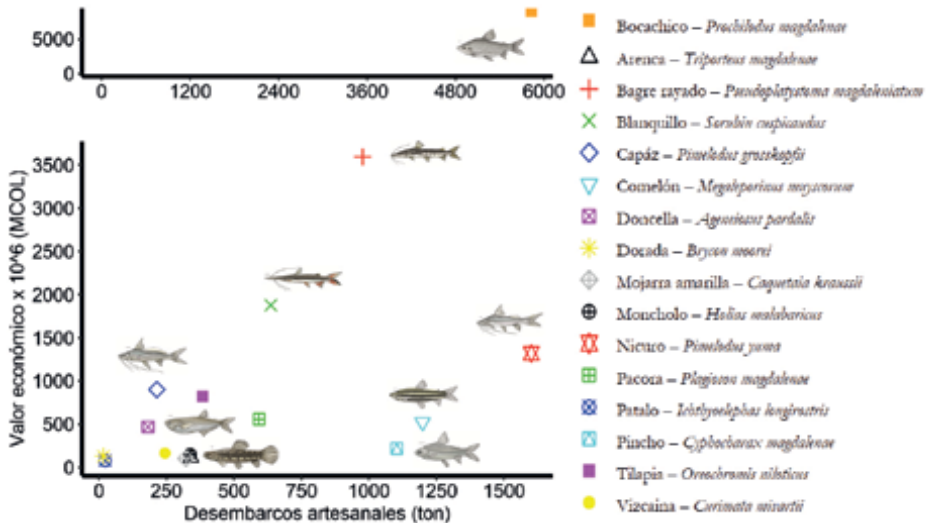


Figura 3. Composición y valor de los desembarques de pescado en la cuenca Magdalena, año 2019. Fuente: datos provistos por la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca y SEPEC (2020).



IAvH

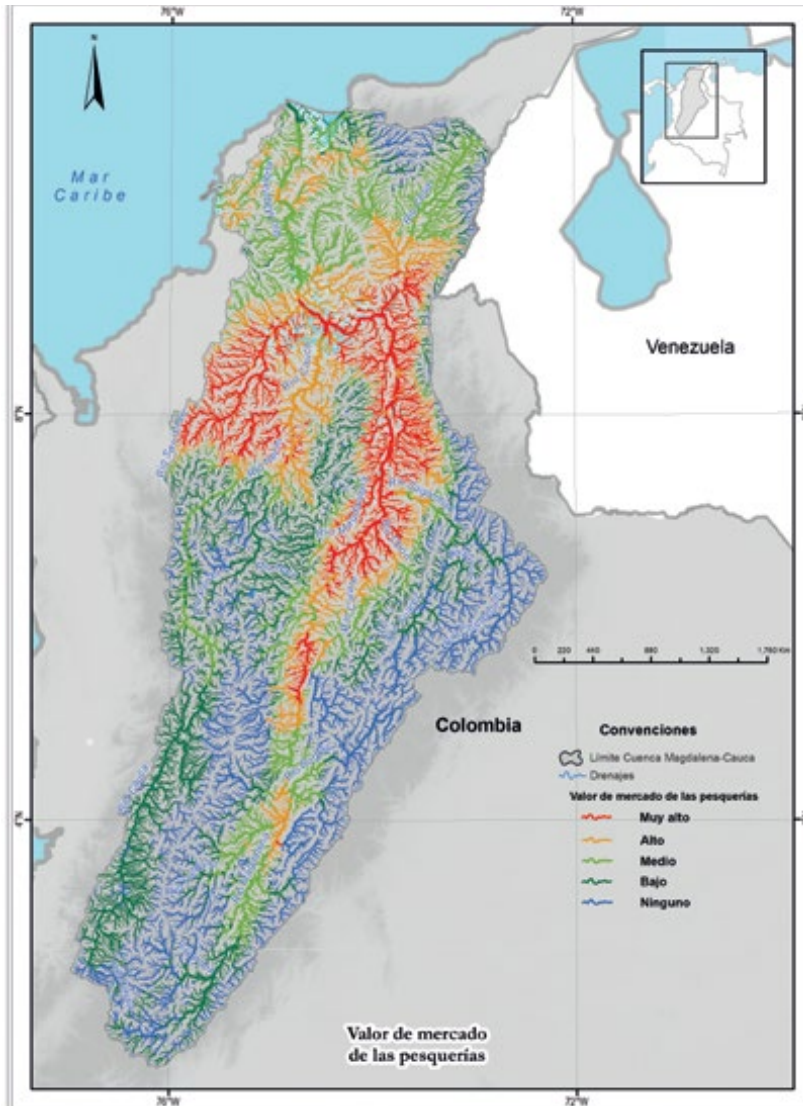


Figura 4. Valor de mercado de las pesquerías en las diferentes zonas de la cuenca del río Magdalena. Fuente: López-Casas *et al.* (en prensa).

y Bucaramanga y las poblaciones de menor tamaño, en particular, en la región Andina mostraron también gran dependencia con respecto al recurso pesquero.

La pesca en la cuenca Magdalena genera beneficios a cerca de 32.789 pescadores (Tabla 1; TNC *et al.* 2016). Esta cifra no incluye a las comunidades que aprovechan

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

el recurso en sistemas altoandinos o aquellos ubicados en altitudes superiores a 800 m s.n.m [límite del sistema socio ecológico¹ de la pesca artesanal comercial (ver Hernández-Barrero *en revisión*). El aporte del pescado a la seguridad alimentaria de aquellos pescadores es de gran valor para la calidad de vida de las comunidades y es de vital relevancia regional para los pescadores y sus familias; se estima que el consumo de pescado a nivel general en la cuenca fluctúa entre los 28 y 36 kg.persona.año⁻¹; a su vez, se benefician más de 157.000 personas asociadas directamente con la pesca en la cuenca (The Nature Conservancy 2016). Si se compara este consumo a nivel mundial, éste es superior al valor internacional de 20,5 kg.persona.año⁻¹ (FAO 2018). En el caso de otros ambientes acuáticos diferentes a ríos y planicies de inundación, el aporte a la seguridad alimentaria es menor. Por ejemplo, en los embalses de Amaní o del río la Miel, el consumo es 11,3 kg.persona.año⁻¹(AUNAP-Fundación Humedales 2013); mientras, en lagos altoandinos, como la laguna de Fúquene, este es menor —pero no menos importante— con 8,2 kg. persona año⁻¹ (Asociación de Pescadores Los Fundadores *et al.* 2011).

En cuanto a los estudios que han abordado la problemática asociada con los servicios ecosistémicos provistos por una especie

1 Los sistemas socioecológicos son aquellos en los que existe una estrecha relación entre un ecosistema y la sociedad humana, en la cual los componentes ecológicos (en este caso los ecosistemas acuáticos y su biota) y sociales (culturales, políticos, económicos, tecnológicos) interactúan entre sí y se moldean (Berkers 2011). Y que deben ser entendidos bajo una perspectiva sistémica, holística e integradora del “ser humano en la naturaleza” (Farhad 2012).

emblemática, como es el bagre rayado (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*), Franco (2013) indica que el manejo tradicional de las pesquerías no ha podido garantizar una actividad sostenible lo que ha contribuido a la pérdida de servicios de provisión y, por lo tanto, como respuesta, se requiere aplicar un enfoque de manejo integral que contemple a la producción de peces como un uso que está en competencia con otros usos del agua. Esta situación, tal como acontece en otras regiones, contribuye a un uso no sostenible de los humedales requiriéndose una acción integrada (Pope *et al.* 2016), que conserve los beneficios derivados de la producción pesquera (Brugere *et al.* 2016). Para alcanzar este cometido, deben implementarse o fortalecerse procesos de gobernanza de la pesca, bajo enfoques regionales integrales y multisectoriales. Este propósito es favorecido por la progresiva concientización de las comunidades de pescadores en la necesidad de articularse con diversos actores relacionados con la ordenación pesquera. Esta actitud es una clara respuesta a la problemática de disminución del servicio de provisión y es, al mismo tiempo, una fortaleza que a futuro puede generar reales modificaciones de la gestión tradicional de manejo de la pesca en la cuenca.

Pesca ornamental (acuariofilia)

En la cuenca, 40 especies nativas poseen interés como recurso ornamental (Anexo 1). Dentro de estas, 34 han sido autorizadas para su uso (Resolución AUNAP 1924 del 2015) y algunas de ellas poseen demanda internacional. No obstante, existen especies no autorizadas por este acto administrativo que poseen aprovechamiento actual, y es el caso de la cucha de ojos azules, *Panaque cochliodon*. Otra especie con alta demanda es la raya, *Potamotrygon magdalenae* (Figura 5).



IAvH

Tabla 1. Censo de pescadores en la cuenca Magdalena. Fuente: The Nature Conservancy, Fundación Alma, Fundación Humedales y AUNAP (2016).

Sector	Número	Fuente
Bajo Magdalena	24820	Romero <i>et al.</i> (2002)
Gamarra	2350	Contreras (2011) en Gutiérrez <i>et al.</i> (2011)
Barrancabermeja	1600	
Plato	950	
San Pablo- Pto. Wilches - Cantagallo	900	
Puerto Berrio- Pto Nare	400	
Nechí	391	Fundación Bosques y Humedales (2014)
Puerto Boyacá- Pto. Serviez	250	Contreras (2011) en Gutiérrez <i>et al.</i> (2011)
Neiva	230	
La Dorada	220	
Honda	40	
Betania	431	AUNAP y Fundación Humedales (2013)
Prado	216	
Total	32798	

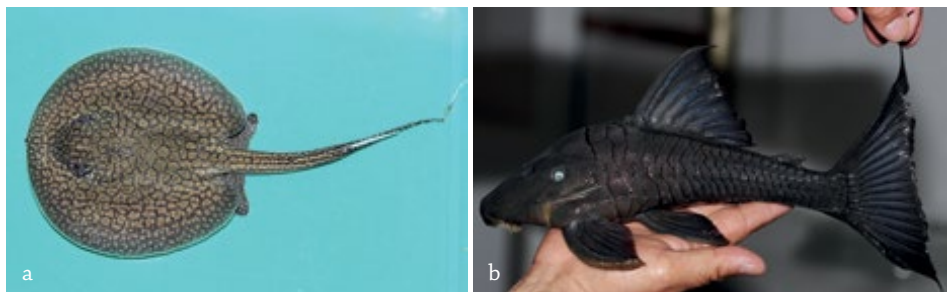


Figura 5. Especies ornamentales: a) raya, *Potamotrygon magdalenae* y b) cucha de ojos azules, *Panaque cochliodon*. Fotos: Armando Ortega-Lara.

En cuanto a las exportaciones, en el año 2019 se comercializaron 29 especies nativas provenientes de la cuenca Magdalena (Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca

y SEPEC 2020). Entre ellas, se destacan el coroncoro o corroncho rayado *Chaetostoma thomsoni* (21 %), la estrigata *Gasteropelecus maculatus* (18 %), la loricaria *Dasylicaria*

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

filamentosa (17 %) y el juan viejo *Geophagus steindachneri* (11 %), estas representan el 67 % del total (Figura 6).

Pesca recreativa o deportiva

La pesca recreativa se define como aquella en la cual los animales acuáticos no constituyen el recurso principal para satisfacer las necesidades nutricionales; por lo tanto, generalmente no se venden ni se comercializan en mercados nacionales o de exportación (EIFAC 2008). El World Bank (2012) se refiere a la pesca recreativa como una forma especial de pesca a pequeña escala, que en cierto punto se superpone con la pesca de subsistencia, dado que parte de lo capturado puede ser consumido por el pescador, su familia o allegados y, en algunos casos, la captura, o parte de ella, se vende para compensar los costos del deporte.

El estudio más reciente sobre la pesca deportiva en Colombia muestra que en la cuenca del Magdalena se aprovechan 28 especies, incluidas las introducidas y para cada una de estas especies se han detallado las zonas de pesca (subcuenca/ríos y embalses), así como las épocas de captura, normativa, métodos de pesca y otros aspectos biológico-pesqueros (Lasso *et al.* 2019). Estos autores muestran los mapas de distribución de las especies introducidas (exóticas y trasplantadas) de interés para esta actividad (Lasso *et al.* 2020). En cuanto a los géneros de las especies bajo esta modalidad de uso, se muestran en la tabla 2.

Debido a la disminución de la producción pesquera de la cuenca, algunas comunidades de pescadores artesanales han encontrado en el turismo de naturaleza —asociado a actividades de pesca deportiva

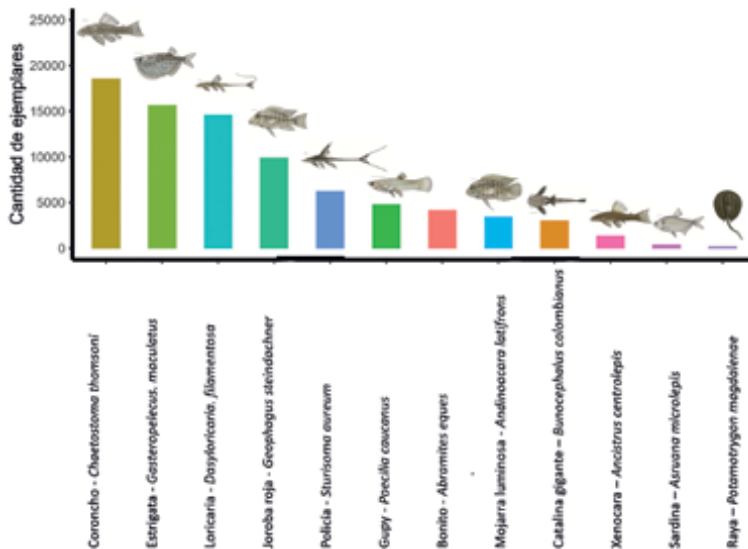


Figura 6. Exportación de especies ornamentales provenientes de la cuenca Magdalena, año 2019. Fuente: datos provistos por Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca y SEPEC (2020). Imágenes de peces tomadas del repositorio del Instituto Alexander von Humboldt.



IAvH

Tabla 2. Listado de géneros de especies sujetos de uso recreativo (deportivo) en embalses de la cuenca del Magdalena. Fuente: Huertas-Rodríguez *et al.* (2018), Quesada *et al.* (2012), Fundación Humedales y EPM (2013), AUNAP-Fundación Humedales (2013).

Géneros	Tipo	Zonas de uso
<i>Andinoacara</i>	Nativa	Porce II
<i>Astyanax</i>	Nativa	Porce II
<i>Brycon</i>	Nativa	Porce II
<i>Caquetaia</i>	Nativa	Porce II, Topocoro
<i>Coptodon</i>	Exótica	Porce II
<i>Ctenolucius</i>	Nativa	Topocoro
<i>Ichthyocephalus</i>	Nativa	Porce II
<i>Kronoheros</i>	Nativa	Topocoro
<i>Micropterus</i>	Exótica	Porce II
<i>Parachromis</i>	Exótica	Porce II
<i>Pimelodella</i>	Nativa	Porce II
<i>Pimelodus</i>	Nativa	Porce II, Topocoro
<i>Prochilodus</i>	Nativa	Porce II
<i>Rhamdia</i>	Nativa	Porce II, Topocoro
<i>Roeboides</i>	Nativa	Topocoro
<i>Cichla</i>	Trasplantada	Amaní, Topocoro
<i>Cyprinus</i>	Exótica	Tominé
<i>Oncorhynchus</i>	Exótica	Laguna de la Cocha, Tominé.
<i>Oreochromis</i>	Exótica	Porce II, Topocoro

o recreativa— una oportunidad para recibir ingresos, al generar economías locales a partir de los servicios de guía para la pesca deportiva. En esos casos los beneficios de la pesca recreativa están relacionados con servicios culturales que incluyen, además, educación ambiental, cohesión social, promoción de la economía local y disfrute del entorno natural. Esta es una actividad que viene escalando en importancia y se desarrolla en embalses como Amaní, Tominé, Porce II (Fundación Humedales

– EPM 2013; Huertas-Rodríguez *et al.* 2018) y Topocoro (Fundación Humedales – ISAGEN 2019), y en cuerpos de agua naturales como la Laguna de la Cocha (AUNAP - Fundación Humedales 2013).

En lo que concierne a la dinámica y desarrollo de esta modalidad de pesca en Colombia, ésta no ha sido de especial interés para la generación de información biológica pesquera y, menos aún, se ha analizado su impacto sobre las poblaciones naturales

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

de peces. Por lo tanto, es necesario que se fortalezca la gestión hacia la ordenación de la pesca con fines recreativos, al propender por una actividad sostenible que se convierta en un instrumento real de desarrollo, que contribuya a aliviar la pobreza al incorporar a las comunidades locales a actividades como el turismo guiado, al prestar servicios de transporte o de alimentación a los pescadores recreativos.

Se considera que el principal riesgo asociado a la pesca recreativa es la introducción o trasplante de especies. Según Lasso *et al.* (2020), todas las especies introducidas han aumentado su área de distribución en gran medida por esta actividad, lo cual genera un alto riesgo para las especies nativas por las alteraciones en el ensamblaje íctico que aquellas pueden ocasionar.

Recurso genético

El alto endemismo presente en la cuenca del río Magdalena, donde 158 especies (68,1 % del total) son exclusivas de esta región (García-Alzate *et al.* 2020), evidencia la importancia de conservar el acervo genético de las poblaciones de peces del Magdalena. Márquez *et al.* (2020) describen algunos estudios genético-poblacionales en las principales especies de interés pesquero, junto con los esfuerzos que se están realizando encaminados al análisis genómico de bocachico (*P. magdalenae*), capaz (*P. grosskopfii*) y pataló, *I. longirostris*. Dentro de las especies estudiadas hasta ahora, 14 exhiben alta diversidad genética, aun cuando se observa un déficit generalizado de heterocigotos en *P. magdalenae*, *P. grosskopfii* y *P. yuma*, y otra especie: la sabaleta (*B. henni*), la cual parece conformar poblaciones discretas discontinuas a lo largo de su área de distribución, hecho que amerita una evaluación de su estado de amenaza. Es importante resaltar que en la última década diferen-

tes instituciones universitarias públicas y privadas y del estado han cobijado e incrementado en sus protocolos de curaduría la inclusión de muestras de tejido de peces, que acompañadas por sus respectivos *vouchers*, alimentan bases de datos (p. e. Genbank) con las secuencias de interés viabilizando el desarrollo y la aplicación de nuevas técnicas moleculares cada vez más robustas y entendimiento de procesos evolutivos y genéticos de la íctiofauna de la cuenca.

La piscicultura

La piscicultura presta un servicio de producción de alimento y se asocia con los servicios de aprovisionamiento; no obstante, en la cuenca del Magdalena ésta es con especies nativas muy limitada al tratarse de sistemas de producción extensivos o semiextensivos. Solamente dos especies poseen un mediano grado de desarrollo acuícola: el bocachico (*P. magdalenae*) y la dorada (*B. moorei*). En la tabla 3 se presentan los diferentes grupos y especies que poseen determinado nivel de desarrollo en sus respectivos paquetes tecnológicos para su cultivo en cautiverio. Lasso *et al.* (2020) muestran de forma detallada los cultivos de algunas especies nativas, otras trasplantadas y exóticas. Desafortunadamente, no se cuentan con estadísticas que permitan valorar la producción de las especies nativas y su contribución a la región, en especial, a la seguridad alimentaria o como fuente económica local. Se considera que la falta de tecnología para su larvicultura (alimentación y levante de los primeros estadios de los peces) es quizás la mayor limitante para el desarrollo de la piscicultura basada en especies nativas en la cuenca (V. Atencio-García, Comunicación personal). Por el contrario, para peces ornamentales, dado su interés de mercado, se están realizando o programando investigaciones aplicadas con la raya, *Potamotrygon magdalenae* y la cucha de



IAvH

ojos azules, *Panaque cochliodon* (Armando Ortega, Comunicación personal).

Servicios de regulación y mantenimiento

En Colombia, a pesar de la importancia de los servicios ecosistémicos relacionados con peces, existen muy pocos estudios de caso e investigaciones realizadas. Es así que solo un estudio ha sido publicado para la cuenca del río Porce con relación a los peces y sus servicios ecosistémicos de regulación y mantenimiento (Huertas-Rodríguez *et al.* 2018). Particularmente, se desconocen aquellas interacciones que identifican a los peces como elementos

claves de transformación y transferencia de materia y energía.

Al considerar la presencia actual de los principales géneros taxonómicos reportados para la cuenca del río Magdalena, y los datos conocidos sobre sus historias de vida expuestos por Jiménez-Segura *et al.* (2020) y Zamudio *et al.* (2015), se estableció su relación con diversos servicios ecosistémicos (Tabla 4). En este ámbito, se destaca la participación de los peces durante los procesos biofísicos y las relaciones ecológicas claves para el funcionamiento de los ecosistemas (ríos, quebradas, ciénagas, embalses).

Tabla 3. Especies nativas que actualmente son -o han sido- objeto de producción en condiciones de cautiverio con desarrollo de paquetes tecnológicos.

Familia	Nombre científico	Nombre común
Anostomidae	<i>Megaleporinus muyscorum</i>	Mohino
Characidae	<i>Salminus affinis</i>	Picuda
Characidae	<i>Cynopotamus magdalanae</i>	Chango/juan viejo
Bryconidae	<i>Brycon moorei</i>	Dorada
Bryconidae	<i>Brycon henni</i>	Sabaleta
Prochilodontidae	<i>Prochilodus magdalanae</i>	Bocachico
Prochilodontidae	<i>Ichthyoelephas longirostris</i>	Pataló
Pimelodidae	<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>	Bagre rayado
Pimelodidae	<i>Sorubim cuspicaudus</i>	Blanquillo
Pimelodidae	<i>Pimelodus grosskopfii</i>	Capaz
Pseudopimelodidae	<i>Pseudopimelodus spp</i>	Bagre sapo
Trichomycteridae	<i>Eremophilus mutisii</i>	Capitán
Auchenipteridae	<i>Ageneiosus pardalis</i>	Doncella
Heptapteridae	<i>Rhamdia spp</i>	Guabina
Cichlidae	<i>Caquetaia kraussii</i>	Mojarra amarilla
Cichlidae	<i>Kronoherus umbrifer</i>	Mojarra común, mojarra negra

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Tabla 4. Servicios ecosistémicos de mantenimiento y regulación generados por principales géneros reportados de peces. Fuente: Segura-Jiménez *et al.* (2020), Zamudio *et al.* (2015).

Taxón (es)	Servicios ecosistémicos	Rasgos funcionales/historia de vida
<i>Argopleura</i> , <i>Saccoderma</i> , <i>Hemibrycon</i> , <i>Bryconamericus</i> , <i>Brycon</i> : <i>Astroblepus</i> , <i>Chaetostoma</i> y <i>Trichomycterus</i> (zonas altas). <i>Astyanacinus</i> , <i>Astyanax</i> , <i>Creagrutus</i> , <i>Gasteropelecus</i> , <i>Genycharax</i> , y <i>Roebooides</i> (zonas bajas).	Regulación de la dinámica de la red trófica y balance de nutrientes	Especies generalistas* con alto recambio generacional, alcanzan altas densidades poblacionales con fluctuaciones temporales, de pequeño a mediano porte, hábitos neotónicos y bentónicos, baja restricción hidráulica. Rasgos morfométricos variados, no migratorios*.
<i>Hoplosternum</i> , <i>Callichthys</i> , <i>Cynodonichthys</i> o <i>Poecilia</i> .	Reducción de contaminantes	Especies detritívoras (tendencia a la coprofagia), de baja fecundidad, de pequeño porte, hábitos neotónicos y bentónicos, residentes (no migratorias), con hábitats de flujo lento.
Prochilodontidae, Loricariidae, Anostomidae, Cichlidae, Characidae.	Redistribución de la capa superficial del sustrato y mantenimiento de los procesos sedimentológicos. Bioturbación.	Hábitos bentónicos, torrentícolas, reofílicos, residentes; de hábitos herbívoros/detritívoros, migradores o no, con cuidado parental, de gran porte con capacidad de remoción/resuspensión de partículas asociadas al sustrato. Porte mediano a grande.
<i>Potamotrygon</i> , <i>Saccodon</i> , <i>Curimata</i> , <i>Cyphocharax</i> , <i>Ichthyoelephas</i> , <i>Prochilodus</i> , <i>Megaleporinus</i> , <i>Leporellus</i> , <i>Cynopotamus</i> , <i>Genycharax</i> , <i>Brycon</i> , <i>Salminus</i> , <i>Ageneiosus</i> , <i>Pimelodus</i> , <i>Pseudoplatystoma</i> , <i>Sorubim</i> , <i>Pseudopimelodus</i> , <i>Plagioscion</i> .	Transporte de energía, nutrientes, carbón, y minerales. Conexiones móviles.	Variado uso de hábitat, preferencias de hábitat según comportamientos de forrajeo. Porte mediano a grande. Todos los gremios tróficos, algunas dietas pueden ser especialistas. Longevas, altas fecundidades*. Principales especies migradoras de la cuenca, Rasgos morfométricos variados. Altas abundancias poblacionales.
<i>Rachovia</i> , <i>Rivulus</i> , <i>Priapichthys</i> y <i>Poecilia</i> .	Control biológico de las plagas y de las enfermedades tropicales transmitidas por vectores	Principalmente neotónicas, de baja fecundidad, especialistas insectívoras, fecundación interna, pequeño porte, habitan generalmente ambientes de agua lenta (leníticos).
<i>Brycon</i> .	Dispensador de semillas	Especies omnívoras, consumiendo principalmente alimento alóctono, como frutas y semillas.
* algunas excepciones pueden presentarse.		



IAvH

En los servicios de regulación, en especial con relación a la dinámica de la red trófica y balance de nutrientes, los géneros más abundantes en la columna de agua son *Argopleura*, *Saccoderma*, *Hemibrycon*, *Bryconamericus*, *Brycon*, y asociados al fondo (bentónicos): *Astroblepus*, *Chaetostoma* y *Trichomycterus*, que actúan como principales receptores de las fuentes de carbono (alóctono y autóctono) y demás nutrientes importados desde las cabezeras y producidos a nivel local (herbívoros e invertívoros) (Jiménez-Segura *et al.* 2020), movilizándolo el flujo de materia hacia niveles superiores de la red trófica. A su vez, hacia las partes bajas (cauce principal y demás sistemas del plano lateral) e incluso medias de las cuencas, otros dominantes principalmente microcarácidos como *Astyanacinus*, *Astyanax*, *Creagrutus*, *Gasteropelecus*, *Genycharax* y *Roeboides* proveen la capacidad de regular los ciclos de carbono dada su alta plasticidad trófica. En particular, el género *Astyanax* mantiene poblaciones numerosas en las colas de los embalses, al incorporar una gran cantidad de material orgánico y redistribuirlo por el sistema dado que son presas, no solo de peces, sino también de aves, nutrias o tortugas.

Otra contribución de los peces es la reducción de contaminantes y transformación de materia orgánica en los sistemas acuáticos. Esto ha sido observado en los arroyos de zonas bajas, donde convergen aguas servidas provenientes, en particular, de caseríos o poblados de la región del Caribe. Los ensamblajes locales de baja diversidad dominados principalmente por *Hoplosternum*, *Callichthys*, *Cynodonichthys* o *Poecilia*, una vez superan los filtros ecológicos impuestos por ambientes contaminados, constituyen los niveles de simples cadenas tróficas (ambientes de

baja diversidad) en las cuales se transfieren los excesos de materia y energía a través del sistema (Cala-Cala 2019).

No menos importantes están los fenómenos de interacción peces-hábitat, en los cuales la bioturbación (disturbio físico del sedimento asociado a actividades de forrajeo y desove) y otros procesos, inciden en la estructura física de los hábitats (construcción de nidos-excavación de márgenes de los ríos, los microembalses y las planicies de inundación). En estos casos, se favorece la redistribución de la capa superficial del sustrato, factor que promueve la liberación y resuspensión de nutrientes hacia la masa de agua a través de la producción primaria, como los peces (loricáridos, cíclidos, carácidos) bentónicos, reofílicos y casi siempre migratorios, independientemente de su categoría trófica. Otros géneros cercanos como *Cyphocharax* y *Curimata*, además de ciertos loricáridos, participan en procesos de resuspensión de sedimentos, al ser capaces de remover y alterar la organización típica por gravedad de ciertas granulometrías (Adámek y Maršálek 2013).

Para destacar aún más la importancia de los peces, es de gran valor estratégico el transporte de nutrientes-carbono-minerales y transporte de energía a diferentes escalas espaciales y temporales, generada por los peces migradores (*Potamotrygon*, *Saccodon*, *Curimata*, *Cyphocharax*, *Ichthyoelephas*, *Prochilodus*, *Megaleporinus*, *Leporellus*, *Cynopotamus*, *Genycharax*, *Brycon*, *Salminus*, *Ageneiosus*, *Pimelodus*, *Pseudoplatystoma*, *Sorubim*, *Pseudopimelodus*, *Plagioscion*) (Zapata y Usma 2013). Estos juegan un papel protagónico al actuar como “conexiones móviles” entre los ecosistemas de agua dulce transportando energía desde las planicies inundables de las partes bajas, hacia los

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

tributarios y el cauce principal en las partes medias, al igual que en los procesos de transferencia pasiva y activa de materia y energía. En lo que respecta al aporte periódico de los elementos como fósforo y nitrógeno, que son productos del metabolismo de los eventos reproductivos (liberación masiva de gametos, heces), y el aporte en biomasa por los migrantes (embriones que inician su ciclo de vida en los tributarios de la cuenca y que luego son arrastrados a los planos inundables), éstos muestran transporte desde las cuencas bajas a las medias y viceversa. De modo similar, las especies residentes en cada sistema (ríos, quebradas y ciénagas) conectan ecosistemas acuáticos; por ejemplo, los cíclidos de mediano y pequeño porte (*Andinoacara*, *Geophagus* y *Caquetaia*) participan en conexiones activas en la transferencia de materia y energía. Lo hacen desde las zonas litorales hacia las zonas limnéticas de las planicies de inundación, gracias a su dieta omnívora (Winemiller y Jepsen 1998). Además, para reafirmar el valioso rol de los peces, éstos pueden ser dispersores de semillas, proceso conocido como ictiocoría (ejemplo posiblemente ejercido por especies del género *Brycon*).

Hay procesos claves en los ecosistemas que contribuyen a mantener su resiliencia (capacidad de responder ante un disturbio). Esto se da mediante las interacciones de los grupos funcionales que lo componen, incluidos entre ellos a los peces, traduciendo como servicios de regulación. Contribuciones a la resiliencia son dadas, por ejemplo, por el bocachico *Prochilodus* considerado como un ingeniero de ecosistemas o interactivo del tejido del hábitat. *Prochilodus* ha sido catalogado como una especie clave en el funcionamiento de los sistemas andinos (Flecker 1996, Winemiller y Jepsen 1998).

Sin embargo, no menos importantes son otras especies que prestan control biológico de las plagas y de las enfermedades tropicales transmitidas por vectores. En este contexto, Huertas-Rodríguez *et al.* (2018) destacan sus beneficios en la salud humana, debido a la influencia de los peces en la calidad de vida de los ribereños. Aunque para la cuenca el control biológico ofrecido por los peces representa un campo casi inexplorado (p. ej., aspectos sobre la etiología y ecoepidemiología), hay evidencias directas sobre la presencia de dípteros en el país (sólo 14 de 159 especies, Díptera: Psychodidae) confirmados como vectores de transmisión de leishmaniasis (Kinetoplastida: Trypanosomatidae), los cuales podrían ser dieta potencial de los ciprinodóntidos. Según Molano-Cetina (2011), al analizar contenidos estomacales de géneros del orden Cyprinodontiformes (como *Rachovia*, *Rivulus Priapichthys* y *Poecilia*), los autores sugieren la existencia de mecanismos de control sobre las poblaciones locales; así mismo, para controlar la incidencia del dengue (Flaviviridae: Flavivirus) y otras enfermedades virales (chikungunya, fiebre amarilla, la fiebre de zika y el virus Mayaro) transmitidas por los mosquitos (Culicidae: *Aedes*). Por último, Vélez *et al.* (2000) mencionan que el consumo directo de otros hospederos como caracoles (*Aroapyrgus spp.*, primer hospedero del tremátodo *Paragonium*) y cangrejos (géneros *Hypolobocera* o *Pseudothelphusa* segundos hospederos del tremátodo *Paragonium*), por parte de especies de peces invertívoros, abre las puertas hacia nuevos enigmas de control por depredación en relación con otras morbilidades de menor ocurrencia. Como ejemplo, para la cuenca del río Porce, se han reportado 32 especies de peces (entre invertívoros y herbívoros) las cuales ofrecen posibles servicios de control biológico (Huertas-Rodríguez *et al.* 2018). Otro tipo de control



IAvH

biológico, realizado por los peces herbívoros está relacionado con el control de la vegetación, a través de la disminución de la abundancia de las algas y las plantas acuáticas que pueden llegar a eutrofizar los cuerpos de agua.

Un hecho concluyente es que a pesar de la información que aquí se ha presentado en materia de servicios de regulación y mantenimiento, ésta se considera insuficiente. Se asume que en el país se está subestimando la funcionalidad y la diversidad de los servicios ecosistémicos brindados por los peces. Además, las grandes presiones que alteran la vida en los ecosistemas de agua dulce, incluyendo la variabilidad climática, ponen en riesgo, no solo su rol, sino la continuidad de sus servicios para las comunidades ribereñas locales y, lo más grave es que aún desconocemos muchos de esos riesgos.

Servicios culturales y actividades relacionadas

Interacciones físicas e intelectuales con los peces

Los peces son suministradores y motivadores para la generación de actividades educativas, de conocimiento científico, informativas y divulgativas, en particular en un país megadiverso como es Colombia. A partir de ellos, se aporta información direccionada a procesos educativos que proveen la base de un conocimiento encaminado a la toma de decisiones, o bien, ofrecen herramientas direccionadas al conocimiento actual e histórico de los ecosistemas (Holmlund y Hammer 1999). De la misma forma, los valores estéticos ofrecidos por los peces —como parte de los propósitos educativos y de disfrute en sus ambientes naturales y artificiales— son aportados por aquellas especies carismáticas, raras, de

interés para la sociedad, muchas de ellas llamativas por sus coloridas escamas, formas y ornamentaciones. Por ejemplo, los acuarios del parque Explora ubicado en la ciudad de Medellín (Antioquia-Colombia) han logrado resaltar y llevar a los ciudadanos, y a centros e instituciones educativas, nuevas experiencias de conocimiento alrededor de los peces, incluso en aulas móviles (ver en <https://www.parqueexplora.org/acuario>). Del mismo modo, el Museo del Río Magdalena en Honda (Tolima) ofrece actividades informativas y divulgativas sobre los peces que, en ambos casos, son fuente de empleo y de ingresos económicos. De forma complementaria, las especies de interés pesquero (subsistencia y comercial) son objetos de toma de información y análisis; por ejemplo, el Servicio de Estadísticas de Pesca SEPEC y los planes de monitoreo y biodiversidad se encuentran asociados a los estudios de impacto ambiental o son el fundamento de las propuestas de manejo local y regional de los recursos hidrobiológicos.

Interacciones espirituales, simbólicas y otras asociadas con los peces

Para el caso del río Magdalena, es muy claro el vínculo íntimo que históricamente han tenido las comunidades ribereñas con el río. Se trata de un proceso de larga duración y coevolución entre seres humanos y no humanos con elementos del paisaje y con los ecosistemas, más allá de valores materiales derivados de la pesca, o de la recolección de productos del bosque y del agua, como la fauna silvestre o la madera. Por siglos, el paisaje de la planicie inundable y los complejos ecosistemas de bosques, humedales y sabanas han proveído de manera compleja una oferta de bienes y beneficios culturales directos de los cuales dependen las poblaciones que habitan y transforman caños, humedales, orillas

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

y bosques riparios, en relación centenaria que ha elaborado y dispuesto un universo de prácticas y expresiones culturales, saberes y conocimientos que se configuran como sistemas socioecológicos bioculturales (Maffi y Woodley 2010), a través de una trama de vida estructurada por el intercambio de agua y tierra en una inmensa zona anfibia que pulsa sobre una inmensa planicie inundable (TNC *et al.* 2016).

Yacimientos arqueológicos datados por Correal y Van der Hammen (2001) en el sitio de Pubenza en el valle alto del río Magdalena hablan de habitantes con antigüedad de 16.400 años y, por milenios, diversos pueblos han desarrollado sociedades integradas en la dinámica bimodal y cambiante del agua, con la relación intrínseca entre este elemento y los modos de vida de algunos grupos humanos. Lo anterior llevó al sociólogo colombiano Orlando Fals Borda a proponer la denominación de “culturas anfibias” (Tapia *et al.* 2015). Así, en Colombia, a lo largo de todos los ríos sus pobladores aprendieron a vivir de la pesca y de generación en generación fueron transmitiendo los secretos del agua (Fals 1979). Ya desde los siglos V y I A. C. el aprovechamiento de peces constituyó la principal actividad de la cual los pobladores del río Magdalena derivaron su subsistencia, quienes además conocieron y aprovecharon la migración estacional de los peces y escogieron los sitios más favorables para realizar intensas labores de pesca, al capturar y consumir activamente al menos 12 especies de peces (Peña-León 2011). De acuerdo con algunas investigaciones, los antiguos Panches, eran la “gente bagre”, cuyos guerreros pintaban las rayas del pez en su cuerpo; transformaban incluso la fisonomía de su cráneo, al parecer, en evocación del gran pez del Magdalena (González 2019).

Históricamente, los peces migratorios y sus movimientos cíclicos han jugado un papel clave en la cuenca del Magdalena y sus habitantes, no sólo como una actividad económica o como una fuente de alimento temporal para muchas familias, sino siendo parte de la vida de las poblaciones ribereñas al incorporarse a su cultura y folclor. Por este motivo, cada año es común ver en los medios de comunicación alusiones a la *subienda* de peces del río Magdalena y la alta abundancia temporal de peces en los puertos del Magdalena. En especial, los peces migratorios y su relación con las culturas anfibias se constituyen en un eje central en todas las dimensiones físicas, simbólicas y cosmogónicas de dichas comunidades (Gutiérrez 2016). El ejemplo exacto que lo ejemplariza es el bocachico, que es la especie más importante en la pesca artesanal en las cuencas de los ríos Magdalena, Atrato y Sinú, también llamado “pescado” (Miles 1941, Dahl 1971, Valderrama *et al.* 2011). Por ello, cuando las comunidades ribereñas hablan de abundancia o escasez del “pescado” se hace referencia al bocachico, a diferencia de las otras especies, que siempre son mencionadas por su nombre común.

La apropiación de los peces y su significado simbólico permea gran parte de la cultura que se construye a partir de formas, usos, prácticas y representaciones que giran en torno a las especies y los artes de pesca. De este modo, hay una cantidad de objetos de vida cotidiana asociados a dichas artes y a los roles sociales que las personas juegan, por ejemplo, los diferentes miembros de una familia, donde los niños y mujeres emplean anzuelos y nasas para pescar cerca de las casas, y los hombres manipulan los trasmallos y las atarrayas en aguas más profundas (Cortés-Duque *et al.* 2015).



IAvH



Figura 7. Expresiones culturales asociadas con los peces y el agua en el paisaje Carare-Chucurí, en el medio Magdalena. a) Festival de cometas en San Rafael de Chucurí; b): festival del Choibo en Bocas de Carare. Foto: Fundación Humedales.

Como sistema biocultural (Maffi y Woodley 2010) no hay separación entre lo natural y lo cultural, así río y peces son también bosques inundables y pueblos del agua. Si para los pescadores artesanales el espacio vital de su oficio por excelencia es el río y la ciénaga, para las mujeres es principalmente el patio y su jardín. La familia vive de la posibilidad real de integrar estos dos mundos, así lo socioecológico en el afuera y retador río - bosque, y el adentro en el complejo patio/casa rancho.

Pero las actividades asociadas a los peces no sólo afectan la dimensión material de la vida sino, también, a las manifestaciones inmateriales. En varios municipios del país hay festivales dedicados especialmente a la subienda y una de sus principales especies: el bocachico. Ejemplos musicales como “La subienda”, una cumbia compuesta por Senén Palacios, con otras como “El bocachico” interpretada por Adolfo Echavarría, o “El bocachico sinuano” compuesta por Dionisio T. Romero e interpretado por La Sonora Cordobesa, son muestras claras de la riqueza musical con los peces como

fuentes de inspiración. De igual forma, las prácticas gastronómicas tradicionales como el *sancocho*, el *bocachico frito sudado* o la *posta de bagre a la criolla*, son ejemplos de la cultura culinaria que representan ejes esenciales del estudio, preservación y salvaguarda de las manifestaciones tradicionales de vida cotidiana en las comunidades.

Los valores simbólicos del río y los peces son entendidos también por algunos pueblos raizales como los Pijaos, o las comunidades afrodescendientes del medio bajo Magdalena, como un lugar habitado en recodos inesperados por espíritus masculinos y femeninos como el “mohán” y la “mohana”, el pescador del “otro mundo”, o la “candileja. En algunos casos, estos seres enigmáticos se asocian a procesos de síntesis cultural europea, indígena y afrocolombiana en relación con antiguos sabedores, guerreros, al espíritu del río, o a guías rituales (González 2019); por su importancia deben ser preservados. En ese sentido, el Museo del Río Magdalena en Honda (Tolima) ha realizado significativos

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

esfuerzos para no dejar en el olvido a aquellos y otros mitos como la “llorona” con su “*lamento de muerte temprana*”, o el “hombre caimán” como representante de la “*cultura anfibia*” o de la patasola “*si no hay monte no hay río*”, o la “madredeagua” “*El agua es la vida y todo fluye*”.

La pesca artesanal como patrimonio cultural de la nación

Según lo presentado hasta este momento y a otras muestras de valor cultural —al igual que de la investigación adelantada por el ICANH y la Fundación Alma—, el Consejo Nacional de Patrimonio Cultural de Colombia aceptó en 2019, la postulación de los conocimientos y técnicas asociadas a la pesca artesanal en las planicies del río Magdalena como patrimonio cultural inmaterial -PCI- de la nación. Entre otros campos de alcance, el PCI reconoce la pesca artesanal de las planicies del Magdalena como un sistema de producción tradicional con conocimientos ancestrales —sobre la naturaleza, el universo y su relación con espacios culturales— bajo expresiones conexas de expresiones espirituales, religiosas y rituales. Incluso, el río Magdalena y sus valores culturales intangibles emergen como un ser con atributos, con personalidad tan caprichosa como sus meandros y fue declarado sujeto de derechos en 2019, figura que, si bien, aún no se comprende muy bien cómo logrará su efectiva implementación, se materializa en la perspectiva de asegurar derechos y condiciones de integridad al ecosistema y —en consecuencia— a sus peces y biodiversidad, ante diferentes daños e impactos por cuenta de tensiones y conflictos por el uso de la tierra y el agua, relacionados con sistemas productivos agroindustriales, represas y otras infraestructuras (TNC *et al.* 2016; Gutiérrez 2019).

Conclusiones

Los servicios que prestan los peces en la cuenca Magdalena son de alto valor y de estratégica importancia para los ecosistemas y la sociedad colombiana. No obstante, debido al poco conocimiento que el país posee sobre ellos se subestima la diversidad de los servicios ecosistémicos y el rol que en ellos poseen los peces, y más, si consideramos a Colombia como país mega diverso y anfibio. Es necesario entonces superar la falta de datos básicos para conocer las relaciones de los peces con los ecosistemas y el bienestar humano.

La comunidad de peces del río Magdalena se caracteriza por una alta diversidad de especies con un también alto nivel de endemismo. Pese a ello, y aunque el servicio de aprovisionamiento muestra una marcada disminución, su importancia se mantiene vigente. El uso pesquero representa una valiosa fuente de alimento y seguridad alimentaria regional, lo que obliga su conservación.

Es de destacar que, como respuesta a la disminución de la producción pesquera, otras actividades como la pesca recreativa y deportiva están generando beneficios a las comunidades rurales, contribuyendo de esta forma a mejorar su bienestar y calidad de vida.

Para beneficio de la sociedad, los peces y sus relaciones funcionales dentro de los ecosistemas acuáticos contribuyen a mejorar la capacidad de resiliencia de los mismos. Valorar y dar la adecuada significancia al rol que los peces desempeñan a través de los servicios de mantenimiento y regulación, no solo debe ser un tema prioritariamente reconocido, sino también ampliamente divulgado para elevar la conciencia pública, en bien de la sociedad colombiana.



I AvH

Para garantizar la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos generados por los peces es indispensable identificar los factores de riesgo que están disminuyendo sus poblaciones. Solamente con conocimiento e información se podrá disminuir la alta incertidumbre que existe ante las respuestas ecológicas del río ante factores asociados con el desarrollo productivo, la variabilidad climática o el acelerado proceso de transformación de nuestros ecosistemas.

En particular, poseen especial relevancia los riesgos generados por la introducción de especies y por la aplicación de un manejo tradicional de la actividad de uso del recurso, el cual no ha contemplado una visión integral relacionada con los otros usos de los ecosistemas acuáticos. Estos riesgos deben ser afrontados de manera prioritaria para contribuir a la recuperación de los servicios ecosistémicos generados por los peces.

Las relaciones sociales que se tejen como manifestaciones culturales relacionadas con los peces y los ríos son muy diversas; así mismo, son parte fundamental de la vida social de las comunidades ribereñas del río Magdalena, siendo un hecho estructurante de la memoria colectiva, repertorio para la sustentabilidad de los medios de vida y de los respectivos sistemas de producción biocultural.

Recomendaciones y perspectivas

Para proteger los servicios ecosistémicos que provee el río es necesario incorporar todos los actores y sectores productivos en una gestión integral que garantice el suministro sostenido de aquellos. Para la aplicación del enfoque ecosistémico que esta gestión requiere se necesita fomentar medidas que contribuyan a una real articulación intersectorial, las cuales deben

estar respaldadas, si ese fuese el caso, por nuevas políticas de alto nivel.

Como el manejo convencional de las poblaciones de peces no ha impedido el deterioro de los sistemas productivos y la alteración de procesos ecológicos esenciales, es necesario modificar los paradigmas del manejo tradicional, que resuelvan los conflictos que puedan existir con una nueva estrategia de intervención.

Es imperioso fortalecer procesos de gobernanza orientada a proteger los peces y los beneficios que ellos proveen a la sociedad y a los asentamientos humanos ribereños. Algunas experiencias locales ya han sido desarrolladas, mostrando resultados exitosos, que pueden ser multiplicados y, en lo posible, formalizados a nivel de cuenca.

Resulta muy importante el proceso de reconocimiento del río Magdalena como sujeto de derechos, al igual que de la pesca artesanal en el río Magdalena y de las familias de pescadores artesanales. Preservar la memoria y su identidad son partes esenciales del desarrollo de las personas y los grupos sociales, ya que son la base de conocimiento y el anclaje simbólico con el pasado, un pasado que fortalece una identidad propia que facilitará un armonioso desarrollo regional.

Bibliografía

- Adámek, Z., & Maršálek, B. (2013). Bioturbation of sediments by benthic macroinvertebrates and fish and its implication for pond ecosystems: A review. In *Aquaculture International* Vol. 21, Issue 1, Pp: 1-17. Springer. <https://doi.org/10.1007/s10499-012-9527-3>
- Asociación de pescadores y artesanos Los Fundadores, Pachón, Y., & Valderrama Barco, M. (2011). Estado del ecosistema, tendencias y cambios en la laguna de Fúquene

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

- a través del monitoreo participativo. *Fundación Humedales. Serie Gestión de Humedales*, 2, 27–48.
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca, A., & Fundación Humedales. (2013). Procesos de ordenación pesquera en las cuencas Magdalena, Sinú y Golfo de Urabá. Bogotá, D. C.: AUNAP, *Fundación Humedales. Convenio 01-2012*. 217pp.
 - Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca, A., & SEPEC. (2020). *Archivos de desembarcos en la cuenca Magdalena y exportaciones de peces ornamentales*. Dirección Técnica de inspección y Vigilancia. Bogotá.
 - Barreto, C. (2017). *Producción pesquera de la cuenca del río Magdalena: desembarcos y estimación ecosistémica*. Informe técnico final. Bogotá D.C.: The Nature Conservancy. 36 pp.
 - Berkes, F. (2011). Restoring Unity: The Concept of Marine Social-Ecological Systems. In R. E. Ommer, R. I. Perry, K. Cochrane, & P. Cury (Eds.), *World Fisheries*. Pp: 9–28. Wiley-Blackwell. <https://doi.org/doi:10.1002/9781444392241.ch2>
 - Brugere, C., Lymer, D., & Bartley, D. (2016). Ecosystem services in freshwater fish production systems and aquatic ecosystems: Recognizing, demonstrating and capturing their value in food production and water management decisions. *Final technical report for the UNEP's Initiative "The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB): Natural Resource Accounting at country-level and across specified industrial sectors (EP/GLO/617/UEP)*. 19 pp
 - Cala-Cala, P. (2019). *Medio ambiente y diversidad de los peces de agua dulce de Colombia*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. 526 pp.
 - Chapman, D. W. (1978). *Total Harvest and Economic Value of the Fishery in the rio Magdalena and floodplain system*. Final Report. Cartagena: FAO/COL/72/552. 68 pp.
 - Correal, G., & Van der Hammen, T. (2001). Mastodontes en un humedal pleistocénico en el valle del Magdalena (Colombia) con evidencias de la presencia del hombre en el pleistocénico. *Boletín de Arqueología*, 16(1), 4–36.
 - Dahl, G. (1971). *Los peces del norte de Colombia*. Bogotá D.C.: INDERENA-Instituto de Desarrollo de los Recursos Naturales Renovables. 391 pp.
 - Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R. T., Molnár, Z., Hill, R., Chan, K. M. A., Baste, I. A., Brauman, K. A., Polasky, S., Church, A., Lonsdale, M., Larigauderie, A., Leadley, P. W., van Oudenhoven, A. P. E., van der Plaats, F., Schröter, M., Lavorel, S., Shirayama, Y. (2018). Assessing nature's contributions to people. *Science*, 359(6373), 270 LP – 272. <https://doi.org/10.1126/science.aap8826>.
 - European Inland Fisheries Advisory Commission. (2008). EIFAC Code of Practice for Recreational Fisheries. Rome: In EIFAC Occasional Paper 42. 45 pp.
 - Fals, B. O. (1979). *Historia doble de la costa*. En: Valencia Eds.; Vol I, Pp: 16a-29a.
 - FAO. (2018). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. Roma. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. 234 pp.
 - Farhad, S. (2012). Los sistemas socioecológicos. Una aproximación conceptual y metodológica. En *XIII Jornadas de Economía Crítica. Los costos de la crisis y alternativas en construcción*. Pp: 265-280. Sevilla: ResearchGate.
 - Flecker, A. S. (1996). Ecosystem engineering by a dominant detritivore in a diverse tropical stream. *Ecology*, 77(6), 1845–1854. <https://doi.org/10.2307/2265788>
 - Franco, L. (2013). *Desarrollo del modelo ecológico conceptual de servicios ecosistémicos asociados a la generación y uso (pesquería) de bagre rayado, Propuesta de componentes de la gestión "Estado de conservación de la población del bagre rayado Pseudoplatystoma magdaleniatum en la cuenca Magdalénica, valoración de implicaciones ambientales y socioeconómicas y definición de escenarios de ordenación pesquera y sostenibilidad"*. (Informe Técnico). Bogotá D.C. Fundación Bosques Humedales - ECOPETROL. 33 pp.
 - Fundación Humedales. (2010). *Diseño del programa regional pesquero y piscícola en la depresión Momposina de los municipios de Cicuco, Talaigua Nuevo y Mompox, departamento de Bolívar*. (Informe técnico Final). Bogotá D.C: Fundación Humedales - FUNDESCAT- ECOPETROL. 345 pp .



IAvH

- Fundación Humedales, & EPM. (2013). *Formulación de planes de ordenación pesquera (POP) en los embalses de Porce II y Porce III. Desarrollo de acciones participativas para su implementación y manejo integral del recurso pesquero y acuícola*. (Informe técnico). Bogotá D.C.: Fundación Humedales. 132 pp.
- Fundación Humedales, & ISAGEN. (2019). *Monitoreo biológico pesquero y evaluación de la selectividad y eficiencia de redes de enmalle en el embalse Topocoro y afluentes*. (Informe técnico Final). Bogotá D.C.: Fundación Humedales. 89 pp.
- García-Alzate, C. A., DoNascimento, C., Villa-Navarro, F. A., García-Melo, J. G., & Herrera-R, G. A. (2020). Diversidad de peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia. En Jiménez-Segura L. & C. A. Lasso (Eds.), *Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible*. Pp. 85-113. Bogotá, D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Gonzalez, J. D. (2019). *Los raudales de Honda como espacios de resistencia. La relación entre el pescador, el Mohán y el río*. (Tesis de Antropología). Bogotá D. C.: Universidad externado de Colombia. 108 pp.
- Gutiérrez, J. C. (2016). Río Magdalena, bien común. De acuatorios y sistemas de producción en paisajes del Agua. In Universidad de los Andes (Ed.), *Observatorio del Patrimonio Cultural y Arqueológico (OPCA). De patrimonio cultural a los común. Perspectivas contemporáneas*. Boletín 11 – octubre 2016, 5-21.
- Gutiérrez, J. C. (2019). *Definición conceptual sobre sujeto pescador y caracterización de la pesca artesanal en Colombia*. (Informe técnico). Bogotá D.C.: Defensoría del Pueblo. 109 pp.
- Gutiérrez, F., Barreto C. & B. Mantilla, B. (2011). Diagnóstico de la pesquería en la cuenca Magdalena-Cauca. En: Lasso, C., Gutiérrez P., Morales A., Agudelo E., Ramírez H. y R. Ajiaco. II (Eds.). *Pesquerías continentales de Colombia*. Pp: 35-73. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (2019). *Producto 1: Criterios técnicocientíficos de definición de áreas priorizadas de alta vulnerabilidad al conflicto socioecológico en el marco del proyecto de recuperación de la navegabilidad*. Bogotá D.C.: Convenio Cormagdalena 18-142. 267 pp.
- Haines-Young, R. and M.B. Potschin (2018): *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure*. Nottingham UK. Available from www.cices.eu. 19 pp.
- Hernández-Barrero, S. (en revisión). *Enfoque socioecológico para el manejo y la gestión de la actividad pesquera en la cuenca del Río Magdalena-Cauca, Colombia*. Universidad Estatal a Distancia-UNED.
- Holmlund, C. M., & Hammer, M. (1999). Ecosystem services generated by fish populations. *Ecological Economics*, 29(2), 253–268. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00015-4](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00015-4)
- Huertas-Rodríguez, J. C., Sanín-Acevedo, C., & Cataño, A. (2018). Los peces y sus servicios ecosistémicos en la cuenca del río Porce. *Actualidades Biológicas*, 40(108), 72-84. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v40n108a07>.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (2019). *Producto 1: Criterios técnicocientíficos de definición de áreas priorizadas de alta vulnerabilidad al conflicto socioecológico en el marco del proyecto de recuperación de la navegabilidad*. En *Respuestas socioecológicas en el marco de la navegabilidad en el río Magdalena*. (Informe técnico). Pp. 18-142. Bogotá D.C.: Convenio Instituto Alexander von Humboldt-Cormagdalena. 267 pp.
- Jiménez-Segura L. F., Álvarez, J., Ochoa, L. E., Loaiza, A., Londoño, J. P., Restrepo, D., Aguirre, K., Hernández, A., Correa, J. D., & Jaramillo-Villa, U. (2014). *Guía Ilustrada Peces Cañón del río Porce, Antioquia*. EPM. Universidad de Antioquia, Herbario Universidad de Antioquia - Medellín, Colombia. 106 pp.
- Jiménez-Segura, L. F., Galvis-Vergara, G., Cala-Cala, P., García-Alzate, C. A., López-Casas, S., Ríos-Pulgarín, M. I., Arango, G. A., Mancera-Rodríguez, N. J., Gutiérrez-Boni-

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

- lla, F., & Álvarez-León, R. (2016). Freshwater fish faunas, habitats and conservation challenges in the Caribbean river basins of north-western South America. *Journal of Fish Biology*, 89(1), 65–101. <https://doi.org/10.1111/jfb.13018>
- Jiménez-segura, L. F., Herrera-Pérez, J., Valencia-Rodríguez, D., Castaño-Tenorio, I., López-Casas, S., Ríos-Pulgarín, M. I., Rondón-Martínez, Y. F., Rivera-Coley, K., Morales, J., Arboleda, M. F., Muñoz-Duque, S., Atención-García, V., Galeano-Moreno, A. F., Valbuena, R., Escobar-Cardona, J. L., Ospina-Pabón, J. G., García-Melo, L., Gualtero, D., Alonso, J. C., & Restrepo-Santamaría, D. (2020). Ecología e historias de vida de los peces en la cuenca del río Magdalena, Colombia. En: L. Jiménez-Segura & C. A. Lasso (Eds.), *Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible*. Pp. 159-203. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
 - Lasso, C. A., Escobar, M. D., Herrera-Pérez, J., Castellanos, M. C., Valencia-Rodríguez, D., Campuzano, J., García, F., & Jiménez-Segura, L. (2020). Peces introducidos en el río Magdalena y cuencas vecinas, Colombia. En L. Jimenez-segura & C. Lasso (Eds.), *Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible*. Pp. 295-369. Bogotá D. C. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
 - López-Casas, S., & Rogeliz, C. A. (n.d.). Trophic level and market value of Magdalena fisheries: toward an ecosystem base prioritization of rivers. (*En prensa*).
 - Miles, C. (1971). *Los peces del río Magdalena "A field book for Magdalena fishes"*. Ibagué : Universidad del Tolima. 242 pp
 - Millennium Ecosystem Assessment MA. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Wetlands and Water Synthesis Trends*. Washington D.C. 80 pp.
 - Molano Cetina, L. G. (2011). Ecoepidemiología de enfermedades transmitidas por vectores. *Biomédica*, 31(sup.3.1), 50. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v31i0.539>
 - Mosepele, K. (2014). Classical Fisheries Theory and Inland (Floodplain) Fisheries Management; Is there Need for a Paradigm Shift? Lessons from the Okavango Delta, Botswana. *Fisheries and Aquaculture Journal*, 05(03). <https://doi.org/10.4172/2150-3508.1000101>.
 - Olaya-Rodríguez, M., Escobar, M., Cusva, A., Lasso, C. A., & Londoño, M. (2017). Mapeo del servicio ecosistémico de alimento asociado a la pesca en los humedales interiores de Colombia. *Ecología Austral*, 27, 123–133.
 - Peña-León, G. A. (2011). Pescadores de los raudales del río Magdalena durante el periodo formativo tardío. *Caldasia*, 33(2), 295–314.
 - Pope, K. I, Pegg, M., Cole, N., Siddons, S., Fedele, A., Harmon, B., Ruskamp, R., & Uerling, C. (2012). Fishing for ecosystem services. *Journal of Environmental Management*, 183(2), 408–417..
 - Quesada, J., Melo, G., Rodríguez, L. H., Barco, J. S., & Guillot, L. (2012). Diagnóstico preliminar de la pesca deportiva en Colombia. (Informe técnico). Bogotá D. C.: INCODER, Fundación Omacha, Fundación Mar Viva y Conservación Internacional. 61 pp.
 - Romero, P., Garzón, F., Navarro, B., & M, R. (2002). *Censo pesquero e identificación de la problemática*. Barrancabermeja: CORMAGDALENA. 63 pp
 - Salas, F., Barreto-Reyes, C., Hernández, S., Valderrama-Barco, M. B., & Salinas, C. (2013). *Valoración social y económica de la pesca del bagre rayado, Pseudoplatistoma magdaleniatum (Buitrago-Suarez y Burr 2007) en la Cuenca Magdalena*. (Informe técnico). Bogotá D.C.: ECOPELROL, AUNAP, Fundación Bosques y Humedales, Fundación Humedales. 89 pp.
 - Tapia, C., Nieto-Moreno, O., Cortés-Duque, J., Vilardi, S. P., Flórez-Ayala, C., & Jaramillo-Villa, U. (2015). Las Culturas anfibias. En: Ú. Jaramillo-Villa, J. Cortés-Duque, & C. Flórez-Ayala (Eds.), *Colombia Anfibia* (pp.73). Instituto de Investigación de recursos Biológicos Alexander von Humboldt.



IAvH

- The Nature Conservancy., Fundación Alma., Fundación Humedales & AUNAP. (2016). *Estado de las planicies inundables y el recurso pesquero en la macrocuenca Magdalena-Cauca y propuesta para su manejo integrado*. Bogotá D.C. The Nature Conservancy. 553 p.
- Valderrama, M., Jiménez-Segura, L F, L.-C. S., Rivas, T. S., Rincón, C., Nieto-Torres, S., Gonzáles-Cañón, Galvis-Galindo, I., Hernández, S., & Salas, F. (2011). *Prochilodus magdalenae*. En: C. A. Lasso, E. Agudelo, L. F. Jiménez-Segura, H. Ramírez-Gil, M. Morales-Betancourt, R. E. Ajiaco-Martínez, F. Gutiérrez, J. S. Usma Oviedo, S. E. Muñoz, & A. I. Sanabria (Eds.), *Catálogo de Recursos Pesqueros*. Pp: 305-311. Bogota D. C: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Vélez, I. D. B., Ortega, J., Hurtado, M. I. M., Salazar, A. L., Robledo, S. M., Jimenez, J. N., & Velásquez, L. E. T. (2000). Epidemiology of paragonimiasis in Colombia. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 94(6), 661–663. [https://doi.org/10.1016/S0035-9203\(00\)90223-2](https://doi.org/10.1016/S0035-9203(00)90223-2)
- Winemiller, K. O., & Jepsen, D. B. (1998). Effects of seasonality and fish movement on tropical river food webs. *Journal of Fish Biology*, 53(sA), 267–296. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1998.tb01032.x>
- World Bank. (2012). *Hidden Harvest: The Global Contribution of Capture Fisheries* (English). Washington, D.C.: World Bank Group. 69 pp.
- Zamudio, J., Herrera-Collazos, E. E., Maldonado-Ocampo, J. A., & Do Nascimento, C. (2015). Protocolo para la medición de rasgos funcionales en peces dulceacuícolas. En B. Salgado-Negret (Ed.), *La ecología funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones* (Pp. 182–211). Bogotá D. C: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C. Colombia.
- Zapata, A. L., & Usma, S. J. (2013). *Guía de las especies Migratorias de la Biodiversidad en Colombia*. Bogotá D. C: Desarrollo, Ministerio de Ambiente y Sostenible / WWF-Colombia. 486 pp.

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Anexo 1. Listado de especies sujetas de uso pesquero artesanal y ornamental de la cuenca del Magdalena, Colombia.

Orden	Familia	Nombre científico	Nombre común	Consumo	Ornamental
Characiformes	Anostomidae	<i>Megaleporinus muyscorum</i>	Mohino	x	
		<i>Leporinus striatus</i>	Corunta	x	x
		<i>Leporellus vittatus</i>	Mazorco	x	x
		<i>Abramites eques</i>	Abramite	x	x
		<i>Salminus affinis</i>	Picuda	x	
	Characidae	<i>Cynopotamus magdalenae</i>	Chango/juan viejo	x	
		<i>Astyanax magdalenae</i>	Sardina	x	
		<i>Astyanax</i> sp.	Sardina coli amarilla	x	x
		<i>Roeboides dayi</i>	Giboso		x
		<i>Grundulus bogotensis</i>	Guapucha	x	
	Ctenoluciidae	<i>Ctenolucius hujeta</i>	Agujeta	x	x
	Crenuchidae	<i>Characidium</i> sp.	Chilocidio enano		x
	Bryconidae	<i>Brycon moorei</i>	Dorada	x	
		<i>Brycon henni</i>	Sabaleta	x	
		<i>Salminus affinis</i>	Picuda	x	
Curimatidae	<i>Cyphocharax magdalenae</i>	Pincho	x		
	<i>Curimata mivartii</i>	Vizcaína	x		



IvH

Anexo 1. Continuación

Orden	Familia	Nombre científico	Nombre común	Consumo	Ornamental	
Characiformes	Parodontidae	<i>Parodon magdalenensis</i>	Rollizo		x	
	Prochilodontidae	<i>Prochilodus magdalenae</i>	Bocachico	x		
		<i>Ichthyoelephas longirostris</i>	Pataló	x		
	Triporthidae	<i>Triportheus magdalenae</i>	Arenca	x		
	Parodontidae	<i>Parodon magdalenensis</i>	Corunta	x		
	Gasteropelecidae	<i>Gasteropelecus maculatus</i>	Estrigata		x	
	Erythrinidae	<i>Hoplias teres</i>	Moncholo	x	x	
	Serrasalimidae	<i>Colossoma macropomum*</i>	Cachama	x		
	Serrasalimidae	<i>Piaractus brachyopomus*</i>	Cachama	x		
	Siluriformes	Pimelodidae	<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>	Bagre rayado	x	
			<i>Sorubim cuspiatus</i>	Blanquillo	x	
			<i>Pimelodus yuma</i>	Nicuro	x	
			<i>Pimelodus grosskopffi</i>	Capaz	x	
<i>Pseudopimelodus atricaudus</i>			Bagre sapo	x		
Trichomycteridae	Acestrotrichidae	<i>Pseudopimelodus magnus</i>	Bagre sapo	x		
		<i>Eremophilus mutisii</i>	Capitán	x		
		<i>Gilbertolus alatus</i>	Arenca muelona		x	

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Anexo 1. Continuación

Orden	Familia	Nombre científico	Nombre común	Consumo	Ornamental
Siluriformes	Doradidae	<i>Centrochir crocodili</i>	Matacaimán	x	
		<i>Spatuloricaria gymnogaster</i>	Zapatero	x	
	<i>Hypostomus hondae</i>	Corote	x		
	<i>Chaetostoma fischeri</i>	Cucha	x		
	<i>Chaetostoma milesi</i>	Cucha	x		
	<i>Chaetostoma thomsoni</i>	Choca, corroncho rayado	x		
	<i>Chaetostoma</i> sp	Cucha	x		
	<i>Chaetostoma leucomelas</i>	Corroncho		x	
	<i>Panaque cochliodon</i>	Cucha de ojos azules	x	x	
	<i>Sturisomatichthys guaitipan</i>	Alcalde	x	x	
	<i>Sturisomatichthys leightoni</i>	Policia del Nilo		x	
	<i>Sturisomatichthys aureus</i>	Policia		x	
	<i>Pterygoplichthys undecimalis</i>	Cucho	x		
	<i>Lasiancistrus caucanus</i>	Corroncho		x	
<i>Ancistrus</i> sp	Cucha cachona	x			
<i>Ancistrus</i> sp	Xenocara		x		
<i>Crossoloricaria variegata</i>	Loricaria arenera		x		

Anexo 1. Continuación

Orden	Familia	Nombre científico	Nombre común	Consumo	Ornamental	
Siluriformes	Loricariidae	<i>Crossoloricaria cephalaspis</i>	Loricaria arenera		x	
		<i>Dasylicoricaria filamentosa</i>	Loricaria filamentosa		x	
		<i>Dasylicoricaria</i> sp	Loricaria	x		
		<i>Crossoloricaria variegata</i>	Loricaria arenera		x	
	Auchenipteridae	<i>Ageneiosus pardalis</i>	Doncella		x	
		<i>Trachelyopterus insignis</i>	Gara gara, cachegua		x	x
		<i>Trachelyopterus fisheri</i>	Caga			x
		<i>Hoplosternum magdalenae</i>	Chipe		x	
	Heptapteridae	<i>Rhamdia guatemalensis</i>	Guabina		x	
		<i>Pimelodella</i> sp	Picalón, micudo			x
		<i>Cetopsis othonops</i>	Babosa		x	
	Aspredinidae	<i>Xylophius magdalenae</i>	Cachegua		x	
		<i>Bunocephalus colombianus</i>	Catalina gigante			x
	Ariidae	<i>Notarius bonillai</i>	Bagre chivo		x	
Pangasiidae	<i>Pangasionodon hypophthalmus</i> **	Basa		x		

IAvH



SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Anexo 1. Continuación

Orden	Familia	Nombre científico	Nombre común	Consumo	Ornamental
Gymnotiformes	Hypopomidae	<i>Brachyhypopomus occidentalis</i>	Cuchillo amarillo		x
		<i>Brachyhypopomus</i> sp	Cuchillo amarillo		x
		<i>Eigenmannia</i> sp	Cuchillo transparente		x
		<i>Sternopygus aequilabiatus</i>	Caloche	x	
Synbranchiformes	Apterontidae	<i>Apteronotus eschmeyeri</i>	Cuchillo moteado magdalena		x
		<i>Apteronotus</i> sp	Cuchillo negro		x
Myliobatiformes	Synbranchidae	<i>Synbranchus marmoratus</i>	Anguilla		x
	Potamotrygonidae	<i>Potamotrygon magdalenae</i>	Raya	x	x
Cichliformes	Cichlidae	<i>Caquetaia kraussii</i>	Mojarra amarilla	x	
		<i>Kronoherus umbrifer</i>	Mojarra común, mojarra negra	x	x
		<i>Geophagus steindachneri</i>	Mula, morrua, juan viejo	x	x
		<i>Andinoacara latifrons</i>	Mojarra luminosa	x	x
		<i>Cichla orinocensis</i> *	Tucunaré	x	
		<i>Oreochromis niloticus</i> **	Mojarra plateada	x	
Poeciliidae	Poeciliidae	<i>Oreochromis</i> sp**	Mojarra roja	x	
		<i>Poecilia caucana</i>	Guppy		x

Anexo 1. Continuación

Orden	Familia	Nombre científico	Nombre común	Consumo	Ornamental
Cyprinodontiformes	Poeciliidae	<i>Poecilia reticulata</i>	Guppy azul		x
	Cyprinidae	<i>Cyprinus carpio</i> **	Carpa	x	
	Cyprinidae	<i>Carassius auratus</i> **	Pez dorado	x	x
Perciformes	Sciaenidae	<i>Plagioscion magdalenae</i>	Pacora	x	
	Ophronemidae	<i>Trichopodus pectoralis</i> **	Barbona	x	
	Centrarchidae	<i>Micropterus salmoides</i> **	Blackbass	x	
	Salmonidae	<i>Oncorhynchus mykiss</i> **	Trucha	x	
Elopiiformes	Megalopidae	<i>Megalops atlanticus</i>	Sábalo	x	
			91	65	40
* Especie transplantada					
** Especie exótica					



IAvH



Búfalo, Magdalena. Foto: Paula Ruíz.



PARTE II

Conflictos ambientales
que enfrentan los peces
de la cuenca del
río Magdalena



Río Cauca después del cierre del Embalse Hidroituango. Foto: Carlos A. Lasso.



6. CONTAMINACIÓN DEL AGUA DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA, COLOMBIA Y SU RELACIÓN CON LOS PECES

Luis C. Gutiérrez-Moreno y Ana C. De la Parra-Guerra

Resumen

Caracterizar la contaminación del agua de un amplio territorio como el río Magdalena, tipificarla, describir fuentes, causas y posibles consecuencias, siempre será un ejercicio incompleto e imperfecto, sujeto a críticas y un mejoramiento continuo. La contaminación de este recurso es el resultado de procesos temporales y espaciales complejos, su origen y evolución es un evento multidimensional. Esta síntesis corresponde a una compilación de informes técnicos, documentos institucionales, artículos científicos, tesis y trabajos grados. La sistematización de datos, sitios, tiempo y la búsqueda de referencias sobre efectos en la biota y salud, fue la tarea central de esta compilación, pero encontró en las múltiples metodologías, asincrónica temporal y vacíos espaciales de investigación la mayor dificultad para comparar, contrastar o usar como complemento. Sin embargo, se

diseñó una estructura que busca presentar de forma organizada los tipos y formas de contaminación y su comportamiento a lo largo de esta corriente fluvial. Información que pueden ayudar comprender la riqueza, abundancia, dinámicas y riesgos de los ensamblajes de peces de este sistema hídrico. Estos registros merecen una atención especial de los investigadores, comunidades y de las autoridades responsables de manejo y conservación de los recursos naturales, para buscar soluciones técnicas, jurídicas, políticas, económicas y sociales.

Palabras clave. Calidad del agua, contaminación, fuentes contaminantes, río Magdalena.

Abstract

The contamination of the water of the Magdalena River is the result of complex temporal and spatial processes, and its

Gutiérrez-Moreno, L.C. & De la Parra-Guerra, A. C. 2020. Contaminación en la cuenca del río Magdalena (Colombia) y su relación con los peces. En: Jiménez-Segura, L. & C. A. Lasso (Eds.). XIX. *Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible*. Pp: 239-263. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. DOI: 10.21068/B2020RRHHXIX06

CONTAMINACIÓN DEL AGUA

origins and evolution is a multidimensional event. This synthesis corresponds to a systematic compilation of technical reports, institutional documents, scientific articles, theses and graduate work. The organization of the data from many different sites and times and the search for references on the impacts of contamination on biota and health was the central task of this compilation. The information found comes from multiple methodologies, from different periods in time, and revealed research gaps in the spatial coverage of the basin that have made it very difficult to directly compare, contrast or even present coherently. However, a protocol was designed that seeks to present the information in an organized way and categorize the types and forms of contamination and their impacts all along this river system. This information will help us understand the richness, abundance, dynamics and risks facing the fish assemblages in these waters. These data records deserve special attention from researchers, communities and the authorities responsible for the management and conservation of our natural resources, to seek technical, legal, political, economic and social solutions.

Keywords. Magdalena River, sources of contamination, water pollution, water quality.

Introducción

El río Magdalena en su dinámica y estructura, ha demostrado ser un sistema hídrico con cambios rápidos en el tiempo, fenómeno evidenciado en sus múltiples desembocaduras, un delta que evoluciona por la dinámica de sedimentación o erosión en el paisaje (Restrepo, 2015). Su historia antropogénica muestra que este río ha

cambiado junto con los pobladores ribereños que vivían de la pesca, el uso del río para cultivos, la navegación, el comercio y la caza, desde la época de la conquista de América. Los procesos naturales en la cuenca que sustentan la vida se basan en la interacción del agua, el aire, los suelos y la biota en ciclos biogeoquímicos impulsados por la energía solar, generan un intercambio de masa y energía mediante el reciclaje continuo de elementos, luego el mantenimiento de las condiciones de vida y de la oferta ambiental dependen del funcionamiento armónico de los distintos componentes ambientales (Rivera *et al.* 2010). Los bienes y servicios que conforman la oferta ambiental han sufrido drásticas alteraciones a raíz del acelerado deterioro de los ecosistemas, provocado por actividades socio-económicas y aprovechamiento insostenible de los recursos renovables y no renovables de la cuenca, la excesiva extracción de minerales y materiales, pero también los vertimientos de aguas residuales y disposición de toneladas de residuos. Todo esto conlleva a la contaminación del agua, que no consiste en una alteración de las características químicas o físicas de agua, generando condiciones no deseables en concentraciones tales que puedan afectar al confort, salud y bienestar de las personas, y al uso y disfrute de lo que ha sido contaminado (Encinas-Malagón, 2011).

Los impactos ambientales pueden ser de origen natural o antrópico, estos últimos pueden darse directa o indirectamente. La acción directa ocurre cuando se usa el agua o se vierten sobre ella líquidos o sólidos residuales, es decir, cuando hay un contacto con el recurso que genera una alteración de su cantidad o calidad. Los tipos indirectos también afectan y son consecuencia de fenómenos como la expansión de la frontera agrícola y minera sobre las



Catalina Osorio-Peláez

fuentes generadoras de agua, los procesos erosivos que aportan sedimentos o el uso de plaguicidas que finalmente llegan a las fuentes de agua. La cuenca de río Magdalena y la mayoría de sus tributarios, presentan un alto nivel de intervención, que se puede considerar un estado de crisis ambiental, este es el resultado de los planes de desarrollos fragmentados, que se formulan por las corporaciones autónomas regionales, que no se articulan a pesar de intervenir el mismo ecosistema, esta falta de armonización ya había sido descrita por Guzmán (2005). Quien, resalta el diseños obsoletos en la infraestructura (puentes, carreteras, camellones o puertos) para el desarrollo social y económico, pero además la intervención es sesgada y en la actualidad hay poblaciones en ribera sin condiciones básicas para desarrollo social como electrificación, agua potable, educación y servicios de salud, lo cual generan conflictos socio-ambientales alrededor de este recurso hídrico, afectándose la calidad del agua y por ende las comunidades biológicas (García-Álzate *et al.* 2016, Morales y García-Álzate 2018). El deterioro continuo del río Magdalena es una preocupación regional, nacional e internacional, este ecosistema se encuentra sin ninguna obra de ordenamiento integral dentro de la cuenca tributaria, por lo cual se establece condiciones de incertidumbre y crea frecuentemente situaciones de emergencia en el bienestar social y económico del país.

Los factores de contaminación cuando superan la capacidad de asimilación y de autodepuración natural, ponen en riesgo la biodiversidad, los recursos y los servicios ambientales de este cuerpo de agua. Hoy se registran modificación en la composición de la biota, suelos de la cuenca, calidad de las aguas, disminución de las coberturas vegetales de la ribera y la

cuenca en general, extinción de especies y modificación de la dinámica hidráulica o de los caudales históricos por sus conectividades laterales y las múltiples represas construidas en su recorrido (Guzmán 2005, Uribe 2015, Restrepo 2015). En este Capítulo se consideran diferentes aspectos relacionados con la contaminación de la cuenca del río Magdalena, mencionando algunas fuentes y caracterizando los contaminantes encontrados.

La oferta hídrica considerada como un recurso indispensable para la biota, los servicios ecosistémicos y ambientales, son las aguas superficiales y subterráneas (Rivera *et al.* 2010). Esta es aprovechada para el abastecimiento de agua potable y sectores agrícolas, pecuarios, industriales, turísticos, mineros y energéticos. Como consecuencia de su deficiente tecnificación, manejo inadecuado y la falta de planificación integral, se ha venido acentuando alteraciones en el régimen hidrológico y calidad del agua en un porcentaje significativo de la cuenca, por lo que se considera hoy un riesgo para mantener el suministro de la misma, la conservación de biodiversidad y salud pública (Guzmán 2005). La disposición de residuos sólidos y el vertimiento de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales sin tratamiento, ocasionan el deterioro de su calidad y afectan especialmente las quebradas y cauces menores, de los cuales se surte la mayor parte de los municipios de la cuenca y donde se establecen las principales áreas de reproducción de peces y otra biota de importancia ecológica (De la Parra-Guerra *et al.* 2017).

Fuentes de contaminación del río magdalena

La cuenca del Magdalena es la más habitada de la región norte de los Andes Colombianos (Lasso *et al.* 2011). En la cuenca

CONTAMINACIÓN DEL AGUA

se encuentran ecosistemas acuáticos de importancia para la conservación de la biota, la producción acuícola, pecuaria, agrícola, industrial y para el abastecimiento de agua potable de 528 municipios “Plan de Manejo de la Cuenca Magdalena-Cauca –PMC, 2006”; según informe de contraloría 2019, 294 municipios vierten aguas residuales sin tratamiento. El río tiene además presencia en dos importantes regiones del país, la región Andina y las llanuras de la región Caribe, dentro de las que tiene contacto directo con 12 departamentos y 125 municipios, denominados municipios ribereños del Magdalena. Dado el desarrollo económico sobre la cuenca, la condición del agua es frecuentemente modificada debido a vertimiento de hidrocarburos, organoclorados, organofosforados, metales pesados, materia orgánica, bacterias fecales y nuevos contaminantes provenientes de diferentes fuentes

(Mancera y Álvarez 2005). En la figura 1 se describe cada una de ellas y su impacto potencial en las condiciones del agua donde habitan los peces.

Contaminación del agua con hidrocarburos

El amplio uso de los hidrocarburos en la sociedad está relacionado a las actividades de exploración, explotación, refinación, distribución, comercialización y su empleo como combustibles para las industrias y el transporte (Figura 2). Actividades asociadas al manejo de hidrocarburos, tienen el riesgo inminente de contaminación por derrame o descargas accidentales en el medio ambiente cuya magnitud y consecuencias están en función de las características de lugar del derrame (Saval *et al.* 2004, Arias 2017). El sector de los hidrocarburos ha estado en permanente expansión, convirtiéndose en un factor clave de la economía (Castro *et al.*



Figura 1. Representación gráfica de algunas fuentes de contaminación en la cuenca del río Magdalena. Elaboración: Nadia Coronado-Posada.



Catalina Osorio-Peláez

2014). Esta industria hace evidente la contaminación en la río Magdalena desde 1922 con la construcción de la refinería en Barrancabermeja, entre 1986 al 2003 ya se acumulaban más 840 derrames y 940 voladuras del oleoducto Caño Limón-Coveñas. Este tipo de contaminantes produce un cambio en las características organolépticas del agua y su toxicidad está asociada a hidrocarburos tanto alifático como aromático y aquellos de menor peso molecular son más tóxicos. La contaminación por hidrocarburos en la cuenca del río Magdalena, se presentan de forma continua en algunas áreas como resultado de un mal manejo o accidentes en las actividades explotación, conducción, transformación, también se han registrado infiltración en suelos como externalidad de los asfaltos (Prieto y Martínez 1999), pero este fenómeno está generalizado en la cuenca por vertimientos puntuales asociados a los problemas en el transporte o los sistemas de conducción que están sometidos a la

extracción ilegal, voladuras por terrorismo, o accidentes de los vehículos cisternas.

Los hidrocarburos tienden a flotar en el agua, bloqueando la penetración de la luz, cambian la tensión superficial e interrumpen el intercambio de gases, lo que afectan a poblaciones del fitoplancton, zooplancton, ictioplancton y bentón (Adams *et al.* 2008); la mayor parte de los componentes volátiles son eliminados por evaporación, mientras que otros se oxidan por la radiación UV y luz solar, algunos se disuelven en el agua y degradan, mientras que el resto se depositan en los sedimentos (Mendelssohn *et al.* 2012). Se han reportado efectos letales, al impedir la respiración o modificar la resistencia térmica (como sucede en aves y mamíferos), un efecto físico derivado de la impregnación o sofocación, al contacto directo con el fuel (combustible), sin necesidad que se produzca la ingestión de los contaminantes.

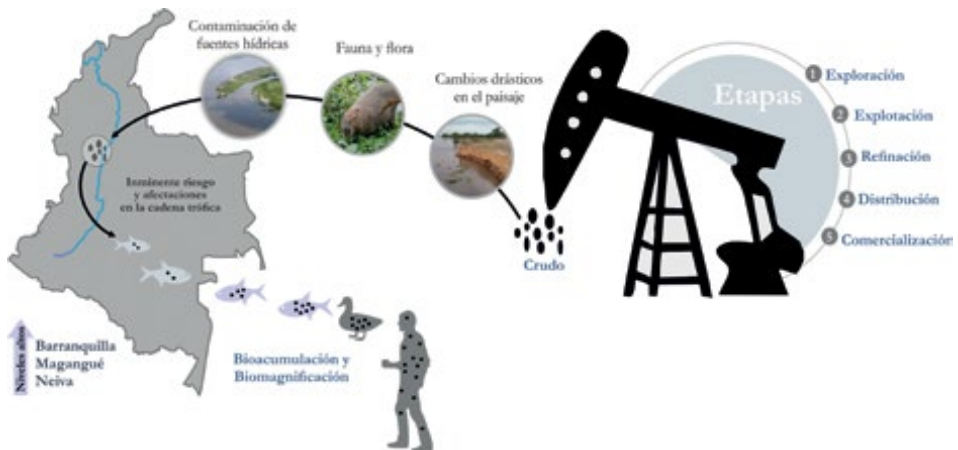


Figura 2. Ruta de transferencia de los residuos de la industria de hidrocarburos desde su producción hasta su destino final en los consumidores tope de la red trófica de los ecosistemas acuáticos. Elaboración: Nadia Coronado-Posada.

CONTAMINACIÓN DEL AGUA

También efectos sub-letales (no muerte) por el contacto directo (a nivel de los tejidos corporales) tras la ingestión, con alteraciones genéticas, bioquímicas o fisiológicas que pueden reducir su viabilidad y eficacia biológica. Todos los efectos tóxicos de estos productos, en particular los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), son de importancia en la salud ambiental. La bioacumulación de ellos puede determinar efectos sub-letales de considerable relevancia, incluso en organismos que aparentemente no han estado en contacto con el fuel del vertido (Zambrano *et al.* 2012). De esta manera, González *et al.* (2011) han reportado efectos letales y sub-letales por hidrocarburos en peces. También, Chan *et al.* (2012) han notificado los efectos del aceite y lubricantes en crustáceos, tortugas y algunas especies de vertebrados como patos y nutrias. Los hidrocarburos toxicológicamente pueden bioacumularse y biomagnificarse, una vez entran a la red trófica en los ecosistemas acuáticos (Figura 2).

Los hidrocarburos en la cuenca del Magdalena reflejan cambios en la ictiofauna, que, junto con la sobrepesca, disminuyen las capturas de las principales especies de peces comerciales durante las últimas décadas (Morales y García-Alzate 2018, Mancera y Álvarez 2005). Las zonas del valle medio y bajo de la cuenca del Magdalena han sufrido contaminación por hidrocarburos, de vertimientos directos de aguas aceitosas y derrames accidentales de crudo, ocasionado algunas veces por actos terroristas en la zona (voladuras de oleoductos). Entre los años 1986 y 1998 se presentaron más de 700 atentados terroristas a los oleoductos colombianos, generándose derrame de cerca de 2 millones de barriles de petróleo sobre diferentes sistemas acuáticos; el estimativo de áreas afectadas por

voladuras en el país son 2.500 km de ríos y quebradas y 1.600 hectáreas de ciénagas y humedales (El Tiempo 1998, en Macera y Alvares 2005).

La presencia de estos contaminantes ha sido detectada desde 0,01 $\mu\text{g/g}$ hasta 0,41 $\mu\text{g/g}$; las concentraciones más elevadas de HAPs se hallaron en los sedimentos colectados en Neiva (0,13 $\mu\text{g/g}$), Magangué (0,41 $\mu\text{g/g}$) (Olivero-Verbel y Tejada-Benítez, 2016) (Figura 2). Sobre el río Magdalena (aguas abajo del Puerto de Barranquilla, la bocatoma de agua potable de Puerto Colombia y Bocas de Ceniza). Estos sitios tienen la particularidad de presentar sedimentos compuestos por gránulos de arena de tamaño medio y fino, lavados con facilidad por el flujo turbulento del río, mientras que la muestra de la bocatoma estaba conformada por una mezcla de arenas finas y lodo, característica que le da al sedimento mayor superficie de contacto para atrapar contaminantes (Mejía-Monterroza y Johnson-Restrepo 2015). Adicionalmente, es importante mencionar que los hidrocarburos son contaminantes que poseen en su composición metales pesados que de una u otra forma pueden contribuir a la contaminación generada por estos.

Contaminación del agua con metales pesados

Colombia tiene una enorme riqueza minera, no solo de oro, sino de carbón y esmeraldas. También sobresalen el cobre, níquel y mineral de hierro en los metales y arena, sales, piedra y arcilla en los productos no metálicos. En un análisis sesgado, donde solo se revisa implicaciones económicas, sobre la explotación del subsuelo colombiano, según informa la revista Dinero 6 agosto 2017, está subexplotado. Se estima que solo se ha explorado y explotado 5% del área que potencialmente tiene oro, 1% del área rica



Catalina Osorio-Peláez

en esmeraldas y el 8% de los yacimientos de níquel. De forma muy crítica indica que “ni hablar de otros minerales como cobre, hierro, manganeso, plomo, zinc y titanio, que la nación duerme también sobre sal terrestre y marina, gravas, arenas, arcilla, caliza, azufre, barita, bentonita, feldespato, fluorita, asbesto, magnesita, talco, yeso, roca fosfórica y rocas ornamentales”, pero sin ninguna reseña sobre el impacto ambiental y los costos en salud pública de esta actividad productiva en el país, el deterioro de otras potencialidad de desarrollo sostenible de los recursos naturales.

Según la Agencia Minera Colombiana en el informe del 2019, la producción del oro creció un 20% solo en el primer trimestre de ese año, hasta las 286.276 onzas (8,9 Tm). Según las cifras del informe Gold Focus 2019 de la consultora Metals Focus, Colombia produjo en 2018 un total de 43 toneladas de oro, un 2% menos que el año anterior y muy por debajo de las 56,2 toneladas que extrajeron en 2012. Las cifras también fueron positivas en cuanto al platino, metal del que se extrajeron 1.905 onzas (59 kilos) en el primer trimestre del año, cifra que supera en un 18% la registrada en el primer trimestre de 2018, que fue de 1.557 onzas (48 kilos). En cambio, la producción de plata en Colombia el año pasado fue de 500.000 onzas (15,55 Tm), la misma que ha mantenido durante los últimos cuatro años y sensiblemente por debajo de las 800.000 onzas (24,88 Tm) que se llegaron a alcanzar en el año 2011. Estos datos son muy interesantes, pero no presentan una reseña de la contaminación y de la minería ilegal que valga la pena decirlo, no está cuantificada.

En cumplimiento de Sentencia T 445 de 2016 de La Corte Constitucional, se desarrolló un diagnóstico del efecto de la minería en Colombia, cuyo informe se entregó en

mayo en 2019, el cual se enfocó en la revisión y análisis del estado del arte de la información bajo el esquema IPBES. Vásquez *et al.* (2019) citado en Investigación científica y sociológica respecto a los impactos de la actividad minera en los ecosistemas del territorio colombiano Mayo 2019 en el marco de la Sentencia T 445 de agosto de 2016, En el capítulo introductorio abordan los efectos de la actividad minera sobre los recursos hidrobiológicos, y expresan “*que a pesar de los cambios que están sufriendo los sistemas acuáticos a lo largo del territorio en respuesta a las distintas actividades asociadas a la extracción minera en el país, la información sobre sus efectos en la biota acuática e integridad ecológica de éstos sistemas es muy limitada*”. Sin embargo, ellos presentan algunas generalidades de la problemática y referencian aspectos de la transformación de la calidad del agua que se produce durante las etapas de exploración y explotación. La primera fase, la excavación tiene un alto impacto ambiental muchas veces irreversible, como acidificación de las aguas, inestabilidad de taludes, deforestación y apertura de accesos que generan pérdida de hábitats, biodiversidad y afectación de ecosistemas (Fierro 2012). En la segunda fase durante la explotación los impactos ambientales son más agresivos como la alteración fisicoquímica de las aguas, sedimentación y afectación de la dinámica de los cuerpos de agua por el vertimiento de aguas residuales mineras, contaminación del suelo con estériles y colas, aumento de procesos erosivos y desestabilización del suelo por la remoción de cobertura vegetal, afectación de comunidades faunísticas, aumento de material particulado, gases y ruido, y alteración del paisaje (Contraloría General de la República 2012). En este sentido, los impactos ambientales más representativos sobre el recurso hídrico se relacionan con la contaminación química, el aumento de

CONTAMINACIÓN DEL AGUA

sedimentos, el incremento de turbidez, la disminución de caudales y la alteración del curso (López-Sánchez *et al.* 2017).

Los vertimientos de la minería presentan una alta carga de metales pesados como arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), hierro (Fe), manganeso (Mn), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn,) que generan contaminación tanto en los ambientes explotados, como los interconectados por las aguas superficiales y subterráneas (Fontalvo y Marrugo 2017). Los metales pesados son contaminantes altamente tóxicos, capaces de generar problemas de salud pública, con enfermedades que tienen tratamientos costosos, impactándose los sistemas de salud, con una alta tasa de incapacidad laboral de la población e incrementa los índices de morbimortalidad.

La contaminación del agua por metales pesados está afectando drásticamente la seguridad alimentaria y salud pública (Zhu *et al.* 2014, Herrera *et al.* 2013). Estudios recientes a nivel mundial reportan la presencia de metales pesados y metaloides tales como Hg, As, Pb, Cd, Zn, Ni, y Cr, en hortalizas (lechuga, repollo, calabaza, brócoli y papa) (Singh *et al.* 2010; Chen *et al.* 2013). Hay evidencias de que está contaminación proviene del uso del agua contaminada para riego (Fransisca *et al.* 2015). De igual manera, la presencia de metales en diferentes concentraciones en peces, carnes y leche resultado de la bioacumulación y movilidad desde el ambiente a las fuentes hídricas (Singh *et al.* 2010, Li *et al.* 2015).

A lo largo de los once departamentos por los cuales transcurre el río Magdalena, le ingresan vertimientos directos o difusos de diferentes fuentes, que contribuyen a la

carga de contaminantes asociados a metales pesados (MP). Los MP agrupan sustancias como Cd y Hg, principales contaminantes dentro de este grupo de sustancias, además de Cr, Co, Cu, Mo, Ni, Pb, Sn, Ti, V, Zn y Ag, estos contaminantes presenta alta afinidad química por el grupo sulfidrilo de las proteínas y se absorben de forma eficiente a través de las membranas biológicas, alcanzando niveles altos de toxicidad, por lo que se clasifican como un riesgo ambiental para la conservación de fauna y flora. Además, de un problema de la salud pública, ya que son sustancias con estabilidad química, no se biodegradan, no se metabolizan, su excreción es limitada, generándose una bioacumulación y por efecto en la cadena trófica una biomagnificación. (Mancera y Álvarez 2006). Además, también son reportados la presencia de otros metales en el río Magdalena en concentraciones consideradas preocupantes como; Na, K, Ca, Mg por disminuir su potencial de uso, y junto con ellos el Cd, Cr, Pb y Hg en aguas y sedimentos en su paso por el Tolima (Noreña *et al.* 2012). Ortiz (2015), al evaluar Cd, Cr, Pb y Hg, hallaron contaminación del agua en todos los puntos muestreados, y el Pb como el principal causante de éstas. El Decreto 1575 (9 junio de 2007), por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Colombia, mediante las resoluciones 2125 (junio 22 de 2007) y 0811 (5 marzo de 2008), instaura valores máximos aceptables 0,01mg/L para el Pb, lo cual según los datos hallado en agua (0,19; 0,16; 0,17 mg/L) y sedimentos (36,0; 19,0; 15,0; 41,0 mg/Kg) son muy superiores a lo estipulado. Con respecto al Hg, el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación- ICONTEC a través de la Norma NTC-1443 (2016), regula para consumo humano de pescado fresco, refrigerado, congelado y súper congelado, y establece



Catalina Osorio-Peláez

un máximo permisible de 0,5 $\mu\text{g/g}$ de Hg. Para metilmercurio la normatividad en el país es nula, pero internacionalmente existen dos entidades, la Environmental Protection Agency-EPA, que define la dosis que no causa efectos adversos en la salud; también está la Food & Drug Administration- FDA, que define el nivel de ingestión diaria aceptable (Mancera y Álvarez 2006). Adicionalmente, el Decreto 1594 de 1984 fija los criterios de calidad admisibles para consumo humano, doméstico, recreativo y para la preservación de flora y fauna en aguas dulces, estableciendo valores máximos permisibles en los diferentes MP.

El efecto genotóxico en peces de importancia comercial como el bocachico, *Prochilodus magdalenae* representados por Eritrocitos Micronucleados (EMN) en la técnica molecular del ensayo cometa, usada para evaluar

genotoxicidad en el ADN, muestran que están correlacionados con exposición a Pb, Ni y Cd en el río Magdalena (Torres *et al.* 2014). Adicionalmente, el IDEAM (Campaña, 2016), reportó para todo el cauce del río Magdalena, concentraciones de siete metales pesados (Hg, Cd, Pb, Cr, Ni, Cu y Zn) en sedimentos, elaborando un orden de magnitud que corresponde a Hg (0,01 a 0,69 mg/Kg); Cd (0,11 a 5,48 mg/Kg); Cr (0,22 a 8,27 mg/Kg); Cu (0,73 a 20,2 mg/Kg). Los 10 sitios con mayores cargas puntuales de Hg en la campaña 2016 en orden descendente fueron: Calamar, Magangué, Barrancabermeja, Tacamocho, Las Flores, Sitio Nuevo y sus tributarios con más aportes; Nare, regidor, Páez y Carare, cargas entre 12,8 Kg/día y 1,03 Kg/día. Las cargas más altas en Cd (358 a 76 Kg/día) fue en Barrancabermeja hasta Las Flores excepto Sitio Nuevo (Loba) y Canal del Dique (Figura 3)

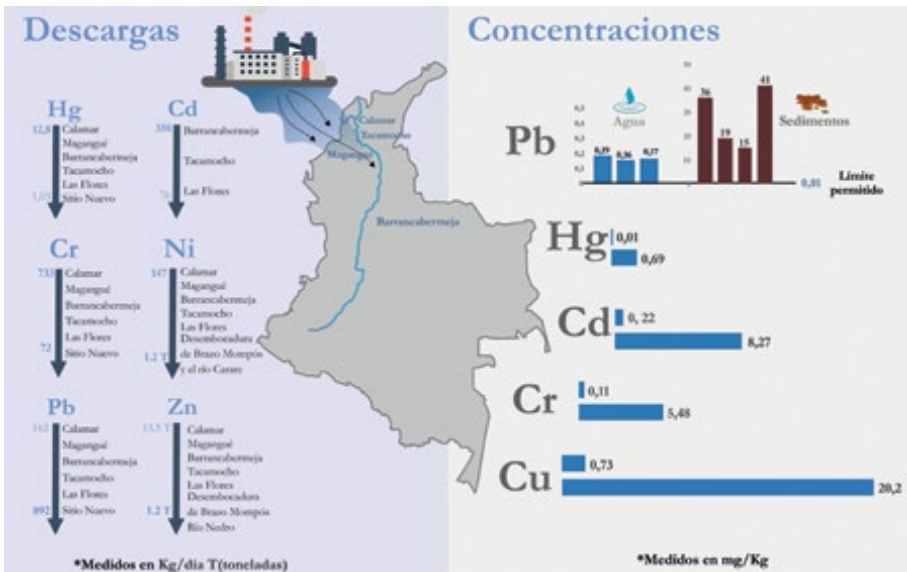


Figura 3. Relación de la concentración de algunos metales pesados a lo largo del río Magdalena. Elaboración: Nadia Coronado-Posada.

CONTAMINACIÓN DEL AGUA

En cuanto a cargas de Cr (733 a 72 Kg/día), sobresalen las mismas estaciones con Sitio Nuevo. El Ni se mantienen en Barranca-bermeja hasta Las Flores excepto Sitio Nuevo (Loba), incluyendo la desembocadura de Brazo Mompós y el río Carare. El rango está entre 147 Kg/día y 1,2 T/día.

Así mismo, coinciden los sitios con las mayores cargas de Pb, las cuales varían entre 162 y 892 kg/día. Otros estudios a lo largo del río Magdalena, han registrado alto contenido de Cd en San Pablo (3,42 µg/g) y Gamarra (4,05 µg/g); Co en Neiva (13,15 µg/g) y Campo de la Cruz (10, 16 µg/g); Cu en Puerto Boyacá (211,48 µg/g); Ni en Gamarra (23,90 µg/g) y Campo de la Cruz (28,80 µg/g); Pb en Neiva (18,05 µg/g) y Gamarra (18,04); Hg en Barranquilla (0,12 µg/g); y Zn en Neiva (118,15 µg/g) y Gamarra (131,83 µg/g). Los mayores contenidos de Cr fueron encontrados en Calamar (165 µg/g) y Campo de la Cruz (95,06 µg/g); As en San Pablo (8,91 µg/g) y Gamarra (9,51 µg/g) y Ag en Honda (0,59 µg/g) (Olivero-Verbel y Tejeda-Benítez 2016).

Adicionalmente, el Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras-HIMAT y el Instituto Colombiano de Geología y Minería- INGEO-MINAS, encontraron en las aguas del río Magdalena, metales como Pb (0,2-5,4 ppb), Hg (0,06-0,12 ppb), Cd (0,07- 16ppb), Fe (30-133 ppb) y Zn (9-23 ppb); estos se hallan en algunos puntos con concentraciones muy altas con respecto a la de aguas naturales y los permisibles internacionalmente, y son mayor en sedimentos y peces, donde se han detectado niveles de 0,5 ppm/gr, especialmente si se tiene en cuenta que los aportes de Hg metálico en la minería de Cauasia (Antioquia) es 270 kg/día y 9.553 ton/día de sedimentos. Así mismo, contenido de Hg en peces en el río Cauca,

permitió detectar concentraciones altas entre 104-125 ppb en músculos y 103- 248 ppb en hígados (Mancera y Álvarez 2006). El río Magdalena es utilizado para abastecimiento de agua en varias ciudades y municipios, además, recibe las aguas del río Bogotá cuyas concentraciones de MP están por encima de los niveles máximos permitidos y de afluentes de industrias de equipos eléctricos, curtiembres, metalúrgicas, manufactureras y petroquímicas, entre otras, que aportan impactos negativos considerables en este recurso hídrico.

Contaminación por organoclorados

Los organoclorados incluidos como compuestos orgánicos persistentes (COP), constituyen unos de los contaminantes más peligrosos en los ecosistemas acuáticos, con aplicaciones industriales y agropecuarias. Durante años se ha utilizado en la erradicación de vectores de enfermedades y muchos están restringidos por recomendación de OMS y OPS, pero algunos se continúan aplicando en Colombia (Mancera y Álvarez 2005). Son persistentes e hidrofóbicos, lo que los pone al mismo nivel de interés que los metales pesados o hidrocarburos, debido a su tendencia a bioacumularse y biomagnificarse en la cadena trófica. Entre estos COP, se presentan variedades como: DDT: Clordano, Aldrín, Dieldrín y Lindano, otro grupo importante son los bifenilos policlorinados (PBC). El DDT ha provocado severos problemas ambientales, disminuyendo la fertilidad y ocasionar la muerte de aves de presa; los PCB provocan infertilidad de focas, nutrias y peces teleósteos, riesgos sanitarios, enfermedades en humanos por la ingesta de alimentos con este contaminante, especialmente el pescado. Los organoclorados son tóxicos cancerígenos, teratogénicos, producen alergia y afectan el sistema nervioso.



Catalina Osorio-Peláez

El DDT fue prohibido por el Decreto 704 de 1986 del Ministerio de Salud Pública, sin embargo, para el 2007, en Colombia se reportan excedentes almacenados que manejaba el Instituto Nacional de Salud para erradicación de dengue y malaria (en Kg) DDT: Bogotá (21.920), Cartagena (1.890), Honda (135.402), Puerto Inírida (600) y en cuanto a la existencia de sitios contaminados, se confirma la presencia de suelo contaminado (m^2) en los departamentos de César, Bolívar, Tolima y Atlántico: Codazzi (1.983,5), Copey (61,2), Córdoba (72), Flandes (202), Barranquilla (60). El Aldrín y el Dieldrín son insecticidas que han sido fabricados comercialmente desde 1950, usados para el control de plagas en el suelo, tratamiento de semillas y en la salud pública para el control de los vectores y otras enfermedades tropicales (Mancera y Álvarez 2005). El uso de Aldrín, Dieldrín y Heptaclor, fueron prohibidos (Decreto 305 de 1988).

El modelo de explotación agrícola y pecuaria en Colombia se sustenta principalmente en el uso de agroquímicos. Este sector ocupa el 40% de la fuerza laboral y representa el 50% de las PIB. Según las cifras del Banco Mundial, los países con mayor consumo de plaguicidas en 2010 fueron Italia, Ucrania, Japón, Alemania, India, Ecuador y Colombia. En Colombia, según las cifras de la misma entidad, el consumo anual de plaguicidas por tonelada, aumentó 379% entre 1997 y 1998. Entre 1990 y 1996 el consumo anual fue inferior a 20.000 toneladas, pero entre 1998 y 2010, dicha variable fue superior a 48.000 toneladas, alcanzando un máximo de 151.686 en el año 2000. La medición de uso de plaguicidas (promedio 2002-2012, en toneladas de ingrediente activo¹/1000 Ha), ubicó a Colombia en cuarto lugar a nivel mundial con 20 Ton IA/1000 HA

(FAO, 2013). Resultados de investigaciones en el complejo lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, que corresponde al delta del río, reveló que la principal ruta de disminución de las concentraciones de los organoclorados de la columna de agua se realiza por procesos de precipitación-sedimentación y bioacumulación en la biota (Betancourt y Triana, 2005). Hoy se vuelve preocupante la fumigación masiva de cultivos ilícitos en Colombia. En el 2001 se fumigaron unas 200.000 Ha de coca y cerca de 60.000 Ha de amapola (Vargas *et al.* 2001). En el 2020 las hectáreas de coca se incrementaron a más 200.000 Ha, y se ubican en la región central del país, ocupando extensas zonas de los Parque Nacionales Naturales y recarga de acuíferos que drenan a la cuenca del Magdalena. Las prácticas agropecuarias y agrícolas en Colombia son poco o nada vigiladas, por lo que en muchas áreas se aplican plaguicidas sin las recomendaciones de los productores, se excede la cantidad de productos utilizado, se aplican de formas incorrectas o en periodos del ciclo climático que son inadecuados, lo que conlleva a que en los vertimientos, recargas o escorrentías de las áreas productivas se han reportados procesos de acidificación, salinización y concentraciones de metales pesados superiores a los valores naturales, estos vertimientos también se asocian al riesgo de eutrofización y proliferación de cepas de algas tóxicas (Benítez- Mojica y Pinto-Blanco 2017).

Un estudio focalizado en el departamento del Atlántico en un humedal de 11 mil Ha conocido como el Embalse del Guájaro, se encontró que restos de plaguicidas y el uso de quemadas continuadas (Benítez-Mojica y Pinto-Blanco 2017). También es preocupante a la contaminación con organoclorados de las aguas subterráneas.

CONTAMINACIÓN DEL AGUA

La zona de mayor contaminación se localiza en la parte central y norte de la cuenca, en los departamentos de Antioquia con 21 municipios causantes de esta clase de contaminación, le siguen en orden descendente los departamentos de Santander, Cundinamarca, Cesar, Córdoba, Bolívar, Atlántico y Huila. Se ha detectado trazas significativas de plaguicidas en aguas subterráneas en aproximadamente el 49 % del total del área de la (Benítez-Mojica y Pinto-Blanco 2017).

Contaminación por organofosforados

Los plaguicidas organofosforados (PO) constituyen unos de los pesticidas con mayor incremento de uso en agricultura. Son sustancias orgánicas derivadas del ácido fosfórico. Se utilizan habitualmente como insecticidas (para control de plagas) y para uso doméstico, pero también se usan en veterinaria, medicina, como aditivo en algunas industrias y como arma química. La concentración del ingrediente activo (IA) varía desde el 1-5%, en los insecticidas de uso doméstico, hasta el 85-90% en productos destinados a uso agrícola. En forma pura son un aceite incoloro y prácticamente sin olor. Se absorben fácilmente, son muy liposolubles, con elevado volumen de distribución en tejidos. Son potentes inhibidores de las colinesterasas entre los más conocidos están el Malatión, Paratión, Monocrotofós. Los PO se usan como insecticidas, acaricidas, antihelmínticos, nematocidas, quemoesterilizantes y rodenicidas, recientemente se han desarrollado fungicidas, herbicidas y reguladores del crecimiento. Según la OMS es responsable de gran número de intoxicaciones agudas caracterizadas por el desarrollo de un síndrome colinérgico y de múltiples complicaciones crónicas, siendo la neuropatía retardada una de las más representativas.

Constituyen en la actualidad, un problema de salud pública de primera magnitud, con manifestaciones tóxicas a largo plazo, muy especialmente carcinogénesis, mutagénesis y teratogénesis).

Los PO tienen, en general, una vida media corta, siendo comúnmente degradados por hidrólisis a compuestos tóxicos e hidrosolubles en el lapso de horas o días. Se acepta que se disipan del ambiente en el lapso de pocas semanas. Lo anterior es cierto para los PO derivados alquílicos de fosfatos y pirofosfatos, con alta toxicidad aguda y poca persistencia, sin embargo, los derivados tiono y ditio, los derivados aril, dialquilaril y alquildiaril tioxo, con baja toxicidad aguda para los mamíferos, tienen una mayor persistencia. Entre los últimos cabe mencionar el clorfenvinfos, fosfolán, diclorfentión y oxidisulfotón que tienen una persistencia de 36 semanas. Los PO Azinfosmetílico, Diazinon, Paration, Fenitrothion, Malation son muy tóxicos para los peces (CICOPLAFEST 1991). Los Clorpirifos reducen las comunidades del zooplancton (consumidores primarios) (Mani y Konar, 1988). El Malation sobre el pez *Channa punctatus*, inhibe el metabolismo de las síntesis de lípidos y proteína (Saxena *et al.* 1989). Otros estudios demuestran la toxicidad de los PO en camarones (*Paratya compres*) (Hatakeyama *et al.* 1991), artrópodos acuáticos, moluscos y anélidos (Raven y George 1989).

En la cuenca del Magdalena, se aplican aproximadamente 25.000 Ton/año de Ingrediente Activos (IA), que corresponde esencialmente a insecticidas, funguicidas, y herbicidas, esta cantidad de biocidas que entran a la cuenca han sido estimado con base en una aplicación promedio de 6 kg de IA/Ha (considerando un área agrícola de 4 millones de Ha). Estudios de trazas de



Catalina Osorio-Peláez

plaguicidas en fresas frescas de Cundinamarca, demostraron que del total de 12 IA pertenecientes a insecticidas-acaricidas que se encuentran en las fresas de todos los municipios, 42% eran organofosforados, 17% piretroides, 8% neonicotinoides, 8% carboxamida (hexitiazox), 8% propargita, 8% pirrol y 8% derivados de ácido tetrónico y tetrámico. En el caso de los fungicidas, de los 10 IA encontrados en las fresas de todas las municipalidades, el 30% eran inhibidores de la desmetilación, el 20% de inhibidores de la quinasa, el 20% de carbamatos de metilbencimidazol, el 10% de fenilamidas, el 10% carboxamidas y 10% de anilina-pirimidinas (Sánchez *et al.* 2019). Los modos de acción más comunes fueron la inhibición de la biosíntesis de membrana y la inhibición de la transpiración.

Contaminación por materia orgánica y patógenos asociados

La Materia Orgánica, que proviene de las aguas residuales domésticas, plantas de procesamientos o sacrificios de animales y escorrentías agropecuarias representan la mayor fuente de coliformes fecales, un subgrupo de Coliformes Totales, formados aproximadamente en el 95% por *Escherichia coli* y especies de *Klebsiella*, las cuales se encuentran casi exclusivamente en heces de animales de sangre caliente. Hay diversos tipos de *Escherichia*, algunos sin reportes de daño aparente, Formas patógenas de *Escherichia* y de otras bacterias (por tener forma similar se denominan genéricamente coliformes fecales), por lo que suelen reportarse en conjunto y ambos conforman un indicador de la contaminación bacteriológica de los ríos y las playas, y pueden ocasionar la muerte (Mora y Calvo, 2010). La contaminación por materia orgánica en el río Magdalena es muy evidente, se detectan a simple vista o se detectan por los olores que generan. La contraloría

en su informe de 2019, reportó que 514 municipios cercanos al cauce al río Magdalena, el 57% de ellos no tiene sistemas de tratamiento de aguas residuales, lo que puede explicar los valores de Coliformes Totales por encima de 2000 NMP/mL, valor máximo permisible por el Decreto 1076/15 para consumo o conservación de fauna y flora, lo mismo ocurre con la presencia de *Escherichia coli* (IDEAM, 2016). La *Escherichia* no sobrevive mucho tiempo en agua de mar, pero otros coliformes fecales sí, que suelen reportarse en conjunto y ambos conforman un indicador de la contaminación bacteriológica de los ríos y las playas. Usualmente, cuando esto ocurre, un gran número de bacterias patógenas: *Streptococcus*, *Estafilococos*, *Salmonella*, *Shigella* y *Vibrio*, al igual que virus, como el causante de la hepatitis y la poliomielitis son registrados en los ríos o playas, representando un riesgo para la salud por la propagación de enfermedades infecciosas. En el río Magdalena para la época seca, los vertimientos de aguas residuales son significativos en comparación con las caudales naturales (Zúñiga, 2018).

Las concentraciones de Sólidos Totales en la cuenca del río, que provienen de muchas fuentes y que contienen altos contenidos de materia orgánica, representan una condición muy variable, con altas concentraciones en el tramo medio acercándose al valor de alarma propuesto por el IDEAM (2013) 600 mg/L. Es importante mencionar que este parámetro tiene una relación estrecha con la turbidez y suelen estar muy relacionados con los valores altos de compuestos nitrogenados que muestran referencias de toxicidad a ciertas concentraciones y condiciones de exposición en algas, zooplancton, peces y crustáceos (Colt y Armstrong 1981, Wright 1987, Cairns *et al.* 1990, Frías-Espéricueta

CONTAMINACIÓN DEL AGUA

et al. 1999, 2000 en Frías y Páez 2001), por lo tanto es preocupante registro en algunos tramos del río de valores de Nitrógeno Amoniacal, por encima de su valor de referencia apto para conservación (0,78 mg/L). Los Nitritos superan los 2 mg/L (valor de referencia con efecto letal para algunas a larvas de peces y crustáceos) y los Nitratos en algunos sitios del cauce del río Magdalena son ≥ 1 mg/L (valor de referencia como aceptable). EL Fósforo proviene de dos fuentes principales para las cuencas hidrográficas, la agricultura (fertilizantes y estiércol animal) y de la población humana (aguas residuales). Los mayores registros están entre el tramo alto-medio, no existe norma colombiana para fósforo total. Como referente relacionado con la magnitud de Fosfato (PO_4), la Directiva 75/440/CEE de la Unión Europea cuyos límites permisibles para agua superficial destinada a consumo humano con tratamiento físico y desinfección es 0,52 mg/L. Su aumento puede producir

eutrofización (crecimiento masivo de algas las cuales pueden disminuir la cantidad de oxígeno disuelto en el agua) provocando la muerte de los animales que habitan en las aguas (Khan y Ansari 2005, Scholten 2005). Para Colombia, en 2008 se estimó una carga total de 29.361 toneladas, siendo el sector industrial el que mayor aportación tuvo (Tabla 3.8, IDEAM 2010).

En el río Magdalena, la carga de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) vertida después de tratamiento es superior a 756.945 Ton/año, que equivalen a 2.102 Ton/día, mientras que la carga de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) supera las 1.675.616 Ton/año, equivalentes a 4.654 Ton/día. (IDEAN, 2015). Se ha demostrado que la carga orgánica no biodegradable vertida a corto plazo es proporcionalmente mayor (DQO/DBO_5), valores de 2,2, 2, y 2,5 para zonas altas, media y baja del río Magdalena, respectivamente. Los vertimientos de 1.135.726

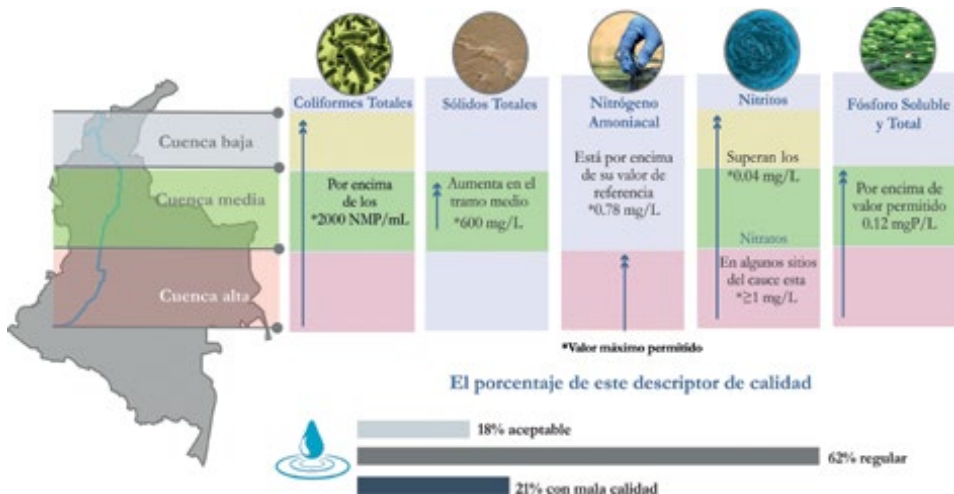


Figura 4. Valores parámetro de algunos componentes orgánicos del agua en el río Magdalena. Elaboración: Nadia Coronado-Posada.



Catalina Osorio-Peláez

Ton/año de sólidos suspendidos totales, después de tratamiento, equivalente a 3.154 Ton/día, índice preocupante al sumar los aportados por escorrentías, lo que disminuye la capacidad de oxigenación autónoma de agua por vía biológica, además del efecto sobre la biota bentónica. Para el año 2007 CORMAGDALENA ya registraba valores preocupantes sobre la carga de kg/día de nitrógeno y fósforo de 1.288.731 y 225.648 respectivamente, provenientes del sector agrícola mientras el sector pecuario genera en de nitrógeno 1.246.183 kg/día y de fosforo de 415.390 kg/día sobre la Cuenca.

Nuevos contaminantes

A medida que va en aumento la economía, la población y la industrialización de los diferentes departamentos alrededor del río Magdalena, también se incrementan los vertimientos o desechos líquidos, cuyos efluentes en su mayoría se depositan en a lo largo de la cuenca del Magdalena, perturbando la calidad de agua, lo cual desencadena graves problemas ambientales. El uso generalizado de los llamados actualmente “nuevos contaminantes” o “contaminantes emergentes” como; detergentes, perfumes, cremas, desinfectantes, jabones líquidos, ambientadores, plásticos, abrillantadores ópticos, medicamentos y residuos farmacéuticos entre muchos otros, están siendo vertidos y concentrados de manera continua en el medio ambiente (Figura 5). Estos nuevos contaminantes reciben el nombre de “contaminantes emergentes”, los cuales no producen su efecto tóxico de manera directa e inmediata, sino que este suele reflejarse con la exposición crónica a bajas concentraciones. La preocupación por conocer los efectos que puede tener la presencia de estos compuestos sobre los ecosistemas y sobre la salud humana ha ido en aumento en los últimos años y

con este el número de investigaciones al respecto, viéndose como una línea prioritaria de investigación para la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Unión Europea (UE) y la US Environmental Protection Agency (USEPA).

Estas sustancias por lo general no se encuentran reguladas en muchos países, por lo que es necesario conocer sus impactos para lograr algún tipo de interés en el marco de la salud pública. Pueden ser de origen natural, químicos o materiales artificiales se ha descubierto o se sospecha están presentes en diversos compartimentos o matrices ambientales y cuya toxicidad o persistencia puede alterar significativamente el metabolismo de los seres vivos (Sauvé y Desrosiers 2014). Entre los posibles riesgos para los seres humanos y los sistemas ecológicos de este tipo de compuestos, destacan las alteraciones endocrinas y neurotoxicidad, entre otros (Halden 2015). Por consiguiente, la aparición de estos compuestos y su amplia extensión en todas matrices ambientales, presentan dificultades en su identificación, cuantificación, evaluación y regulación, porque no se cuenta con una metodología adecuada y estandarizada que hagan efectivas estas actividades principalmente en los países en vías de desarrollo (Hughes *et al.* 2012).

Los contaminantes emergentes que han generado mayor preocupación son los compuestos disruptores endocrinos (EDC), xenobióticos, que los estudios han demostrado un acción sobre el sistema endocrino, alterando el ciclo hormonal, sus efectos se han detectado en humanos y animales, por lo tanto se prevé cambios en el crecimiento y el desarrollo sexual; entre estos está el nonilfenol y nonilfenol etoxilado (De la Parra-Guerra y Olivero-Verbel 2020), BPA (Ike *et al.* 2000) y otros grupos de

CONTAMINACIÓN DEL AGUA

contaminantes (Morales y Rodríguez 2004), entre otros. Hay estudios que demuestran alteraciones endocrinas por alquilfenoles, ftalatos, hormonas estrogénicas y pesticidas en poblaciones de peces, en el cual utilizaron los niveles de vitelogenina en plasma como bioindicador y análisis histopatológicos en las gónadas (Ortiz *et al.* 2013) (Figura 5). A mediados de los 90 se documentó la presencia de peces machos feminizados en ríos, los cuales tenían efluentes de plantas de tratamientos no eficientes, por lo tanto, asociaban este fenómeno en los peces a posibles sustancias estrogénicas y químicos provenientes de la industria que llegaban al cuerpo de agua (Keel-Morgan 2012). La importancia ecológica de dichos cambios consiste en la pérdida de la competencia reproductiva, y con ello, el cambio en el tamaño corporal, así como, en la integridad genética de la población íctica (Larsson *et al.* 2006, Keel-Morgan 2012).

Es importante conocer que la proporción de sexos (SR) de los peces es un punto final que indica potencialmente la actividad endocrina y la adversidad, elementos esenciales para identificar los productos químicos disruptores endocrinos (EDC), según lo exigen las reglamentaciones de la UE (Dang y Kienzle, 2019). Recientemente, las publicaciones que describen los efectos de EDC en la reproducción de peces, centrándose en la desregulación del eje hipotálamo-hipófisis-gonadal, así como en la calidad de los gametos, va en un aumento. Su capacidad para imitar/mimetizar las hormonas endógenas, pueden afectar de manera diferente la fisiología reproductiva masculina o femenina, entre ellos la inhibición de la gametogénesis, desarrollo de gónadas intersexuales, alteración del índice gonadosomático y la disminución de la tasa de fertilidad (Figura 5). En los machos, se

han observado alteraciones en la densidad, motilidad y fertilidad de los espermatozoides en varias especies silvestres. Estas vías afectadas se pueden considerar como uno de los principales indicadores de alteración endocrina reproductiva. Los contaminantes emergentes actúan también a nivel de ADN produciendo mutaciones de ADN y cambios en las rutas epigenéticas que inducen mecanismos específicos de toxicidad y/o respuestas celulares aberrantes que pueden afectar las generaciones posteriores a través de la línea germinal (Carvenali *et al.* 2018), teniendo efectos intergeneracionales, transgeneracionales y multigeneracionales en las comunidades biológicas afectadas y esto es una situación que se puede estar presentando en la biota presente en el río Magdalena y su cuenca.

Indicadores de calidad del río magdalena para la pesca y la biodiversidad

El índice de calidad del agua (ICA), es un índice propuesto por la National Sanitation Foundation, concebido inicialmente para las características de los ríos norteamericanos (Behar *et al.* 1997; Montoya *et al.* 2011). Este índice usa un conjunto de nueve variables individuales, que son; oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fósforo total, temperatura del agua, turbiedad, sólidos suspendidos y dos variables agrupadas (sustancias tóxicas y pesticidas), estas últimas escogidas por una encuesta hecha entre 142 expertos, a cada variable se les dio un peso dentro de la puntuación total del índice (Montoya *et al.* 2011). El uso general de este tipo de índices demuestra el deterioro del sistema hídrico de importancia para para la región Caribe y Colombia. Estos descriptores de calidad son dinámicos y pueden variar según las comisiones climáticas, durante



Catalina Osorio-Peláez

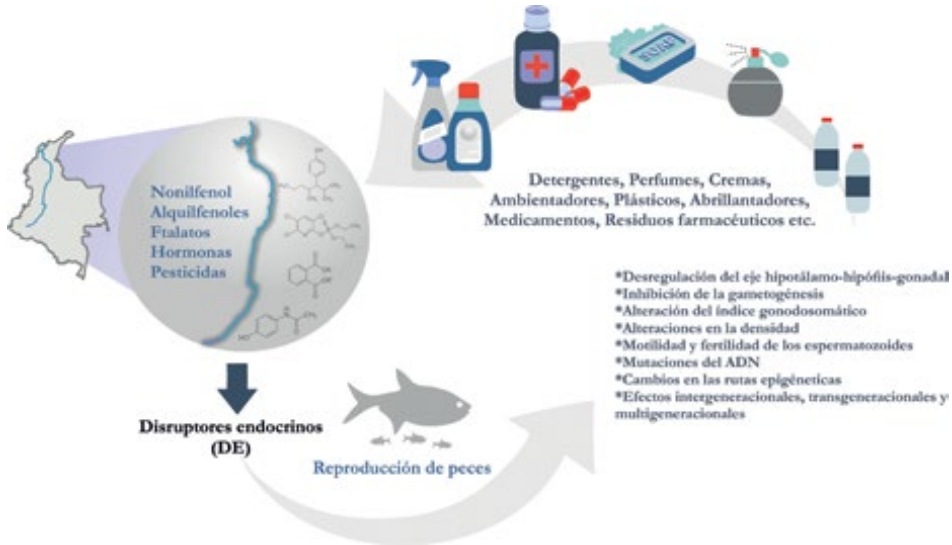


Figura 5. Esquema general del ciclo de los nuevos contaminantes en el ambiente acuático y sus efectos en la fauna íctica. Elaboración: Nadia Coronado-Posada.

las lluvias hay dilución y se puede encontrar sectores del ríos con diferentes valores de calidad, se presentan el 17% aceptable, 62% regular y 21% con mala calidad del agua, y en la época seca estos indicadores por corresponder a una condición críticas, donde el 40% de la cuenca la calidad del agua es regular, el 52% es de mala calidad y el 8% el agua presenta indicador de calidad muy mala (Estudio nacional del agua 2019). Estos datos pueden relacionarse con el número de municipios sin plantas tratamiento, y algunos que las poseen funcionan con deficiencias, sin capacidad de depurar los vertimientos al río.

El descriptor “malo y muy malo” en la corriente del río Magdalena muestra deterioro aguas abajo de la desembocadura del río Bogotá. En el Alto río Magdalena el descriptor “malo” de ICA se da por valores altos de Solidos Suspendidos Totales (SST)

y conductividad eléctrica. En la zona media el río Magdalena refleja su afectación por DQO y los SST, en el Bajo río Magdalena, la DQO, DBO₅, O₂ y coliformes fecales (Estudio nacional del agua 2018). Todo esto condiciona la oferta trófica para la comunidad de peces, estas condiciones definen una baja diversidad de comunidad bentónica y planctónica, pero también la proliferación de algas tóxicas del grupo de la cianófitas (De la Parra *et al.* 2017).

En los modelos de calidad de agua, es determinante el oxígeno disuelto. Los estudios de Uniandes-Minamb (2002) y Rojas (2017), presentan tramos con concentraciones inferiores a 1mg/L O₂, responsabilizan a los vertimientos de ciudades como Bogotá, Tunja y Medellín por esta disminución de esta variable. En los tramos de la cuenca baja del río Magdalena el valor puede estar entre 4 y 6 mg/l, pero de

CONTAMINACIÓN DEL AGUA

acuerdo a la temperatura del agua entre los 25 y 35 °C, realmente valor del oxígeno disuelto, representa una saturación pobre o incluso con tendencia a la anoxia en horas nocturnas (De la Parra-Guerra y García-Alzate 2019).

Esta situación en prospectivas no muestra indicadores de mejora al considerar el incremento de los vertimientos de sector agrícola con altos contenidos de compuestos NPK (ICA 2012), preocupante un factor importante de calidad agua, que lo confiere la contaminación biológica, donde se incluyen agentes patógenos capaces de impactar de forma aun poco estudiada la dinámicas y poblaciones de la biota acuática. Entre los indicadores están la concentración de Coliformes Totales (CT), que es el más usual ante la falta de medidas rápidas y confiables de otros patógenos (como quistes, nematodos, virus, hongos u otros parásitos). Su evaluación como un determinante en la modelación de la calidad del agua, evidencia un problema de contaminación nacional (Uniandes-Minamb 2002, Rojas 2017). Las concentraciones de CT confirman que existe un sin número de tramos que comprometen seriamente hasta la posibilidad de potabilización de las corrientes. En lo referente a la clasificación de los sistemas de tratamiento en el país, la mayoría de las plantas instaladas pertenecen al tratamiento secundario. DNP (2017) El Estudio Sectorial de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado–2016 elaborado por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) señala que, en el año 2016, se identificaron 696 Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR), en 541 municipios, precisando que dicha cifra corresponde a la infraestructura física reportada, independientemente de su funcionalidad y estado operativo. Esto significa que, en cuanto al indicador de

tratamiento de aguas residuales urbanas, se tenía un 28% en el año 2010 y se alcanzó un 42% para el año 2017, aun un porcentaje deficiente. Sin embargo, según informe de SSPD-2009 (Rojas 2017), existe una cobertura aceptable en alcantarillado a nivel nacional, que no es compensado con el inventario de STAR. El 45% de los municipios con más de 2500 suscriptores de alcantarillado (alrededor de 300), cuentan con algún tipo de tratamiento, mientras que el 26% de 700 municipios con menos de 2500 suscriptores, poseen algún tipo de tratamiento. Así mismo, la tendencia de crecimiento de los sistemas de alcantarillado, es superior a los STAR, resultando un aumento continuo de los vertimientos directo en las corrientes sin tratamiento alguno. Diversas fuentes sostienen que el grado de inoperancia solo permite tratar un pequeño porcentaje del vertimiento total del agua residual en el país. En la modelación de Rojas (2017), se estima que, si estuviesen en operación, podrían remover un 80% del alto porcentaje de la contaminación generada por los residuos líquidos domésticos provenientes de los sistemas de alcantarillado. Desde el punto de vista jurídico aún hay dificultades en el uso eficiente y correcto de alcantarillado publico domiciliario, MADS según Concepto E2-2016-019603 de 16 de agosto de 2016, ha precisado que es una obligación de los usuarios del recurso hídrico conectados a la red de alcantarillado público, que generan aguas residuales no domésticas, obtener el permiso de vertimientos. La Resolución 631 de 2015 ha definido las aguas residuales no domesticas como aquellas procedentes de las actividades industriales, comerciales o de servicios, distintas a las que constituyen aguas residuales domésticas. Pero en la actualidad aun esta situación no es concreta y con muchas dificultades, por lo cual se sigue vertiendo este tipo de aguas



Catalina Osorio-Peláez

sin previos tratamientos en muchas zonas del río Magdalena y su cuenca.

Conclusiones

El ejercicio para caracterizar la contaminación del río Magdalena, se desarrolla en un escenario con muchas incertidumbre y vacíos en algunos datos, aunque existe mucha información esta se encuentra dispersa, discontinua en el tiempo y en el espacio, se presentan múltiples técnicas y protocolos que no son comparables, por que responden a intereses particulares de investigaciones en temas y objetos distintos. Estas circunstancias exigen de forma prioritaria de un esfuerzo institucional para establecer un sistema de evaluación y seguimiento a la contaminación del agua en la cuenca del Magdalena, estableciendo una red de estaciones de monitoreo permanente, con metodología estandarizada y ajustada a las fuentes y tipo de contaminación, a las condiciones geográficas y climáticas de la cuenca.

La síntesis sobre la contaminación del agua y sedimentos del río, evidencia una situación preocupante, que es fenómeno complejo, pero esencialmente de origen antrópico, que se acentúa en el tiempo, que está impactando de forma general la cuenca, que de acuerdo a los estudios de toxicidad, genotoxicidad, impacto en la red trófica e implicaciones en dinámica reproductiva de los peces, existe elementos que permiten asociar la presencia o concentración de algunas sustancias a la disminución de poblaciones y a la reducción de la riqueza íctica de la cuenca. Se recomienda el desarrollo de investigaciones sobre cómo esta nueva condición afecta las especies de importancia económica y ecológicas del río, la dinámica de sustancias de interés por el potencial de bioacumulación e impacto a la salud

pública. Es fundamental generar modelos de predicción de pérdida de especies por contaminación e interacciones con otros fenómenos para diseñar soluciones y establecer criterios de evaluación del riesgo. El inventario de los nuevos proyectos de infraestructura, industriales y mineros que están en la agenda del plan desarrollo, permiten advertir una mayor concentración de los contaminantes y la presencia de tóxicos emergentes, que representan un alto riesgo para sustentar actividades socioeconómicas que afectan la salud de las comunidades humanas y finalmente el aprovechamiento y la conservación de toda la biota asociada en la cuenca.

Recomendaciones y perspectivas

En Colombia se requiere implementar un sistema de monitoreo permanente del recurso hídrico. Institucionalmente se pueden replicar los objetivos y propósitos de la REDCAM, en especial aquellos ecosistemas que representan una importancia para el desarrollo social y económicos de la población, donde se busca reguardar la integridad del recurso, su capacidad de carga, modelos sostenibles de explotación y uso de los servicios ambientales que estas fuentes representan. Estos sistemas de monitoreo serán eficientes si responden a una red permanente y estandarizada, con protocolos y técnicas que se ajusten a la realidad de los procesos de deterioro de los ecosistemas, al igual que a las fuentes y tipo de contaminación. Es importante atender de forma moderna y tecnológica el diagnóstico de nuevos contaminantes y sus relaciones con la biota y otros aspectos importante relacionado con la salud de poblaciones.

Bibliografía

- Adams, R., Zavala-Cruz, J. & Morales-García, F. (2008). Concentración residual de hidrocarburos en el suelo del trópico. II:

CONTAMINACIÓN DEL AGUA

- Afectación a la fertilidad y su recuperación. *Interciencia*, 33(7), 483-489. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=339/33933703>
- Alvear-Sanin, J. (2005). *Manual del río Magdalena*. Medellín: Corporación Autónoma Regional del Río Grande del Magdalena (CORMAGDALENA). 239 pp.
 - Arias, J. A. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista de investigación Agraria y Ambiental*, 8(1), 151-167. <https://doi.org/10.22490/21456453.1846>
 - Behar, R., Zuñiga, M. C. & Rojas, O. (1997). Análisis y valoración del índice de calidad de agua (ICA) de la NSF: El caso de los ríos Cali y Meléndez (Cali-Colombia). *Revista Ingeniería y Competitividad Universidad del Valle*, 1 (1), 17-27. <https://doi.org/10.25100/iyv.v1i1.2361>
 - Benítez-Mojica, M. & Pinto-Blanco, L. (2017). *Evaluación de la concentración de plaguicidas y metales pesados en las aguas del embalse el Guájaro, Atlántico*. (Trabajo de grado). Barranquilla: Universidad de la Costa-CUC, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. 108 pp.
 - Betancourt, J. M. & Triana, G. R. (2005). Estudio de los procesos relacionados con la presencia de plaguicidas organoclorados en la Ciénaga Grande de Santa Marta. *Boletín de investigaciones marinas y costeras*, 34 (1), 121-139.
 - Cairns, J., Niederlehner, B. R. & Pratt, J. R. (1990). Evaluation of joint toxicity of chlorine and ammonia to aquatic communities. *Aquatic toxicology*, 16(2), 87-100. [https://doi.org/10.1016/0166445X\(90\)90079-5](https://doi.org/10.1016/0166445X(90)90079-5)
 - Carnevali, O., Santangeli, S., Forner-Piquer, I., Basili, D. & Maradonna, F. (2018). Endocrine-disrupting chemicals in aquatic environment: what are the risks for fish gametes? *Fish Physiology and Biochemistry*, 44(6), 1561-1576. Doi:10.1007/s10695-018-0507-z.
 - Castro, F., Forero, D., Ramírez, J. & Reina, M. (2014). *Evaluación de la contribución económica del sector de hidrocarburos colombiano frente a diversos escenarios de producción*. (Informe técnico). Bogotá D. C.: Centro de Investigación Económica y Social (FEDESARROLLO), Unidad de Planeación Minero Energética-UPME. 239 pp.
 - Chan, J.G., Ochoa, S. & Pérez, I. (2012). Germinación y sobrevivencia de especies arbóreas que crecen en suelo contaminados por hidrocarburos. *Teoría y Praxis*, 102-119. Doi: 10.22403/UQROOMX/TYP12/05
 - Chen, Y., Hu, W., Huang, B., Weindorf, D.C., Rajan, N., Liu, X. & Niedermann, S. (2013). Accumulation and health risk of heavy metals in vegetables from harmless and organic vegetable production systems of China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 98, 324-330. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.09.037>
 - CICOPLAFEST. (1991). *Catálogo oficial de plaguicidas 1991. Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas*. (Informe Técnico). México, D.F. Diario Oficial de la Federación. 19 de agosto de 1991. 493 pp.
 - Colt, J. E. & Armstrong, D. A. (1981). *Nitrogen toxicity to crustaceans, fish, and molluscs. Proceedings of the Bio-Engineering Symposium for Fish Culture*. Fish Culture Section of the American Fisheries Society. Estados Unidos: University of California. 34-47 pp.
 - Corte Constitucional, (2016). Sentencia T-445 de 2016. Principio de Coordinación, Concurrencia y Subsidiariedad en el Reparto de Competencias entre la Nación y las Entidades Territoriales. Bogotá, Colombia. (<https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2016/t-445-16.htm>).
 - Cormagdalena – IDEAM. (2012). *Estudio ambiental de la Cuenca Magdalena-Cauca y elementos para su ordenamiento territorial*. (Resumen ejecutivo). Bogotá, D. C., noviembre de 2001. 235 pp.
 - CORMAGDALENA & UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (2007). Informe final: Recopilación y síntesis de la información geológica y geomorfológica de la ecorregión del Canal del Dique. Bogotá: Ed. CORMAGDALENA-Universidad Nacional de Colombia. Pág. 96
 - Dang, Z. & Kienzler, A. (2019). Changes in fish sex ratio as a basis for regulating endocrine disruptors. *Environment International*, 130, 104928. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.104928>
 - De la Parra-Guerra, A.C. & García-Alzate, C.A. (2019). Metabolismo de un tramo en



Catalina Osorio-Peláez

- la cuenca baja del río Cesar, departamento del Cesar, en una época de sequía, Colombia. *Intropica*, 14 (1),16-23. <https://doi.org/10.21676/23897864.2719>
- De la Parra-Guerra, A.C. & Olivero-Verbel, J. (2020). Toxicity of nonylphenol and nonylphenol ethoxylate on *Caenorhabditis elegans*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 187, 109709. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109709>
 - De la Parra-Guerra, A.C., García-Alzate, C.A., Rodelo-Soto, K. & Gutiérrez-Moreno, L. (2017). Composición y estructura fitoperifítica de la cuenca media y baja del río Cesar, departamento Cesar-Colombia. *MVZ*, 22 (2), 5938-5950. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1029>
 - Ministerio de Agricultura. (18 de febrero de 1988). Decreto 305 de 1988. DO: 38219
 - República de Colombia. (5 de marzo de 1986). Decreto 704 de 1986. DO: 37377
 - Revista Dinero. (31 de agosto de 2017). La riqueza minera de Colombia en otros materiales. Obtenido de La riqueza minera de Colombia en otros materiales: <https://www.dinero.com/edicionimpresa/informe-especial/articulo/riqueza-minera-de-colombia/249256>
 - Ecopetrol. (1993). *Estudio línea base componentes biológicos y fisicoquímicos de los ecosistemas acuáticos. Oleoducto Vasconia-Coveñas*. Bogotá D.C.: Empr. Col. Petróleos-Inst. Col. Petróleo. 171 pp.
 - Encinas-Malagón, M. D. (2011). *Medio ambiente y contaminación. Principios básicos*. España: Material Docente-Escuela Universitaria de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz. 121 pp.
 - DNP. (2017). Informe de Estudio Sectorial de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado 2014 – 2017, Ed. DNP, Bogotá, Col. Pág. 87
 - FAO. (2013). *Directrices sobre el cambio climático para los gestores forestales*. (Informe técnico). Estudio FAO Montes N° 172. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 130 pp.
 - Fierro, J. (2012). *Políticas mineras en Colombia*. Bogotá D. C.: Instituto Latinoamericana
 - no para una Sociedad y un Derecho Alternativo-ILSA. 264 pp.
 - Fontalvo-Cañas, A. F. & Marrugo-Negrete, J. L. (2017). Metales pesados en sedimentos de la Cuenca Baja del río Magdalena. Trabajo presentado en el Programa y Libro de Resúmenes del III Seminario Internacional de Ciencias Ambientales SUE-Caribe, Barranquilla, Colombia. p. 67.
 - Fransisca, Y., Small, D., Morrison, P., Spencer, M., Ball, A. & Jones, O. (2015). Assessment of arsenic in Australian grown and imported rice varieties on sale in Australia and potential links with irrigation practises and soil geochemistry. *Chemosphere*, 138, 1008-1013. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.12.048>
 - Frías-Espericueta, M. & Páez-Osuna, F. (2001). Toxicidad de los compuestos del nitrógeno en camarones. *Camaronicultura y medio ambiente*, 253-276.
 - Frías-Espericueta, M. G., Harfush-Melendez, M., & Páez-Osuna, F. (2000). Effects of ammonia on mortality and feeding of postlarvae shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 65(1), 98-103. <https://doi.org/10.1007/s0012800100>
 - Frías-Espericueta, M. G., Harfush-Melendez, M., Osuna-López, J. I., & Páez-Osuna, F. (1999). Acute toxicity of ammonia to juvenile shrimp *Penaeus vannamei* Boone. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 62(5), 646-652. <https://doi.org/10.1007/s001289900923>
 - García-Alzate, C. A., Gutiérrez-Moreno, L. C. & De la Parra-Guerra, A. C. (2016). Embalse del Guájaró: diagnóstico ambiental y estrategias de rehabilitación. En Alvarado, M. (2016). *Sur del Atlántico: una nueva oportunidad*. Pp: 148-177. Bogotá D. C.: Gobernación del Atlántico, Fundación Promigas y Fundesarrollo.
 - González, N., Simarro, R., Molina, M. C., Bautista, L. F., Delgado, L. & Villa, J. A. (2011). Effect of surfactants on PAH biodegradation by a bacterial consortium and on the dynamics of the bacterial community during the process. *Bioresource Technology*, 102

CONTAMINACIÓN DEL AGUA

- (20), 9438-9446. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.07.066>
- Guzmán, A. (2005). Aspectos históricos y técnicos del río Magdalena. Una visión sobre experiencias en el río. *Hojas Universitarias*, 57, 35-44.
 - Halden, R. U. (2015). Epistemology of contaminants of emerging concern and literature meta-analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 282 (23), 2-9. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.08.074>
 - Hatakeyama, S., Shiraishi, H. & Sugaya, Y. (1991). Monitoring of the overall pesticide toxicity of river water to aquatic organisms using a freshwater shrimp, *Paratya compressa* improvisa. *Chemosphere*, 22(1-2), 229-235. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(91\)90277-K](https://doi.org/10.1016/0045-6535(91)90277-K)
 - Herrera-Núñez, J., Rodríguez, J., Coto, J., Salgado, V. & Borbón, H. (2013). Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. *Tecnología en Marcha*, 26(1), 27- 36. <https://doi.org/10.18845/tm.v26i1.1119>
 - Huang, Z., Pan, X. D., Wu, P. G., Han, J. L., & Chen, Q. (2014). Heavy metals in vegetables and the health risk to population in Zhejiang, China. *Food Control*, 36(1), 248-252. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.08.036>
 - Hughes, S. R., Kay, P. & Brown, L. E. (2012). Global synthesis and critical evaluation of pharmaceutical data sets collected from river systems. *Environmental Science and Technology*, 47(2), 661-677. <https://doi.org/10.1021/es3030148>
 - IDEAM, C. (2001). *Estudio Ambiental de la Cuenca Magdalena-Cauca y elementos para su ordenamiento territorial*. (Informe técnico). Bogotá D. C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 984 pp.
 - IDEAM, C. (2013). *Descripción General del Indicador. El Índice de calidad del agua es el valor numérico en corrientes superficiales* (ICA). (Informe técnico). Bogotá D. C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 78 pp.
 - IDEAM, C. (2015). *Informe del estado del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables 2012, 2013 y 2014. Tomo III: Calidad de los Recursos*. (Informe técnico). Bogotá D. C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 367 pp.
 - IDEAM, C. (2019). *Estudio Nacional del Agua*. (Informe técnico). Bogotá D. C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 217 pp.
 - Ike, M., Jin, C. S. & Fujita, M. (2000). Biodegradation of bisphenol A in the aquatic environment. *Water Science and Technology*, 42(7-8), 31-38. <https://doi.org/10.2166/wst.2000.0549>
 - ICONTEC. (2016). NTC 1443:2016. DES-CRIPTORES: producto alimenticio; Productos de la pesca y de la acuicultura. pescado entero, medallones, filetes y trozos (refrigerados o congelados).
 - Ed. INCONTEC, Bogotá, Col. 13 pag.
 - Khan, F. A. & Ansari, A. A. (2005). Eutrophication: an ecological vision. The botanical review, 71(4), 449-482. [https://doi.org/10.1663/0006-8101\(2005\)071\[0449:EADEV\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0006-8101(2005)071[0449:EADEV]2.0.CO;2)
 - Keel-Morgan, K. (2012). *Disruptores endócrinos: efectos en peces Pimephales promelas*. (Trabajo de grado). Montevideo: Universidad de la República, Facultad de Ciencias, PEDECIBA. 99 pp.
 - Larsson, D. J., Adolffson-Erici, M. & Thomas, P. (2006). Characterization of putative ligands for a fish gonadal androgen receptor in a pulp mill effluent. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 25(2), 419-427. <https://doi.org/10.1897/05-177R.1>
 - Lasso, C. A., Morales-Betancourt, M. A., González-Cañón, G., Ajiaco-Martínez, R. E., Valderrama-Barco, M., Hernández-Barrero, S. & Bonilla-Castillo, C. A. (2011). *II. Pesquerías continentales de Colombia: cuencas del Magdalena-Cauca, Sinú, Canalete, Atrato, Orinoco, Amazonas y vertiente del Pacífico*. Bogotá D.C.: Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 156 pp.
 - Li, N., Kang, Y., Oan, W., Zeng, L., Zhang, Q. & Luo, J. (2015). Concentration and transportation of heavy metals in vegetables and risk assessment of human exposure to bioaccessible heavy metals in soil



Catalina Osorio-Peláez

- near a waste-incinerator site, South China. *Science of the Total Environment*, 521-522, 144-151. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.081>
- López-Sánchez, L.M., López-Sánchez, M.L. & Medina-Salazar, G. (2017). La prevención y mitigación de los riesgos de los pasivos ambientales mineros (PAM) en Colombia: una propuesta metodológica. *Entramado*, 13(1), 78-91. <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25138>
 - Mancera-Rodríguez, N. J. & Álvarez-León, R. (2005). Estado del conocimiento de las concentraciones de hidrocarburos y residuos organoclorados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Revista Dahlia*, 8, 89-103.
 - Mancera-Rodríguez, N. J. & Álvarez-León, R. (2006). Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 11(1), 3-23.
 - Mani, V. G. T. & Konar, S. K. (1988). Pollution hazards of the pesticide chlorpyrifos on the aquatic ecosystem. *Environment and Ecology*, 6(2), 460-462.
 - Mejía-Monterroza, G. E. & Johnson-Res-trepo, B. G. (2015). *Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en la Costa Caribe colombiana y posibles fuentes de contaminación*. [Trabajo de grado]. Cartagena: Universidad de Cartagena. Facultad de Ciencias Exactas, Departamento de Química. 109 pp.
 - Mendelssohn, I. A., Andersen, G. L., Baltz, D., Caffey, R., Carman, K., Fleeger, J., Joye, S. B., Lin, Q., Maltby, E., Overton, E. V & Rozas, L. (2012). Oil Impacts on Coastal Wetlands: Implications for the Mississippi River Delta Ecosystem after the Deepwater Horizon Oil Spill. *BioScience*, 62 (6), 562-574. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.6.7>
 - Metals Focus. (2019). *The Independent Precious Metals Consultancy*. London. En: <https://www.metalsfocus.com>.
 - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (18 de abril de 2015). Resolución 0631 de 2015. DO:49486.
 - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (16 de agosto de 2016). Concepto E2-2016-019603 de 2016.
 - Ministerio de la Protección Social de Colombia. (9 de mayo de 2007). Decreto 1575 de 2007. DO: 46623.
 - Ministerio de Agricultura. (26 de junio de 1984). Decreto número 1594 de 1984. DO: 36700.
 - Montoya, M. Y., Acosta, Y. & Zuluaga, E. (2011). Evolución de la Calidad del agua en el río Negro y sus principales tributarios empleando como indicadores los índices ICA, el BMWP/Col y el Aspt/Water quality assessment in Río Negro River and its main tributaries using ICA, BMWP/Col and ASPT. *Caldasia*, 33(1), 193-210. <https://www.jstor.org/stable/23642070>
 - Mora, J. & Calvo, G. (2010). Estado actual de contaminación con coliformes fecales de los cuerpos de agua de la Península de Osa. *Tecnología en Marcha*, 23(5), 34-40. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/56
 - Morales, C. A. & Rodríguez, N. (2004). El Clorpirifos: posible disruptor endocrino en bovinos de leche. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 17(3), 255-266. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/323948>
 - Morales, J. J. & García-Alzate, C. A. (2018). Ecología trófica y rasgos ecomorfológicos del pez *Triportheus magdalenae* (Characiformes: Triporthetidae) en el embalse El Guájaro, río Magdalena, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 66(3), 1208-1222. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v66i3.30621>
 - Noreña, R. D. A., Arenas, T. A. M., Murillo, P. E., Guío, D. A & Méndez, A. J. (2012). Heavy metals (Cd, Pb and Ni) in fish species commercially important from Magdalena river, Tolima tract, Colombia. *Tumbaga*, 2 (7), 61-76. <http://revistas.ut.edu.co/index.php/tumbaga/article/view/376/356>
 - Olivero-Verbel, J. & Tejada-Benítez, L. P. (2016). *Perfil toxicológico de los sedimentos del río Magdalena usando como modelo biológico "Caenorhabditis elegans"*. España: Universidad Internacional de Andalucía. 160 pp.
 - Ortiz-Romero, L. T. (2015). Determinación de metales pesados e índices de calidad en aguas y sedimentos del río Magdalena—tramo Tolima, Colombia. *Revista Tumbaga*,

CONTAMINACIÓN DEL AGUA

- 2(10), 43-60. <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/443251>
- Ortiz-Zarragoitia, M., Bizarro, C., Puy-Azurmendi, E. & Cajaraville, M. P. (2013). Alteración endocrina en poblaciones de peces de estuarios vascos: evaluación mediante biomarcadores y análisis histológico. *Revista de Salud Ambiental*, 13, 76-79. <https://ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/view/462/383>
 - Plan de Manejo de la Cuenca Magdalena-Cauca-PMC., (2006). PROYECTO FFE-MCORMAGDALENA. Gestión de los ecosistemas fluvio lacustres del río Magdalena, 29 de octubre de 2006 CORMAGDALENA.
 - Prieto Díaz, V. I. & Martínez de Villa Pérez, A. (1999). La contaminación de las aguas por hidrocarburos: un enfoque para abordar su estudio. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 37(1), 13-20. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30031999000100003
 - MITCH, (1973). MISIÓN TÉCNICA COLOMBO HOLANDESA - "Río Magdalena and Canal del Dique survey Project", Bogotá. pp.329.
 - Raven, P. J. & George, J. J. (1989). Recovery by riffle macroinvertebrates in a river after a major accidental spillage of chlorpyrifos. *Environmental Pollution*, 59(1), 55-70. [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(89\)90021-3](https://doi.org/10.1016/0269-7491(89)90021-3)
 - Restrepo, J. (2015). El impacto de la deforestación en la erosión de la cuenca del río Magdalena. *Revista de la Académica colombiana de Ciencias Exactas, Física y Naturales*, 39(151), 250-267. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.141>
 - Rivera, C. A., Zapata, A. M., Pérez, D., Morales, Y., Ovalle, H. & Álvarez, J. P. (2010). Caracterización limnológica de humedales de la planicie de inundación del río Orinoco (Orinoquía, Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 15(1), 145-166. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3190/319027884010>
 - Rojas Garrido, A. L. (2017). *Evaluación de la calidad del agua de la quebrada La malpaso, Medellín-Antioquia a través de índices bióticos y variables fisicoquímicas*. (Trabajo de grado). Medellín: Tecnológico de Antioquia-Institución Universitaria, Facultad de Ingeniería, Programa Ingeniería Ambiental. 64 pp.
 - Sánchez, M., López, D., Fischer, G., Acuña, J. F. & Darghan, A. E. (2019). Pesticide residues in strawberry fruits cultivated under integrated pest management and conventional systems in Cundinamarca (Colombia). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícola*, 13(1), 35-45. <https://doi.org/10.17584/rcch.2019v13i1.8409>
 - Sauvé, S. & Desrosiers, M. (2014). A review of what is an emerging contaminant. *Chemistry Central Journal*, 8(1), 1-7. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-8-15>
 - Saval, S., Lara, F., Lesser, J. M. & Nieto, J. M. (2004). Contaminación de acuíferos con hidrocarburos: Causas, efectos, riesgos asociados y medidas de prevención. En: Jiménez, B. & Marín, L. (2004). El agua en México vista desde la Academia. Pp: 968-7428. México D. F.: Academia Mexicana de Ciencias.
 - Saxena, P. K., Singh, V. P., Kondal, J. K. & Soni, G. L. (1989). Effect of some pesticides on in-vitro lipid and protein synthesis by the liver of the freshwater teleost, *Channa punctatus* (Bl.). *Environmental Pollution*, 58(4), 273-280. [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(89\)90139-5](https://doi.org/10.1016/0269-7491(89)90139-5)
 - Scholten, M. T. (2005). *Eutrophication management and ecotoxicology*. Nueva York: Springer Science & Business Media. 113 pp.
 - Singh, A., Sharma, R., Agrawal, M. & Narshall, F. (2010). Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from waste water irrigated area of Varanasi, India. *Tropical Ecology*, 51(2S), 375-387. http://www.tropecol.com/pdf/open/PDF_51_2S/J-09.pdf...
 - Torres, L. O., Osorio, K. O., Murillo, B. H., Duque, J. A. & Jaramillo, C. P. (2014). Efectos genotóxicos de los contaminantes ambientales, en peces de importancia comercial del río Magdalena, en el departamento del Tolima. *Revista Tumbaga*, 1(9), 21-53. <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/409320>



Catalina Osorio-Peláez

- Uniandes-Minamb. (2002). *Modelación de la calidad del agua del río Bogotá*. (Informe técnico). Bogotá D.C: EAAB – Universidad Nacional de Colombia. 76 pp.
- Uribe-Botero, E. (2015). *El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*. Santiago de Chile: Unión Europea-Programa EUROCLIMA (CEC/14/001). 86 pp.
- Vargas R., M. Jelsma, E. Nivia. (2001). La erradicación aérea de cultivos ilícitos: respuesta a las preguntas más frecuentes. En línea: www.usfumigation.org/literature/factsheets/contrados/contrafactsheet.htm
- Vásquez-Vélez, I. E. (2019). *El principio de proporcionalidad y la sanción penal dentro de la minería ilegal*. (Trabajo de grado). Ambato-Ecuador: Universidad Regional Autónoma de los Andes, Facultad de Jurisprudencia, Programa de Maestría en Derecho Constitucional. 100 pp.
- Wright, R. D. (1987). Market structure and competitive equilibrium in dynamic economic models. *Journal of Economic Theory*, 41(1), 189-201. [https://doi.org/10.1016/0022-0531\(87\)90013-5](https://doi.org/10.1016/0022-0531(87)90013-5)
- Zambrano, M., Casanova, R., Prada, J., Arencibia, G., Vidal, A. & Capetillo, N. (2012). Bioacumulación de hidrocarburos aromáticos policíclicos en *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833) (Arcoida: Arcidae). *Gayana (Concepción)*, 76(1), 1-9. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-65382012000200001>
- Zúñiga, O. E. O. (2018). Evaluación de la calidad microbiológica del río Magdalena y su potencial uso en la provincia del alto Magdalena (Cundinamarca). Trabajo presentando en Programa y Libro de Resúmenes del Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería- ACOFI, Cartagena, Colombia. p. 10.



Río Cauca tras el cierre del Embalse Hidroituango. Foto: Carlos A. Lasso.



7. MODIFICACIÓN DEL HÁBITAT PARA LOS PECES DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA, COLOMBIA

Héctor Angarita, Ayan Santos-Fleischmann, Carlos Rogéliz, Fernando Campo, Gabriel Narváez-Campo, Juliana Delgado, Tania Santos, Ana Santos, Guido Herrera-R y Luz Jiménez-Segura

Resumen

Este capítulo presenta una recopilación de las principales transformaciones de gran escala de los hábitats fluviales de la cuenca del río Magdalena, que han resultado de los efectos acumulativos y concurrentes de diversas intervenciones antrópicas. Los análisis integran tres factores principales para cuantificar los cambios en los hábitats de agua dulce a escala de la cuenca: a) conectividad hidrológica, b) régimen de caudales, y c) el régimen de sedimentos y geomorfológico. Cada uno de estos componentes es analizado de manera espacialmente explícita para la red fluvial, indicando las zonas que concentran los mayores niveles de transformación.

Específicamente, se documentan cambios asociados a: la pérdida de los corredores de conexión entre hábitats de zonas bajas, medias y altas; modificaciones en la conectividad lateral asociadas a la modificación del régimen de caudales por el efecto concurrente de la operación de embalses, las demandas de agua para agricultura y la expansión de la frontera agropecuaria en zonas de humedales; y cambios en los regímenes de transporte de sedimentos. A su vez, estos cambios se discuten respecto a intervenciones prospectivas de los sectores de navegación, irrigación, minería y energía. Los análisis aquí presentados pueden contribuir a acelerar la aplicación en los instrumentos de gestión de

Angarita, H., Santos-Fleischmann, A., Rogéliz, C., Campo, F., Narváez-Campo, G., Delgado, J., Santos, T., Santos, A., Herrera-R, G. & Jiménez-Segura, L. 2020. Modificación del hábitat para los peces para la cuenca del río Magdalena, Colombia. *En: Jiménez-Segura, L. & C. A. Lasso (Eds.). XIX. Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible*. Pp: 265-293. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. DOI: 10.21068/B2020RRHHXIX07

MODIFICACIÓN DEL HÁBITAT

la cuenca, incorporando la integridad de los hábitats como objetivos de la planificación inter-sectorial. Específicamente, pueden contribuir a la adopción de criterios para salvaguardar y restaurar la conectividad hidrológica, la aplicación regional de caudales ambientales; y definir prioridades de monitoreo, protección o restauración de hábitats críticos.

Palabras clave. Actividades antrópicas, agua dulce, conectividad, hábitat para peces, impactos.

Abstract

The transformation of the fluvial habitats of the Magdalena River basin has resulted from the cumulative and concurrent effects of various anthropic interventions. The analyses carried out integrate three main factors to quantify changes in freshwater habitats at the basin scale: a) hydrological connectivity, b) flow regime, and c) sediment and geomorphological regime. Each of these components is analyzed in a spatially explicit way for the river network, indicating the areas with the highest levels of transformation. Specifically, changes associated with the loss of connecting corridors between habitats in low, medium and high zones are documented; modifications in lateral connectivity associated with the modification of the flow regime due to the concurrent effect of the operation of reservoirs; the demands of water for agriculture and the expansion of the agricultural frontier in wetland areas and the changes in sediment transport regimes. In turn, these changes are discussed with respect to prospective interventions in the navigation, irrigation, mining and energy sectors. The analyses presented here can contribute to accelerate the application of management tools for better basin

management that incorporates the integrity of habitats as a major objective of inter-sectorial planning. Specifically, they can contribute to the adoption of criteria to safeguard and restore hydrological connectivity, the regional application of environmental flows and define priorities for monitoring, protection or restoration of critical habitats.

Keywords. Connectivity, fish habitat, freshwater, human activities, impacts.

Introducción

La ictiofauna de la cuenca del río Magdalena está presente en diferentes ecosistemas acuáticos (quebradas, ríos, ciénagas, caños) a lo largo del gradiente de elevación. Los ecosistemas de corrientes (quebradas y ríos) son los ambientes que más ofrecen recursos para el mayor número de las especies (Jiménez-Segura *et al.* 2020). Los ciclos de vida de algunas de las especies de peces utilizan diferentes ambientes acuáticos para cumplir su ciclo de vida. Algunas de las principales especies migratorias de largas distancias (López-Casas *et al.* 2016), por ejemplo, usan las ciénagas como área de crecimiento, los ríos como ruta de migración y deriva y, los ríos afluentes al cauce principal como lugares para desovar (Jiménez-Segura *et al.* 2016). La modificación de las condiciones físicas de estos ambientes genera alteraciones en estos ciclos de vida y tienen repercusiones en los servicios ecosistémicos que proveen los peces en la cuenca y para la población humana. En este capítulo describimos algunas de las principales modificaciones de origen antrópico sobre los ecosistemas de agua dulce en la cuenca del río Magdalena. Estos análisis se basan en la característica propia de las cuencas hidrográficas como sistemas determinados por la conectividad de los sistemas fluviales, donde los



Catalina Osorio-Peláez

hábitats de agua dulce son los receptores de los efectos de los procesos biofísicos y socio-económicos que ocurren en una cuenca hidrográfica (Dang *et al.* 2016, Fitzhugh y Vogel 2011, Yin *et al.* 2012, Fullerton *et al.* 2010, Vannote *et al.* 1980).

La evaluación de la transformación en los hábitats de agua dulce va más allá de la perspectiva oferta/demanda de agua, es decir, de los cambios en la disponibilidad de agua para los ecosistemas. Esta perspectiva considera el agua principalmente como un servicio de aprovisionamiento. Si bien, en Colombia existen importantes avances desde este enfoque (por ejemplo, los Estudios Nacionales del Agua y de Estado de los Recursos Naturales y el ambiente, IDEAM *et al.* 2018a, 2018b) y dichos análisis son necesarios como parte de la evaluación de las presiones de transformación en los sistemas fluviales (como lo demuestra su incorporación en los objetivos de desarrollo sostenible, ODS 6.4.2.), es importante reconocer que la integridad de los hábitats y los ecosistemas es un concepto más amplio, que incorpora atributos tales como la continuidad y disponibilidad de los hábitats de agua dulce, la funcionalidad ecológica de regímenes de caudales y de sedimentos, y la regulación de la química del agua, entre otros (Flotemersch *et al.* 2016). El carácter interconectado de los ecosistemas fluviales también implica que su integridad está asociada no solo a procesos locales, por ejemplo, a las intervenciones o transformaciones en el entorno inmediato (micro y meso escala), sino también a la influencia y la acumulación de procesos regionales que incluso pueden abarcar la totalidad de la cuenca (macroescala), como resultado de la acumulación e interdependencia de intervenciones que pueden ser distantes entre sí (Fullerton *et al.* 2010, Grill *et al.* 2015).

En la cuenca del río Magdalena, se alojan 36 millones de habitantes —casi del 80% de la población— y se concentran la mayoría de la actividad agrícola, el transporte fluvial de carga, la generación de hidroenergía, minería, e industria en Colombia, y por ello, es donde se concentran las mayores presiones acumulativas en los hábitats de agua dulce del país. En este contexto de presiones regionales al recurso hídrico, las mayores escalas de intervención son las asociadas a la agricultura (por expansión de la frontera agrícola dentro del plano inundable, o por consumo del agua y por infraestructuras de gran escala (generación de energía hidroeléctrica y el uso del río como vía de transporte de carga) y de menor escala, por la minería (IDEAM 2018), y por lo tanto, suponen los mayores cambios en las características hidrológicas y físicas de los sistemas acuáticos, y potencialmente en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas asociados.

El entendimiento de los impactos acumulativos de estos sectores plantea una gran cantidad de desafíos técnicos debido al alto nivel de complejidad que puede traer la comprensión de los sistemas hídricos a diferentes escalas, lo que implica la necesidad de reconocer que se requiere de un esfuerzo científico adicional para llegar a la comprensión del sistema sin caer en la sobre simplificación de los procesos y respetando la diversidad propia de los ríos. En este contexto, los análisis que aquí se presentan se basan en aproximaciones regionales de los cambios en atributos físicos de gran escala, que buscan informar una discusión de los impactos potenciales en procesos del hábitat, integrando tres factores principales: a) conectividad hidrológica, b) régimen de caudales, y c) el régimen de sedimentos y geomorfológico, para describir las transformaciones

MODIFICACIÓN DEL HÁBITAT

potenciales en la integridad de los hábitats (Figura 1).

Los análisis de estos componentes se presentan de manera espacialmente explícita sobre la red fluvial principal de la cuenca, con el propósito de mostrar las zonas que concentran los efectos acumulativos en los ecosistemas lóticos y riparios del sistema fluvial, y su potencial afectación en otros sistemas lenticos como las ciénagas. En el caso de la cuenca del Magdalena, esta información contribuye a la localización de los impactos específicos en zonas de interés, por ejemplo, en los hábitats con rangos de distribución limitados por la especificidad de las condiciones biofísicas e hidrológicas, o en las áreas de mayor riqueza de grupos particulares (i.e peces migratorios, de importancia pesquera, etc) en los cuales las alteraciones acumulativas suponen los mayores riesgos de pérdida de especies y/o servicios ecosistémicos. El análisis a escala de cuenca aquí presentado

también tiene por objeto tener en cuenta explícitamente los beneficios de la gestión y el uso de los recursos hídricos junto con las posibles repercusiones en los procesos y servicios de gran escala que los sistemas de agua dulce proporcionan de forma natural.

Área de estudio y fuentes de información

El presente estudio se desarrolló en la cuenca del río Magdalena, con un área de drenaje de aproximadamente 273.000 km². Los análisis se realizaron sobre la red fluvial de la cuenca, que consiste en el cauce principal del río Magdalena –con una longitud de 1540 km– y su red de tributarios, derivada del modelo de elevación digital HydroSHEDS de resolución 3” (Lehner y Grill 2013). La red utilizada en este estudio corresponde a 11997 km de ríos medianos y grandes (ordenes 4 a 8). Los caudales medios multianuales se encuentran el rango de 46±30 m³/s (orden 4) y 7359±203 m³/s (orden 8) (Angarita *et al.* 2018).

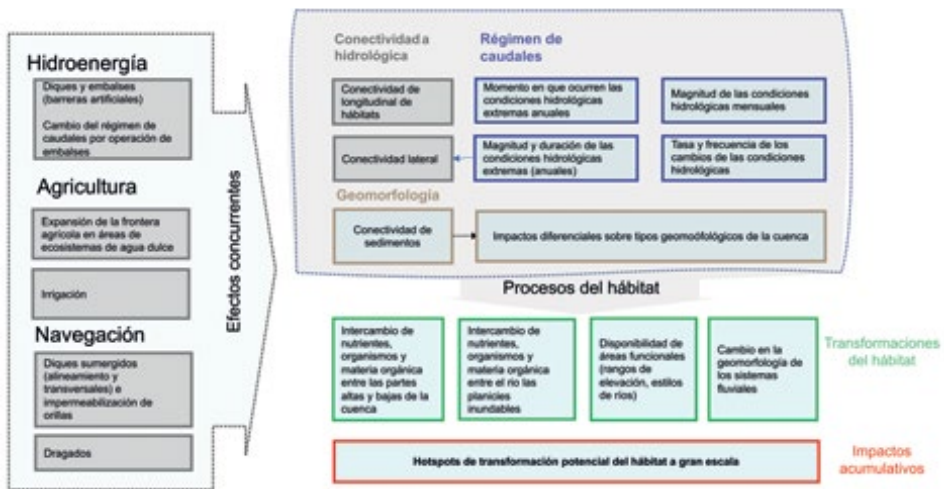


Figura 1. Componentes considerados en la evaluación de la modificación de hábitat a escala de cuenca.



Catalina Osorio-Peláez

Alteración del régimen de caudal

El régimen natural de caudal es determinante de la dinámica de procesos físicos y bióticos de la cuenca, entre otros: la conexión río-planicies de inundación; la deposición de nutrientes y materia orgánica; la recarga-descarga de la capa freática; el reclutamiento, la dispersión y la colonización de plantas riparias; la migración de peces, el desove, la incubación de embriones durante deriva y el acceso a las ciénagas; y el acceso a la humedad del suelo, entre muchos otros (Jiménez-Segura 2007, Poff y Zimmerman 2010, Arias *et al.* 2014, De Fex *et al.* 2019).

Es importante resaltar que la integridad de los patrones naturales de los caudales de la cuenca no se limita a la definición de caudales “mínimos”, sino al conjunto de atributos dinámicos del régimen hídrico. Aspectos como la frecuencia, magnitud, duración, estacionalidad y regularidad de los caudales, determinan algunas de las características físicas y ambientales de los sistemas acuáticos; en conjunto con las geoformas, definen las velocidades y profundidades del flujo y la conectividad de ríos, humedales y lagos, las tasas de erosión y socavación o acumulación de sedimentos en el lecho y las tasas de intercambio de oxígeno, y nutrientes con la atmósfera y los suelos. Los eventos extremos como pulsos de inundación de mediana y gran magnitud, reestructuran la morfología del cauce, redistribuyen sedimentos, biomasa y nutrientes a lo largo de la corriente y las zonas de inundación, modifican temporalmente los gradientes de flujo y producen corredores de conectividad entre sistemas lóticos y lénticos (Bunn y Arthington 2002, Poff *et al.* 1997, Wood 1997). Los atributos dinámicos del régimen hidrológico determinan la estructura espacial (Kemp, 2000) y temporal (Poff *et al.* 1997) de los hábitats

acuáticos, y en consecuencia son factores de presión sobre los procesos ecológicos y evolutivos en ecosistemas fluviales y riparios. En respuesta, las especies han desarrollado estrategias de historia de vida (Bohnert *et al.* 2012). Por ejemplo, los patrones migratorios y/o reproductivos de las especies se encuentran adaptados a las señales producidas por la variabilidad hidrológica anual, secular (es decir, cuyas oscilaciones son de varios años) o de muy corto plazo (donde la variación entre mínimos y máximos ocurre a intervalos de días u horas) (Bunn y Arthington 2002). La heterogeneidad, complejidad y continuidad espacial del hábitat asociada a factores hidrológicos también constituye un factor de diversidad biológica. Poblaciones de una especie responden a presiones de selección en direcciones diferentes por la heterogeneidad del hábitat asociada al régimen hidrológico.

La modificación del régimen de caudales es el resultado acumulativo de diversos procesos, por ejemplo, la operación de infraestructura que permite la regulación artificial de los caudales (por ejemplo, embalses, trasvases o desviaciones), los cambios en el uso del suelo y el consumo de agua para suplir las demandas de agua (i. e. área de riego en la agricultura), que conllevan a cambios en el balance hídrico y la distribución espacial y la variabilidad temporal de los caudales. Por ejemplo, la regulación y desviación de los flujos mediante embalses, desviaciones y trasvases, modifica la frecuencia, duración, regularidad y magnitud de los caudales en tramos extensos de los ríos, así como las características del flujo de agua sobre el planolateral. Los valores extremos de caudal durante grandes inundaciones que son poco frecuentes (por ejemplo, con periodos de retorno de 5, 10 ó más años), dejan de ocurrir en ríos regulados por efecto de la

MODIFICACIÓN DEL HÁBITAT

amortiguación que hacen los embalses y, la construcción de jarillones (diques) longitudinales, reducen la extensión de la inundación sobre humedales (ciénagas, charcas, pozas) y zonas riparias dentro del plano lateral (Rosenberg *et al.* 2000). En consecuencia, se interrumpen procesos de redistribución de sedimentos, biomasa y nutrientes a lo largo de la corriente y sobre las zonas de inundación, y se destruyen corredores de conectividad entre sistemas lóticos y lénticos (Bunn y Arthington 2002, Poff *et al.* 1997, Wood 1997). Las frecuencias de caudales bajos, por su parte, son modificadas en función de las demandas de agua o electricidad. En ríos regulados por embalses, los aportes de aguas turbinadas debido a la generación de energía provocan gradientes en la velocidad del agua, en su temperatura y en la altura de la columna del agua, a lo largo de extensos tramos de la corriente aguas debajo de la descarga (Lehmkuhl 1972). Estos cambios pueden potencialmente ser agravados por la influencia del cambio climático, en consecuencia, a las variaciones esperadas en los patrones temporales y especiales de la temperatura y la precipitación, y la consecuente respuesta en la vegetación, el balance hídrico, y las demandas de agua, entre muchos otros (Herrera-R. *et al.*, 2020).

Los cambios en el régimen de caudales naturales son acumulativos a la escala de cuenca (Dang *et al.* 2016, Poff *et al.* 1997, Richter *et al.* 1998). En la cuenca, la ubicación de las demandas hídricas (pe. captaciones, trasvases, distritos de riego) y de los embalses determinan la extensión espacial y el grado de alteración. La localización de las presas dentro de la cuenca pueden permitir la atenuación de sus impactos, en la medida que ingresen caudales de los ríos afluentes no intervenidos (Jiménez-Segura *et al.* 2014) También múltiples embalses

situados en el mismo tramo del río o subcuenca pueden amplificar la regulación artificial, lo que da lugar a una alteración hidrológica superior a la suma de los efectos individuales de los distintos embalses y a la propagación de los impactos a cientos o miles de kilómetros aguas abajo (Angarita *et al.* 2018, Fitzhugh y Vogel 2011, Piman *et al.* 2016, Richter *et al.* 1998)

Alteraciones por operación de embalses

Para evaluar los efectos en la modificación del régimen de caudales, se utilizó el método de Índices de Alteración hidrológica, o IHA (The Nature Conservancy 2011) incorporada en el software WEAP (Yates *et al.* 2005). Los IHAs son un conjunto de métricas que permiten comparar diversos aspectos del régimen de caudales entre las condiciones pre y post intervención, tales como: magnitud de las condiciones hidrológicas mensuales; magnitud y duración de las condiciones hidrológicas extremas (anuales); momento en que ocurren las condiciones hidrológicas extremas anuales y tasa y frecuencia de los cambios de las condiciones hidrológicas.

El análisis evaluó desde una perspectiva regional los impactos de la alteración hidrológica. Para estimar las series comparadas de los caudales en la extensión del río Magdalena, se identificaron las condiciones de caudales diarios naturalizados y de operación, a la salida de tres embalses con alta capacidad de regulación acumulativa de la cuenca (año de inicio operación): Betania (1988)-Quimbo (2015), Hidrosogamoso (2014) y Prado (1972), a partir de las series de afluencias no reguladas reportadas en el portal del sistema interconectado nacional para el periodo 2000-2018. Por su parte, el caudal regularizado, se estimó a partir de las series de operación



Catalina Osorio-Peláez

de embalses para este mismo periodo. Esta información se encuentra disponible al público en el portal del mercado energético de Colombia (XM 2017) (Figura 2).

Agua abajo de los embalses, los aportes por flujo lateral y la atenuación hidráulica de la alteración a lo largo de la red de drenaje fue estimada utilizando el modelo MGB - “Modelo de Grandes Bacías” (Collischonn *et al.* 2007, Pontes *et al.* 2017). MGB es un

modelo hidrológico e hidráulico de grandes escalas que ha sido ampliamente usado en América del Sur para la gestión de recursos hídricos, evaluación de zonas inundables (e. g. pronóstico, mapeo de amenazas de inundación, etc.), entendimiento de procesos hidrológicos, evaluación del impacto de embalses, uso del suelo y cambio climático (De Paiva *et al.* 2013, Fleischmann *et al.* 2019, Pontes *et al.* 2017). En este modelo, la cuenca es dividida en microcuencas, las

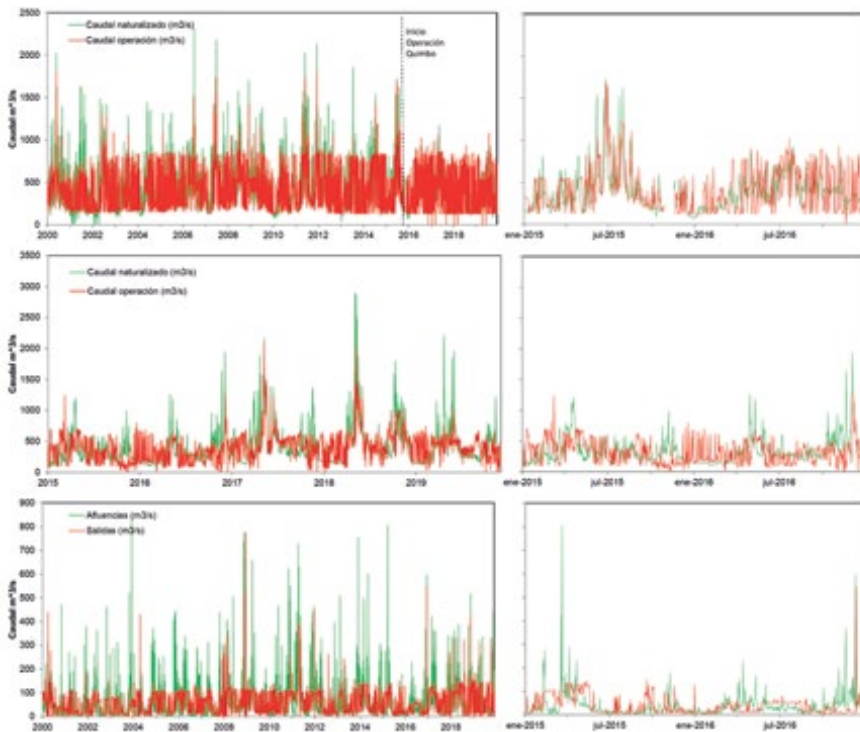


Figura 2. Series de caudales naturalizadas (verde) y de operación de embalses (rojo) para el periodo 2000-2018p (superior): río Magdalena a pie de presa de Betania (pre. Dic-2015), y Betania/Quimbo (post. Dic-2015), (medio) río Sogamoso a pie de presa Hidro-Sogamoso, y (abajo), río Prado aguas arriba de la confluencia con el Magdalena. Estas series corresponden a las condiciones de frontera de la modelación hidrodinámica presentada en la figura 4. Los paneles de la derecha muestran una ventana de la serie de tiempo para ilustrar en más detalle la comparación entre los regímenes naturales y de operación de los embalses.

MODIFICACIÓN DEL HÁBITAT

cuales a su vez son divididas en unidades de respuesta hidrológica (HRU's), donde un balance hidrológico vertical es calculado considerando los procesos de interceptación, infiltración en el suelo, evapotranspiración suelo/planta, y generación de flujo superficial, subsuperficial y subterráneo. El flujo generado es propagado a lo largo del sistema de la red de drenaje con un modelo hidrodinámico. El modelo MGB fue aplicado en la cuenca del río Magdalena con resolución temporal diaria, para el periodo 2000-2018. Las entradas en el modelo fueron los datos de precipitación diaria provenientes del producto "Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation" MSWEP (Beck *et al.* 2017) y medias de clima del "Climatic Research Unit" (New *et al.* 2002). La cuenca fue dividida en 2119 micro-cuencas y nueve HRU's basadas en mapas de cobertura y suelo obtenidos por Fan *et al.* (2015), y la calibración realizada a partir de estaciones "in-situ" de caudales del IDEAM.

Los regímenes de caudales regularizados fueron comparados con los caudales naturalizados utilizando 29 IHAs para determinar el grado de alteración hidrológica actual respecto a la condición natural. Con el objetivo de generar un análisis regional del efecto acumulativo de múltiples embalses, las series naturalizadas y de operación corresponden a un periodo instrumental común de registro de afluentes y efluentes de los embalses, y de simulación hidrológica e hidráulica de la cuenca. La figura 3 presenta la distribución espacial de las transformaciones del régimen de caudal en el cauce principal del río Magdalena asociadas al efecto acumulativo de la operación de los embalses, y la atenuación de las alteraciones a lo largo del sistema fluvial debido al ingreso de ríos no regulados. Los resultados indican que la alteración de mayor efecto regional

corresponde a la intensificación de las tasas de cambio de los caudales diarios (es decir, tasas de incremento o reducción de caudales entre días consecutivos), con un rango de impacto abarca la totalidad de la Magdalena medio, justo aguas arriba de la ciénaga de Zapatosa. El siguiente grupo de atributos con mayor impacto corresponde a los cambios en la temporalidad de eventos extremos de inundación y caudales bajos. Por su parte, los atributos asociados a los patrones estacionales, y la magnitud de caudales extremos altos y bajos, muestran el menor nivel de alteración regional.

Por su carácter regional, los cambios en la temporalidad de los extremos y la intensificación de las tasas de cambio tiene efectos en particular en la renovación de las poblaciones de las especies de peces migratorios, cuyas historias de vida están adaptadas a señales ambientales asociadas a las variaciones de alta frecuencia de los niveles y velocidades del agua durante las crecientes, donde cambios súbitos en la cantidad del agua durante los estiajes o en el área inundada pueden generar consecuencias en el estímulo para el desove, la sobrevivencia de la progenie o en las tasas de depredación al facilitar las condiciones ambientales para sobrepesca (López-Casas *et al.* 2014, López-Casas *et al.* 2016, De Fex *et al.* 2019). A su vez, este tipo de alteración regional puede potencialmente generar conflictos con otros usuarios del agua, es el caso de generar limitaciones a la navegación producto de la reducción en la altura del agua dentro del canal navegable por donde transitan las embarcaciones que utilizan el cauce principal.

Alteraciones por uso consuntivo de agua

Según las clasificaciones más recientes sobre la cobertura y el uso de la tierra,



Catalina Osorio-Peláez

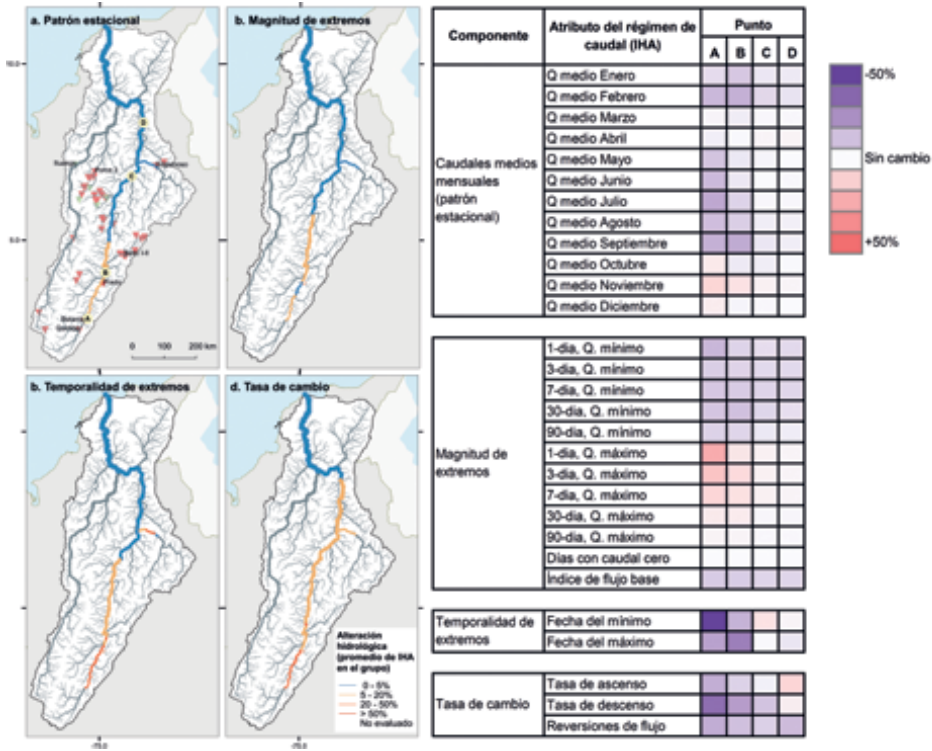


Figura 3. Distribución espacial de las transformaciones acumulativas del régimen de caudal en el cauce principal del río Magdalena generadas de la modelación hidrodinámica, a partir de diferentes índices de alteración hidrológica. Panel izquierdo: mapas con la distribución promedio del cambio para diferentes componentes del régimen de caudal. Panel derecho: cambios específicos por atributo del régimen de caudal.

en la cuenca Magdalena-Cauca las áreas naturales representan sólo el 26,8% de la superficie de la cuenca, mientras que aproximadamente el 57,6% tiene actualmente un uso productivo y (IDEAM *et al.* 2015) y la vegetación secundaria (zonas anteriormente transformadas, actualmente no productivas) representan el 13,2% del total. El porcentaje restante usos incluyen zonas urbanas (0,8%) y otros (1,6%). La ganadería representa la mayor fracción de las tierras productivas, correspondiendo al 52,9% de

la superficie de la cuenca, mientras que las otras tierras de cultivo permanentes y temporales representan el resto de las áreas productivas (DANE 2014).

Por su parte, las evaluaciones más recientes de los recursos hídricos en Colombia (IDEAM 2014, 2018) revelan que una clara mayoría del uso del agua en la cuenca del Río Magdalena ocurre en el sector de la agricultura, siendo la principal fuente de agua la precipitación directa sobre las

MODIFICACIÓN DEL HÁBITAT

zonas productivas. No obstante, la infraestructura a gran escala para la agricultura de regadío sirve a 2822,7 km² (SIPRA, s.f.), y según el Censo Nacional Agrícola (DANE 2014) las áreas agrícolas y ganaderas de pequeña escala también hacen uso de la irrigación informal: El 47,0 y el 57,9% de las explotaciones agrícolas y ganaderas, respectivamente, reconocen la práctica de la irrigación, de algún tipo, predominantemente a partir de fuentes superficiales. Sin embargo, debido a la ausencia de estadísticas fiables sobre la superficie irrigada y las extracciones de agua, sigue habiendo incertidumbres sobre la distribución espacial de los efectos acumulativos del agua que consume en la agricultura.

Con el propósito de establecer una evaluación indicativa de los impactos del uso acumulativo de agua en agricultura en los hábitats fluviales, se realizó una estimación de los consumos de agua asociados a los incrementos de evapotranspiración (ETa) relacionada con las zonas activas de producción agrícola y pecuaria y se comparó con los caudales de escorrentía en diferentes condiciones hidrológicas. Se utilizó el modelo de balance hídrico (SMM) disponible en el modelo WEAP (SEI 1992-2020) de la cuenca del Río Magdalena (Angarita 2018), que implementa el algoritmo LP (linear programming) de asignación de agua para suplir los déficits de humedad del suelo, expresadas como volúmenes de riego requeridos para mantener el almacenamiento de agua en el suelo en condiciones que eviten la marchitez de las plantas. Las demandas de agua se estiman mediante el método FAO-56, que tiene en cuenta las características de la vegetación y las condiciones de humedad del suelo, y los Kc adoptados como valores medios para múltiples tipos de cubierta vegetal presentados por Allen *et al.* (1998). A partir del modelo de

balance hídrico y de déficit de humedad en las zonas de cultivo según la clasificación de coberturas de (IDEAM, IAvH, SINCHI e INVEMAR, 2015), se determinaron los incrementos de ETa y la consecuente reducción de los caudales en los sistemas fluviales, resultantes de la aplicación de agua a través del riego (Figura 4). Para tener en cuenta el efecto de la variación temporal en el suministro de agua, se evaluaron dos casos de disponibilidad de agua: Promedio anual a largo plazo: Q0, y mensual con una probabilidad de superación del 95%: Q95 [m³/s], del período 1981-2015.

Como resultado del análisis, se estimó la reducción en caudales por efecto de irrigación (para suplir déficits de ET) en el rango de 4,1 a 9,3 Gm³/año (130 a 294 m³/s); equivalente al 1,7 a 3,8% del Caudal medio de la cuenca, es decir un efecto muy bajo. No obstante, irrigación es un uso de agua en gran parte intermitente, porque las necesidades de riego de la cuenca se concentran en los meses secos del año, de diciembre a febrero y de junio a agosto. En condiciones climáticas extremadamente secas, correspondientes a una excedencia del 95% del tiempo - Q95, la ETa por irrigación se estimó en 2,9 a 3,0 Gm³/mes (1064 a 1102 m³/s), es decir, ~21% del Q95 en la desembocadura del río (Figura 4). Estas estimaciones son similares a las comunicadas por IDEAM (2014), aunque la estimación de IDEAM de la ETa está cerca del mínimo del rango estimado (4. 1 - 9.3 Gm³/año), lo que puede explicarse por los diferentes supuestos de su evaluación, principalmente debido a la consideración la fracción de pastizales productivos que reportan algún tipo de riego en el Censo Nacional Agropecuario de 2014. A diferencia de los análisis anteriores, el análisis espacialmente distribuido de los indicadores permite también examinar los niveles de presión sobre los



Catalina Osorio-Peláez

sistemas de agua dulce con mayor detalle temporal y espacial. Como se muestra en la Figura 4, en condiciones promedio, los niveles de impacto acumulativo de la irrigación son en general bajos. Sin embargo, en condición de sequía (Q95), el efecto acumulativo de la irrigación puede agotar la escorrentía disponible en corrientes pequeñas y medianas localizadas en las zonas semiáridas situadas en las partes bajas de la cuenca, y generar reducciones sustanciales (~20%) en la oferta de agua disponible en el cauce principal del Río Magdalena. En condiciones extremadamente secas, estas reducciones pueden implicar presiones adicionales sobre las poblaciones de peces y otros grupos, por ejemplo, facilitando condiciones para incrementar la depredación de peces, y el estrés hídrico de la vegetación riparia. Al modificar sustancialmente los caudales bajos, también existen

potenciales conflictos con otros usuarios del agua. En el caso de la navegabilidad, la reducción de la profundidad de la lámina de agua afecta el calado de las embarcaciones y el radio de maniobra del canal navegable.

Los análisis aquí presentados no se han incorporado otros efectos de los consumos del sector minero-energético. Sin embargo, es importante resaltar que el agua es un factor importante en la mayoría de las formas de explotación y producción minera, como la extracción y refinamiento del petróleo, carbón y metales, o en la operación de centrales termoeléctricas (que actualmente abastecen el 25% de la electricidad del país) (IDEAM 2014).

Así mismo, no se realizó un análisis de los efectos interactivos entre la agricultura y la operación de los embalses. No obstante,

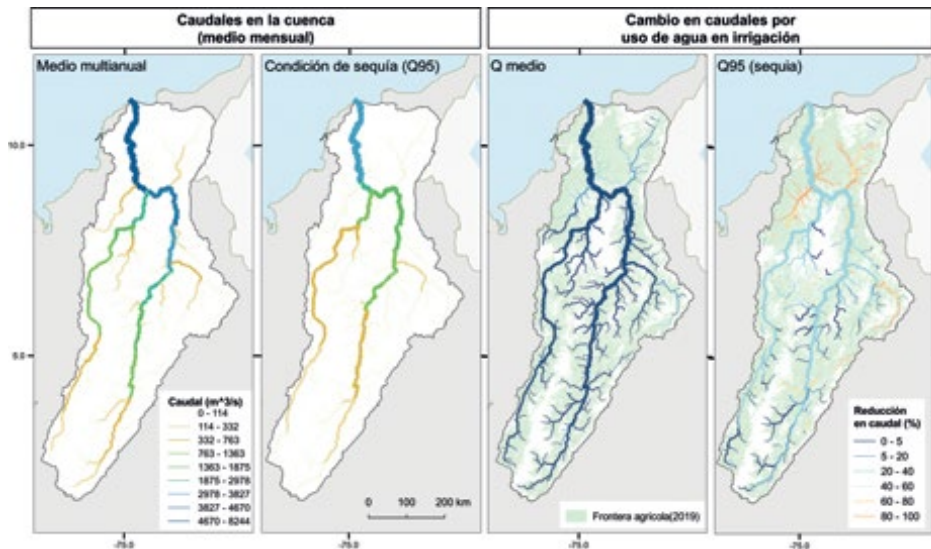


Figura 5. Cambios en habitas asociados a agricultura asociados a las reducciones (porcentuales) acumulativo en los caudales por uso del agua para riego en agricultura en condición promedio y condición de sequía.

MODIFICACIÓN DEL HÁBITAT

los resultados aquí presentados ilustran los potenciales conflictos sectoriales asociados al uso del agua por agricultura en las cuencas tributarias a las centrales hidroeléctricas de la cuenca, especialmente como resultado de la reducción de los caudales afluentes durante las temporadas secas que suponen reducciones en la firmeza de la generación eléctrica y potenciales cambios adicionales en el régimen de caudales por operación de los embalses en condiciones de estiajes amplificados.

Cambios en la conectividad de los hábitats

La conectividad se refiere a las rutas hidrológicas para la transferencia de materia, energía, genes y organismos dentro de las cuencas y el sistema de agua dulce (Fullerton *et al.* 2010). Los cambios en conectividad son similares en concepto a la fragmentación del hábitat en los ecosistemas terrestres; sin embargo, las desconexiones en los ríos son particularmente perjudiciales porque la estructura de las redes fluviales restringe el movimiento de la biota acuática a los cauces de la corriente, haciendo imposible evitar las barreras (Fullerton *et al.* 2010).

Las interconexiones del hábitat determinadas por agua generalmente describen en términos de cuatro características: longitudinal (es decir, la conectividad entre las zonas aguas arriba y debajo de la cuenca), lateral (entre los ríos, las planicies inundables y cuerpos lénticos como ciénagas y otros humedales, etc.), vertical (entre el sistema fluvial y los sistemas acuíferos) y temporal (asociada a la dinámica e intermitencia de las conexiones entre los sistemas) (Ward 1989). La conectividad es necesaria para la ocurrencia de procesos físicos y ecológicos de los ríos. La

pérdida de continuidad de ríos interrumpe el intercambio efectivo de procesos ecológicamente relevantes entre diferentes secciones de la cuenca o entre sistemas loticos y lénticos, tales como la migración de peces, y el aporte de nutrientes y sedimentos, entre otros.

La transformación en la conectividad del hábitat depende en gran medida de la configuración geográfica de las barreras artificiales como embalses, diques, trasvases, bocatomas, diques sumergidos, etc. Perturbaciones individuales en lugares específicos pueden tener repercusiones en todo el sistema, en particular cuando se interrumpe una ruta que conecta ecosistemas que cumplen diferentes funciones dentro de un mismo proceso; tal es el caso de ubicar barreras dentro de cauces que conectan ecosistemas donde los peces migratorios desovan, con otros ecosistemas donde la prole se alimenta y crece en las zonas bajas de la cuenca o, limitar el ingreso del río a las zonas de inundación al desviar la mayor cantidad del caudal hacia el canal del cauce usando diques paralelos a la margen próxima al canal de conexión entre el río y las ciénagas. También, múltiples barreras distribuidas en la cuenca, que individualmente pueden fragmentar partes relativamente pequeñas de la red fluvial pero que al acumularse pueden hacer inaccesibles grandes porciones de hábitat no sustituibles, limitando procesos ecológicos o físicos clave, como el acceso de peces adultos a las zonas de desove o el ingreso de las larvas a ciénagas en las planicies inundables, la transferencia de sedimentos y nutrientes entre las zonas altas y bajas de la cuenca ó, cuencas donde habitan especies endémicas y de alto valor para la conservación (Angarita *et al.* 2018, Herrera-Pérez *et al.* 2019, López-Casas *et al.* 2016)



Catalina Osorio-Peláez

Cambios en la conectividad longitudinal

Para evaluar los cambios en la conectividad longitudinal, se realizó un análisis espacial para determinar la fragmentación de la red fluvial por obstáculos artificiales de gran escala, como embalses y desviaciones. Respecto a la infraestructura de gran escala, este estudio se centra en los proyectos hidroeléctricos existentes (en construcción u operación), incluidos los embalses y las centrales a filo de agua, que corresponden a 34 plantas (33 en operación y 1 en construcción), con una capacidad instalada agregada de 6,89 GW (y una expansión esperada a 9,15 GW) y 17,200 millones de m³ de almacenamiento (equivalente al 8,4 % del caudal promedio anual de la cuenca, Figura 6a). Se evaluó para la condición actual de la cuenca: i) el número de fragmentos de red debidos a embalses (es decir las sub-redes fluviales que se encuentran totalmente conectados), dentro del canal principal del río Magdalena y ii) la longitud total de cada sub-red (calculada como la suma de las longitudes de tramos de red de orden 4 o superior). Esta es una medida sencilla de calcular la conectividad y fragmentación. Sin embargo, longitud de la red es un indicador eficaz para estimar riesgos de alteración de los sistemas de agua dulce, por efecto del fraccionamiento de poblaciones y comunidades, la reducción o el aislamiento del hábitat disponibles o necesarios para las diferentes etapas de la historia de vida de especies y/o grupos con rangos de distribución específicos (Dynesius y Nilsson 1994, Fischer y Lindenmayer 2007, Grill *et al.* 2015).

Actualmente, la red de drenaje de la cuenca del Magdalena, por efecto de la construcción de embalses, se encuentra longitudinalmente fragmentada en 26 sub-redes,

que representan una desconexión del 28,8% de la longitud total de la red fluvial de la cuenca (Angarita *et al.* 2018). La red principal corresponde a la red fluvial del río Magdalena conectada a la desembocadura y sus tributarios actualmente no fragmentados, que abarca una longitud total 8310 km; y aloja las planicies de la depresión Momposina y la Mojana (Figura 5). Los segmentos de la red desconectados, por su parte, se encuentran divididos en sub-redes de diferentes longitudes que incluyen la red fluvial del río Cauca y sus tributarios comprendida entre los embalses de Salvajina e Ituango (1360 km) y la red fluvial del río Sogamoso aguas arriba de Hidrosogamoso (851km). Las demás redes presentan un gran rango de longitudes, desde de 6 hasta 266 km. Las redes fragmentadas, suponen la pérdida de accesibilidad de hábitats con funciones específicas, pues la mayor pérdida de conectividad ocurre en las mayores elevaciones: sólo el 2,5% de la longitud total del río está afectada por la fragmentación en 0 a 400 m s.n.m., mientras que entre 400 y 1000 m s.n.m. la cifra es del 54,0 %, y entre 1000 y 1500 m s.n.m., del 86,9 %. Estas transformaciones a su vez impactan de manera diferencial los hábitats de los peces. En el presente capítulo, se presenta un análisis del efecto de la fragmentación en los rangos de distribución de los peces de la cuenca, haciendo énfasis en los peces de importancia pesquera.

Ocupación de los planos inundables y transformación de humedales

Otro componente de las transformaciones del hábitat se refiere a la conversión de áreas de humedal a otras coberturas de origen antrópico (pastos, cultivos, infraestructura, cría de ganado, etc.) (Figura 6). A partir de las área de intervención de humedales reportadas por Patiño *et al.*

MODIFICACIÓN DEL HÁBITAT

(2016), generados con base en el Mapa de Humedales de Colombia (IAvH 2015), y las zonas de Cobertura y uso incluidas en el Mapa nacional de ecosistemas (IDEAM *et al.* 2015), se estima el área que alrededor del 24 % de las zonas que tienen características de humedal o evidencias de que fueron humedal en el pasado reciente han sido transformadas en el país, asociados principalmente a la actividad agropecuaria: ganadería, agricultura y deforestación para ampliación de la frontera agrícola (Figura 7).

Impactos por intervenciones de mejora de la navegabilidad

La navegabilidad en el río Magdalena para el transporte de carga desde el estuario (Bocas de Ceniza) hacia la cuenca media de la cuenca, ha sido un tema de recurrente evaluación en la planificación en Colombia (Figura 8). A la fecha, el río permite el transporte anual promedio de 1,7 MT/año (ARCADIS Nederland BV y JESYCA S.A.S. 2015). Las crecientes expectativas de capacidad y continuidad de la operación de carga por navegación, requieren



Figura 6. Actividades humanas dentro de humedales del río Magdalena. a) Ganadería de búfalos dentro de ciénagas el río Magdalena (cuenca media, Barrancabermeja). b) Crías de ganado vacuno dentro de ciénagas el río Magdalena (cuenca media). c) Cultivo de palma en las márgenes del río Magdalena (cuenca media). d) Pérdida de espejo de agua de ciénagas con actividades humanas próximas (cultivos de palma y cría de búfalos). Fotografías: Luz Jiménez-Segura.



Catalina Osorio-Peláez

de la infraestructura asociada que puede afectar las relaciones ecológicas y la misma continuidad de la hidrovía así que es necesario considerar otras necesidades de la vía fluvial en la planeación de los proyectos de

navegación, incluyendo la gama completa de funciones físicas, químicas y biológicas, así como las limitaciones sociales y los requisitos que se han colocado en el sistema (PIANC 2003).

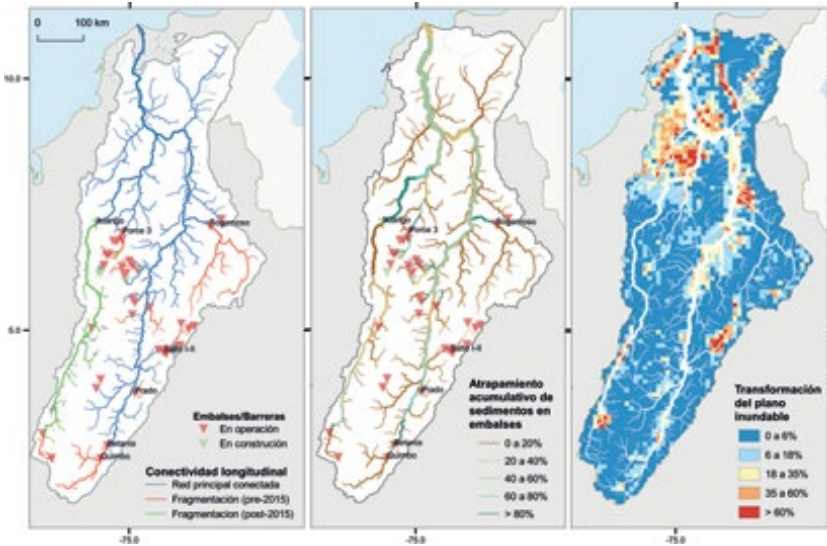


Figura 7. Cambios en la conectividad longitudinal (izquierda) y conectividad de sedimentos por retención en embalses (central) por embalses; (derecha) conectividad lateral por transformación de humedales. Adaptado de Patiño (2016).



Figura 8. Uso del río Magdalena como vía de transporte de carga. a) Transporte de carga por el río Magdalena. b) Puerto de descarga de carga sobre el río Magdalena. Fotos: Luz Jiménez-Segura.

MODIFICACIÓN DEL HÁBITAT

La atención alrededor de los impactos en los socio-ecosistemas aledaños a las intervenciones de canal navegable es actualmente sujeto de evaluación. Cormagdalena y el Ministerio de Transporte desde 2018, han planteado las nuevas consideraciones para ejecutar el proyecto de recuperación de la navegabilidad. En 2018 y 2019 el Instituto Alexander von Humboldt y Cormagdalena (IAvH y Cormagdalena 2019) desarrollaron un modelo conceptual para evaluar las posibles respuestas del sistema río Magdalena y sus planicies inundables ante las posibles tipologías de intervención planteadas para el proyecto, tomando como referencia los diseños establecidos para el tramo desde Puerto Salgar hasta Bocas de Ceniza. Este proyecto considera diques sumergidos (de alineamiento o transversales), dragados y revestimiento de orillas, en 98 áreas priorizadas. A través de un ejercicio multidisciplinar, donde también fue considerado el conocimiento de los expertos pescadores, se identificó 10 criterios para la identificación de áreas prioritarias con vulnerabilidad al conflicto en la relación pesca-navegabilidad. Los criterios son: 1) calidad de agua; 2) estado áreas de ribera; 3) diversidad asociada a macrohábitats, 4) producción pesquera, 5) conectividad longitudinal, 6) conectividad lateral, 7) conectividad altitudinal, 8) territorialidad, 9) valor de conservación (áreas protegidas RUNAP, AUNAP, ICANH), y por último 10) conocimiento experto local, derivado de las jornadas de retroalimentación con pescadores. Estos criterios fueron insumo para obtener un modelo espacial de áreas vulnerables al conflicto pesca-navegabilidad y además, aportaron para la definición del dominio espacial donde se evidenciarían las respuestas ante las intervenciones, el cual tiene una extensión de 67.783,1 km², con un porcentaje de influencia en las zonas hidrográficas del Bajo Magdalena

(33,8%), Medio Magdalena (33,4%), Bajo Magdalena-Cauca-San Jorge (20,4%), Cesar (8,1%), y en una menor proporción, sobre las Zonas Hidrográficas del Sogamoso, Nechí, Alto Magdalena, Sogamoso, Cauca y Saldaña, siguiendo la zonificación hidrográfica de Colombia (IDEAM 1998).

Las estrategias planteadas para mejorar la navegabilidad del río buscan prioritariamente el incremento de la profundidad del cauce para permitir la navegación de embarcaciones de gran calado en aquellos sectores donde la acumulación de sedimentos reduce esa profundidad. Los lugares identificados en el análisis del Instituto Alexander von Humboldt y Cormagdalena en el año 2019, indicaron que varios de estos sectores se encuentran próximos a los caños de conexión con las ciénagas localizadas dentro del sector de la cuenca media del río Magdalena y los sitios de dragados se encuentran en su mayoría en los sectores aguas abajo de la desembocadura del río Sogamoso, en proximidades de la depresión Momposina y aguas abajo de ella. El mejoramiento de la navegabilidad del cauce principal del río Magdalena y los cambios que podrían generar sobre la producción pesquera, se analizó a la luz de las modificaciones en la conectividad por la distribución en el depósito de los sedimentos y en la hidráulica del río y, teniendo en consideración la dinámica conocida de los peces migradores que usufructúan el canal del río durante todo el ciclo anual (Kapetsky *et al.* 1978, Jiménez-Segura 2007, Jiménez-Segura *et al.* 2016, López-Casas *et al.* 2016, Jiménez-Segura *et al.* 2020).

De acuerdo con lo planteado en los diseños de ingeniería, los diques sumergidos son estructuras que sólo serán efectivas durante los períodos de estiaje, ya que llevarán el agua del río hacia el canal y así



Catalina Osorio-Peláez

umentar la altura de la columna de agua, favoreciendo la navegabilidad de barcos de transporte de carga (IAvH y Cormagdalena 2019). Durante este periodo hidrológico, los peces migrantes, usan en su movimiento río arriba los sectores próximos a las márgenes, así que en aquellos sectores donde se encuentren los diques, encontrarán una margen modificada con zonas muertas resultado de la acumulación de sedimento que provoca el dique (mayor temperatura y condiciones anóxicas) y zonas de alta velocidad de flujo por donde deberán moverse si desean sobrepasar el dique. Durante los periodos de crecientes, si bien los diques trasversales no serán barrera para la deriva de embriones y larvas, producto de los desoves de estos peces, el efecto de desvío del agua hacia el canal del río, influirá en la velocidad de deriva y en su tránsito hacia aguas abajo, distante de la ciénaga donde podría haber ingresado favorecido por la inundación. De otro lado, la agradación o degradación del lecho como consecuencia de la presencia de los diques, son fenómenos asociados a la dinámica de sedimentos donde al profundizarse el canal navegable, el nivel de la lámina de agua del cauce principal se reduciría, dando pie a la pérdida de la conectividad lateral río-caño-ciénaga.

Por su parte, los dragados son una estrategia que busca profundizar el canal, extrayendo el sedimento acumulado luego de la creciente anterior del río (Restrepo *et al.* 2020). Una estrategia de uso común en el río Magdalena y con importantes implicaciones económicas (Portafolio 2019). Sin embargo, no existen estudios de valoración el efecto de los dragados para la ictiofauna en el río Magdalena; experiencias en otros ríos identifican que esta actividad genera la modificación en la estructura del sustrato, la resuspensión de sedimentos y xenobióticos en la columna

de agua y la mortalidad asociada con la acción mecánica de la draga (Paukert *et al.* 2008, Freedman *et al.* 2013). En el río Magdalena, diferentes especies habitan las márgenes donde se realizan los dragados. Entre ellas se encuentran las rayas de río *Potamotrygon magdalenae*, pequeños carácidos (p. e. *Astyanax spp*, *Hemibrycon spp*) y Siluriformes de importancia comercial como el bagre rayado, *Pseudoplatystoma magdaleniatum*. Aquellas zonas de las márgenes donde hay acumulación de troncos se denominan como palizadas y son reconocidas por los pescadores como los “amañaderos” de los bagres y a su vez, sitios de pesca.

La habilitación del cauce del río Magdalena para mejorar el transporte de carga podría entonces ser considerada como una presión a meso y micro-escala que influirá sobre la conectividad lateral y longitudinal, así como sobre la estructura del microhabitats presentes dentro del cauce principal del río Magdalena y, con ello, en la productividad biológica y pesquera del río.

Distribución de sedimentos y geomorfología del cauce

Los principios de la geomorfología fluvial proporcionan herramientas de gran utilidad para el entendimiento del carácter y comportamiento de los ríos que puede servir de manera práctica para el análisis de los diferentes elementos que soportan la integridad ecológica de los sistemas fluviales. Aunque las formas y los procesos asociados a las características geomorfológicas, por si solos no pueden abordar todas las preocupaciones de la sostenibilidad ecológica y el manejo de la biodiversidad, estas preocupaciones no pueden manejarse de manera independientemente de las consideraciones geomorfológicas (Brierley y Fryirs 2005).

MODIFICACIÓN DEL HÁBITAT

La transformación geomorfológica debido a los cambios en la carga de sedimentos es otro importante factor de cambio en los sistemas de agua dulce (Vörösmarty *et al.* 2003). Los cambios en la carga de sedimentos son responsables de una serie de impactos, como la erosión y el hundimiento de los deltas de los ríos (Syvitski *et al.* 2009), la incisión progresiva o los cambios incrementales en la sinuosidad de los canales y la erosión de los bancos (Grant *et al.* 2003), y la transformación de los humedales y las llanuras de inundación en cuerpos de agua permanentes; e indirectamente, como consecuencias de estos impactos, la desestabilización de infraestructuras como puentes, protecciones de los bancos, diques, etc.

Estudios recientes a macro-escala han explorado diferentes factores de alteración del balance de sedimentos en la cuenca y su relación con los procesos geomorfológicos. Angarita *et al.* (2018), analizaron los impactos acumulativos por la retención de sedimentos en embalses (Figura 5), estimada para el año 2020 en 39,9 %, considerando los embalses actualmente en operación y en construcción mostrados en la figura 5. Por su parte, Restrepo *et al.* (2006), evaluaron los efectos asociados al potencial incremento en la producción asociado a la pérdida de la cubierta natural (que corresponde a una tasa de 1,4 a 1,9 %/año) (Etter *et al.* 2006, Restrepo *et al.* 2006). Si bien, no se comprende bien la dinámica del balance de sedimentos en el sistema fluvial del Magdalena, las estimaciones de los cambios de los componentes del balance son indicadores del potencial desequilibrio en el transporte de sedimentos, que pueden inducir diversas transformaciones en los hábitats, como el hundimiento neto o la saturación de sedimentos de los humedales y planicies

ribereñas, y una transformación progresiva en cuerpos de agua permanentes. Un ejemplo de estas alteraciones ha sido estudiado en el trabajo realizado por Laverde y Franco (2016) mediante la evaluación del impacto de los embalses por retención de sedimentos sobre la morfología del río Magdalena mediante el análisis de tramos representativos en el comportamiento sedimentológico entre el embalse de Betania y el municipio de Regidor. Este estudio mostró que la construcción del embalse de Betania ocasionó la retención del 73 % de la carga sólida y se estimó que el impacto se prolonga 400 km aguas abajo hasta la cuenca media.

A meso y microescala, el efecto de la minería aluvial para extracción de oro y de materiales para construcción ha sido poco o nada explorado a pesar de sus repercusiones en la estructura del hábitat para los peces y de las ya valoradas implicaciones en la condición química del agua y sus repercusiones en la salud humana (García y De La Parra 2020, Figura 9). En la cuenca convergen un amplio rango de extracciones mineras y procesos de transformación, desde numerosas intervenciones informales de pequeña escala (Güiza 2013), hasta grandes complejos mineros o industriales; sin embargo, no existe un marco de análisis para evaluar su efecto concurrente y acumulativo sobre los hábitats fluviales. La mayoría de los estudios existentes aportan información a escala local, por ejemplo, en la contaminación del agua por la disposición de subproductos líquidos (i.e. aguas contaminadas por metales pesados) y su propagación en las cadenas tróficas y los modos de vida (Fernandez-Maestre *et al.* 2018, Olivero-Verbel *et al.* 2011, Marrugo-Negrete *et al.* 2008).

Impactos acumulativos agregados

Una vez estimadas las presiones sobre funciones clave como la regulación hidro-



Catalina Osorio-Peláez



Figura 9. Registro visual de las diferentes actividades de extracción de materiales y minerales en algunos ecosistemas acuáticos dentro de la cuenca del río Magdalena. Fotos: a) Dragas artesanales en el río Cauca. Foto: Luis J García Melo. b) Lavado de minería artesanal de oro en el río Cauca. Foto: María Arboleda. c) Minería de oro en quebrada Quebradona, ciénaga de Ayapel. Foto: Alvaro Wills. d) Extracción de cascajo en cauce del río Magdalena. Foto: Luz Jiménez-Segura.

lógica, regulación de los sedimentos, conectividad hidrológica, y la provisión de hábitat (Flotemersch *et al.* 2016), se realizó una evaluación de la distribución de dichos impactos respecto a la biodiversidad de peces de la cuenca. Este análisis provee una aproximación de gran escala sobre los cambios actuales en la integridad de la cuenca respecto a su capacidad de mantener procesos y funciones ecológicas esenciales para la sostenibilidad de la biodiversidad de peces y de los recursos y servicios que esta provee.

Se adoptaron como referencia los modelos espaciales de: i) riqueza de peces de la cuenca —correspondientes a 115 de 236 especies de las que se dispone de registros para construir modelos de distribución— y ii) riqueza de peces de importancia pesquera reportados por García-Alzate *et al.* (2020). En cada caso, se establece la distribución de los impactos descritos en acápite anterior en relación con la distribución de riqueza (Figura 10 a y b). Los resultados de este análisis proveen una indicación de la acumulación los efectos diferentes

MODIFICACIÓN DEL HÁBITAT

estresores de biodiversidad de agua dulce y de su impacto relativo a la heterogeneidad de la biodiversidad de agua dulce.

Es importante mencionar la interdependencia de los impactos mencionados a los efectos del cambio climático. Recientes evaluaciones de escenarios prospectivos de cambio climático en la cuenca Magdalena-Cauca (para el horizonte de 2015-2040) del IPCC-CMPI5 (GISS- E2-R, MRI-CGCM3, y MPI-ESM-MR; para los RCP 4,5 y 8,5), se caracterizan por una variabilidad ampliada durante las sequías y los períodos húmedos extremos en comparación con el período de referencia histórico (Angarita *et al.* 2018b). La reducción de las precipitaciones y el aumento de la temperatura reducen a su vez, los caudales en condición de caudales bajos y consecuentemente

condiciones de conectividad lateral que determinan el almacenamiento en las llanuras de inundación durante condiciones secas a extremadamente secas (correspondientes a los cuantiles 75 y superiores), en todas las estaciones. Asimismo, las predicciones indican incrementos en las magnitudes caudales extremos altos para todos los escenarios, y cambios en la temporalidad de eventos a lo largo del año.

Aspectos legales y normativos de la evaluación de impactos de gran escala en el desarrollo de los sectores hidro-dependientes de la cuenca del Magdalena

La Política de Gestión Integral del Recurso Hídrico (Minambiente 2010) plantea un ejercicio de planificación multiescalar con una aproximación de la escala más general

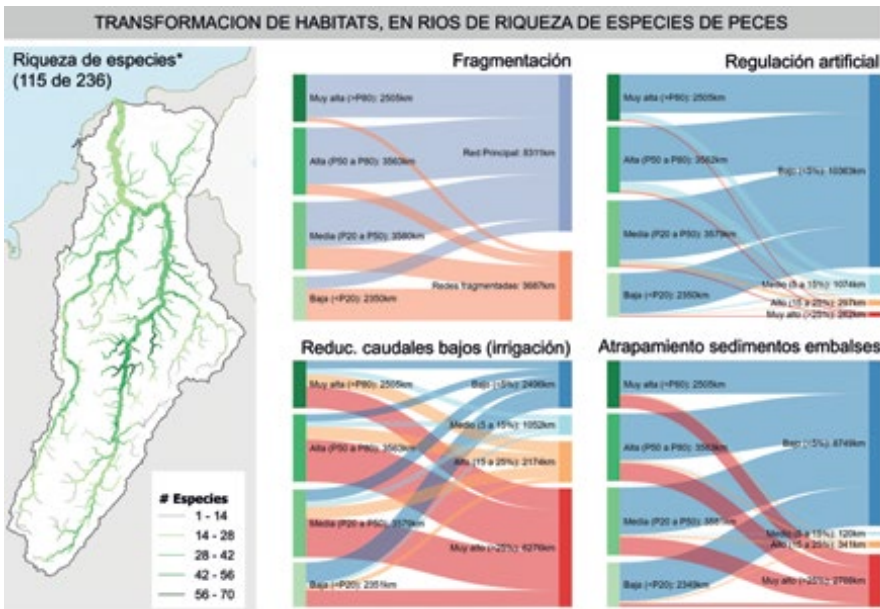


Figura 10 a. Distribución espacial de riqueza de peces considerados en el análisis de impactos acumulativos en la transformación de hábitats (izquierda, en porcentaje).



Catalina Osorio-Peláez



Figura 10 b. Distribución espacial de riqueza de peces de interés para la pesca considerados en el análisis de impactos acumulativos en la transformación de hábitats (izquierda, en porcentaje).

a la más particular. En los Planes Estratégicos de Macrocuencas (PEM) se definen lineamientos generales de acuerdo con los motores de transformación identificados en cada Macrocuenca y se priorizan subcuencas para incluir los lineamientos en instrumentos de menor escala, como los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas (POMCA), Planes de Ordenamiento del Recurso hídrico (PORH), Rondas Hídricas, etc. Particularmente, en la cuenca Magdalena Cauca se definen POMCA con potencial de generación de hidroenergía y donde deben conservarse áreas para garantizar la oferta de agua. También se priorizan POMCA donde existe actividad minera, industriales y explotación de hidrocarburos (Unión temporal cuencas Magdalena-Cauca y Caribe 2018)

donde deben definirse objetivos de calidad de agua e incluir determinantes identificados en vertimientos de hidrocarburos.

Una vez se baja de escala, en la fase de formulación de POMCA se debe definir planes y programas que propendan por cumplir los lineamientos definidos en el PEM y se priorizan segmentos de ríos donde se deben adelantar Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico PORH, rondas hídricas y definir caudales ambientales.

Los PORH (Minambiente 2014) tienen por objetivo definir metas de calidad de agua de acuerdo con usuarios aguas abajo, cargas máximas por tipo de usuario y caudales máximos de vertimiento para alcanzar dicha meta.

MODIFICACIÓN DEL HÁBITAT

Las rondas hídricas se han conocido en Colombia tradicionalmente de acuerdo con la definición que se determinó en los Código Nacional de Recursos Naturales (República de Colombia 1972), como las fajas paralelas a los ríos de 30 metros a lado y lado del cauce principal. A partir de 2014, la definición de ronda hídrica busca que esta área se establezca con criterios técnicos y en 2017 (Minambiente 2017b) se adopta la metodología para definir el área funcional que requieren los ríos de acuerdo con tres criterios: geomorfológico, hidrológico y ecosistémico.

El caudal ambiental también se encuentra en proceso de evolución para incorporar análisis que permitan garantizar la salud del ecosistema río y la viabilidad de las especies que lo habitan. Actualmente se encuentra en evaluación una metodología que incorporar el análisis del caudal funcional del río que permite asegurar la conectividad longitudinal y lateral, el caudal necesario para el transporte de nutrientes y sedimentos y el refugio el área de zonas muertas requerida para la reproducción y crecimiento de algunas especies (Minambiente 2017a).

Por otro lado, los usuarios del agua deben solicitar permisos para construir y operar sus proyectos. Los grandes proyectos se presentan a la ANLA, siguiendo los términos de referencia donde se detalla la información que debe incluirse. Particularmente los términos de referencia para proyectos de centrales hidroeléctricas se actualizaron en el año 2017. Incluyen primero la definición de un área de influencia del proyecto, de acuerdo con los impactos físicos, socioeconómicos y bióticos. Adicionalmente debe establecerse los servicios ecosistémicos antes y después del proyecto. Respecto a la ictiofauna, deben identificarse las especies

endémicas, migratorias, en peligro de extinción, sus hábitats, cadena trófica, estudios reproductivos, rutas longitudinales y laterales tanto en el canal principal como en los tributarios. Debe realizarse un análisis de los efectos en diversas escalas, desde el segmento hasta la macrocuenca y considerar las condiciones de alteración acumulada. Con esta información deben calcularse índices de integridad biótica. Los índices, régimen de flujo y todos los estadísticos representativos deben buscar mantenerse en la condición con proyecto, de tal forma que el río mantenga estas métricas lo más parecidas posible a las naturales (ANLA 2017).

Los impactos que genere el proyecto, manteniendo dichas métricas y condiciones de naturalidad, deben ser prevenidos, mitigados, corregidos o compensados y presentados como parte del EIA. Para estos proyectos deben presentarse el Plan de Compensación por pérdida de biodiversidad, (RES 1517 de 2012) donde el ecosistema que va a ser alterado, su extensión e importancia nacional debe ser evaluada. Las áreas equivalentes de compensación, acciones y resultados esperados deben ser definidos en el plan (ANLA 2017).

Recientemente se realizó la aplicación del marco técnico de "River Styles" (Brierley y Fryirs 2005) como una aproximación a la interpretación del carácter, el comportamiento, la condición y el potencial de recuperación del río (Nardini *et al.* 2019). El proyecto se enfocó en la etapa de caracterización y la clasificación (1 de 4), como herramienta para establecer una línea base de la diversidad geomorfológica del río y guiar decisiones estratégicas para gestionar decisiones de manejo que reduzcan los efectos indeseables en la dinámica y carácter geomorfológico del río. Nardini



Catalina Osorio-Peláez

et al. (2019) identificaron 29 estilos de ríos en el cauce principal del río Magdalena y 32 estilos de ríos en el cauce principal del río Cauca. A su vez, la comprensión del comportamiento de cada tramo puede, por supuesto, apoyar la planificación a escalas más finas, identificando rasgos de comportamiento de los tramos fluviales que son de relevancia para las decisiones de intervención o gestión basados en 4 principios básicos: (1) Respetar la diversidad de los ríos, (2) Trabajar con el comportamiento dinámico del río, (3) Trabajar con vínculos entre procesos biofísicos y (4) Utilizar la geomorfología como plantilla física integrada para la gestión de los ríos (Brierley y Fryirs 2005).

Conclusiones

Se presenta un marco de evaluación y la línea base de los efectos acumulativos en atributos de gran escala que determinan la integridad de los hábitats de la cuenca de Magdalena: (i) conectividad hidrológica, (ii) características del régimen de caudales y (iii) conectividad de sedimentos e integridad geomorfológica y su relación a con efectos concurrentes de diferentes sectores. Los resultados indican que existen niveles importantes de alteración en cada uno de estos componentes. En el caso de la conectividad hidrológica, actualmente existen altos niveles de alteración asociados a la pérdida de la conexión entre hábitats de zonas bajas (como las zonas de humedales y ciénagas de las zonas bajas) y las zonas medias y altas localizadas en elevaciones superiores a 400 m s.n.m, que indican importantes reducciones en la disponibilidad de hábitats para grupos de especies importantes como los peces migratorios. Por su parte, las principales modificaciones en la conectividad lateral se encuentran asociadas a la modificación del régimen de caudales por el efecto concurrente de la

operación de embalses y las demandas de agua para agricultura. En particular, se documentan variaciones importantes en la magnitud y temporalidad de caudales altos anuales de diferentes duraciones (1, 3 y 7 días) en toda la extensión del Magdalena alto y medio; la ausencia de estos eventos reduce la temporalidad y la duración de la conectividad lateral entre ríos y ciénagas; sumados a incrementos sustanciales en las tasas de cambio en los caudales, que posiblemente limitan los procesos de diferentes grupos de especies, como los peces que realizan migraciones reproductivas. Otros impactos relevantes incluyen el efecto de las demandas de agricultura durante las condiciones de sequía. A través del análisis del efecto concurrente entre la infraestructura de gran escala de distritos de riego, y la irrigación informal, se identificaron las reducciones estimadas en condiciones de caudales bajos, en alrededor de 20 % para el cauce principal del río Magdalena, y en otros ríos tributarios de pequeño y gran tamaño de hasta 80 %.

Es importante mencionar que algunos de los tramos aquí identificados como receptores de impactos acumulativos, también corresponden a zonas de las intervenciones prospectivas de sectores como la agricultura o la navegación. Por ejemplo, el proyecto de mejora de la navegabilidad del río Magdalena; si bien la especificación y localización de las obras a ejecutar se encuentra en proceso de revisión, propone intervenciones como aumentar la profundidad del canal, la construcción de diques sumergidos longitudinales o la impermeabilización de orillas para encausar los caudales bajos, que tendrán impactos adicionales en la conectividad lateral en las zonas identificadas en este estudio, al potencialmente modificar los umbrales de caudal necesarios para alcanzar la conectividad lateral

MODIFICACIÓN DEL HÁBITAT

entre ríos y ciénagas, y las velocidades y capacidad de transporte de sedimentos, con repercusiones en la funcionalidad de los hábitats fluviales. Por su parte, evaluaciones recientes de las zonas potenciales para el desarrollo de la irrigación en gran escala indican que ésta podría ampliarse a 62.452 km² de la cuenca, lo que supone un aumento sustancial en las demandas de agua y/o la transformación de cuerpos de agua, en comparación con las condiciones de referencia aquí evaluadas (SIPRA n.d.).

En última instancia, el efecto concurrente de estos procesos también genera conflictos entre los diferentes sectores analizados. Por ejemplo, los efectos aquí documentados asociados a la reducción de caudales bajos por efectos de la intermitencia en la operación de los embalses (y amplificadas por las demandas de agricultura durante condiciones de estiaje), implican reducciones en la disponibilidad de agua en tramos extensos del cauce principal del río Magdalena, que tendrán efectos apreciables en la capacidad y la operación de la navegación o la irrigación. Los aportes aquí presentados son avances útiles para reconocer las interacciones negativas, o positivas entre planes sectoriales, y avanzar en una planificación integrada.

Recomendaciones y perspectivas

Los ecosistemas de agua dulce son particularmente susceptibles a la degradación por las transformaciones en los hábitats, como lo demuestran tendencias a nivel global: los humedales están desapareciendo tres veces más rápido que los bosques, y las poblaciones de vertebrados de agua dulce han disminuido más del doble que las poblaciones terrestres o marinas (Tickner *et al.* 2020). Aquí se presenta un conjunto documentado de amenazas a la biodiversidad de agua dulce de la cuenca del Magdalena,

que pueden servir para adelantar acciones coordinadas para evitar impactos adicionales que puedan precluir los procesos de los ecosistemas de agua dulce de la cuenca y los múltiples beneficios que proveen a la sociedad.

Los análisis aquí presentados, demuestran que la escala y la interdependencia de los impactos actuales requiere avanzar de manera prioritaria en la coordinación estratégica, y a escala de cuenca, de los diversos sectores presentes. Eso permitirá evitar y minimizar los conflictos ambientales y sociales, explorar sinergias potenciales entre los sectores, y reconocer el rol de los hábitats y ecosistemas fluviales como objetivos per se de la gestión del agua y la cuenca.

No obstante, es indispensable expandir los marcos analíticos para incorporar las consideraciones regionales de estos efectos acumulativos a escala de la cuenca de estas actividades.

Con el ánimo de propender por un desarrollo sostenible, los avances recientes en la normatividad ambiental colombiana se han definido una serie de instrumentos para planificar el desarrollo territorial y las intervenciones en los sistemas fluviales, y licenciar proyectos de intervención del río que pueden afectar el hábitat, el régimen hídrico, la conectividad longitudinal y lateral, o la calidad de agua. Los aportes aquí presentados pueden ser de utilidad para la adopción de metodologías y herramientas para evaluar dichos impactos acumulativos y guiar evaluaciones estratégicas para la planificación de los sectores que concurrentemente afectan a gran escala los hábitats de agua dulce de la cuenca. En particular, los análisis aquí presentados, indican la posibilidad de complementar la regulación



Catalina Osorio-Peláez

existente para la adopción de criterios de análisis regional y acumulativo de impactos de proyectos de infraestructura en la cuenca Magdalena-Cauca, considerando: (i) oportunidades de articulación de los instrumentos de planificación, a partir del reconocimiento del carácter interconectado de las unidades de análisis de menor escala (por ejemplo las sub zonas hidrológicas), (ii) de determinación de las áreas de influencia conjunta de los efectos acumulativos de varias intervenciones para informar la delimitación de áreas de influencia directa de los proyectos, y (iii) La posibilidad de incorporar los procesos de gran escala de los hábitats como objetivo del manejo de la cuenca Magdalena Cauca.

Bibliografía

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper (Vol. 56). Rome: FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e00.htm>
- Angarita, H., Wickel, A. J., Sieber, J., Chavarro, J., Maldonado-Ocampo, J. A., Herrera-R, G. A., ... Purkey, D. (2018). Basin-scale impacts of hydropower development on the Mompós Depression wetlands, Colombia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(5). <https://doi.org/10.519/4hess-22-2839-2018>
- Angarita, Hector. (2018). A comprehensive framework for regional interactions between urban and freshwater systems. (Tesis doctoral). Bogotá, D.C.: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. 138pp
- Angarita, Hector, Chavarro, J., Verdugo, N., Ruiz, F., Gonzalez, J., Carlos A., R., & Ruiz-Carrascal, D. (2018). Impacts of mid-term climate change on wetland and floodplain dynamics: a case study in the Magdalena River Basin. Trabajo presentado en 12th international symposium on Ecohydraulics. Tokio. 4 pp.
- Angarita, Héctor, Wickel, A. J., Sieber, J., Chavarro, J., Maldonado-Ocampo, J. A., Herrera-R, G. A., ... Purkey, D. (2018). Basin-scale impacts of hydropower development on the Mompós Depression wetlands, Colombia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22, 2839-2865. <https://doi.org/10.5194/hess-22-2839-2018>
- Arcadis Nederland BV, & Jesyca S.A.S. (2015). Plan Maestro Fluvial de Colombia 2015. (informe técnico) Bogotá D.C, Colombia: Ministerio de Transporte y Departamento Nacional de Planeación 108 pp
- Beck, H. E., Van Dijk, A. I. J. M., Levizzani, V., Schellekens, J., Miralles, D. G., Martens, B., & De Roo, A. (2017). MSWEP: 3-hourly 0.25° global gridded precipitation (1979-2015) by merging gauge, satellite, and reanalysis data. *Hydrology and Earth System Sciences*. <https://doi.org/10.5194/hess-21-589-2017>
- Bohnert, H. J., Nelson, D. E., & Jensen, R. G. (2012). Adaptations to Environmental Stresses. *Plant Biochemistry*, 7(7), 1099-1111.
- Brierley, G. J., & Fryirs, K. A. (2005). Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework. *Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework*, 1-398. <https://doi.org/10.1002/9780470751367>
- Bunn, S. E., & Arthington, A. H. (2002). Basic Principles and Ecological Consequences of Altered Flow Regimes for Aquatic Biodiversity. *Environmental Management*, 30(4), 492-507. <https://doi.org/10.1007/s00267-002-2737-0>
- DANE. (2016). Tercer censo Nacional Agropecuario. Tomo 2 - Resultados. <https://www.dane.gov.co/files/images/foros/foro-de-entrega-de-resultados-y-cierre-3-censo-nacional-agropecuario/CNATomo2-Resultados.pdf>. 1084 pp.
- Dang, T. D., Cochrane, T. A., Arias, M. E., Van, P. D. T., & de Vries, T. (2016). Hydrological alterations from water infrastructure development in the Mekong floodplains. *Hydrological Processes*, 30(21), 3824-3838. <https://doi.org/10.1002/hyp.10894>
- De Paiva, R. C. D., Buarque, D. C., Collischonn, W., Bonnet, M. P., Frappart, F., Cal-

MODIFICACIÓN DEL HÁBITAT

- mant, S., & Bulhões Mendes, C. A. (2013). Large-scale hydrologic and hydrodynamic modeling of the Amazon River basin. *Water Resources Research*, 49(3), 1226–1243. <https://doi.org/10.1002/wrcr.20067>
- Dynesius, M., & Nilsson, C. (1994). Fragmentation and Flow Regulation of River Systems in the Northern Third of the World. *Science* (New York, N.Y.), 266(5186), 753–762. <https://doi.org/10.1126/science.266.5186.753>
 - Etter, A., McAlpine, C., Wilson, K., Phinn, S., & Possingham, H. (2006). Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 114(2–4), 369–386. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.11.013>
 - Fan, F., D.C., B., P.R.M., P., & Collischonn, W. (2015). Um mapa de unidades de resposta hidrológica para a América do Sul. Trabajo presentado en *Anais Do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. ABRH.
 - Fernandez-Maestre, R., Johnson-Restrepo, B., & Olivero-Verbel, J. (2018). Heavy Metals in Sediments and Fish in the Caribbean Coast of Colombia: Assessing the Environmental Risk. *International Journal of Environmental Research*, 12(3), 289–301. <https://doi.org/10.1007/s41742-018-0091-1>
 - Fischer, J., & Lindenmayer, D. (2007). Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis. *Global Ecology and Biogeography*, 265–280. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2006.00287.x>
 - Fitzhugh, T. W., & Vogel, R. M. (2011). The impact of dams on flood flows in the United States. *River Research and Applications*, 27(10), 1192–1215. <https://doi.org/10.1002/rra.1417>
 - Fleischmann, A., Paiva, R., & Collischonn, W. (2019). Can regional to continental river hydrodynamic models be locally relevant? A cross-scale comparison. *Journal of Hydrology X*, 3, 100027. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2019.100027>
 - Flotemersch, J. E., Leibowitz, S. G., Hill, R. A., Stoddard, J. L., Thoms, M. C., & Tharme, R. E. (2016). A watershed integrity definition and assessment approach to support strategic management of watersheds. *River Research and Applications*, 22(July 2011), 1085–1095. <https://doi.org/10.1002/rra>
 - Freedman, J. A., Carline, R. F., & Stauffer Jr, J. A. Y. R. (2013). Gravel dredging alters diversity and structure of riverine fish assemblages. *Freshwater Biology*, 58(2), 261–274. <https://doi.org/10.1111/fwb.12056>
 - Fullerton, A. H., Burnett, K. M., Steel, E. A., Flitcroft, R. L., Pess, G. R., Feist, B. E., ... Sanderson, B. L. (2010). Hydrological connectivity for riverine fish: Measurement challenges and research opportunities. *Freshwater Biology*, 55(11), 2215–2237. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2010.02448.x>
 - Grant, G. E., Schmidt, J. C., & Lewis, S. L. (2003). A Geological Framework for Interpreting Downstream Effects of Dams on Rivers. En J. E. O'Connor & G. E. Grant (Eds.), *A Peculiar River* (pp. 209–225). American Geophysical Union. 17 pp. <https://doi.org/10.1029/007WS13>
 - Grill, G., Lehner, B., Lumsdon, A. E., MacDonald, G. K., Zarfl, C., & Reidy Liermann, C. (2015). An index-based framework for assessing patterns and trends in river fragmentation and flow regulation by global dams at multiple scales. *Environmental Research Letters*, 10(1), 015001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/1/015001>
 - Güiza, L. (2013). Small scale mining in Colombia: Not such a small activity. *DYNA* (Colombia), 80(181), 109–117.
 - Herrera-Pérez, J., Parra, J. L., Restrepo-Santamaría, D., & Jiménez-Segura, L. F. (2019). The Influence of Abiotic Environment and Connectivity on the Distribution of Diversity in an Andean Fish Fluvial Network. *Frontiers in Environmental Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00009>
 - Herrera-R, G. A., Oberdorff, T., Anderson, E. P., Brosse, S., Carvajal-Vallejos, F. M., Frederico, R. G., Tedesco, P. A. (2020). The combined effects of climate change and river fragmentation on the distribution of Andean Amazon fishes. *Global Change Biology*, 26(10), 5509–5523. <https://doi.org/10.1111/gcb.15285>
 - IAvH, & CORMAGDALENA (2019). Resuestas socioecológicas en el marco de la navegabilidad en el Río Magdalena. Convenio



Catalina Osorio-Peláez

- 18-142 IAvH Convenio 1-0005-2018 CMG (informe técnico). Bogotá, D.C: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt y CORMAGDALENA. 32 pp
- IDEAM. (2013). Zonificación hidrográfica y codificación de cuencas hidrológicas en Colombia. Bogotá. (Reporte técnico). Bogotá, D.C. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 47 pp
 - IDEAM. (2014). Estudio Nacional del Agua (Reporte técnico). Bogotá, D.C. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 493 pp
 - IDEAM, IAvH, SINCHI, & INVEMAR. (2015). Mapa general de ecosistemas de Colombia (Reporte técnico) Bogotá D.C. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, e Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés.
 - Jiménez-Segura, L. F., Maldonado-Ocampo, J. A., & Pérez-Gallego, C. M. (2014). Gradiente de recuperación longitudinal en la estructura de la ictiofauna en un río andino regulado. *Biota Colombiana*, 15(2), 61–80.
 - Kemp, J. (2000). The habitat-scale ecohydraulics of rivers. *Ecological Engineering*, 16(1), 17–29. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(00\)00073-2](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(00)00073-2)
 - Laverde, L., & Franco, A. (2016). Impact Evaluation of Dams by Sediment Retention on the Morphology of Magdalena River through the Analysis of Sedimentological Behavior among Betania Reservoir and Regidor's Town (Trabajo de grado). Bogotá, D.C, Colombia: Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería. 143 pp.
 - Lehmkuhl, D. M. (1972). Change in thermal regime as cause of reduction of Benthic fauna downstream of a reservoir. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. 29(9): 1329-1332. <https://doi.org/10.1139/f72-201>
 - Lehner, B., & Grill, G. (2013). Global river hydrography and network routing: baseline data and new approaches to study the world's large river systems. *Hydrological Processes*, 27(15), 2171–2186.
 - López-Casas, S., Jiménez-Segura, L. F., Agostinho, A. A., & Pérez, C. M. (2016). Potamodromous migrations in the Magdalena River basin: bimodal reproductive patterns in neotropical rivers. *Journal of Fish Biology*, 89(1), 157–171. <https://doi.org/10.1111/jfb.12941>
 - López-Casas, S., Jiménez-Segura, L. F., & Pérez-Gallego, C. M. (2014). Peces migratorios al interior de una central hidroeléctrica: caso Miel I, cuenca del río Magdalena (Caldas-Antioquia), Colombia. *Biota Colombiana*, 15(2), 26–39.
 - Marrugo-Negrete, J., Benitez, L. N., & Olivero-Verbel, J. (2008). Distribution of Mercury in Several Environmental Compartments in an Aquatic Ecosystem Impacted by Gold Mining in Northern Colombia. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 55(2), 305–316. <https://doi.org/10.1007/s00244-007-9129-7>
 - Nardini, A., Rogéliz, C., Yopez, S., Zuñiga, L., Cañon, M., & Vargas, G. (2019). Caracterización geomorfológica River Styles en la Cuenca del río Magdalena (Reporte técnico). Bogotá D.C, Colombia. The Nature Conservancy, 150 pp
 - New, M., Lister, D., Hulme, M., & Makin, I. (2002). A high-resolution data set of surface climate over global land areas. *Climate Research*, 21, 1–25. <https://doi.org/10.3354/cr021001>
 - Olivero-Verbel, J., Caballero-Gallardo, K., & Negrete-Marrugo, J. (2011). Relationship Between Localization of Gold Mining Areas and Hair Mercury Levels in People from Bolivar, North of Colombia. *Biological Trace Element Research*, 144(1), 118–132. <https://doi.org/10.1007/s12011-011-9046-5>
 - Patiño, J. E. (2016). Análisis espacial cuantitativo de la transformación de humedales continentales en Colombia. *Biota Colombiana*, 16(3), 85–105. <https://doi.org/10.21068/c2016s01a05>
 - Paukert, C., Schloesser, J., Fischer, J., Eitzmann, J., Pitts, K., & Thornbrugh, D. (2008). Effect of Instream Sand Dredging on Fish Communities in the Kansas River USA: Current and Historical Perspectives. *Journal of*

MODIFICACIÓN DEL HÁBITAT

- Freshwater Ecology*, 23(4), 623–633. <https://doi.org/10.1080/02705060.2008.9664250>
- PIANC. (2003). Guidelines for Sustainable Inland Waterways and Navigation. 44 pp.
 - Piman, T., Cochran, T. A., & Arias, M. E. (2016). Effect of Proposed Large Dams on Water Flows and Hydropower Production in the Sekong, Sesan and Srepok Rivers of the Mekong Basin. *River Research and Applications*, 32(10), 2095–2108. <https://doi.org/10.1002/rra.3045>
 - Poff, N. L., Allan, J. D., Bain, M. B., Karr, J. R., Prestegard, K. L., Richter, B. D., ... Stromberg, J. C. (1997). The Natural Flow Regime. *BioScience*, 47(11), 769–784. <https://doi.org/10.2307/1313099>
 - Pontes, P. R. M., Fan, F. M., Fleischmann, A. S., de Paiva, R. C. D., Buarque, D. C., Siqueira, V. A., ... Collischonn, W. (2017). MGB-IPH model for hydrological and hydraulic simulation of large floodplain river systems coupled with open source GIS. *Environmental Modelling and Software*, 94, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.03.029>
 - Portafolio. (2019). Operacion del dragado del rio Magdalena garantiza recursos para 2020. <https://www.portafolio.co/economia/infraestructura/operacion-del-dragado-del-rio-magdalena-garantiza-recursos-para-2020-536668>
 - Restrepo, J. D., Kjerfve, B., Hermelin, M., & Restrepo, J. C. (2006). Factors controlling sediment yield in a major South American drainage basin: the Magdalena River, Colombia. *Journal of Hydrology*, 316(1–4), 213–232. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.05.002>
 - Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Braun, D. P., & Powell, J. (1998). A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. *Regulated Rivers: Research and Management*, 14, 329–340.
 - Rosenberg, D. M., Mccully, P., & Pringle, C. M. (2000). Global-Scale Environmental Effects of Hydrological Alterations: Introduction. *BioScience*, 50(9), 746. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[0746:GS EEOH\]2.0.CO](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0746:GS EEOH]2.0.CO)
 - Syvitski, J. P. M., Kettner, A. J., Overeem, I., Hutton, E. W. H., Hannon, M. T., Brakenridge, G. R., ... Nicholls, R. J. (2009). Sink deltas due to human activities. *Nature Geoscience*, 2(10), 681–686.
 - The Nature Conservancy. (2011). Indexes of Hydrologic Alteration - IHA. <http://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/Freshwater/EnvironmentalFlows/MethodsandTools/IndicatorsofHydrologicAlteration/Pages/indicators-hydrologic-alt.aspx>
 - Tickner, D., Opperman, J. J., Abell, R., Acreman, M., Arthington, A. H., Bunn, S. E., ... Young, L. (2020). Bending the Curve of Global Freshwater Biodiversity Loss: An Emergency Recovery Plan. *BioScience*, 70(4), 330–342. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa002>
 - Vannote, R. ., Minshall, W. G., Cummins, K., Sedell, J., & Cushing, C. E. (1980). The river Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 37(1): 130-137. <https://doi.org/10.1139/f80-017>
 - Vörösmarty, C. J., Meybeck, M., Fekete, B., Sharma, K., Green, P., & Syvitski, J. P. M. (2003). Anthropogenic sediment retention: Major global impact from registered river impoundments. *Global and Planetary Change*, 39(1–2), 169–190. [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(03\)00023-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(03)00023-7)
 - Ward, J. V. (1989). The four-dimensional nature of lotic ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society*, (8), 2–8. <https://doi.org/10.2307/1467397>
 - Wood, P. J. (1997). Biological Effects of Fine Sediment in the Lotic Environment. *Environmental Management*, 21(2), 203–217. <https://doi.org/10.1007/s002679900019>
 - XM. (2017). Informacion inteligente. Histórico hidrología. Retrieved June 15, 2017, from <http://informacioninteligente10.xm.com.co/hidrologia/Paginas/Historico-Hidrologia.aspx>
 - Yates, D., Sieber, J., Purkey, D., & Huber-Lee, A. (2005). WEAP21—A Demand-, Priority-, and Preference-Driven Water Planning Model: Part 1: Model Characteristics. *International Water Resources Association*, 30(4), 487–500.
 - Yin, X. A., Yang, Z. F., & Petts, G. E. (2012). Optimizing environmental flows below dams. *River Research and Applications*, 28, 703–716. <https://doi.org/10.1002/rra>



Bosques Palagua, Boyacá. Foto: Eduardo Navarro.



Oreochromis (híbrido rojo). Foto: Mónica A. Morales-Betancourt.



8. PECES INTRODUCIDOS EN EL RÍO MAGDALENA Y CUENCAS VECINAS, COLOMBIA

Carlos A. Lasso, María D. Escobar, Juliana Herrera, María C. Castellanos, Daniel Valencia-Rodríguez, Jacobo Campuzano, Fabio García y Luz Jiménez-Segura

Resumen

Hay 43 especies introducidas en Colombia, todas ellas presentes en la cuenca del río Magdalena y repartidas así: 13 especies trasplantadas de una cuenca a otra (5 órdenes, 8 familias), incluyendo una especie identificada a nivel de género y una variedad; 30 especies exóticas u originarias de otros continentes (6 órdenes, 9 familias), incluyendo un híbrido y una variedad creada *ex situ*. Todas las especies consideradas son de interés para la acuicultura, pesca comercial, pesca deportiva y ornamento-acuariofilia. Se hace un análisis comparativo del estatus actual de estas especies en relación al 2012, fecha en la cual se realizó la última evaluación de las introducciones y se muestra la distribución actual de estas especies. De acuerdo a esto,

se registraron 13 introducciones nuevas (siete especies trasplantadas y seis especies exóticas), de las cuales en 12 especies (una trasplantada más 11 exóticas), se amplió la distribución geográfica, prueba de su dispersión posterior a 2012. En la actualidad se cultivan 15 especies introducidas: seis especies exóticas en 121 municipios y nueve trasplantadas en 92 municipios, la mayoría policultivos (varias especies). La falta de controles de seguridad en estas instalaciones de cultivo, más la liberación intencionada, siembras y escapes, son las razones que explican la distribución actual de gran parte de las especies.

Palabras clave. Aguas dulces, especies exóticas, especies invasoras, ictiofauna, ríos andinos.

Lasso, C. A., Escobar, M. D., Herrera, J., Castellanos, M. C., Valencia-Rodríguez, D., Campuzano, J., García, F. & Jiménez-Segura, L. 2020. Peces introducidos en el río Magdalena y cuencas vecinas, Colombia. En: Jiménez-Segura, L. & C. A. Lasso (Eds.). XIX. *Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible*. Pp: 295-367. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. DOI: 10.21068/B2020RRHHXIX08

PECES INTRODUCIDOS

Abstract

In Colombia's Magdalena River basin, 43 fish introduced species are identified, distributed as follows: 13 species were transplanted from one basin to another (5 orders, 8 families), including one species identified at the level of genus and one variety; in all, 30 exotic species were found (some native to other continents) comprising six orders and nine families (including one hybrid and one variety of ex situ origin). All of these non-native species are of interest for aquaculture, commercial fishing, sport fishing or the ornamental aquarium fish industry. A comparative analysis is made of the current status of these species in relation to 2012, the year when the last evaluation of exotic species in Colombia was carried out, and the current distribution of these species is also shown. According to this, 13 new introductions were recorded (seven transplanted species and six exotic species), and 12 of those have expanded their known geographic range since 2012 (one transplanted plus 11 exotic species). Currently, 15 introduced species are being cultivated in aquaculture facilities: six exotic species in 121 municipalities and nine transplanted species in 92 municipalities, most of them are being reared in polycultures ponds of various species. The lack of security controls to prevent accidental escape into the wild in these aquaculture facilities, plus the deliberate release, seeding and escapes are the reasons that explain the current distribution of most of the species.

Keywords. Andean rivers, exotic, freshwater, ichthyofauna, invasive species, .

Introducción

La distribución de los peces dulceacuícolas en el noroccidente de Suramérica es producto de la interacción entre procesos de evolución geomorfológica de las cuencas

andinas ya discutidos en capítulos previos en este libro (Restrepo *et al.* 2020) y de la especiación dentro de éstas con elevados endemismos (Jiménez-Segura *et al.* 2016, Rodríguez-Olarte *et al.* 2011, García-Alzate *et al.* 2020). Esta rica biodiversidad y endemismo se ve amenazada hoy en día por la introducción de especies en estos sistemas. Al respecto, hay diferentes conceptos de utilidad acerca de la introducción de especies que deben considerarse en el presente capítulo de acuerdo a la terminología del Convenio de Diversidad Biológica-CBD (2010), los cuales han sido adaptados para Colombia por Baptiste y Lasso (2012). Una especie introducida es una entidad biológica identificada a diferentes niveles taxonómicos (especie, subespecie), población e incluso híbridos y variedades, que se encuentra fuera de su área de distribución natural pasada o presente, incluyendo cualquier parte, gametos, semillas, huevos o propágulos. En general, se han considerado como sinónimos de especies introducidas a los términos “exóticas”, “foráneas”, “alóctonas”, “no nativas” y “trasplantadas” (CBD 2010), pero para efectos prácticos de manejo en Colombia, se reconocen e incluyen dentro de las especies introducidas, a las especies exóticas (provenientes de otro país o continente) y a las trasplantadas (trasladadas de una cuenca hidrográfica a otra dentro del mismo país). Incluso, Gutiérrez-Bonilla (2006) considera a los repoblamientos en el sentido estricto, como introducciones de individuos de una especie que provienen de la reproducción en cautiverio de parentales de la especie nativa de esa misma cuenca. No obstante, hay que considerar que en muchos casos esos repoblamientos (introducciones) corresponden realmente a individuos de otras cuencas o trasplantes (p. e. trasplante del Orinoco al Magdalena). Una mayor revisión conceptual al respecto puede consultarse en Gutiérrez-Bonilla



et al. (2010). Una vez que la especie introducida se reproduce de manera exitosa y tiene una población viable, se considera establecida (sinónimo aclimatada) (Baptiste y Lasso 2012). Cuando estas especies establecidas se dispersan en ambientes naturales y/o seminaturales y causan impactos ambientales, económicos o de salud pública, se convierten en invasoras (sinónimos: peste, plaga, maleza) (Baptiste y Lasso 2012).

Las especies invasoras se consideran como una de las principales causas de pérdida de biodiversidad (Uzunova *et al.* 2019). Sin embargo, la introducción de especies no es el único promotor de cambios en la composición de especies de peces, la pérdida de hábitat se reconoce como el principal impulsor de la pérdida de biodiversidad (Göthe *et al.* 2015) y que, además, favorece la presencia de especies introducidas (Light y Moyle 2015). La llegada de especies foráneas a regiones fuera de su área natural, también homogeniza las asociaciones de especies reduciendo el recambio de especies entre los ecosistemas (Olden y Poff 2003) y si las condiciones de los ecosistemas donde son introducidas favorecen su reproducción, pueden llegar a ser invasoras y convertirse en una amenaza a la conservación de las especies nativas y promover su extinción por la depredación, llegada de parásitos y patógenos o la competencia por recursos de hábitat o de alimento (Mejía-Mojica *et al.* 2012, Sax y Gaines 2008).

No solo las condiciones del hábitat facilitan la invasión de especies introducidas, las estrategias de vida de estas especies son definitivas en su capacidad de colonización. Estas especies se caracterizan por rasgos de vida clave para su éxito invasor: alta tolerancia a diversas condiciones ambientales, lo que facilita su dispersión; amplio espectro trófico durante diferentes periodos

en el desarrollo; desarrollo sexual temprano; cuidado parental que incrementa la sobrevivencia de la prole; crecimiento rápido y ciclos de vida cortos (Britton y Orsi 2012). Sin embargo, no todas las especies de peces introducidas se establecen y las que, si lo hacen, pueden generar cambios importantes no solo en las especies nativas sino también en las condiciones de los ecosistemas (Cucherousset y Olden 2011).

En Colombia, la introducción de especies no es un tema nuevo. Desde el año 1974, el código de Recursos Naturales (Decreto 2811 de 1974) definía que “*La introducción o importación al país de especies animales o vegetales sólo podrá efectuarse previa autorización del gobierno nacional*” y existen publicaciones desde la última década del siglo XX donde se reportan diez especies introducidas (Welcomme 1981). Desde entonces, son múltiples los reportes de instituciones que ha asumido el liderazgo en la definición del estado de avance de las introducciones y en una política de manejo a la introducción de especies (Álvarez-León *et al.* 2002, Baptiste *et al.* 2010, Gutiérrez-Bonilla 2006, Gutiérrez-Bonilla *et al.* 2010). Álvarez-León *et al.* (2002) listan aproximadamente 81 especies de peces introducidas y, en el 2008, el Ministerio de Medio Ambiente declaró como especies invasoras a varias especies de tilapia (*Oreochromis niloticus*, *Coptodon rendalli*), a la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), la trucha bass o Black Bass (*Micropterus salmoides*), la carpa (*Cyprinus carpio*) y a la mojarra barbona o gurami (*Trichogaster pectoralis*) (Baptiste *et al.* 2010). Una década después, la Autoridad Nacional de Pesca y Acuicultura-AUNAP, el Ministerio de Comercio Exterior y el Ministerio del Medio Ambiente, determinan que algunas de estas especies introducidas e invasoras, cambian al estatus de especies domesticadas (Resolución 2287 de 2015).

PECES INTRODUCIDOS

Este capítulo tiene como objetivo general realizar una actualización de la lista de especies introducidas en Colombia, sean estas de origen exótico, trasplantadas e incluso utilizadas en repoblamientos. Adicionalmente se presenta el listado de las especies introducidas en la cuenca del Magdalena y cuencas vecinas, así como el estado actual de su distribución, basándose en la revisión de diversas fuentes (literatura publicada, lotes plenamente identificados las colecciones biológicas del IAvH, CIUA, UCO, MUPJ, MNH-UIS, CZUT-Ic, IMCN) y en reportes de la ciudadanía confirmados con fotografías, así como aquellos que se realizan en la plataforma InBasa. Por último, para dimensionar la presión que puede realizar el pez basa, *Pangasius* o panga (*Pangasionodon hypohthalmus*) sobre los peces nativos, se hace un ejercicio de sobreposición de nicho con el bagre rayado, especie emblemática de la pesquería artesanal en la cuenca. También se definen algunas de las fuentes de introducción de peces a los ecosistemas acuáticos y finalmente, basados en una discusión de los resultados, se definen unas conclusiones y unas recomendaciones para el manejo de estas especies en la cuenca del río Magdalena.

Especies introducidas en la cuenca del río Magdalena y su distribución

Se identificaron y reconocen para Colombia 43 especies introducidas, todas ellas presentes en la cuenca del Magdalena y repartidas así: 13 especies trasplantadas (5 órdenes, 8 familias), incluyendo una especie identificada a nivel de género y una variedad; 30 especies exóticas (6 órdenes, 9 familias), incluyendo un híbrido y una variedad, las cuales a efectos de gestión y manejo se consideran como especies (Anexo 1). A continuación, se hace una reseña de cada una de ellas.

Especies trasplantadas

Pirarucus, arapaimas o paiches: ***Arapaima gigas* Schinz 1822** **(Arapaimidae) (Figura 1a)**

El Arapaima, pirarucu o paiche, son tres nombres con los que se conocen a *Arapaima gigas* Schinz, 1822. Sin embargo, dado que es una especie de gran tamaño y sin representación adecuada en colecciones, no hay certeza de su identificación verdadera en Colombia. El género incluye cinco especies válidas (Stewart 2013) y en Colombia la especie autóctona podría ser *Arapaima leptosoma* (Lasso *et al.* 2019, C. DoNascimento com. pers., febrero 2020), en vez de *A. gigas*, pero se requiere de un muestreo exhaustivo en la Amazonia colombiana (área de distribución natural) y su comparación con muestras procedente de los mercados fronterizos (p. e. Leticia), mediante estudios taxonómicos tradicionales y genéticos. Fue señalada para Colombia por Gutiérrez y Lasso (2012a), quienes dan detalles de su distribución en Magdalena, Orinoquia y Caribe. También ha sido registrada recientemente en la Orinoquia-río Meta (San Pedro de Arimena, Municipio Puerto Gaitán (F. Mosquera-Guerra com. pers., junio 2018); ciénagas en Calima, San Juan (Pacífico) (Lasso *et al.* 2019). Su distribución natural se muestra en Sánchez-Páez *et al.* (2011)-uso, Gutiérrez y Lasso (2012a)-introducciones y Lasso *et al.* (2019)-pesca deportiva; también es de importancia ornamental (se exportan los juveniles) y es usada incluso como “mascota” en el Putumayo donde se han hecho siembras y cultivos artesanales (C. A. Lasso obs. pers. 2015). En la actualidad hay cultivos en los departamentos (municipios) de Caquetá (Puerto Rico 2018); Caldas (San José del Fragua 2017) y Tolima (Lérida 2017) (Anexo 2, Figura 1). Esta especie es omnívora (Watson *et al.* 2013) usualmente monógama, cada hembra produce alrededor



de 86.000 huevos maduros durante la época seca (Núñez *et al.* 2011), presenta cuidado parental (Farias *et al.* 2015) y habita sistemas lénticos y lóticos (Arantes *et al.* 2010).

Yamus, bocones, sábalos: ***Brycon spp* (Characidae)**

El género *Brycon* incluye 20 especies conocidas en las cinco cuencas de Colombia (DoNascimento *et al.* 2017) y no se descarta la presencia de una o dos especies no descritas en la Orinoquia (Lasso obs. pers.). Hay al menos dos especies trasplantadas, *Brycon amazonicus* Agassiz, 1829 y *Brycon* sp. Su distribución natural (*B. amazonicus*) se muestra en Usma y Morales-Betancourt (2011)-pesca consumo y Lasso *et al.* (2019)-pesca deportiva. Señaladas para Colombia en este trabajo como especies trasplantadas en la Orinoquia: *B. amazonicus*-distribución natural y Magdalena, Pacífico y Caribe; *Brycon* sp.- Magdalena, incluyendo cinco departamentos y 23 municipios donde se cultiva (Anexo 2, Figura 2 a, b).

Cachamas (negra y blanca), chernas, morocotos: *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818), *Piaractus sp e* híbridos (Serrasalminidae) (Figura 1b-c)

Incluye dos especies, la cachama negra, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) y la blanca (*Piaractus orinoquensis*) Escobar *et al.* (2019), así como el híbrido entre ambas. Hay mucha información sobre las dos especies y el híbrido (Gutiérrez *et al.* 2012a-b), incluyendo varios aspectos detallados sobre su importancia en la pesca y acuicultura. Su distribución natural (*C. macropomum*) se muestra en Agudelo-Córdoba *et al.* (2011a)-pesca consumo, Gutiérrez-Bonilla *et al.* (2012a)-introducciones y Lasso *et al.* (2019)-pesca deportiva; *P. brachypomus*: Agudelo-Córdoba *et al.* (2011b)-pesca consumo y Lasso *et al.* (2019)-pesca deportiva. Señaladas para Colombia como especies

trasplantadas en el Magdalena, Caribe y Pacífico (*C. macropomum*); Magdalena, Caribe, Pacífico y Amazonas (*P. orinoquensis*, identificada erróneamente como *P. brachypomus*). *Colossoma macropomum* se cultiva en 11 departamentos y 25 municipios; *P. orinoquensis* es la especie más cultivada en Colombia (15 departamentos y 78 municipios) y el híbrido entre ambas está en 4 departamentos y 12 municipios (Anexo 2, Figura 3 a). La cachama blanca o morocoto (*Piaractus orinoquensis*) es señalada en la pesca, acuicultura y en el resto de la literatura como *P. brachypomus* (ver p. e. Agudelo-Córdoba *et al.* 2011b; Gutiérrez *et al.* 2012a-b; datos página web SEPEC-AUNAP 2016, 2017, 2018). La distribución natural y originaria de *P. brachypomus* es la cuenca del Amazonas, mientras que para *P. orinoquensis* es la cuenca del Orinoco (Escobar *et al.* 2019), por lo que se supone que la mayor parte de la acuicultura, siembras y trasplantes, se han hecho con esta última especie dada las facilidades logísticas (p. e. obtención de pie de cría, larvas y juveniles), pero la distribución actual en Colombia probablemente esté subestimada (Anexo 2, figura 3a) al igual que la de *C. macropomum* (Anexo 2, Figura 3a) y el híbrido (Anexo 2, Figura 3c). La cachama negra *Colossoma macropomum* en condiciones naturales habita sistemas lóticos (Goulding y Carvalho 1982) y es omnívora (Tribuzy-Neto *et al.* 2018), mientras que *P. brachypomus* es herbívora (Araujo-Lima y Ruffino 2003). Ambas realizan migraciones en temporada reproductiva (Araujo-Lima y Ruffino 2003) y carecen de cuidado parental. Particularmente *Colossoma macropomum* tiene una fecundidad de 72.069 huevos por kg (Vieira *et al.* 1999).

Bocachicos o sábalos: *Prochilodus spp* (Prochilodontidae) (Figura 1d)

El género *Prochilodus* incluye cinco especies conocidas en las cinco cuencas de Colombia

PECES INTRODUCIDOS

(DoNascimento *et al.* 2017). Hay al menos dos especies trasplantadas en todo el país, *Prochilodus magdalenae* Steindachner, 1879 originaria de las cuencas Magdalena y Caribe y *Prochilodus nigricans* Spix y Agassiz, 1829, del Amazonas. Su distribución natural (*P. magdalenae*) se muestra en Valderrama *et al.* (2011a) y (*P. nigricans*)-pesca consumo en González-Cañón *et al.* (2011). No habían sido consideradas previamente como trasplantadas, pero son cultivadas en las cuencas del Pacífico y Orinoco (*P. magdalenae*-5 departamentos y 14 municipios) (Anexo 2, Figura 4 a) y Magdalena y Orinoco (*P. nigricans*-3 departamentos y 3 municipios) (Anexo 2, Figura 4 b). *Prochilodus magdalenae* es la especie más frecuente en los repoblamientos, trasplantes e introducciones dentro de la cuenca. Ambas especies son detritívoras, migradoras y sin cuidado parental y habitan ecosistemas lóticos y lénticos (Araujo-Lima *et al.* 2003). *Prochilodus magdalenae* produce una media de 413.000 ovocitos por kg de

hembra (Olaya *et al.* 2001) y *Prochilodus nigricans* un máximo de 409.714 huevos por kg de hembra (Ruiz *et al.* 1987).

Coroncoro negro, cucha, corroncho: *Pterygoplichthys pardalis* (Castelnaud, 1855) (Loricariidae)

El coroncoro (*Pterygoplichthys pardalis* Castelnaud, 1855) está distribuido naturalmente en el Caribe, pero fue introducida al alto río Patía (cuenca del Pacífico) al menos desde el 2006, donde se ha establecido exitosamente (Moncayo-Fernández *et al.* 2017). Su distribución natural se muestra en Carvajal-Quintero *et al.* (2011)-pesca consumo e introducciones en Moncayo-Fernández *et al.* (2017) (Anexo 2, Figura 5). Esta especie habita en sistemas lóticos, es omnívora y tiene una fecundidad de aproximadamente 472-1.238 huevos (Hoover *et al.* 2004), además de ello presenta cuidado parental de las crías (Nico y Martin 2001). Es probable que ya esté presente en la cuenca del Magdalena.

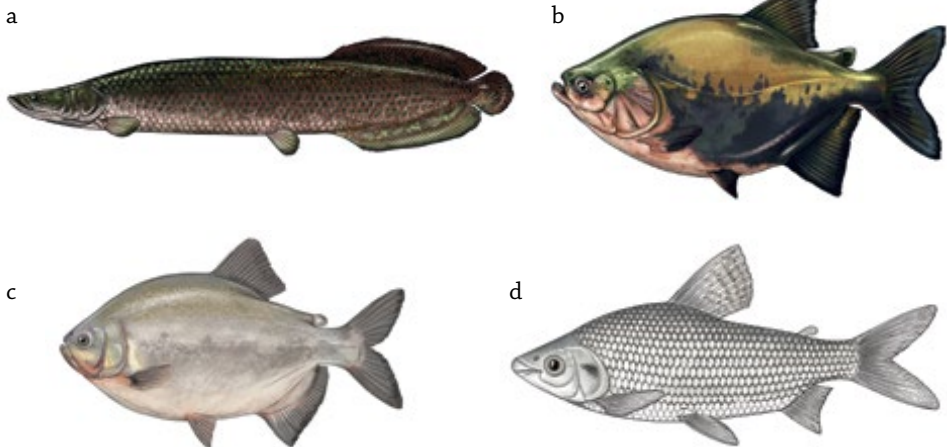


Figura 1. a) *Arapaima gigas*; b) *Colossoma macropomum*; c) *Piaractus orinoquensis*; d) *Prochilodus magdalenae*. Imágenes: IAvH - Liberum Donum Studios. * Las ilustraciones no están a escala.



Liberum Donum Studios

Bagre rayado del Magdalena:
Pseudoplatystoma magdaleniatum
Buitrago-Suárez y Burr, 2007
(Pimelodidae) (Figura 2a)

El bagre rayado del Magdalena, *P. magdaleniatum* se distribuye y está restringido a la cuenca del Magdalena (DoNascimento *et al.* 2017). Su distribución natural se muestra en Valderrama *et al.* (2011b)-pesca consumo y Lasso *et al.*, (2019)-pesca deportiva. Desafortunadamente, hay ensayos de cultivo reportados desde el 2018 en cuatro municipios del Meta (Anexo 2, Figura 6). Esta especie de gran porte es migradora, carnívora, habita sistemas lóticos y lénticos, no presenta cuidado parental y su fecundidad es de aproximadamente 1.030.402 huevos por hembra. (Arce-Zúñiga *et al.* 2014).

Guppies, guppy, guppies: *Poecilia reticulata* Peters, 1859 (Poeciliidae) (Figura 2b)

El guppy, *P. reticulata*, se distribuye en Colombia (Lasso obs. pers.), aunque no había sido considerada en la lista de peces del país por DoNascimento *et al.* (2017), a pesar de estar presente naturalmente en la Orinoquia, Maracaibo y vertiente Caribe de Venezuela (Lasso *et al.* 2004) y la Orinoquia colombiana (C. Lasso obs. pers. enero 2010, Mesa-S. *et al.* 2019). Adicionalmente, hay registros previos al 2012 de la cuenca Caribe colombiana -sistema Catatumbo-, que en realidad forman parte de la cuenca del Lago de Maracaibo (Venezuela). Ha sido introducida en las cuencas del Magdalena, Amazonas y Pacífico con fines ornamentales y sanitarios -larvófagos- (Sánchez-Duarte *et al.* 2012a) y en todo tipo de ecosistemas naturales y artificiales desde los Andes a las tierras bajas, pasando por sistemas de piedemonte; en todo el medio natural hay poblaciones salvajes o silvestres y variedades provenientes de acuario (C. Lasso obs. pers.). En la figura 7 se muestra

la distribución actual de la especie en Colombia, incluyendo los trasplantes. Estos peces se encuentran en toda la columna de agua en sistemas lóticos y lénticos, son ovovivíparos con un marcado dimorfismo sexual y cada hembra produce aproximadamente 26 huevos (Alkins-Koo 2000). Son omnívoros y se alimentan predominantemente de invertebrados y detritos (Zandonà 2010).

Mojarras, pavonés o tucunarés:
***Caquetaia kraussii*, *Cichla spp* (Cichlidae)**
+ *Caquetaia kraussi* (Steindachner, 1879): mojarra amarilla (Figura 2c)

Esta especie se distribuye naturalmente en las cuencas del Magdalena y Caribe (Colombia) (DoNascimento *et al.* 2017, Lasso *et al.* 2019) y ha sido trasplantada al Archipiélago de San y Providencia y la Orinoquia colombo-venezolana (Lasso *et al.* 2015). El registro de Maldonado-Ocampo *et al.* (2008) para los ríos del Pacífico es errado, aunque algunos pescadores deportivos señalan su presencia en esta cuenca, pero probablemente se trate de especies similares de esa vertiente como *Kronoheros umbriferus* y *Mesoheros ornatus* (Lasso *et al.* 2019). Llegó a la Orinoquia colombiana posiblemente en la década de los ochenta (Royero y Lasso 1992) y ha sido sembrada a lo largo de varios sistemas endorreicos (lagunas cerradas y estanques o lagunas artificiales) y exorreicos (ríos-ciénagas) de la cuenca del Magdalena con fines deportivos. En la figura 8 (Anexo 2) se muestra la distribución actual de la especie en Colombia, incluyendo los trasplantes. *Caquetaia kraussii* es una especie que no presenta cuidado parental, tiene una fecundidad promedio de 1.732 huevos por desove (Solano-Peña *et al.* 2013), es una especie omnívora y su hábitat son los ecosistemas lóticos y lénticos (Royero y Lasso 1992).

PECES INTRODUCIDOS

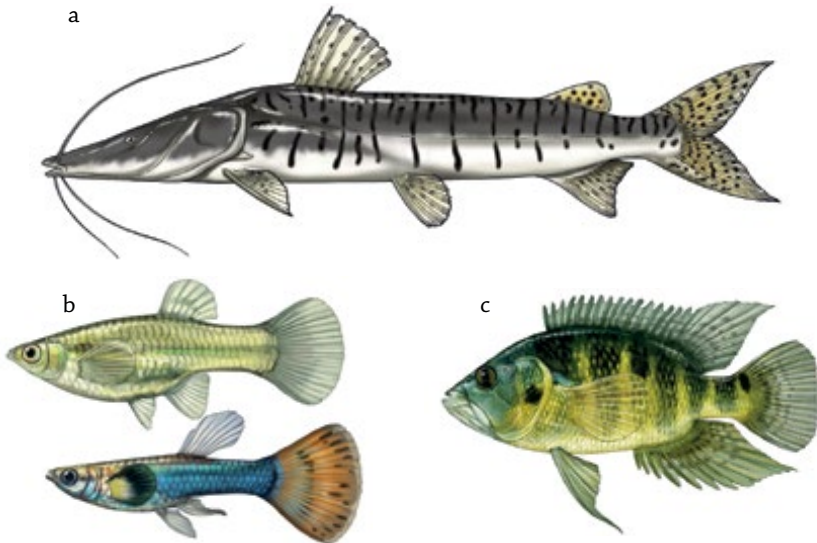


Figura 2. a) *Pseudoplatystoma magdaleniatum*; b) *Poecilia reticulata* (hembra parte superior, macho parte inferior); c) *Caquetaia kraussii*. Imágenes: IAvH - Liberum Donum Studios.
* Las ilustraciones no están a escala.

+ *Cichla spp.*: pavones o tucunarés

Este género incluye cuatro especies presentes en Colombia, de las cuales son objeto de interés para la pesca deportiva y comercial tres de ellas: *Cichla orinocensis* Humboldt, 1821; *Cichla monoculus* Spix y Agassiz, 1831 y *Cichla temensis* Humboldt, 1821 (Lasso *et al.* 2011b, 2019). La “especie” o variedad que ha sido objeto de siembra y trasplante fuera de su área de distribución natural es *Cichla ocellaris* variedad *monoculus* de acuerdo con la clasificación de K. Winemiller y colaboradores (com. pers. a C. Lasso, agosto 2020). Muchos de estos trasplantes se han realizado por parte de pescadores deportivos en varios puntos de la cuenca del Magdalena (sistemas naturales, cerrados y/o abiertos). La distribución natural se puede consultar en (Lasso *et al.* 2011b -*C. orinocensis*; Lasso *et al.* 2011c -*C. temensis* y Gil-Manrique *et al.* 2011-*C. monoculus*). En la

figura 9 (Anexo 2) se muestra la distribución actual de los trasplantes de esta variedad, basados en registros de colecciones después del 2012 y capturas recientes de pesca deportiva. Los pavones son piscívoros voraces y están asociados a una amplia gama de hábitats tanto en lagunas como en canales principales. Estas especies construyen nidos, presentan cuidado parental (Hoeinghaus *et al.* 2006) y tienen fecundidades desde los 4.450 a 13.900 huevos por hembra (Normando *et al.* 2009, Muñoz *et al.* 2006).

Especies exóticas

Tilapias o mojarras: géneros *Coptodon* y *Oreochromis* (Cichlidae)

En este grupo se incluyen tres especies y un híbrido. Son, en su conjunto, las especies exóticas de más amplia distribución



Liberum Donum Studios

en Colombia y que han sido objeto de mayor cultivo y fomento en el país.

+ *Coptodon rendalli* (Boulenger, 1897): tilapia, mojarra (Figura 3a)

Especie de gran interés desde el punto de vista comercial (acuícola) y pesquero. Su identidad real había permanecido “oculta” pues ha sido confundida con otras especies de esta familia, en especial con *Oreochromis mossambicus*, identificada así por Gutiérrez *et al.* (2012c). Está presente en las cuencas del Magdalena y Caribe, pero probablemente su distribución es más amplia. Hay registros en el medio natural (Gutiérrez *et al.* 2012c) y después de esa fecha (este libro) (Figura 10). Esta especie es omnívora predominantemente planctófaga, de ambientes lénticos (Jiménez-Segura *et al.* 2014a), tiene una fecundidad total media de 1.464 huevos por hembra (Loaiza-Santana *et al.* 2018) y presenta cuidado parental (Turner y Robinson 2000).

+ *Oreochromis mossambicus* (Peters, 1852): tilapia negra, mojarra

La tilapia negra es una especie que ha sido introducida en las cuencas del Magdalena y Caribe con fines acuícolas y deportivos (Gutiérrez y Lasso, 2012c, Lasso *et al.* 2019), aunque con una distribución más restricta que las otras especies del género, pero también en expansión, pues hay registros después del 2012 (Figura 11). Hay información también para la pesca deportiva (Lasso *et al.* 2019) y nuevamente como otras especies del género su distribución actual está subestimada. Su dieta es principalmente detritívora, habita sistemas lénticos (Jiménez-Segura *et al.* 2014a) y su fecundidad es de 609 a 709 huevos por hembra, lo cual se compensa con el cuidado parental de la prole (Turner y Robinson 2000).

+ *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758): mojarra plateada, tilapia del Nilo (Figura 3b)

Esta especie es la mejor conocida en el grupo y ampliamente distribuida en toda Colombia, incluidas todas las cuencas (Gutiérrez y Lasso 2012 b, Lasso *et al.* 2019). Hay información sobre la introducciones e importancia pesquera (Gutiérrez y Lasso 2012 b), registros de individuos en el medio natural (Figura 12a); pesca deportiva (Lasso *et al.* 2019) y se cultiva en 15 departamentos y 63 municipios (Anexo 2, Figura 12b). Esta especie es omnívora, de ambientes lénticos (Jiménez-Segura *et al.* 2014a), presenta cuidado parental (Turner y Robinson 2000) y tiene una fecundidad total media de 1.651 huevos por hembra (Loaiza-Santana *et al.* 2018).

+ *Oreochromis* “híbrido rojo”: tilapia roja, híbrido, pargo de agua dulce (Figura 3c)

Este híbrido es la forma más común y más ampliamente distribuida en el país. Está en todas las cuencas y departamentos -salvo San Andrés, Providencia y Santa Catalina- en cultivos y en el medio natural. También hay numerosa información genética y pesquera (Gutiérrez *et al.* 2012d), sobre la introducciones y presencia en el medio natural (Gutiérrez *et al.*, 2012d, Anexo 2, Figura 13a), importancia pesca deportiva (Lasso *et al.* 2019) y se cultiva en 18 departamentos y en al menos 102 municipios (Anexo 2, Figura 13b). Su distribución actual es mucho mayor a la expresada en los mapas y es sin duda alguna la que se dispersó más a raíz de los cultivos.

Mojarra, guapote amarillo: *Parachromis friedrichsthalii* (Heckel, 1840)

Especie de interés ornamental, está en el Embalse Porcillo II y en 2014 se observó en

PECES INTRODUCIDOS

río Porce, probablemente proveniente de escapes o liberaciones de acuario (Anexo 2, Figura 14). Esta especie habita sistemas lóticos y lénticos, preferiblemente en aguas muy lentas, produce entre 500 y 700 huevos por hembra, presenta cuidado parental (Fishbase 2020a) y se alimenta principalmente de peces y crustáceos (Hulsey y De León 2005).

Black bass, Bass: *Micropterus salmoides* (Lacepede, 1802) (Centrarchidae) (Figura 3d)

El Black Bass (*M. salmoides*) es una especie claramente objeto de pesca deportiva que ha sido introducida en los departamentos de Antioquia, Huila, Caldas y Santander (cuenca del Magdalena) (Lasso *et al.* 2019), todas en ecosistemas artificiales como embalses, estanques y lagunas cerradas, aunque también hay algunos registros puntuales en lagunas naturales (Gutiérrez y Espinosa 2012), todas sembradas por pescadores deportivos. Hay reportes sobre estas introducciones (Gutiérrez y Espinosa 2012a), así como información reciente sobre la pesca deportiva (Anexo 2, Figura 15). Esta especie habita en lagos, estanques y pantanos. Es carnívora y se alimenta principalmente de peces (Fishbase 2020b). Las hembras depositan entre 2.000 y 109.314 huevos (CABI 2020a). Los machos son los encargados del cuidado parental de los huevos y el nido durante aproximadamente 29 días (Fishbase 2020b).

Lobinas, lubinas, percas: *Morone spp* (Moronidae)

Bajo el género *Morone* hay dos especies reportadas para Colombia: *Morone chrysops* (Rafinesque, 1820) señalada por Bogotá-Gregory y Gutiérrez (2012a) y *Morone saxatilis* Walbaum, 1792 por Gutiérrez *et al.* (2012i). Se menciona que ambas especies fueron introducidas para la

acuicultura en sistemas “cerrados” en las cuencas del Magdalena y Pacífico a finales de la década del 90, al igual que el híbrido de ambas especies, fueron observadas en aguas naturales y artificiales entre el 2002 y 2005, pero no han sido observadas nuevamente en el medio natural desde esa fecha. Se desconoce el estado actual. *Morone saxatilis* habita principalmente aguas costeras (Fishbase 2020c) y es un migrante local (Hammerson 2001) mientras que *Morone chrysops* habita principalmente lagos y en lagunas de ríos de mediano a gran porte en profundidades menores a los 14 m, estas especies se alimentan principalmente de peces y crustáceos (Fishbase 2020d). Las hembras de *Morone saxatilis* producen alrededor de 2.462 huevos, los cuales son fertilizados por diferentes machos cuando son liberados, mientras que para *Morone chrysops* se ha reportado una media de 61.700-99.400 huevos por hembra (Baglin y Hill 1977). Ambas especies carecen de cuidado parental (Setzler-Hamilton *et al.* 1980).

Pez luchador de Siam, Betta: *Betta splendens* Regan 1910 (Osphronemidae)

Esta especie ornamental de origen del sudeste asiático es muy común en el mercado acuarófilo colombiano desde hace muchos años y es criada por particulares, aunque no hay datos de lugares precisos sobre su cultivo. Fue registrada en el medio natural en el 2004 en el río Patía (cuenca Pacífico) y hay reportes más recientes en varios puntos de la cuenca del Magdalena (Valle del Cauca). En la figura 16 (Anexo 2) se muestra la distribución actual. Esta especie habita aguas de planos de inundación de canales y arrozales, se alimenta de zooplankton y larvas de insectos. Su fecundidad es aproximadamente 475 huevos por hembra (Behera 2012) y esta



Liberum Donum Studios

especie construye nidos de burbujas los cuales son custodiados por los machos (Fishbase 2020e).

Gouramis, guramis, colisas, chunas, barbudos: *Trichogaster spp*, *Trichopodus spp* (Osphronemidae)

Este grupo incluye dos géneros (*Trichogaster* y *Trichopodus*), con cuatro especies cada uno.

+ *Trichogaster chuna* (Hamilton, 1822): colisa, chuna, gourami

Especie ornamental señalada por Bogotá-Gregory y Gutiérrez (2012b), como introducida en los sesenta en aguas artificiales de la cuenca Magdalena (Antioquia, Caldas y Valle del Cauca), autores que muestran un mapa de distribución al respecto. No observada ni registrada posteriormente en el medio natural. Esta especie habita lagunas, estanques y ríos. Es una especie omnívora y presenta cuidado parental, las hembras liberan alrededor de 500 huevos los cuales quedan al cuidado de los machos (Fishbase 2020f).

+ *Trichogaster fasciata* Bloch y Schneider 1801: gourami gigante, gourami de bandas

Especie ornamental señalada por Bogotá-Gregory y Gutiérrez (2012c), introducida como ornamental en la cuenca Magdalena, Pacífico y Orinoco (Antioquia, Caldas, Cundinamarca, Meta, Quindío, Risaralda y Valle del Cauca). No observada ni registrada en el medio natural desde ese reporte. Esta especie puede habitar ríos, arroyos, estuarios, canales, acequias y cuerpos de agua abandonados, tiene una fecundidad entre 599 y 5.522 huevos por hembra, presenta cuidado parental y se ha documentado como una especie omnívora predominantemente herbívora (Gupta 2015).

+ *Trichogaster labiosa* Day 1877: gourami de labios gruesos

Especie ornamental señalada por Bogotá-Gregory y Gutiérrez (2012d), introducida como ornamental en la cuenca Magdalena, en aguas artificiales de Antioquia, Cauca, Risaralda y Valle del Cauca; dichos autores mencionan que es posible encontrarla en aguas naturales de las cuencas del Magdalena y Pacífico. No observada ni registrada en el medio natural desde ese reporte. Esta especie omnívora, se encuentra en sistemas loticos y lenticos, presenta un cuidado parental que consiste en la vigilancia del nido por parte del macho y las hembras tienen una fecundidad aproximada de 500-600 huevos (Fishbase 2020g).

+ *Trichogaster lalius* (Hamilton 1822): colisa, gourami enano

Especie ornamental señalada por Bogotá-Gregory y Gutiérrez-Bonilla (2012e), introducida como ornamental en la cuenca Magdalena, en aguas artificiales de Antioquia, Caldas y Valle del Cauca. No observada ni registrada en el medio natural desde ese reporte. Habita arroyos, riachuelos y lagos de movimiento lento, con mucha vegetación (Fishbase 2020h). Esta especie presenta cuidado parental, tiene una fecundidad de 1.178 huevos por hembra en condiciones de cautiverio (Saha *et al.* 2017). Es carnívora y se alimenta principalmente de larvas de mosquitos (Sahu *et al.* 2018).

+ *Trichopodus leeri* (Bleeker, 1852): colisa, gourami enano (Figura 3e)

Es la especie ornamental más ampliamente utilizada en acuariofilia; señalada por Bogotá-Gregory y Gutiérrez (2012f), introducida como ornamental en la cuenca Magdalena y Orinoco, en aguas artificiales de Antioquia, Caldas, Casanare, Cundinamarca y Valle del Cauca (ver Bogotá-Gregory

PECES INTRODUCIDOS

y Gutiérrez 2012f). Hay un solo reporte en el medio natural pero probablemente su distribución actual es mucho más amplia (Anexo 2, Figura 17). Se encuentra en ambientes lénticos como pantanos, arroyos, lagunas y zonas inundadas, generalmente entre vegetación densa, es una especie omnívora con preferencia en insectos y plancton y presenta cuidado parental (Bogotá-Gregory y Gutiérrez 2012f).

+ *Trichopodus pectoralis* Regan 1910: gourami, gourami piel de culebra, barbudo (Figura 3f)

Especie señalada por Gutiérrez *et al.* (2012e), introducida primero como ornamental en la cuenca del Magdalena y de ahí sembrada en la cuenca del Caribe; en ambas cuencas hay reportes en el medio natural donde se usa como fines de autoconsumo y eventual venta (Gutiérrez *et al.* 2012e). Dichos autores muestran su distribución en el medio natural. En la figura 18 se muestra la distribución actual donde se observa cómo se ha ido dispersando desde el 2012. Es una especie de fertilización externa que tiene una fecundidad entre 1.000 a 10.000 huevos, en donde el macho cuida los huevos hasta la eclosión y tanto macho como hembra prestan cuidado parental a los juveniles (Vann *et al.* 2006, Gutiérrez *et al.* 2012e). Se encuentra en cuerpos de agua lénticos, poco profundas y con vegetación, usualmente se alimenta de plantas (FishBase 2020i).

+ *Trichopodus microlepis* (Günther, 1861): gourami luz de luna, gourami plateado

Especie señalada por Bogotá-Gregory y Gutiérrez *et al.* (2012g), introducida como ornamental en la cuenca Magdalena y Orinoco en cultivos de los departamentos de Caldas, Meta, Santander y Valle del

Cauca, pero no hay reportes en el medio natural en la actualidad. Esta especie habita principalmente cuerpos de agua lénticos con abundante vegetación, se alimenta de crustáceos, zooplancton e insectos (FishBase 2020j). Es una especie ovípara que produce entre 500 a 1.000 huevos, en donde el macho construye un nido de burbujas cubierto por mucosa para depositar los huevos (Bogotá-Gregory y Gutiérrez *et al.* 2012g, FishBase 2020j).

+ *Trichopodus trichopterus* (Pallas 1770): gourami azul o gourami de tres puntos

Especie ornamental también muy común, señalada por primera vez en este trabajo e introducida con fines de cultivo ornamental en la cuenca Magdalena donde hay reportes en el medio natural incluso antes del 2012; probablemente su distribución actual también está subestimada (Figura 19). Estos peces habitan lagunas poco profundas, arroyos de flujo lento y zonas pantanosas, los juveniles se alimentan de algas y zooplancton mientras que los adultos son omnívoros oportunistas (Rodrigues-Filho *et al.* 2018). La fecundidad de esta especie depende del tamaño, sin embargo, desova desde 300 huevos hasta un máximo aproximado de 4.000 y se presenta un cuidado parental por parte del macho quien construye los nidos (CABI 2020b).

Pez cebra, cebrita: *Danio rerio* (Hamilton 1822) (Danionidae)

Especie ornamental también muy común, señalada por primera vez en este trabajo e introducida con fines de cultivo ornamental y ensayos fisiológicos en Colombia. Ya hay escapes en la cuenca Magdalena (subcuenca del río Cauca) donde hay reportes en el medio natural después del 2012 (Anexo 2, Figura 20).



Liberum Donum Studios

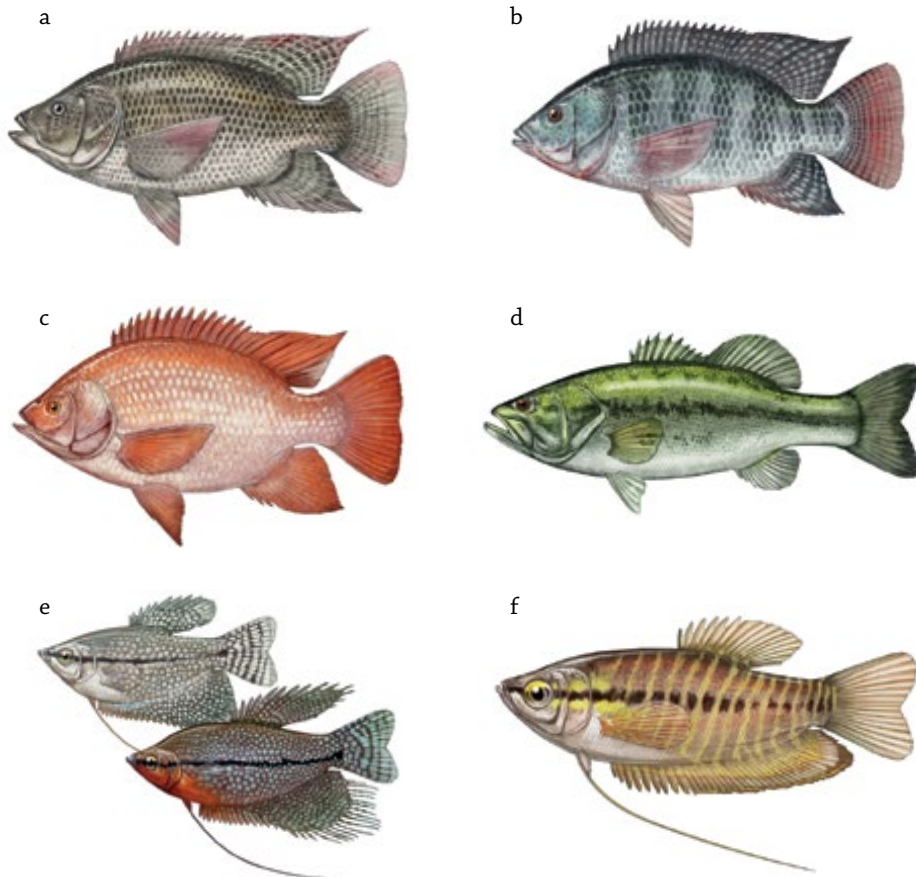


Figura 3. a) *Coptodon rendalli*; b) *Oreochromis niloticus*; c) *Oreochromis* - híbrido rojo; d) *Micropterus salmoides*; e) *Trichopodus leeri*; f) *Trichopodus pectoralis*. Imágenes: IAvH - Liberum Donum Studios. * Las ilustraciones no están a escala.

Estos peces son ovíparos en donde la presencia del macho es esencial para el desove, en el cual se producen nidadas que varían de 1 a más de 700 huevos y no hay cuidado parental; habitan preferiblemente sistemas lénticos como cuerpos de agua estancados, bordes de arroyos y zanjas; es omnívoro por lo que su dieta en ambientes naturales se basa en zooplancton e insectos, aunque también consume

material vegetal, detrito, escamas de pescado, entre otros (Spence *et al.* 2008).

Carpa dorada, pez rojo, bailarina:
***Carassius auratus* (Linnaeus 1758)**
(Cyprinidae) (Figura 4a)

Es una de las especies ornamentales más ampliamente distribuida –introducida– en todo el mundo, probablemente más de 70 países. En Colombia está presente en

PECES INTRODUCIDOS

las cuencas del Magdalena (subcuencas Cauca), Orinoco y Pacífico (Gutiérrez y Sánchez-Duarte 2012a); seguramente en numerosos cultivos y criaderos privados a baja escala que producen variedades, incluyendo la cuenca del Caribe y otras regiones altoandinas (lagunas endorreicas) (Anexo 2, Figura 21a). Hay registros de cultivos en el piedemonte orinoquense (Meta, Acacias) (Anexo 2, Figura 21b). Habita aguas poco profundas y lénticas de lagunas y ríos con abundante vegetación; es omnívora por lo que se alimenta desde algas hasta invertebrados bentónicos (Doadrio 2001). Son peces ovíparos en donde las hembras desovan varias veces durante el periodo de desove, con un promedio de 300 a 600 huevos por cada postura. Posterior a tres días eclosionan y sus larvas son pelágicas (Gutiérrez y Sánchez-Duarte 2012a, Fish-base 2020 k).

Carpa herbívora: *Ctenopharyngodon idella* (Valenciennes 1844) (Cyprinidae) (Figura 4b)

Señalada para Colombia por Gutiérrez y Sánchez-Duarte (2012b) en la cuenca del Magdalena (subcuenca del río Cauca), río Chinchiná y embalse de Betania. Dichos autores mencionan que es cultivada y mantenida en cautiverio en 11 departamentos, pero según los registros del SEPEC-AUNAP 2017, 2018, no es cultivada en Colombia, al menos desde el 2016; tampoco hay registros en el medio natural. Estos peces se encuentran preferiblemente en cuerpos de agua de poca corriente y abundante vegetación como en lagos, ríos, embalses y estanques (Gutiérrez y Sánchez-Duarte 2012b). Es una especie ovípara con una fecundidad aproximada de 250.00 huevos y realiza migraciones reproductivas; es herbívora, sin embargo, las larvas/alevines son omnívoros por lo que se alimentan de insectos, moluscos, rotíferos, zoo y fitoplancton,

entre otros (Gutiérrez y Sánchez-Duarte 2012b, Castellanos y Granados 2018).

Carpa común, carpa asiática, carpa espejo: *Cyprinus carpio* Linnaeus 1758 (Cyprinidae) (Figura 4c)

Señalada para Colombia por Gutiérrez y Sánchez-Duarte (2012c) en la cuenca del Magdalena (subcuenca del río Cauca), ríos Sogamoso, Gris, Lejos y Santo Domingo, entre los más importantes. Es de interés pesquero y ornamental. Dichos autores mencionan que era cultivada y mantenida en 20 departamentos, pero según los registros del SEPEC-AUNAP 2017-2018 en la actualidad es cultivada en ocho departamentos y 12 municipios (Anexo 3). Hay datos de su presencia en el medio natural en la subcuenca del río Cauca y piedemonte andino magdalénico-orinoquense después del 2012 (Anexo 2, Figura 22a). La variedad *Cyprinus carpio* Koi es muy común en la acuariofilia y parques públicos donde se reproduce; también es cultivada junto con la carpa común en el Magdalena, Orinoco y Caribe (Anexo 2, Figura 22b, c). Habita sistemas lénticos como las corrientes medianas y bajas de los ríos, en aguas confinadas y áreas inundadas; asociada principalmente al fondo, aunque busca alimento, tal como insectos acuáticos adultos, larvas de insectos, moluscos, zooplancton y material vegetal, en capas medias y superiores. Además es una especie vivípara, con una fecundidad elevada entre 100 a 250 huevos/kg; los huevos y peces eclosionados se pegan al sustrato hasta el desarrollo de su vejiga natatoria (FAO 2004, Gutiérrez y Sánchez-Duarte 2012c).

Carpas plateadas, carpas cabezonas: *Hypophthalmichthys* spp (Cyprinidae) (Figura 4d)

Incluye dos especies: *Hypophthalmichthys molitrix* (Valenciennes 1844) e



Liberum Donum Studios

Hypophthalmichthys nobilis (Richardson 1845), señaladas para Colombia por Gutiérrez y Sánchez-Duarte (2012d-e), desde finales de los ochenta para la subcuenca del Cauca y más de diez municipios en otros puntos de la cuenca del Magdalena en cuatro departamentos (Caldas, Huila, Tolima y Valle del Cauca). No obstante, a pesar de que se señalan escapes y/o liberaciones, no hay registros documentados en la actualidad en colecciones en el medio natural. *H. molitrix* habita cuerpos de agua lénticos como embalses; es una especie ovípara que puede poner hasta 2 millones de huevos los cuales flotan al igual que las larvas corriente abajo hasta llanuras inundables, además, su dieta se basada en fitoplancton (adultos) y zooplancton (larvas y juveniles) (Gutiérrez *et al.* 2012f, Fishbase 2020l). Por otro lado, *H. nobilis* habita ríos grandes asociados a planos de inundación; puede poner entre 280.000 a 549.000 huevos, realiza migraciones reproductivas y su dieta es principalmente zooplanctívora (Gutiérrez y Sánchez-Duarte 2012e).

Trucha arcoiris: *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum 1792) (Salmonidae) (Figura 4e)

Es la especie más típica en la acuicultura y pesca deportiva en las aguas templadas y frías de Suramérica e introducida en al menos 85 países. En Colombia fue introducida desde 1940 en las partes altas de las cuencas -por encima de los 1200 m s.n.m.- del Magdalena, Orinoco, Pacífico, Caribe y Amazonas, incluyendo 15 departamentos donde es cultivada (Gutiérrez y Espinosa 2012b). Los escapes son frecuentes, así como la siembra en lagunas altoandinas exo y endorreicas (C. Lasso obs. pers.). Los autores anteriores presentan un análisis muy completo sobre esta especie. Está ampliamente distribuida en las partes altas de estas cuencas donde se pesca (Lasso *et*

al. 2019), hay numerosos registros de su dispersión posterior al 2012 (Figura 23a) y cultivos en 11 departamentos y 26 municipios (Anexo 2, Figura 23b). Gutiérrez y Espinosa (2012b) señalaron la introducción de otras especies de salmónidos, entre ellas a *Salmo trutta* (Figura 24), pero no hay mayor información al respecto y su presencia actual debe ser confirmada. Esta especie es ovípara, que puede poner hasta 2.000 huevos/kg de peso corporal, además, es una especie carnívora que se alimenta de insectos, crustáceos, moluscos, huevos de peces y peces pequeños (FAO 2009).

Topote, Mollinesia, Molly: *Poecilia latipinna* (Lesueur 1821) (Cyprinodontiformes, Poeciliidae)

Especie ornamental introducida en Colombia previo a la década del dos mil. Aparentemente está en cultivos cerrados en la cuenca del Magdalena (departamentos de Antioquia, Huila, Quindío, Risaralda y Valle del Cauca) y Amazonas (Caquetá) (Sánchez-Duarte *et al.* 2012b), pero no hay registros en el medio natural. Habita en lagos, manantiales, lagunas y pozas, además, es abundante en zanjas y canales de marea de agua salobre. Por otro lado, es una especie ovovivípara que en un periodo de gestación de 28 días produce entre 10 a 100 crías y se alimenta de algas, rotíferos, crustáceos pequeños e insectos acuáticos (Valencia *et al.* 2016, Fishbase 2020m).

Espadas, cola de espada: *Xiphophorus spp* (Cyprinodontiformes, Poeciliidae)

Hay tres especies -todas ornamentales- asignadas a este género.

+ *Xiphophorus hellerii* Heckel 1848: cola espada (Figura 4f)

Señalada por Sánchez-Duarte *et al.* (2012c) tanto en el medio natural en las cuencas

PECES INTRODUCIDOS

del Magdalena (subcuenca Cauca y otras), Amazonas y Orinoco, como en sistemas confinados en al menos seis departamentos y muchos municipios sin precisar. Se ha dispersado ampliamente después del 2012 (Anexo 2, Figura 25). Estos peces habitan en ambientes lóticos y lénticos con preferencia de hábitats con mucha vegetación, son ovovivíparos con un marcado dimorfismo sexual (una “espada”, conjunto de radios alargados en la margen de la aleta caudal) y la hembra produce entre 20 y 200 crías después de una gestación de 24 a 30 días. Además, son omnívoros con preferencia en insectos, fitoplancton y algas (Han y Fang 2010, Sánchez-Duarte *et al.* 2012 c, Fishbase 2020n).

+ *Xiphophorus maculatus* (Günther, 1866): platy, bandera (Figura 4g)

Señalada en el medio natural en las cuencas del Magdalena (subcuenca Cauca y otras) y Orinoco (subcuenca Meta); también en sistemas confinados de por lo menos seis departamentos y muchos municipios sin precisar (Sánchez-Duarte *et al.* 2012d). Se ha dispersado después del 2012 según muestran los registros de colecciones (Anexo 2, Figura 26) y seguro su distribución actual es mucho más amplia. Habita en aguas periféricas como zanjas, remansos, pastizales inundados y arroyos (Kallman 1975). Es una especie ovovivípara que puede poner hasta 90 crías por camada con un periodo de gestación de aproximadamente 21 días, además es omnívora, alimentándose tanto de plantas como animales (Kallman 1975, Sánchez-Duarte *et al.* 2012d, Magalhães y Jacobi 2013).

+ *Xiphophorus variatus* (Meek, 1904): espada marmoleada (Figura 4h)

Señalada por tanto en el medio natural en la cuenca del Magdalena (subcuenca Cauca y otras); también en sistemas

confinados de al menos seis departamentos y muchos municipios sin precisar (Gutiérrez y Sánchez-Duarte *et al.* 2012f). Hay al menos un registro en el medio natural después del 2012 según muestran los registros de colecciones (Figura 27) y al igual que la especie precedente, es muy probable que su distribución actual sea mucho más amplia. Esta especie habita ambientes muy diversos, principalmente en ríos, zanjas y canales, son ovovivíparos y mensualmente cada hembra puede producir entre 30 y 100 crías (Gutiérrez y Sánchez-Duarte 2012f, Borowsky y Khouri 1976). Son omnívoros (Gutiérrez y Sánchez-Duarte 2012f).

Fuentes de introducción

Introducciones desde cultivos piscícolas

De acuerdo con la fuente de información más reciente sobre la actividad acuícola en Colombia (datos SEPEC-AUNAP 2016 al presente), hay cultivos registrados de especies exóticas en 121 municipios (23 departamentos) y de especies trasplantadas en 92 municipios (18 departamentos) (Anexo 2, Figura 29), que cultivan seis especies exóticas (incluyendo una variedad y un híbrido) y nueve trasplantadas (incluye un híbrido) (Anexos 2 y 3a-b). En la mayoría de los casos se trata de policultivos (especies trasplantadas y exóticas en los mismos centros acuícolas). En el anexo 3 y en las figuras anteriores se muestra en detalle los cultivos para c/u de las especies con información actual: a) trasplantadas y/o repoblamiento (*Arapaima gigas*, *Colossoma macropomum*, *Piaractus orinoquensis*, *Colossoma x Piaractus* “híbrido”, *Brycon amazonicus*, *Brycon* sp, *Prochilodus nigricans*, *Prochilodus magdalenae* y *Pseudoplatystoma magdaleniatum*); b) especies exóticas: *Carassius auratus*, *Cyprinus carpio*, *Cyprinus carpio* variedad



Liberum Donum Studios

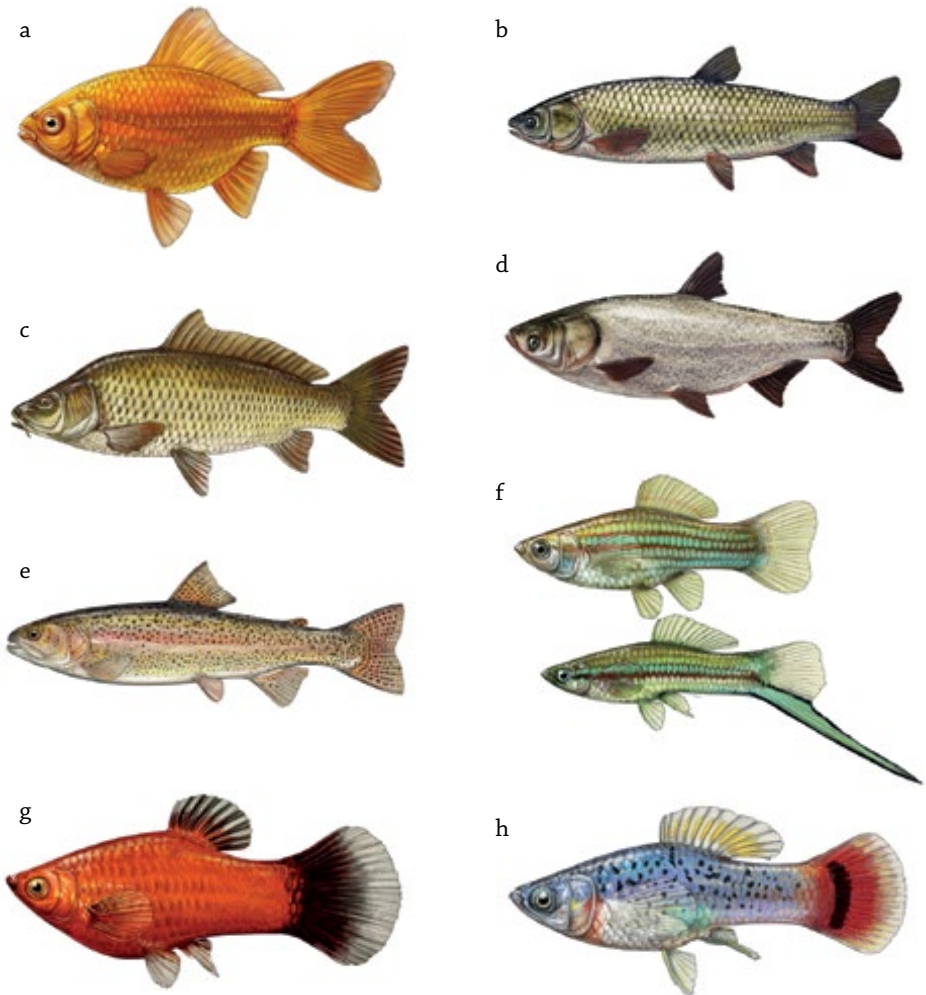


Figura 4. a) *Carassius auratus*; b) *Ctenopharyngodon idella*; c) *Cyprinus carpio*; d) *Hypophthalmichthys molitrix*; e) *Oncorhynchus mykiss*; f) *Xiphophorus hellerii*; g) *Xiphophorus maculatus*; h) *Xiphophorus variatus*. Imágenes: IAvH - Liberum Donum Studios. * Las ilustraciones no están a escala.

koi, *Oncorhynchus mykiss*, *Oreochromis niloticus* y *Oreochromis* “híbrido” rojo.

Las especies trasplantadas que cuentan con un mayor número de cultivos desde

el 2016 son *Piaractus orinoquensis* (78 cultivos), *Colossoma macropomum* (25) y *Brycon amazonicus* (23) (Anexo 3a). Entre las especies trasplantadas, destacan *Oreochromis* sp “híbrido rojo” (102), *O. niloticus*

PECES INTRODUCIDOS

(63) y *O. mykiss* (25) (Anexo 3b). Es importante recordar que en un municipio puede haber desde uno a decenas o centenares de cultivos, sin contar los que se realizan a muy baja escala (familiares), no registrados.

La figura 30a-b (Anexo 2) muestra el cruce y/o solapamiento de los tres tipos de cultivos más importantes registrados oficialmente (*O. niloticus*, *O.* híbrido rojo y *O. mykiss*) y la distribución actual en el medio natural adyacente –basada en registros de campo– de tres especies de tilapias; en la figura 30b (Anexo 2) la trucha y en la figura 30c (Anexo 2) el basa o pangasius.

Introducciones desde los acuarios de peces ornamentales

De acuerdo con los datos de AUNAP, Colombia importa unas 40 especies de peces exóticos agrupados en nueve familias. En la tabla 1 se muestra la lista corregida (se actualizaron y/o corrigieron los nombres científicos) de las especies importadas incluyendo el código que maneja la AUNAP. De estas, no se pudo establecer con seguridad la validez taxonómica del pez arco iris (*Melanotenia hebertaxelrodi* Allen, 1981-Melanotaeniidae) y el cíclido tropheops (*Tropheus*), fue mantenido a nivel genérico por dudar de la existencia de esa especie (nomenclatura). De esta lista, nueve especies ya están presentes en el medio natural: *Betta splendens*, *Carassius auratus*, *Dario rerio*, *Poecilia reticulata*, *Trichopodus leeri*, *Trichopodus trichopterus*, *Xiphophorus helleri*, *Xiphophorus maculatus* y *Xiphophorus variatus*. Aquí no están listadas las diferentes variedades que también se importan.

Introducciones para la pesca deportiva

Uno de los principales atractivos para un pescador deportivo, es la capacidad que

tiene un pez para defenderse de ser atrapado. Es por ello que desde hace años los pescadores deportivos han venido introduciendo a los ecosistemas acuáticos, particularmente en embalses, especies que cumplan con esta característica. Se cuenta con el reporte de la introducción de 14 especies: trucha-*Onchorhynchus mykiss*, el Bass- *Micropterus salmoides*, las tilapias-*Oreochromis mossambicus*, *Oreochromis niloticus* y *Oreochromis* “híbrido rojo”, el pirarucu-*Arapaima gigas*, la cachama negra-*Colossoma macropomum*, la cachama blanca-*Piaractus orinoquensis*, el híbrido-*Colossoma x Piaractus* y el pavón-tucunaré-*Cichla ocellaris* variedad *monoculus*) (Lasso *et al.* 2019). En dicho trabajo se detallan las áreas de pesca y en los mapas de este capítulo los puntos precisos donde se ha registrado y se pescan estas especies.

Introducciones en embalses

Dadas sus condiciones lacustres, los embalses no ofrecen hábitats apropiados para sostener poblaciones de especies ribereñas nativas y luego de su formación, el ensamblaje inicial de especies es paulatinamente reemplazado por ensamblajes con bajas riquezas y diversidades y se incrementa la abundancia de presencia de especies exóticas (Agostinho *et al.* 2007, Álvarez-Bustamante *et al.* 2018). Jiménez-Segura *et al.* (2011) listan 77 especies de peces que habitan los embalses colombianos. De estas, once son exóticas y las más frecuentes entre los embalses son la carpa, *Cyprinus carpio* y la tilapia, *Oreochromis niloticus*. Estos autores afirman que la presencia de especies exóticas dentro de los embalses dentro de la cuenca genera la homogenización de los ensamblajes de peces ya que estas especies predominan dentro de estos ecosistemas artificiales presentes en los diferentes ramales andinos y a varias alturas.



Tabla 1. Peces ornamentales importados.

Código AUNAP	Nombre científico	Nombre científico corregido/familia	Nombre comun
700	<i>Barbodes semifasciolatus</i>	<i>Barbodes semifasciolatus</i> (Günther 1868). Cyprinidae	Barbus oro
701	<i>Betta splendens</i>	<i>Betta splendens</i> Regan 1910. Osphronemidae	Betta
702	<i>Carassius auratus</i>	<i>Carassius auratus</i> (Linnaeus 1758). Cyprinidae	Bailarina
703	<i>Dario kerri</i>	<i>Danio kerri</i> Smith 1931. Danionidae	Dario
704	<i>Dario rerio</i>	<i>Danio rerio</i> (Hamilton 1822). Danionidae	Dario
705	<i>Desmopuntius rhomboocellatus</i>	<i>Desmopuntius rhomboocellatus</i> (Koumans 1940). Cyprinidae	Barbus tetrazona
706	<i>Devario malabaricus</i>	<i>Devario malabaricus</i> (Jerdon 1849). Danionidae	Danio gigante
707	<i>Glossolepis incisus</i>	<i>Glossolepis incisus</i> Weber 1907. Melanotaeniidae	Australiano rojo
708	<i>Gymnocorymbus ternetzi</i>	<i>Gymnocorymbus ternetzi</i> (Boulenger 1895). Characidae	Monjita
709	<i>Helostoma temminckii</i>	<i>Helostoma temminckii</i> Cuvier 1829. Helostomatidae	Gurami besador
710	<i>Hemichromis bimaculatus</i>	<i>Hemichromis bimaculatus</i> Gill 1862. Cichlidae	Cíclido joya
711	<i>Hyphessobrycon flammeus</i>	<i>Hyphessobrycon flammeus</i> Myers 1924. Characidae	Tetra vonrio
712	<i>Macropodus opercularis</i>	<i>Macropodus opercularis</i> (Linnaeus 1758). Osphronemidae	Gurami paraíso azul
713	<i>Melanochromis auratus</i>	<i>Melanochromis auratus</i> (Boulenger 1897). Cichlidae	Cíclido auratus
714	<i>Melanotaenia splendida</i>	<i>Melanotaenia splendida</i> (Peters 1866). Melanotaeniidae	Arco iris splendida
715	<i>Melanotenia boesemani</i>	<i>Melanotaenia boesemani</i> Allen & Cross 1980. Melanotaeniidae	Arco iris boesemani
716	<i>Melanotenia hebertaxelrodi</i>	<i>Melanotenia hebertaxelrodi</i> Allen, 1981 . Melanotaeniidae	Arco iris axelrodi
717	<i>Neolamprologus brichardi</i>	<i>Neolamprologus pulcher</i> (Trewavas & Poll 1952). Cichlidae	Cíclido brichardi
718	<i>Pelvicachromis pulcher</i>	<i>Pelvicachromis pulcher</i> (Boulenger 1901). Cichlidae	Cíclido pulcher
719	<i>Pethia conchonius</i>	<i>Pethia conchonius</i> (Hamilton 1822). Cyprinidae	Barbus rossy
720	<i>Phenacogrammus interruptus</i>	<i>Phenacogrammus interruptus</i> (Boulenger 1899). Alestidae	Tetra Congo

PECES INTRODUCIDOS

Tabla 1. Continuación

Código AUNAP	Nombre científico	Nombre científico corregido/familia	Nombre comun
721	<i>Poecilia latipinna</i>	<i>Poecilia latipinna</i> (Lesueur 1821). Poeciliidae	Molly
722	<i>Poecilia reticulata</i>	<i>Poecilia reticulata</i> Peters 1859. Poeciliidae	Guppy de velo multicolor
723	<i>Poecilia velifera</i>	<i>Poecilia velifera</i> (Regan 1914). Poeciliidae	Molly de velo
724	<i>Pseudotropheus elongatus</i>	<i>Chindongo elongatus</i> (Fryer 1956). Cichlidae	Ciclido elongatus
725	<i>Pseudotropheus johannii</i>	<i>Pseudotropheus johannii</i> Eccles 1973. Cichlidae	Ciclido johannii amarillo-azul
726	<i>Puntigrus tetrazona</i>	<i>Puntigrus tetrazona</i> (Bleeker 1855). Cyprinidae	Barbus tetrazona
727	<i>Tanichthys albonubes</i>	<i>Tanichthys albonubes</i> Lin 1932. Tanichthyidae	Neon chino común
728	<i>Thorichthys meeki</i>	<i>Thorichthys meeki</i> Brind 1918. Cichlidae	Cichlasoma meeki
729	<i>Trichogaster chuna</i>	<i>Trichogaster chuna</i> (Hamilton 1822). Osphronemidae	Colisa chuna
730	<i>Trichogaster fasciata</i>	<i>Trichogaster fasciata</i> Bloch & Schneider 1801. Osphronemidae	Colisa fasciata
731	<i>Trichogaster labiosa</i>	<i>Trichogaster labiosa</i> Day 1877. Osphronemidae	Colisa labiosa
732	<i>Trichogaster lalius</i>	<i>Trichogaster lalius</i> (Hamilton 1822). Osphronemidae	Colisa lalia
733	<i>Trichopodus leeri</i>	<i>Trichopodus leeri</i> (Bleeker 1852). Osphronemidae	Gurami perla
734	<i>Trichopodus microlepis</i>	<i>Trichopodus microlepis</i> (Günther 1861). Osphronemidae	Gurami luz de luna
735	<i>Trichopodus trichopterus</i>	<i>Trichopodus trichopterus</i> (Pallas 1770). Osphronemidae	Gurami azul
736	<i>Tropheus tropheus</i>	<i>Tropheus</i> sp.	Ciclido tropheops
737	<i>Xiphophorus helleri</i>	<i>Xiphophorus helleri</i> Heckel 1848. Poeciliidae	Espada
738	<i>Xiphophorus maculatus</i>	<i>Xiphophorus maculatus</i> (Günther 1866). Poeciliidae	Platys dorado
739	<i>Xiphophorus variatus</i>	<i>Xiphophorus variatus</i> (Meek 1904). Poeciliidae	Platys variatus amarillo
	40 especies -9 familias		



Debido a que en los embalses se reduce la oferta de individuos de especies ribereñas, entre 1940 y 1960, los investigadores asumieron que ecosistemas como los embalses requerían de nuevas especies y ello reforzó los procesos de introducción, repoblamiento y de trasplante (Hall y Mills 2000). Los embalses colombianos no fueron ajenos a este tipo de manejo y actualmente en los embalses se reportan especies introducidas como: *Arapaima gigas*, *Caquetaia kraussii*, *Caquetaia umbrifera*, *Cichla monoculus* variedad *ocellaris*, *Colossoma macropomum*, *Ctenopharyngodon idella*, *Cyprinus carpio* var. *carpio*, *Cyprinus carpio* var. *specularis*, *Micropterus salmoides*, *Oreochromis mossambicus*, *Oreochromis niloticus*, *Oreochromis spp*, *Oncorhynchus mykiss*, *Piaractus brachypomus* (que en realidad es *P. orinoquensis*), *Coptodon rendalli* y *Trichogaster pectoralis*.

Muchas de estas especies han resultado en beneficios socioeconómicos para la población local, pero con impactos sobre poblaciones nativas no evaluados (López-Sánchez *et al.* 2018, Jiménez-Segura *et al.* 2011). En la actualidad el embalse de Betania es uno de los mayores productores de *Tilapia* del país, basado en la cría dentro de jaulas flotantes y, en la pesca artesanal de individuos que se fugan de las jaulas (Programa de Transformación Productiva 2014). El desarrollo acuícola en este embalse ha sido motivo de discusiones interesantes sobre la viabilidad de este tipo de producción debido a sus impactos sobre la calidad del agua de estos ecosistemas acuáticos y sus consecuencias en los equipos de generación de energía y en los acueductos de municipios ribereños aguas abajo de los embalses (Peña y Zambrano 2003). Otros elementos que deben ser considerados por las autoridades en la promoción de los em-

balses, es su relación con la piscicultura: el 95% de ellos fueron formados para generar de energía eléctrica (Jiménez-Segura *et al.* 2014b) y así presentan importantes variaciones en su volumen de agua asociado con la demanda de energía en el país, por lo que no garantizan las condiciones apropiadas para un cultivo de peces. Aun la discusión sigue abierta dado el gran interés de los acuicultores por el desarrollo de la piscicultura en jaulas y, por su parte, el de los generadores por proteger su inversión y garantizar el suministro de energía eléctrica al país.

Introducciones a través de repoblamientos

Los repoblamientos junto con el monitoreo a la diversidad acuática son las acciones de compensación más recurrentes en los planes de manejo ambiental en la cuenca del río Magdalena definidos por las autoridades en el Estado colombiano, e incluso, aunque no son oficialmente reconocidos, es una práctica común dentro de la población campesina la de llevar peces de una quebrada a otra (“trasplante artesanal”).

Loaiza *et al.* (2018) hacen un recorrido histórico de los repoblamientos en nuestro país e identifican algunas prácticas que llevaron a la introducción de especies de otras cuencas en otros continentes, de cuencas suramericanas e incluso, de cuencas dentro de territorio colombiano. Los repoblamientos se iniciaron en el segundo tercio del siglo pasado y la selección de las especies para repoblar, fue para garantizar la provisión de proteína a la población (COPESCAL 2011). En ese momento el conocimiento sobre la importancia de nuestra diversidad y de su biogeografía era apenas incipiente o, tal vez, no era lo suficientemente reconocido. Esto posiblemente guarda relación o explica en parte,

PECES INTRODUCIDOS

situaciones como es el caso de la introducción de juveniles en el Magdalena de blanquillo y bagre rayado, provenientes de la cuenca del río Orinoco. En el caso de parentales de bagre rayado y de blanquillo provenientes de piscícolas en la cuenca del Orinoco, se consideraban que las dos especies eran las mismas tanto para el Magdalena como para el Orinoco. Solo hasta después del año 2000 fue que se determinó que las especies del Magdalena eran diferentes: *Pseudoplatystoma magdaleniatum* Buitrago-Suárez y Burr, 2007 y *Sorubim cuspicaudus* Littmann, Burr y Nass, 2000. El impacto de estas introducciones y trasplantes en el acervo genético de las poblaciones de estas especies de peces nativos de la cuenca es discutido en Márquez *et al.* (2020).

En Colombia el primer repoblamiento con trucha arcoiris fue en la laguna de Tota en 1938 (Parrado 2012). Desde entonces y debido a que el desarrollo de paquetes tecnológicos para producir juveniles de especies nativas era casi que inexistente, los repoblamientos se hicieron con especies exóticas como la carpa (*Cyprinus carpio*), especies de tilapias (*Coptodon rendalli*) e híbridos de *Oreochromis spp.* Loaiza *et al.* (2018) identificaron la introducción mediante repoblamientos de individuos de 22 especies, 11 nativas de la cuenca: *Prochilodus magdalenae*, *Brycon moorei*, *Salminus affinis*, *Leporinus muyscorum*, *Icthyoelephas longirostris*, *Sorubim cuspicaudus*, *Pseudoplatystoma magdaleniatum*, *Pimelodus grosskopfii*, *Brycon moorei*, *Ageneiosus pardalis*, *Rhamdia spp.*, principalmente en ciénagas del río Magdalena. Todas ellas provienen de reproducciones en cautiverio realizadas con parentales de las especies dentro de estaciones piscícolas. De las 213 estaciones piscícolas del país, seis producen juveniles para hacer repoblamientos; cuatro se ubican dentro de la cuenca del río Magdalena y

solo una de ellas tiene autorización vigente de la AUNAP para hacer repoblamientos: la estación piscícola de San Silvestre (Barrancabermeja) (Jhon J. Restrepo, funcionario AUNAP, com. pers. 3 de junio de 2020).

Dado que los repoblamientos se convirtieron en una actividad recurrente y que “compensaba” la pérdida o deterioro del hábitat debido a alguna intervención antrópica, la autoridad pesquera decidió hacer una revisión de los procedimientos asociados con estas actividades y generó una resolución (Resolución 2838 de 2017), que busca garantizar el cumplimiento de algunos requisitos básicos: que la población de la especie venía disminuyendo para justificarse un repoblamiento, que los parentales si pertenecieran a la especie objeto de repoblamiento y, que se garantizará su idoneidad genética y sus condiciones de salubridad. Desde entonces, estas actividades se vienen realizando acogiendo a esa normativa y es el SEPEC (Servicio de Estadística Pesquera Colombiano) es el delegado para monitorear su efectividad.

Si bien los repoblamientos son autorizados y supervisados actualmente por el Estado colombiano, los trasplantes “artesanales” no lo son y estudios recientes sobre la variabilidad genética de la sabaleta *Brycon henni*, evidencian su ocurrencia. Jiménez-Segura *et al.* (2020), afirman que el número de especies de interés pesquero se reduce con la elevación y que a partir de los 1600 m s.n.m. la sabaleta, una especie nativa que habita las quebradas de montaña, es muy apetecida por la población próxima a los ríos dada la calidad de su carne y su tamaño (longitud estándar máxima: 21 cm). Esta especie presenta una marcada estructuración genética (Muñoz *et al.* 2019, Landínez y Márquez 2020, Herrera-Pérez 2020). Sin embargo, se ha encontrado poblaciones de



Liberum Donum Studios

la cuenca del Magdalena genéticamente muy similares a las del Cauca y dicho resultado probablemente está indicando trasplantes realizados por pescadores artesanales entre el río Porce y la cuenca del río Nare (Herrera-Pérez 2020).

Peces introducidos: ¿una amenaza real para la conservación de la ictiofauna nativa?

Gutiérrez *et al.* (2012) reportaron 29 especies introducidas (4 especies trasplantadas más un híbrido y 25 especies exóticas). Con información actualizada a la fecha, aquí se reconocen 43 especies introducidas, todas ellas presentes en la cuenca del Magdalena (13 especies trasplantadas y 30 especies exóticas). Se reportan entonces siete especies trasplantadas nuevas (*Brycon amazonicus*, *Brycon* sp, *Prochilodus mariae*, *Prochilodus nigricans*, *Pterygoplichthys pardalis*, *Pseudoplatystoma magdaleniatum* y *Cichla ocellaris* variedad *monoculus*) y seis exóticas (incluye una variedad) (*Coptodon rendallii*, *Parachromis friedrichsthalii*, *Betta splendens*, *Trichopodus trichopterus*, *Danio rerio* y la variedad Koi de *Cyprinus carpio*). Para 12 especies (una trasplantada y 11 exóticas), la distribución se amplió de manera notoria desde el último reporte (2012) al presente (2020), lo que es un indicativo claro de la dispersión y expansión en la distribución geográfica de estas. Desafortunadamente, muchas de las especies de interés para la pesca deportiva han sido introducidas de manera intencional por pescadores deportivos, por lo que es fundamental realizar un trabajo de índole educativo para evitar este tipo de actividad.

Es indudable que la ampliación de muchas especies está asociada a liberaciones permitidas y repoblamientos. La falta de seguridad en las instalaciones de los cultivos es otra razón que contribuye a los escapes, tal

y como lo demuestra la presencia actual de varias especies (p. e. tilapias, truchas y el *Pangasius*), cerca de estos cultivos. A esto se suma los miles de cultivos pequeños no registrados y repartidos por todo el país. El país se encuentra entonces ante un panorama “babilónico”: la cuenca del Magdalena es la Torre de Babel en términos icticos.

A pesar de los hallazgos desde la Academia, es muy reducida la evidencia que soporta la afirmación de que las especies introducidas son una amenaza para los peces nativos de la cuenca del río Magdalena y otras regiones del país. Hasta hace una década, el monitoreo biológico o los inventarios descartaban reportar su presencia por el hecho de no ser especies nativas de la cuenca. A medida que aumento la frecuencia de reportes, se consideró pertinente no solo registrarlos sino también incluirlos dentro de las colecciones biológicas a manera de testimonio de su presencia y, recientemente, avanzar en el conocimiento de sus condiciones de hábitat, de su dieta y de estimar la magnitud en que el nicho de las especies nativas se sobrepone con el de las introducidas (Castellanos-Mejía *et al.* 2020). Aunque el avance en el conocimiento de estas interacciones es reducido, a la fecha ha venido incrementándose su estudio. Caraballo y Gandara (2010) describen como la pesquería artesanal del embalse del Guajaro cambio de especie objetivo dado que la abundancia de la arenca (*Triportheus magdalenae*) se redujo tres años después de haber sido introducida la tilapia nilotica *Oreochromis niloticus*. Castañeda (2017) encontró que la trucha bass (*M. salmoides*) depreda sobre los invertebrados presentes dentro del embalse Martínez Isaza (Concordia, Antioquia), sobre peces de su misma especie y sobre otras especies nativas como las del género *Astroblepus*. En un experimento realizado

PECES INTRODUCIDOS

en condiciones controladas dentro la laguna de La Cristalina (Paramo de La Rusia, Boyacá), un lago que no presenta peces, Herrera-Martínez *et al.* (2017) mencionan que, en diferentes momentos de su desarrollo, la trucha arcoíris depreda sobre la comunidad del zooplancton presente dentro de ese cuerpo de agua. Nieto (2020) informa que *Micropterus salmonides* depreda sobre diversos macroinvertebrados dentro de la zona del embalse de Riogrande (Antioquia). Los reportes hasta hora citados evidencian que estas especies introducidas depredan sobre recursos que son usados como fuente de alimento de otras especies nativas

Recientemente, el reporte del *Pangasius*, *Pangasionodon hypophthalmus* en las capturas de los pescadores del río Magdalena disparó las alarmas debido a sus rasgos en la estrategia de vida que podría llevar a convertirse en una amenaza para otros peces (Valderrama *et al.* 2016) (Anexo 2, Figura 28a). *Pangasianodon hypophthalmus* conocido en Colombia con el nombre común de basa, panga o *Pangasius*, es una especie objeto de atención especial dada su potencialidad en la acuicultura y los posibles impactos que su introducción pudiera acarrear. Esta especie se distribuye ampliamente en la región tropical asiática, en países como Laos, Tailandia, Vietnam y Camboya y su presencia en el país ya fue referida por Gutiérrez *et al.* (2012h), quienes además señalaron varios aspectos sobre su introducción y sentaron las bases para el primer análisis de riesgo de la especie.

Para dimensionar la presión potencial de esta especie sobre otras especies nativas de la cuenca, Castellanos-Mejía *et al.* (2020, sometido), dimensionaron el potencial de invasión de esta especie y la intensidad

de la sobreposición de su nicho sobre una especie nativa y endémica del Magdalena, el bagre rayado (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*). El nicho de una especie es un espacio multidimensional donde se vinculan múltiples variables que delimitan las condiciones de hábitat donde prefiere estar el individuo de una especie, ya que le ofrecen condiciones apropiadas para permanecer, alimentarse, reproducirse y que su progenie sobreviva (Whittaker *et al.* 1973). La introducción de especies que presentan condiciones de nicho similares a las especies nativas del lugar donde se introduce, es una alerta para tener en consideración en los controles que desarrollen las instituciones responsables por la protección de la biodiversidad nativa. En el caso del basa, la especie en su área de distribución natural, es omnívora, migratoria -su migración está articulada con la estacionalidad en el caudal-, desova con las crecientes y sus huevos son fijados en sustratos, una vez eclosionan las larvas derivan por el cauce a favor de la corriente e ingresan a los planos laterales durante la inundación para continuar su crecimiento (Van Zalinge *et al.* 2002) y puede alcanzar tallas de 130 cm de longitud estándar (FAO 2010, García *et al.* 2018).

Castellanos-Mejía *et al.* (2020, sometido), identificaron que los planos laterales inundables de las zonas bajas en la cuenca y la composición del sustrato sobre el lecho o cauce del río son los factores que más influyeron en la probabilidad de ocupación de esta especie en la cuenca. De acuerdo con esto, el pez basa podría dispersarse dentro de las zonas bajas del río Magdalena, donde se encuentran presente casi el 70% de las especies de peces nativos de la cuenca (García-Alzate *et al.* 2020). Debido a que en estas zonas bajas del río Magdalena existen ecosistemas fundamentales



para el sostenimiento de las poblaciones de especies nativas, migratorias e importantes para la pesca artesanal como el bagre rayado (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*), se modeló la intensidad en la sobreposición de los nichos de las dos especies con la intención de ver la relación del basa la interrelación con el bagre rayado del Magdalena. Considerando que el potencial de coexistencia de las especies nativas depende de la interacción entre tres componentes fundamentales como: (1) disponibilidad de nicho fundamental, (2) grado de superposición de nicho y (3) capacidad de las especies para competir por la superposición de nicho, se observó una sobreposición de nicho del 91,7% entre el *Pangasius* y el bagre rayado (Castellanos-Mejía *et al.* 2020 sometido, Figura 28b). Esta evidencia es una alerta que deberá ser tomada en consideración por las autoridades ambientales y pesqueras respectivas, como criterio para la toma de decisiones.

Conclusiones

En la cuenca del río Magdalena hay 43 especies introducidas (13 especies trasplantadas y 30 especies exóticas). Dentro de estas se tiene el registro de al menos 957 localidades para 27 de estas especies y que reposan dentro de colecciones biológicas en el país.

La elevada fecundidad de algunas de las especies las especies introducidas, el cuidado parental en otras y su amplio espectro trófico (predominan especies omnívoras), son rasgos de la historia de vida que favorecen la invasión de estas especies dentro de la cuenca del río Magdalena.

Se identifican al menos cuatro fuentes de introducciones: desde estaciones piscícolas, actividad de pesca deportiva, repo-

blamientos y liberaciones de peces usados como ornamento. Los embalses son los ecosistemas acuáticos donde hay mayor número de registros de estas introducciones.

El desconocimiento sobre la biogeografía y la genética de nuestras especies nativas fue un vacío de conocimiento que permitió la promoción de las introducciones de peces en la cuenca del río Magdalena.

La presencia del *Pangasius* es una amenaza potencial a la conservación del bagre rayado dentro de la cuenca del río Magdalena debido a la alta sobreposición de nicho entre las dos especies.

Recomendaciones y perspectivas

Se recomienda una mayor interacción entre los diferentes organismos del Estado colombiano para controlar y tratar de erradicar las especies introducidas en la cuenca del río Magdalena, mediante acciones de gestión, divulgación y educación a la sociedad colombiana. También es necesario contar con el apoyo económico para realizar labores de investigación relacionados con algunos aspectos básicos (p. e. hábitos alimenticios, reproducción, parásitos, etc.) de especies exóticas y/o trasplantadas, a objeto de evaluar su impacto en las especies autóctonas o nativas.

Por último, el avance de las herramientas computacionales para el análisis de nicho y la disponibilidad de reportes de las especies introducidas dentro de las bases de datos de colecciones biológicas, debe ser un aliento para que los investigadores exploren el potencial invasivo de estas especies, así como la sobreposición de nicho con las especies nativas.

PECES INTRODUCIDOS

Bibliografía

- Agostinho, A. A., Gomes, L. C., & Pelicice, F. M. (2007). *Ecología e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil*. Editora de la Universidad Estadual de Maringá. 260 pp.
- Agudelo-Córdoba, E., Pineda-Argüello, I. Z., Ramírez, H., Acosta-Santos, A., Ajiaco-Martínez, R. E., Usma J. S., & González-Cañón, G. (2011a). *Colossoma macropomum*. En Lasso, C. A., Agudelo-Córdoba, E., Ramírez-Gil, H., Morales-Betancourt, M. A., Ajiaco-Martínez, R. E., Gutiérrez, F. de P., Usma, J. S., Muñoz, S., & Sanabria, A. I. (Eds.). *I. Catálogo de los recursos pesqueros continentales de Colombia*. Pp: 214-219. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
- Agudelo-Córdoba, E., Pineda-Argüello, I. Z., Acosta-Santos, A., Ramírez-Gil, H., Ajiaco-Martínez, R. E., & González-Cañón, G. (2011b). *Piaractus brachypomum*. En Lasso, C. A., Agudelo-Córdoba, E., Ramírez-Gil, H., Morales-Betancourt, M. A., Ajiaco-Martínez, R. E., Gutiérrez, F. de P., Usma, J. S., Muñoz, S., & Sanabria, A. I. (Eds.). *I. Catálogo de los recursos pesqueros continentales de Colombia*. Pp: 236-242. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
- Aldana Navarrete, H. (Ed.). (2014). Hacia la sostenibilidad y competitividad de la acuicultura colombiana. Bogotá D. C.: Programa de Transformación Productiva. 192 pp. <https://www.colombiaproductiva.com/CMSPages/GetFile.aspx?guid=37d850dd-342a-4dce-b83c-4421f0bd9143>
- Alkins-Koo, M. (2000). Reproductive timing of fishes in a tropical intermittent stream. *Environmental Biology of Fishes*, 57(1), 49-66.
- Álvarez-Bustamante, J., Jiménez-Segura, L. F., & Jaramillo-Villa, U. (2018). Ictiofauna de embalses en cascada en el cauce de un río tropical andino. *Actualidades Biológicas*, 40(108), 46-58. <https://dx.doi.org/10.17533/udea.acbi.v40n108a05>
- Álvarez-León, R., Gutiérrez-Bonilla, F., & Rodríguez-Forero, A. (2002). La introducción y trasplante de peces dulceacuícolas en Colombia: impactos ecológicos, económicos y legales. En *El Libro Rojo de Los Peces Dulceacuícolas de Colombia*, 55-62. Bogotá, D. C.: ICN-UNC/IIBAVH/MINAMBIENTE/CI-Colombia.
- Arantes, C. C., Castello, L., Stewart, D. J., Cetra, M., & Queiroz, H. D. (2010). Population density, growth and reproduction of arapaima in an Amazonian river-floodplain. *Ecology of Freshwater Fish*, 19(3), 455-465.
- Araujo-Lima, C. A. R. M., & Ruffino, M. L. (2003). Migratory fishes of the Brazilian Amazon. En Carolsfeld, J., Harvey, B., Ross, C., & Baer, A. (Eds.). *Migratory fishes of South America: biology, fisheries and conservation status*. Pp: 233-301. The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. 383 pp.
- Arce-Zúñiga, J. W., Alonso-González, J. C., Hernández-Barrero, S., & Valderrama-Barco, M. (2014). Determinación del tipo de desove y nivel de fecundidad del bagre rayado del Magdalena, *Pseudoplatystoma magdaleniatum* Buitrago-Suárez y Burr, 2007 (Siluriformes: Pimelodidae). *Biota Colombiana*, 15(1), 70-82.
- Baglin Jr, R. E., & Hill, L. G. (1977). Fecundity of the White Bass, *Morone chrysops* (Rafinesque), in Lake Texoma. *The American Midland Naturalist*, 98(1), 233-238.
- Baptiste M. P., Castaño, N., Cárdenas, D., Gutiérrez-Bonilla, F., Gil, D. L., & Lasso-Alcalá, C. A. (Eds.). (2010). *Análisis de riesgo y propuesta de categorización de especies introducidas para Colombia*. Bogotá, D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 200 pp.
- Baptiste, M. P. & C. A. Lasso. (2012). Conceptos y aspectos metodológicos. En Gutiérrez, F. de P., C. A. Lasso, M. P. Baptiste, P. Sánchez-Duarte & A. M. Díaz (Eds.). *VI. Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 4-51. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación



- de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
- Behera, S. (2012). Relationship among body weight, gonad weight, fecundity and egg size of an ornamental fighting fish, betta splendens. *J.Bio.Innov* 1(6), 198-204.
 - Bogotá-Gregory, J. D. & Gutiérrez, F. de P. (2012a). *Morone chrysops*. En Gutiérrez, F. de P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P., & Díaz, A. M. (Eds.). *VI. Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 174-177. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Bogotá-Gregory, J. D. & Gutiérrez, F. de P. (2012b). *Trichogaster chuna*. En Gutiérrez, F. de P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P., & Díaz, A. M. (Eds.). *VI. Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 181-184. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Bogotá-Gregory, J. D. & Gutiérrez, F. de P. (2012c). *Trichogaster fasciata*. En Gutiérrez, F. de P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P., & Díaz, A. M. (Eds.). *VI. Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 185-187. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Bogotá-Gregory, J. D. & Gutiérrez, F. de P. (2012d). *Trichogaster labiosa*. En Gutiérrez, F. de P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P., & Díaz, A. M. (Eds.). *VI. Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 188-190. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Bogotá-Gregory, J. D. & Gutiérrez, F. de P. (2012e). *Trichogaster lalius*. En Gutiérrez, F. de P., C. A. Lasso, M. P. Baptiste, P. Sánchez-Duarte & A. M. Díaz (Eds.). *VI. Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 191-193. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Bogotá-Gregory, J. D. & Gutiérrez, F. de P. (2012f). *Trichopodus leerii*. En Gutiérrez, F. de P., C. A. Lasso, M. P. Baptiste, P. Sánchez-Duarte & A. M. Díaz (Eds.). *VI. Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 198-200. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Bogotá-Gregory, J. D. & F. de P. Gutiérrez. (2012g). *Trichopodus microlepis*. En Gutiérrez, F. de P., C. A. Lasso, M. P. Baptiste, P. Sánchez-Duarte & A. M. Díaz (Eds.). *VI. Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 201-203. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Borowsky, R., & Khouri, J. (1976). Patterns of mating in natural populations of *Xiphophorus* II. *X. variatus* from Tamaulipas, Mexico. *Copeia*, 1976(4), 727-734. doi:10.2307/1443455
 - Britton, J. R., & Orsi, M. L. (2012). Non-native fish in aquaculture and sport fishing in Brazil: economic benefits versus risks to fish diversity in the upper River Paraná Basin. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 22(3), 555-565.
 - Caraballo, P., y Gandara, M. (2010). El sector pesquero en el departamento de Sucre, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 2(1), 153-162.
 - Carvajal-Quintero, J. D., Hernández-Serna, A., & Jiménez-Segura, L. F. (2011). *Pterygoplichthys undecimalis*. En Lasso, C. A., Agudelo-Córdoba, E., Ramírez-Gil, H., Morales-Betancourt, M. A., Ajíaco-Martínez, R. E., Gutiérrez, F. de P., Usma, J. S., Muñoz, S., &

PECES INTRODUCIDOS

- Sanabria, A. I. (Eds.). *I. Catálogo de los recursos pesqueros continentales de Colombia*. Pp: 386-387. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
- Castañeda, B. (2017). *Descripción de la red trófica del embalse "Miguel Martínez Isaza" (Parque Natural La Nitrera, municipio de Concordia, Antioquia)*. (Trabajo de pregrado). Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería. 69 pp.
 - Castellanos Echeverría, F. & Granados Pardo, H. (1999). La carpa herbívora triploide, *Ctenopharyngodon idella*, como medio de control de malezas acuáticas. Revisión bibliográfica. <http://hdl.handle.net/20.500.11786/35877>.
 - Castellanos-Mejía, M. C., Herrera-Pérez, J., Noguera-Urbano, E. A., Parra, E. & Jiménez-Segura, L. F. (n.d.). Potential distribution of *Pangasianodon hypophthalmus* (Siluriformes: Pangasiidae) in Colombia: implications for the management and conservation of Andean fish. (Sometime a Revista de Biología Tropical).
 - COPESCAL. (2011). *Informe del taller sobre repoblamiento de cuerpos de agua continentales en América Latina y El Caribe 16 y 17 de mayo de 2011*. Buenos Aires, Argentina: Serie de Acuicultura y Pesca en América Latina FAO. 20 pp.
 - Cucherousset, J., & Olden, J. D. (2011). Ecological impacts of Non-Native freshwater fishes. *Fisheries*, 36(5), 215-230. <https://doi.org/10.1080/03632415.2011.574578>
 - Doadrio, I. (Ed.). (2001). *Atlas y libro rojo de los peces continentales de España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). 376 pp.
 - DoNascimento, C., Herrera-Collazos, E. E., Herrera-R, G. A., Ortega-Lara, A., Villanar, F. A., Oviedo, J. S. U., & Moore, J. L. (2017). Checklist of the freshwater fishes of Colombia: A darwin core alternative to the updating problem. *ZooKeys*, 2017(708), 25-138. <https://doi.org/10.3897/zookeys.708.13897>
 - Escobar L., M. D., Ota, R. P., Machado-Allison, A., Andrade-López, J., Farias, I. P., & Hrbek, T. (2019). A new species of *Piaractus* (Characiformes: Serrasalminidae) from the Orinoco Basin with a redescription of *Piaractus brachypomus*. *Journal of Fish Biology*, 95(2), 411-427. <https://doi.org/10.1111/jfb.13990>
 - Farias, I. P., Leão, A., Almeida, Y. S., Verba, J. T., Crossa M, M., Honczaryk, A., & Hrbek, T. (2015). Evidence of polygamy in the socially monogamous Amazonian fish *Arapaima gigas* (Schinz, 1822) (Osteoglossiformes, Arapaimidae). *Neotropical Ichthyology*, 13(1), 195-204.
 - García-Alzate, C. A., Donascimento, C., Villa-Navarro, F., García-Melo, J. E. & Herrera-R., G. (2020). Diversidad de peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia. En Jiménez-Segura, L. F. & C. A. Lasso. *Los peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, uso y conservación*. Pp: 85-113. Bogotá, D. C.: Instituto Alexander von Humboldt.
 - García, D. A. Z., Magalhães, A. L. B., Vitule, J. R. S., Casimiro, A. C. R., Lima-Junior, D. P., Cunico, A. M., Brito, M. F. G., Petrere-Junior, M., Agostinho, Â. A., & Orsi, M. L. (2018). The same old mistakes in aquaculture: the newly-available striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus* is on its way to putting Brazilian freshwater ecosystems at risk. *Biodiversity and Conservation*, 27(13), 3545-3558. <https://doi.org/10.1007/s10531-018-1603-1>
 - Gil-Manrique, B., Rodríguez-Fernández, C. A., Agudelo-Córdoba, E., Acosta-Campos, A., Lasso, C. A., Morales-Betancourt, M. A., & Sierra-Quintero, M. T. (2011). *Cichla monoculus*. En Lasso, C. A., Agudelo-Córdoba, E., Ramírez-Gil, H., Morales-Betancourt, M. A., Ajáico-Martínez, R. E., Gutiérrez, F. de P., Usma, J. S., Muñoz, S. & Sanabria, A. I. (Eds.). *I. Catálogo de los recursos pesqueros continentales de Colombia*. Pp: 317-320. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - González-Cañón, G., Galvis-Galindo, I., Nieto-Torres, S., Agudelo-Córdoba, E., & Valderrama, M. (2011). *Prochilodus nigricans*. En Lasso, C. A., Agudelo-Córdoba, E., Ramírez-Gil, H., Morales-Betancourt, M. A., Ajáico-



- Martínez, R. E., Gutiérrez, F. de P., Usma, J. S., Muñoz, S. & Sanabria, A. I. (Eds.). I. *Catálogo de los recursos pesqueros continentales de Colombia*. Pp: 317-320. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
- Göthe, E., Wiberg-Larsen, P., Kristensen, E. A., Baattrup-Pedersen, A., Sandin, L., & Friberg, N. (2015). Impacts of habitat degradation and stream spatial location on biodiversity in a disturbed riverine landscape. *Biodiversity and Conservation*, 24(6), 1423-1441. <https://doi.org/10.1007/s10531-015-0865-0>
 - Goulding, M., & Carvalho, M. L. (1982). Life history and management of the tambaqui (*Colossoma macropomum*, Characidae): an important Amazonian food fish. *Revista Brasileira de Zoologia*, 1(2), 107-133.
 - Gupta, S. (2015). A note on feeding and reproductive biology of banded gourami, *Trichogaster fasciata* (Bloch y Schneider, 1801). *International Journal of Research in Fisheries and Aquaculture*, 5(4), 147-150.
 - Gutiérrez-Bonilla, F. (2006). *Estado de conocimiento de especies invasoras. Propuesta de lineamientos para el control de los impactos*. Bogotá D. C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 156 pp.
 - Gutiérrez-Bonilla, F. de P., Lasso-Alcalá, C. A., Sánchez-Duarte, P., & Gil, D. L. (2010). Análisis de riesgo para especies acuáticas continentales y marinas. En Baptiste M. P. Castaño, N., Cárdenas, D., Gutiérrez, F. de P., Gil, D. L., & Lasso, C. A. (Eds.). *Análisis de riesgo y propuesta de categorización de especies introducidas para Colombia*. Pp: 73-102. Bogotá, D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
 - Gutiérrez-Bonilla, F. de P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P., & Díaz, A. M. (2012). VI. *Catálogo de la biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves* (Serie Edit). Bogotá, D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 246 pp.
 - Gutiérrez, F. de P., & Espinosa, A. M. (2012a). *Micropterus salmoides*. En Gutiérrez, F. de P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P., & Díaz, A. M. (Eds.). VI. *Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 148-152. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Gutiérrez, F. de P., & Espinosa, A. M. (2012b). *Onchorhynchus mykiss*. En Gutiérrez, F. de P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P., & Díaz, A. M. (Eds.). VI. *Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 228-233. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Gutiérrez, F. de P., & Lasso, C. A. (2012a). *Arapaima gigas*. En Gutiérrez, F. de P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P., & Díaz, A. M. (Eds.). VI. *Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 98-102. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Gutiérrez, F. de P., & Lasso, C. A. (2012b). *Oreochromis niloticus*. En Gutiérrez, F. de P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P., & Díaz, A. M. (Eds.). VI. *Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 159-166. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Gutiérrez, F. de P., Lasso, C. A., & Álvarez-León, R. (2012c). *Oreochromis mossambicus*. En Gutiérrez, F. de P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P., & Díaz, A. M. (Eds.). VI. *Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 153-158. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Gutiérrez, F. de P., Lasso, C. A., & Álvarez-León, R. (2012d). *Oreochromis híbrido rojo*. En Gutiérrez, F. de P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P., & Díaz, A. M.

PECES INTRODUCIDOS

- (Eds.). VI. *Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 167-173. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
- Gutiérrez, F. de P., & Sánchez-Duarte, P. (2012a). *Carassius auratus*. En Gutiérrez, F. de P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P., & Díaz, A. M. (Eds.). VI. *Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 204-208. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Gutiérrez, F. de P., & Sánchez-Duarte, P. (2012b). *Ctenopharyngodon idella*. En Gutiérrez, F. de P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P., & Díaz, A. M. (Eds.). VI. *Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 209-212. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Gutiérrez, F. de P., & Sánchez-Duarte, P. (2012c). *Cyprinus carpio*. En Gutiérrez, F. de P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P., & Díaz, A. M. (Eds.). VI. *Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 203-219. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Gutiérrez, F. de P., & Sánchez-Duarte, P. (2012e). *Hypophthalmichthys nobilis*. En Gutiérrez, F. de P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P., & Díaz, A. M. (Eds.). VI. *Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 224-227. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Gutiérrez, F. de P., & Sánchez-Duarte, P. (2012f). *Xiphophorus variatus*. En Gutiérrez, F. de P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P., & Díaz, A. M. (Eds.). VI. *Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 145-147. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Gutiérrez, F. de P., Sánchez-Duarte, P., & Lasso, C. A. (2012a). *Colossoma macropomum*. En Gutiérrez, F. de P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P., & Díaz, A. M. (Eds.). VI. *Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 103-109. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Gutiérrez, F. de P., Sánchez-Duarte, P., & Lasso, C. A. (2012b). *Piaractus brachipomum*. En Gutiérrez, F. de P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P., & Díaz, A. M. (Eds.). VI. *Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 110-117. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Gutiérrez, F. de P., Bogotá-Gregory, J. D., & Díaz-Espinosa, A. (2012e). *Trichopodus pectoralis*. En Gutiérrez, F. de P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P., & Díaz, A. M. (Eds.). VI. *Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 194-197. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Gutiérrez, F. de P., Bogotá-Gregory, J. D., & Díaz-Espinosa, A. (2012f). *Hypophthalmichthys molitrix*. En Gutiérrez, F. de P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P., & Díaz, A. M. (Eds.). VI. *Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 220-223. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Gutiérrez, F. de P., Baptiste, M. P., Lasso, C. A., & Álvarez-León, R. (2012h). *Pangasianodon hypophthalmus*. En Gutiérrez, F.



- de P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P., & Díaz, A. M. (Eds.). VI. *Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 130-133. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
- Gutiérrez, F. de P., Bogotá-Gregory, J. D., & Díaz-Espinosa, A. (2012i). *Morone saxatilis*. En Gutiérrez, F. de P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P., & Díaz, A. M. (Eds.). VI. *Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 178-177. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Hall, S. R., & Mills, E. L. (2000). Exotic species in large lakes of the world. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 3(1), 105-135.
 - Han, J., & Fang, Z. (2010). Estrogenic effects, reproductive impairment and developmental toxicity in ovoviparous swordtail fish (*Xiphophorus helleri*) exposed to perfluorooctane sulfonate (PFOS). *Aquatic toxicology*, 99(2), 281-290.
 - Herrera-Martínez, Y., Paggi, J. P., & García, C. (2017). Cascading effect of exotic fish fry on plankton community in a tropical Andean high mountain lake: a mesocosm experiment. *Journal of Limnology*, 76(2). doi: 10.4081/jlimnol.2017.1488
 - Herrera-Pérez, J., Jiménez-Segura, L. F., Márquez, E. J., & Soto-Calderón, I. G. (2020). *Estructura y diversidad genética de Brycon henni en la cuenca Magdalena. Línea base para la toma de decisiones en la Cuenca*. (Tesis de Maestría). Medellín: Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Instituto de Biología.
 - Hoeinghaus, D. J., Winemiller, K. O., Layman, C. A., Arrington, D. A., & Jepsen, D. B. (2006). Effects of seasonality and migratory prey on body condition of Cichla species in a tropical floodplain river. *Ecology of Freshwater Fish*, 15(4), 398-407.
 - Suckermouth catfishes: Threats to aquatic ecosystems of the United States? *Aquatic Nuisance Species Research Program Bulletin*, 4, 1-9.
 - Hulsey, C. D., & De León, F. G. (2005). Cichlid jaw mechanics: linking morphology to feeding specialization. *Functional Ecology*, 19, 487-494.
 - Jiménez-Segura L. F., Álvarez-León, R., Gutiérrez-Bonilla, F., Hernández, S., Valderrama-Barco, M., & Villa-Navarro, F. (2011). La pesca y los recursos pesqueros en los embalses colombianos. En Lasso, C. A., Gutiérrez, F., Morales-Betancourt, M., Agudelo, E., Ramírez-Gil, H., & Ajiaco-Martínez, R. E. (Eds.). II. *Pesquerías continentales de Colombia: cuencas del Magdalena-Cauca, Sinú, Canalete, Atrato, Orinoco, Amazonas y Vertiente del Pacífico*. Pp: 233-281. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Jiménez-Segura L. F., Álvarez, J., Ochoa, L. E., Loaiza, A., Londoño, J. P., Restrepo, D., Aguirre, K., Hernández, A., Correa, J. D., & Jaramillo-Villa, U. (2014a). *Guía Ilustrada Peces Cañón del río Porce, Antioquia*. EPM. Universidad de Antioquia, Herbario Universidad de Antioquia - Medellín, Colombia. 106 pp.
 - Jiménez-Segura, L. F., Restrepo-Santamaría, D., López-Casas, S., Delgado, J., Valderrama, M., Álvarez, J., & Gómez, D. (2014b). Ictiofauna y desarrollo del sector hidroeléctrico en la cuenca del río Magdalena-Cauca, Colombia. *Biota Colombiana*, 15(2).
 - Jiménez-Segura, L. F., Galvis-Vergara, G., Cala-Cala, P., García-Alzate, C., López-Casas, S., Ríos-Pulgarín, M., Arango, G., Mancera-Rodríguez, N., Gutiérrez, F., & Álvarez-León, R. (2016). Freshwater fish faunas, habitats and conservation challenges in the Caribbean river basins of northwestern South America. *Journal of Fish Biology*, 89, 65-101. 10.1111/jfb.13018.
 - Jiménez-Segura L., Herrera-Pérez J., Valencia-Rodríguez D., Castaño-Tenorio I., López-Casas S., Ríos M. I., Rondón-Martínez Y. F., Rivera K., Morales J., Arboleda M., Muñoz-Duque S., Atencio, V., Galeano-Moreno A. F., Valbuena R., Escobar J., Ospina Pabón J., García-Melo L., Arango

PECES INTRODUCIDOS

- A., Gualtero D., Alonso J. C. & Restrepo-Santamaría D. (2020). Ecología e historias de vida de los peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia. En Jiménez-Segura, L. F. & Lasso, C. A. (Eds.). *Los peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, uso y conservación*. XIX. Pp: 159-203. Bogotá, D. C.: Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
- Kallman, K. D. (1975). The platyfish, *Xiphophorus maculatus*. En King, R. C. (Ed.). *Handbook of genetics*. Pp: 81-132. Boston: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-4470-4_6
 - Landínez-García, R. M., & Márquez, E. J. (2020). Population genetics of the fish *Brycon henni* (Characiformes: Bryconidae) using species-specific polymorphic microsatellite loci. *Revista de Biología Tropical*, 68(3), 847-861.
 - Lasso, C. A., Lew, D., Taphorn, D., DoNascimento, C., Lasso-Alcalá, O., Provenzano, F., & Machado-Allison, A. (2004). Biodiversidad ictiológica continental de Venezuela. Parte I. Lista de especies y distribución por cuencas. *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*, 159(160), 105-195
 - Lasso, C. A., Agudelo-Córdoba, E., Ramírez-Gil, H., Morales-Betancourt, M. A., Ajáico-Martínez, R. E., Gutiérrez, F. de P., Usma, J. S., Muñoz, S. & Sanabria, A. I. (Eds.). (2011a). *I. Catálogo de los recursos pesqueros continentales de Colombia*. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). 715 pp.
 - Lasso, C. A., Morales-Betancourt, M. A., & Sierra-Quintero, M. T. (2011b). *Cichla orinocensis*. En Lasso, C. A., Agudelo-Córdoba, E., Ramírez-Gil, H., Morales-Betancourt, M. A., Ajáico-Martínez, R. E., Gutiérrez, F. de P., Usma, J. S., Muñoz, S. & Sanabria, A. I. (Eds.). *I. Catálogo de los recursos pesqueros continentales de Colombia*. Pp: 615-616. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Lasso, C. A., Morales-Betancourt, M. A., & Sierra-Quintero, M. T. (2011c). *Cichla temensis*. En Lasso, C. A., Agudelo-Córdoba, E., Ramírez-Gil, H., Morales-Betancourt, M. A., Ajáico-Martínez, R. E., Gutiérrez, F. de P., Usma, J. S., Muñoz, S. & Sanabria, A. I. (Eds.). *I. Catálogo de los recursos pesqueros continentales de Colombia*. Pp: 617-618. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Lasso, C. A., Villa-Navarro, F., Acero, A., Sánchez-Duarte, P., Morales-Betancourt, M. A., & Bolaños, N. (2015). Peces de las aguas interiores del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Colombia: diversidad, amenazas y recomendaciones para su conservación. En Lasso, C. A., Blanco-Libreros, J. F., & Sánchez-Duarte, P. (Eds.). *XII. Cuencas pericontinentales de Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. Tipología, biodiversidad, servicios ecosistémicos y sostenibilidad de los ríos, quebradas y arroyos costeros*. Pp: 277-314. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Lasso, C. A., Heisohn, C., Jensen, S., & Morales-Betancourt, M. A. (2019). *La pesca deportiva continental en Colombia: guía de las especies de agua dulce*. XVIII. Bogotá, D. C., Colombia. 298 pp.
 - Light, T., & Moyle, P. B. (2015). Assembly rules and novel assemblages in aquatic ecosystems. En Canning-Clode, J. (Ed.). *Biological Invasions in Changing Ecosystems: Vectors, Ecological Impacts, Management and Predictions*. Pp: 436-457. Berlin, Boston: De Gruyter. doi: <https://doi.org/10.1515/9783110438666>
 - Loaiza, A., Muñoz S., Restrepo, D., & Jiménez-Segura, L. F. (2018). Definiciones, desarrollo histórico de los repoblamientos y de su normativa, capítulo 1: Viabilidad del repoblamiento en el embalse Porce III. (Informe técnico). Medellín: Universidad de Antioquia, Empresas Públicas de Medellín. Convenio CT-2017-001714. 86 pp.
 - Loaiza-Santana, A., Londoño-Velásquez, J. P., & Jiménez-Segura, L. F. (2018). Fecundidad de las especies de peces más abundantes en el



- área de influencia de los embalses en cascada Porce II y Porce III, Antioquia, Colombia. *Actualidades Biológicas*, 40(108), 38-45.
- López-Sánchez, J. M., Hernández-Barrera, S. J., Valderrama-Barco, M. B., & Barreto-Reyes, C. (2018). Caracterización y estado de las pesquerías del embalse Porce II (Antioquia). *Actualidades Biológicas*, 40(108), 24-37. <http://dx.doi.org/10.17533/udea.acbi.v40n108a03>.
 - Magalhães, A. L. B., & Jacobi, C. M. (2013). Invasión risks posed by ornamental freshwater fish trade to southeastern Brazilian rivers. *Neotropical Ichthyology*, 11(2), 433-441.
 - Maldonado-Ocampo, J. A., Vari, R. P., & Usma, J. S. (2008). Checklist of the freshwater fishes of Colombia. *Biota colombiana*, 9(2), 143-237.
 - Márquez, E. J., Restrepo-Escobar, N., Yepes-Acevedo, A. J. & Narváez, J. C. (2020). Diversidad y estructura genética de los peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia. En Jiménez-Segura, L. F. & Lasso, C. A. (Eds.). *Los peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, uso y conservación*. XIX. Pp: 115-157. Bogotá, D. C.: Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Mejía-Mojica, H., Rodríguez-Romero, F. de J., & Díaz-Pardo, E. (2012). Recurrencia histórica de peces invasores en la reserva de la biósfera Sierra de Huautla, México. *Revista de Biología Tropical*, 60(2). 669-681. <https://doi.org/10.15517/rbt.v60i2.3960>
 - Mesa-S., L., Castillo, O., Quiñones-Montiel, J. M., Lasso, C. A., DoNascimento, C., Usma, J. S., Montoya, D. & Villa-Navarro, F. A. (2019) Peces: subcuenca Arauca y Casanare. *Poecilia reticulata*. En Trujillo, F. & Anzola, F. (Eds). *Biodiversidad del departamento de Arauca*. Pp: 134-161. Bogotá D. C.: Gobernación Arauca, Fundación Omacha y Fundación ECollano.
 - Moncayo-Fernández, A., Mejía-Egas, O., & Ramírez-Chaves, H. E. (2017). *Pterygoplichthys undecimalis* (Siluriformes: Loricariidae): una especie trasplantada en la cuenca del río Patía, vertiente Pacífico, Colombia. *Biota Colombiana*, 18(1), 243-250.
 - Muñoz, H., Van Damme, P. A., & Duponchelle, F. (2006). Breeding behaviour and distribution of the tucunaré *Cichla aff. monoculus* in a clear water river of the Bolivian Amazon. *Journal of Fish Biology*, 69(4): 1018-1030.
 - Muñoz, L. E., Carranza, J. A., & Arredondo, J. V. (2019). Estructura genética poblacional del pez *Brycon henni* (Characiformes: Characidae) en la región andina de Colombia utilizando marcadores microsatélites. *Revista de Biología Tropical*, 67(4).733-744.
 - Nico, L. G., & Martin, R. T. (2001). The South American armored catfish, *Pterygoplichthys anisitsi* (Pisces: Loricariidae), in Texas, with comments on foreign fish introductions in the American Southwest. *The Southwestern Naturalist* 46(1), 98-104.
 - Nieto Serna, J. D., & Jiménez-Segura L. F. (2020). *Acercamiento a la ecología trófica de Micropterus salmoides, pez invasor en embalses andinos*. (Trabajo de grado). Medellín: Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Instituto de Biología.
 - Normando, F. T., Arantes, F. P., Luz, R. K., Thomé, R. G., Rizzo, E., Sato, Y., & Bazzoli, N. (2009). Reproduction and fecundity of tucunaré, *Cichla kelberi* (Perciformes: Cichlidae), an exotic species in Três Marias Reservoir, Southeastern Brazil. *Journal of Applied Ichthyology*, 25(3), 299-305.
 - Núñez, J., Chu-Koo, F., Berland, M., Arévalo, L., Ribeyro, O., Duponchelle, F., & Renno, J. F. (2011). Reproductive success and fry production of the paiche or pirarucu, *Arapaima gigas* (Schinz), in the region of Iquitos, Perú. *Aquaculture Research*, 42(6), 815-822.
 - Olaya, C., Solano, D., Flórez, O., Blanco, H., & Segura, F. (2001). Evaluación preliminar de la fecundidad del bocachico (*Prochilodus magdaleneae*) en el río Sinú, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 6(1), 31-36.
 - Olden, J. D., & Poff, N. L. (2003). Toward a mechanistic understanding and prediction of biotic homogenization. *The American Naturalist*, 162(4), 442-460.
 - Parrado, A. Y. P. (2012). Historia de la Acuicultura en Colombia. *Revista AquaTIC*, (37), Pp: 60-77.

PECES INTRODUCIDOS

- Peña, J. C., y Zambrano, J. L. (2003). *Evaluación técnica económica y ambiental de un cultivo de tilapia roja (oreochromis spp) en jaulas flotantes en Colombia*. (Tesis de Licenciatura). Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería Marina y Ciencias del Mar. 197 pp.
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. (29 de diciembre de 2015). Por la cual se declaran unas especies de peces como domesticadas para el desarrollo de la acuicultura y se dictan otras disposiciones. [Resolución 2287 de 2015]
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. (8 de diciembre de 2017). Por la cual se establecen las directrices técnicas y los requisitos para realizar repoblamiento y rescate, traslado y liberación con recursos pesqueros ícticos en aguas continentales de Colombia y se deroga la Resolución No. 0531 del 20 de diciembre de 1995 expedida por el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura – INPA. [Resolución 2838 de 2017]
- Restrepo J. D., Cárdenas, A. L., Paniagua, J. F. & Jiménez-Segura, L. F. (2020). Aspectos físicos de la cuenca del río Magdalena, Colombia: geología, hidrología, sedimentos, conectividad, ecosistemas acuáticos e implicaciones para la biota acuática. En Jiménez-Segura, L. F. & Lasso, C. A. (Eds.). *Los peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, uso y conservación*. XIX. Pp: 41-83. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
- Rodrigues-Filho, C. A. D. S., Gurgel-Lourenço, R. C., & Sánchez-Botero, J. I. (2018). First report of the alien species *Trichopodus trichopterus* (Pallas, 1770) in the state of Ceará, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 78(2), 394-395.
- Rodríguez-Olarte, D., Mojica, J. I., & Taphorn Baechle, D. (2011). Northern South America: Magdalena and Maracaibo Basins. In Albert, J.S., Reis R.E. (Eds.). *Historical Biogeography of Neotropical Freshwater Fishes*. Pp: 243-257. University of California Press. 406 pp.
- Royero, R., & Lasso, C. (1992). Distribución geográfica actual de la mojarra de río *Caquetaia kraussii* (Steindachner, 1878) (Perciformes, Cichlidae) en Venezuela: un ejemplo del problema de la introducción de especies. *Mem. Fund. La Salle Cienc. Nat*, 52, 163-180.
- Ruiz, L., Soenz, A., Carreño, J. L. & Villanueva, C. (1987). Reproducción del Boquichico (*Prochilodus nigricans* Agassiz 1829). En Verreth, J. A., Carillo, M., Zanuy, S. & Huisman, E. A. (Eds.). *Investigación acuícola en América Latina: proceedings der taller de trabajo sobre acuicultura en América Latina, organizado por el International Foundation for Science (IFS), Stockholm, Sweden, en Lima, Peru*. Pp: 79-88. Netherlands: Pudoc
- Saha, S., Behera, S., Bhakta, D., Mandal, A., Kumar, S., & Mondal, A. (2017). Breeding and embryonic development of an indigenous ornamental fish *Trichogaster lalius* (Hamilton, 1822) in captive condition. *J. Entomol. Zool. Stud*, 5(3), 111-115.
- Sahu, S., Sahu, S., & Sahu, P. (2018). A note on the biology of Dwarf Gourami, *Trichogaster lalius* (Hamilton, 1822). *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 6(5), 169-171.
- Sánchez-Duarte, P., Gutiérrez, F. de P., & Díaz-Espinosa, A. M. (2012a). *Poecilia reticulata*. En Gutiérrez, F. de P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P. & Díaz, A. M. (Eds.). VI. *Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 118-122. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
- Sánchez-Duarte, P., Gutiérrez, F. de P., & Díaz-Espinosa, A. M. (2012b). *Poecilia latipinna*. En Gutiérrez, F. de P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P. & Díaz, A. M. (Eds.). VI. *Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 134-136. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
- Sánchez-Duarte, P., Gutiérrez, F. de P., & Díaz-Espinosa, A. M. (2012c). *Xiphophorus hellerii*. En Gutiérrez, F. de P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P. & Díaz,



- A. M. (Eds.). VI. *Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 137-140. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
- Sánchez-Duarte, P., Gutiérrez, F. de P., & Díaz-Espinosa, A. M. (2012d). *Xiphophorus maculatus*. En Gutiérrez, F. de P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P. & Díaz, A. M. (Eds.). VI. *Catálogo de biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Pp: 141-144. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Sánchez-Páez, C. L., Agudelo-Córdoba, E., & Gómez-Hurtado, G. A. (2011a). *Arapaima gigas*. En Lasso, C. A., Agudelo-Córdoba, E., Ramírez-Gil, H., Morales-Betancourt, M. A., Ajiaco-Martínez, R. E., Gutiérrez, F. de P., Usma, J. S., Muñoz, S. & Sanabria, A. I. (Eds.). I. *Catálogo de los recursos pesqueros continentales de Colombia*. Pp: 140-144. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Sax, D. F., & Gaines, S. D. (2008). Species invasions and extinction: The future of native biodiversity on islands. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(1), 11490-11497. <https://doi.org/10.1073/pnas.0802290105>
 - Setzler-Hamilton, E. M. (1980). *Synopsis of Biological Data on Stripped Bass, Morone saxatilis (Walbaum)* (No. 121). Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service.
 - Solano-Peña, D., Segura-Guevara, F., & Olaya-Nieto, C. (2013). Crecimiento y reproducción de la mojarra amarilla (*Caquetaia kraussii* Steindachner, 1878) en el embalse de Urrá, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 18(2), 3525-3533.
 - Spence, R., Gerlach, G., Lawrence, C., & Smith, C. (2008). The behaviour and ecology of the zebrafish, *Danio rerio*. *Biological reviews*, 83(1), 13-34.
 - Stewart, D. J. (2013). A new species of arapaima (Osteoglossomorpha: Osteoglossidae) from the solimões river, Amazonas state, Brazil. *Copeia*, 2013(3), 470-476. <https://doi.org/10.1643/CI-12-017>
 - Tribuzy-Neto, I. A., Conceição, K. G., Siqueira-Souza, F. K., Hurd, L. E., & Freitas, C. E. C. (2018). Condition factor variations over time and trophic position among four species of Characidae from Amazonian floodplain lakes: effects of an anomalous drought. *Brazilian Journal of Biology*, 78(2), 337-344.
 - Turner, G. F., & Robinson, R. L. (2000). Reproductive biology, mating systems and parental care. In Beveridge M. C. M., McAndrew, B. J. (Eds.). *Tilapias: Biology and Exploitation*. Pp: 33-58. Fish and Fisheries Series, vol 25. Dordrecht: Springer. doi:10.1007/978-94-011-4008-9_2
 - Usma, J. S. & Morales-Betancourt, M. A. (2011). *Brycon amazonicus*. En Lasso, C. A., Agudelo-Córdoba, E., Ramírez-Gil, H., Morales-Betancourt, M. A., Ajiaco-Martínez, R. E., Gutiérrez, F. de P., Usma, J. S., Muñoz, S. & Sanabria, A. I. (Eds.). I. *Catálogo de los recursos pesqueros continentales de Colombia*. Pp: 187-188. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Uzunova, E., Studenkov, S., & Dashinov, D. (2019). First records of largemouth bass *Micropterus salmoides* (Lacépède, 1802) from Bulgaria (Balkan Peninsula). *BioInvasions Records*, 8(2), 427-436. <https://doi.org/10.3391/bir.2019.8.2.25>
 - Valderrama, M., Corzo, J. I. M., Villalba, A., & Ávila, F. (2017). Presencia del pez basa, *Pangasianodon hypophthalmus* (Sauvage, 1878) (Siluriformes: Pangasiidae), en la cuenca del río Magdalena, Colombia. *Biota Colombiana*, 17(2), 98-104. DOI: 10.21068/c2016.v17n02a13
 - Valderrama, M., Jiménez, L. F., López-Casas, S., Rivas, T. S., Rincón, C. E., Nieto-Torres, S., González-Cañón, G., Galvis-Galindo, I., Hernández-Barrteto, S. & Salas Guzmán, F. (2011a). *Prochilodus magdalenae*. En Lasso, C. A., Agudelo-Córdoba, E.,

PECES INTRODUCIDOS

- Ramírez-Gil, H., Morales-Betancourt, M. A., Ajáico-Martínez, R. E., Gutiérrez, F. de P., Usma, J. S., Muñoz, S. & Sanabria, A. I. (Eds.). *I. Catálogo de los recursos pesqueros continentales de Colombia*. Pp: 305-311. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
- Valderrama, M., Jiménez, L. F., Álvarez-León, R., González-Cañón, G., Galvis-Galindo, I., Salas-Guzmán, F., Hernández-Barrero, S., & Zarate, M. (2011b). *Pseudoplatystoma magdaleniatum*. En Lasso, C. A., Agudelo-Córdoba, E., Ramírez-Gil, H., Morales-Betancourt, M. A., Ajáico-Martínez, R. E., Gutiérrez, F. de P., Usma, J. S., Muñoz, S. & Sanabria, A. I. (Eds.). *I. Catálogo de los recursos pesqueros continentales de Colombia*. Pp: 491-496. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Valencia Cadena, M. G., Molina Arroyo, H. R., Mangas Ramírez, E., Téllez, M. C., Fernández Crispin, A., & Vázquez García, E. (2016). La salinidad como modulador del crecimiento en los peces de ornato *Poecilia sphenops* y *Poecilia latipinna* (Pisces: Poeciliidae). *Revista Latinoamericana El Ambiente y Las Ciencias*, 7(15), 101-120.
 - Van Zalinge, N., Lieng, S., Ngor, P. B., Heng, K., & Valbo-Jørgensen, J. (2002). Status of the Mekong *Pangasianodon hypophthalmus* resources, with special reference to the stock shared between Cambodia and Viet Nam. (Technical Paper No. 1). Mekong River Commission
 - Vann, L. S., Baran, E., Phen, C., & Thang, T. B. (2006). *Biological Reviews of Important Cambodian Fish Species Based on Fishbase 2004: Pangasius Larnaudii, Clarias Batrachus, Cirrhinus Microlepis, Leptobarbus Hoevenii, Thynnichthys Thynnoides, Trichogaster Microlepis, Trichogaster Pectoralis, Anabas Testudineus, Boesemania Microlepis, Oxyeleotris Marmorata* (Vol. 2). WorldFish.
 - Vieira, E. F., Isaac, V. J., & Fabre, N. N. (1999). Biología reproductiva do tambaqui, *Colossoma macropomum* CUVIER, 1818 (Teleostei, Serrasalmidae), no baixo Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*, 29(4), 625-638.
 - Watson, L. C., Stewart, D. J., & Teece, M. A. (2013). Trophic ecology of Arapaima in Guyana: giant omnivores in Neotropical floodplains. *Neotropical Ichthyology*, 11(2), 341-349.
 - Welcomme, R.L. (1981). Registro de transferencias internacionales de especies de peces de aguas continentales. *FAO Doc. Tec. Pes.*, 213, 1-20.
 - Whittaker, R. H., Levin, S. A., & Root, R. B. (1973). Niche, habitat, and ecotope. *The American Naturalist*, 107(955), 321-338.
 - Zandonà, E. (2010). The trophic ecology of guppies (*Poecilia reticulata*) from the streams of Trinidad. (Tesis de doctorado). Pensilvania: Universidad Drexel.



Anexo 1. Lista de especies introducidas en Colombia. *Tipo humedal* (N: Natural; R: río; L: lago; A: artificial; E: embalses; C: cultivos). *Distribución introducciones:* M - Magdalena; O - Orinoco; C - Caribe; A - Amazonas; P - Pacífico. *Uso:* A - acuicultura; PC - pesca cosumo; PD - pesca deportiva; O - ornamental.

Especies trasplantadas	Nombre común	Fuente	Presencia en colecciones u observación personal confirmada	Fecha colectas (colecciones después 2012)	Tipo humedal	Distribución	Procedencia/origen probable	Consumo
ORDEN OSTEOGLOSSIFORMES								
FAMILIA ARAPAIMIDAE								
<i>Arapaima gigas</i> (Schinz, 1822)	Arapaima, Pirarucú, Paiche	Gutiérrez y Lasso (2012 a)	Gutiérrez y Lasso (2012 a) detalles en Magdalena, Orinoquia y Caribe. Presencia también en Orinoquia-río Meta, san Pedro de Arimena, Mpo. Pto. Gaitán (Mosquera-Guerra com. pers.); ciénagas afuera Cali (valle del Cauca) (Jiménez-Segura com. pers.); posiblemente Calima, San Juan (Pacífico) (Lasso <i>et al.</i> 2019)	2018-2019 (registros fotográficos, Mosquera-Guerra com. pers.)	R, L, E, C	M, O, C	Probablemente Amazonas	A, PC, PD, O
ORDEN CHARACIFORMES								
FAMILIA BRYCONIDAE								
<i>Brycon amazonicus</i> (Agassiz, 1829)	Yamú, bocón, sabalo	SEPEC-AUNAP (2016, 2017, 2018)	SEPEC-AUNAP (2016, 2017, 2018)	¿?	C	O, M, A	Orinoquia	A, PC, PD
<i>Brycon</i> sp.	Yamú, bocón	SEPEC-AUNAP (2016, 2017, 2018)	SEPEC-AUNAP (2016, 2017, 2018)	¿?	C	M	¿?	A, PC, PD
FAMILIA SERRASALMIDAE								
<i>Colossoma macropomum</i> (Cuvier, 1818)	Cachama negra	Gutiérrez-Bonilla <i>et al.</i> (2012 a), SEPEC-AUNAP (2016, 2017, 2018)	SEPEC-AUNAP (2016, 2017, 2018); Antioquia, Magdalena, J. Campuzano obs. pers.)	SI	C, R, L	M, P, C	Probablemente Orinoquia	A, PC, PD

PECES INTRODUCIDOS

Anexo 1. Continuación

Especies trasplantadas	Nombre común	Fuente	Presencia en colecciones u observación personal confirmada	Fecha colectas (colecciones después 2012)	Tipo humedal	Distribución	Procedencia/origen probable	Consumo
<i>Piaractus orinoquensis</i> Escobar et al. 2017	Cachama blanca, morocoto	Gutiérrez et al. (2012 b), SEPEC-AUNAP (2016, 2017, 2018); Escobar et al. (2017); Lasso et al. (2019)	SEPEC-AUNAP (2016, 2017, 2018), SI	SI	C, R, L	M, P, C, A, O	Probablemente cultivos y medio natural Orinoco	A, PC, PD
<i>Piaractus orinoquensis</i> x <i>Colossoma macropomum</i> (híbrido)	Híbrido de cachama, cachamoto	SEPEC-AUNAP (2016, 2017, 2018)	SEPEC-AUNAP (2016, 2017, 2018)	SI	C, R, L	M, P, C, A, O	Cultivos	A, PC, PD
FAMILIA PROCHILODONTIDAE								
<i>Prochilodus magdalenae</i> Steindachner, 1879	Bocachico	SEPEC-AUNAP (2016, 2018)	SEPEC-AUNAP (2016, 2018)	SI	C, R, L	M, P, O	Cultivos y medio natural (Magdalena)	A, PC
<i>Prochilodus nigricans</i> Spix & Agassiz, 1829	Bocachico	SEPEC-AUNAP (2016, 2017)	SEPEC-AUNAP (2016, 2017)	¿?	C	M, O	Amazonas	A, PC
ORDEN SILURIFORMES								
FAMILIA LORICARIIDAE								
<i>Pterygoplichthys pardalis</i> (Castelnau, 1855)	Coroncoro negro, cuchá, coroncho	Moncayo-Fernández et al. (2017)	SI (Moncayo-Fernández et al. 2017)	SI	R, L	M, P	Caribe	¿?



Anexo 1. Continuación

Especies trasplantadas	Nombre común	Fuente	Presencia en colecciones u observación personal confirmada	Fecha colectas (colecciones después 2012)	Tipo humedal	Distribución	Procedencia/origen probable	Consumo
FAMILIA PIMELODIDAE								
<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i> Buitrago-Suárez & Burr, 2007	Bagre rayado	SEPEC-AUNAP (2018)	SEPEC-AUNAP (2018)	¿?	C	O	Magdalena	A, PC, PD
ORDEN CYPRINODONTIFORMES								
FAMILIA POECILIIDAE								
<i>Poecilia reticulata</i> Peters, 1859	Guppy	Sánchez-Duarte et al. (2012 a)	SI	SI	C, R, L	M, C, A, P, O	Cultivos	O, F, L
ORDEN CICHLIFORMES								
FAMILIA CICHLIDAE								
<i>Caquetaia kraussi</i> (Steindachner, 1879)	Mojarra amarilla	Lasso et al. (2012)	SI	SI	R, L	O, C	Procedencia original Magdalena y Caribe	PC, PD
<i>Cichla ocellaris</i> variedad <i>monoculus</i>	Pavón, tucunaré	Este libro	SI	SI	R, L, E	M	Amazonas u Orinoco?	PD

PECES INTRODUCIDOS

Anexo 1. Continuación

Especies exóticas	Nombre común	Fuente	Presencia en colecciones u observación personal confirmada	Fecha colectas (colecciones después 2012)	Tipo humedal	Distribución	Procedencia/ origen probable	Consumo
ORDEN SILURIFORMES								
FAMILIA PANGASIIDAE								
<i>Pangasianodon hypophthalmus</i> (Sauvage, 1878)	Pangasius, basa, panga	Gutiérrez <i>et al.</i> (2012 c)	SI	SI	R, L	M	Sudeste asiático	PC
ORDEN CICHLIFORMES								
FAMILIA CICHLIDAE								
<i>Coptodon rendalli</i> (Boulenger, 1897)	Tilapia	Gutiérrez <i>et al.</i> (2012 d)	SI	SI	R, L, C, E	M	Cultivos	A, PC
<i>Oreochromis mossambicus</i> (Peters, 1852)	Tilapia	Lasso <i>et al.</i> (2019)	SI	SI	R, L, C, E	M, C	Cultivos	A, PC, PD
<i>Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus, 1758)	Tilapia	Gutiérrez y Lasso (2012 b)	SI	SI	R, L, C, E	A, M, C, O, P	Cultivos	A, PC, PD
<i>Oreochromis</i> "híbrido rojo"	Tilapia, pargo rosado	Gutiérrez <i>et al.</i> (2012 e)	SI	SI	R, L, C, E	M, C, O, P	Cultivos	A, PC, PD
<i>Parachromis friedrichsthalii</i> (Heckel, 1840)	Cíclido	Este libro	SI	SI	R, E	M	Puede provenir de cultivos, estanques ornamentales públicos ¿?	O



Anexo 1. Continuación

Especies exóticas	Nombre común	Fuente	Presencia en colecciones u observación personal confirmada	Fecha colectas (colecciones después 2012)	Tipo humedal	Distribución	Procedencia/ origen probable	Consumo
ORDEN PERCIFORMES								
FAMILIA CENTRARCHIDAE								
<i>Micropterus salmoides</i> (Lacepede, 1802)	Black bass, trucha bass	Gutiérrez y Espinosa (2012 a)	SI	SI	C, L, E	M	Siembra pesca deportiva	PD
FAMILIA MORONIDAE								
<i>Morone chrysops</i> (Rafinisque, 1820)	Lobina	Bogotá-Gregory y Gutiérrez (2012 a)	NO	NO	C, L	M, P	Cultivos	A
<i>Morone saxatilis</i> (Walbaum, 1792)	Lobina	Gutiérrez <i>et al.</i> (2012 f)	NO	NO	C, L	M, P	Cultivos	A
FAMILIA OSPHRONEMIDAE								
<i>Betta splendens</i> Regan 1910	Betta	Este libro	NO	SI	R	M, O, P	Liberaciones, escapes	O
<i>Trichogaster chuna</i> (Hamilton, 1822)	Gurami	Bogotá-Gregory y Gutiérrez (2012 b)	NO	NO	C	M	Cultivos: Bogotá-Gregory y Gutiérrez (2012 b)	O

PECES INTRODUCIDOS

Anexo 1. Continuación

Especies exóticas	Nombre común	Fuente	Presencia en colecciones u observación personal confirmada	Fecha colectas (colecciones después 2012)	Tipo humedal	Distribución	Procedencia/origen probable	Consumo
<i>Trichogaster fasciata</i> Bloch & Schneider 1801	Gurami	Bogotá-Gregory y Gutiérrez (2012 c)	NO	NO	C	M, O, P	Cultivos: Bogotá-Gregory y Gutiérrez (2012 c)	O
<i>Trichogaster labiosa</i> Day 1877	Gurami	Bogotá-Gregory y Gutiérrez (2012 d)	NO	NO	C	M	Cultivos: Bogotá-Gregory y Gutiérrez (2012 d)	O
<i>Trichogaster lalius</i> (Hamilton 1822)	Gurami	Bogotá-Gregory y Gutiérrez (2012 e)	NO	NO	C	M	Cultivos: Bogotá-Gregory y Gutiérrez (2012 e)	O
<i>Trichopodus pectoralis</i> Regan 1910	Gurami	Gutiérrez <i>et al.</i> (2012 g)	SI	SI	C, L, R	M, C	Liberaciones, escapes	PC, O
<i>Trichopodus leeri</i> (Bleeker, 1852)	Gurami	Bogotá-Gregory y Gutiérrez (2012 f)	SI	SI	C, R, L	M	Liberaciones, escapes	O
<i>Trichopodus microlepis</i> (Günther, 1861)	Gurami	Bogotá-Gregory y Gutiérrez (2012 g)	NO	NO	C	M	Bogotá-Gregory y Gutiérrez (2012 f)	O



Anexo 1. Continuación

Especies exóticas	Nombre común	Fuente	Presencia en colecciones u observación personal confirmada	Fecha colectas (colecciones después 2012)	Tipo humedal	Distribución	Precedencia/ origen probable	Consumo
<i>Trichopodus trichopterus</i> (Pallas 1770)	Gurami	Este libro	SI	NO	C, R, L	C	Liberaciones, escapes	PC, O
FAMILIA DANIONIDAE								
<i>Danio rerio</i> (Hamilton 1822)	Zebra, zebritra	Este libro	SI	SI	R	M	Liberaciones, escapes	O
ORDEN CYPRINODONTIFORMES								
FAMILIA CYPRINIDAE								
<i>Carassius auratus</i> (Linnaeus 1758)	Carpa dorada	Gutiérrez y Sánchez-Duarte (2012 a)	SI	SI	C, R, L	M, O (probablemente)	Liberaciones, escapes	PC, O
<i>Ctenopharyngodon idella</i> (Valenciennes 1844)	Carpa herbívora	Gutiérrez y Sánchez-Duarte (2012 b)	NO	NO	E, R, L	M, O (probablemente)	Liberaciones, escapes	A
<i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus 1758	Carpa común	Gutiérrez y Sánchez-Duarte (2012 c)	SI	SI	C, R, L	A, M, C, O, P	Liberaciones, escapes	A, PD, O
<i>Cyprinus carpio</i> variedad Koi	Koi	SEPEC-AUNAP (2016, 2018)	SI	SI	C, R, L	A, M, C, O, P	Liberaciones, escapes	A, PD, O

PECES INTRODUCIDOS

Anexo 1. Continuación

Especies exóticas	Nombre común	Fuente	Presencia en colecciones u observación personal confirmada	Fecha colectas (colecciones después 2012)	Tipo humedal	Distribución	Procedencia/ origen probable	Consumo
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i> (Valenciennes 1844)	Carpa plateada	Gutiérrez <i>et al.</i> (2012 h)	NO	NO	C, R, L	M, P	Liberaciones, escapes (Gutiérrez <i>et al.</i> 2012 h)	A
<i>Hypophthalmichthys nobilis</i> (Richardson 1845)	Carpa plateada	Gutiérrez y Sánchez-Duarte (2012 d)	NO	NO	C, R, L	M	Liberaciones, escapes (Gutiérrez y Sánchez-Duarte 2012 d)	A
ORDEN SALMONIFORMES								
FAMILIA SALMONIDAE								
<i>Oncorhynchus mykiss</i> (Walbaum 1792)	Trucha, trucha arcoiris	Gutiérrez y Urbina (2012)	SI	SI	C, R, L	M, C, P, O	Liberaciones, escapes	A, PC, PD
ORDEN CYPRINODONTIFORMES								
FAMILIA POECILIIDAE								
<i>Poecilia latipinna</i> (Lesueur 1821)	Gupy, Molly, piponcito	Sánchez-Duarte <i>et al.</i> (2012 b)	NO	NO	C	M, A	Cultivos	O
<i>Xiphophorus hellerii</i> Heckel 1848	Pez espada	Sánchez-Duarte <i>et al.</i> (2012 c)	SI	SI	C, R, L	M, A, O	Liberaciones, escapes	O



Anexo 1. Continuación

Especies exóticas	Nombre común	Fuente	Presencia en colecciones u observación personal confirmada	Fecha colectas (colecciones después 2012)	Tipo humedal	Distribución	Procedencia/ origen probable	Consumo
<i>Xiphophorus maculatus</i> (Günther, 1866)	Pez espada	Sánchez-Duarte <i>et al.</i> (2012 d)	SI	SI	C, R, L	M	Liberaciones, escapes	O
<i>Xiphophorus variatus</i> (Meek, 1904)	Pez espada	Gutiérrez y Sánchez-Duarte (2012 e)	NO	SI	C, R	M	Liberaciones, escapes	O

PECES INTRODUCIDOS

Anexo 2. Mapas de distribución actual de las especies introducidas en Colombia.

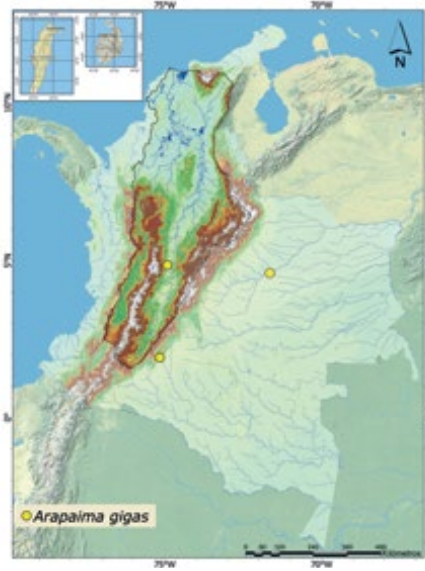
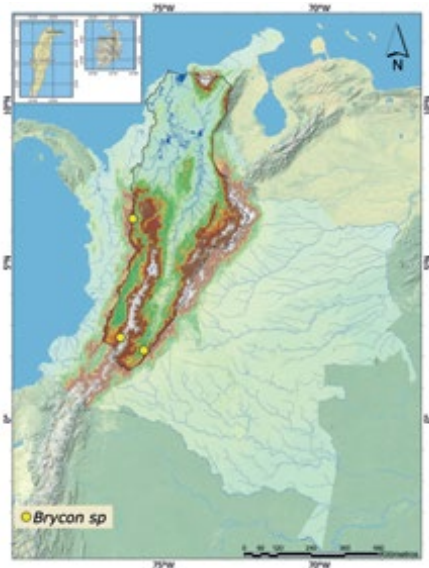


Figura 1. *Arapaima gigas*.

a



b

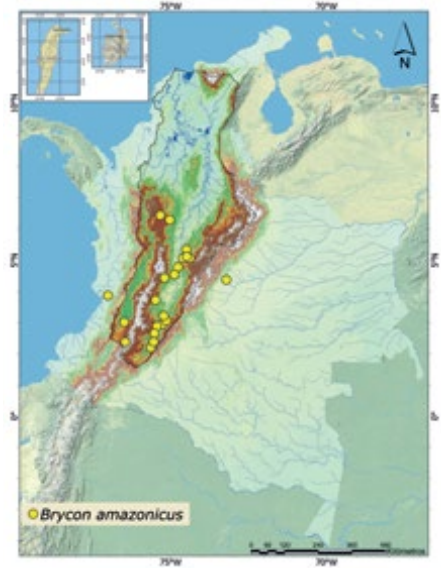
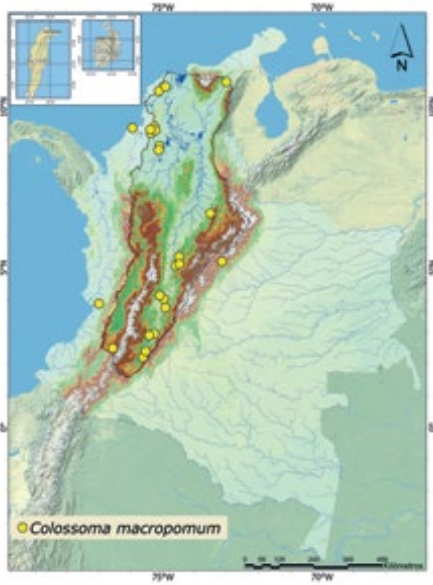


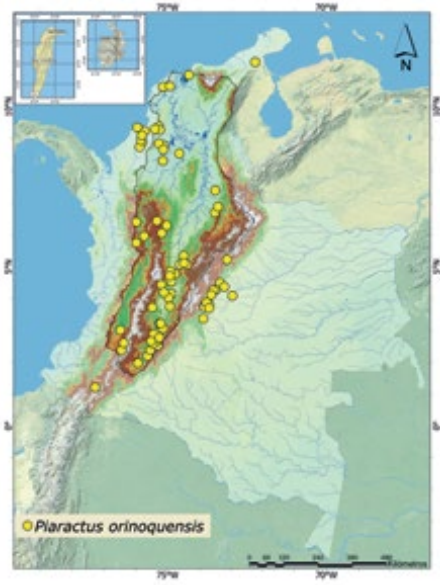
Figura 2. a) *Brycon sp.*; b) *Brycon amazonicus*.



a



b



c

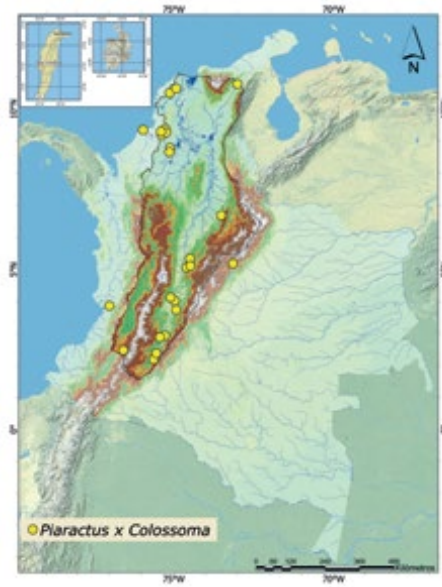


Figura 3. a) *Colossoma macropomum*; b) *Piaractus orinoquensis*; c) *Piaractus x Colossoma* (híbrido).

PECES INTRODUCIDOS

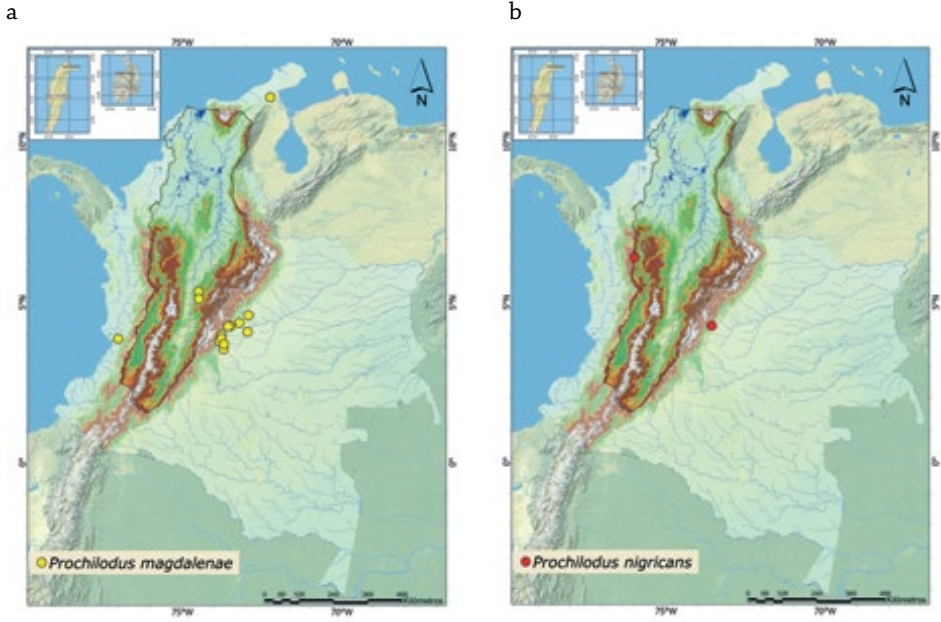


Figura 4. a) *Prochilodus magdalenae*; b) *Prochilodus nigricans*.

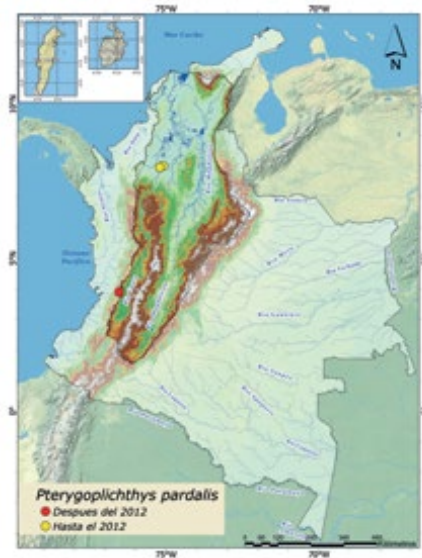


Figura 5. *Pterygoplichthys pardalis*.

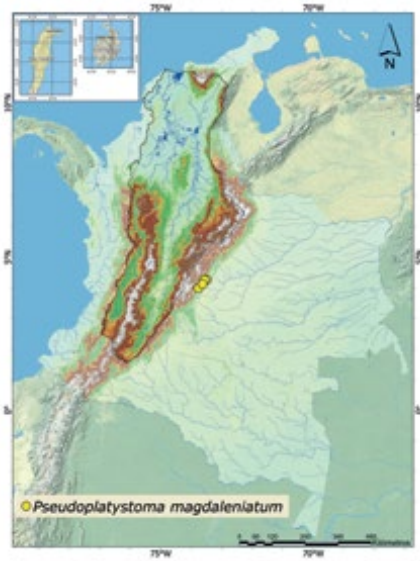


Figura 6. *Pseudoplatystoma magdaleniatum*.

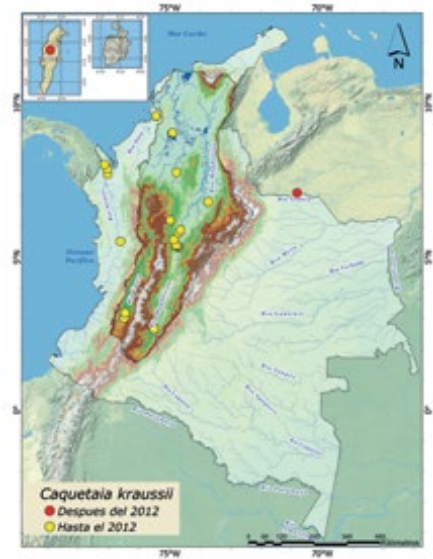


Figura 8. *Caquetaia kraussii*.

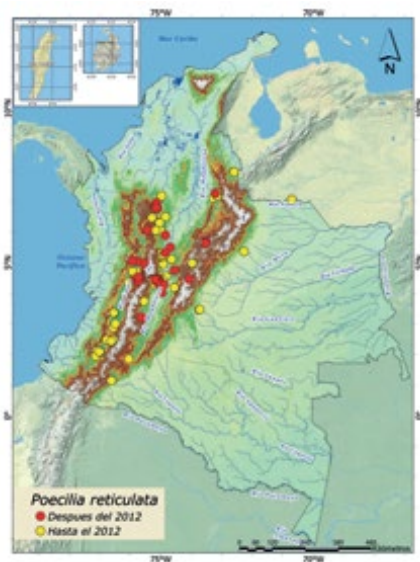


Figura 7. *Poecilia reticulata*.

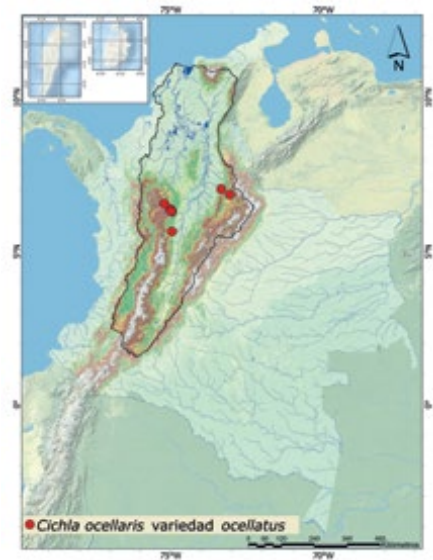


Figura 9. *Cichla ocellaris* variedad *ocellatus*.

PECES INTRODUCIDOS

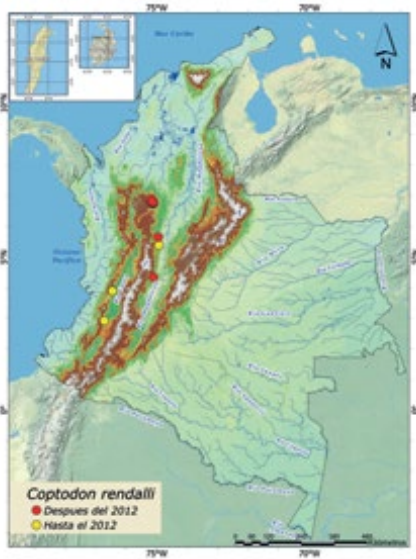
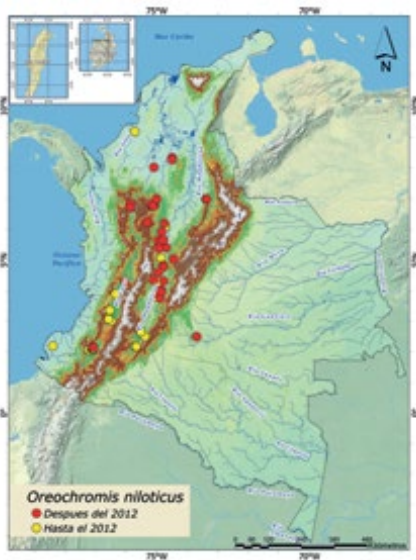


Figura 10. *Coptodon rendalli*.



Figura 11. *Oreochromis mossambicus*.

a



b

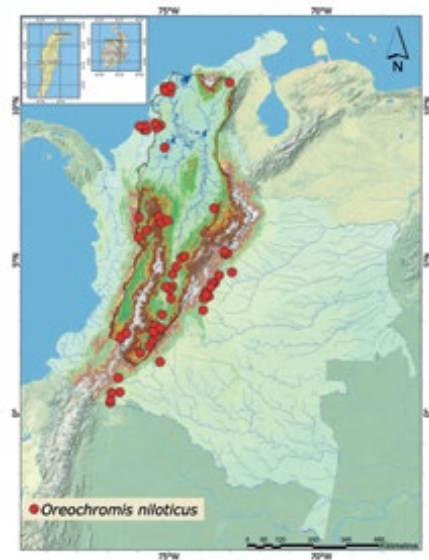
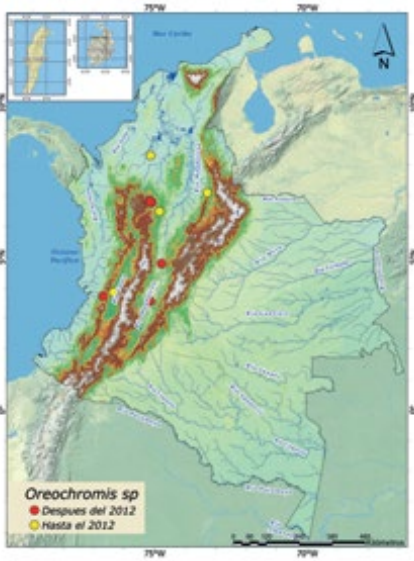


Figura 12. a) *Oreochromis niloticus*; b) cultivos de *Oreochromis niloticus*.



a



b

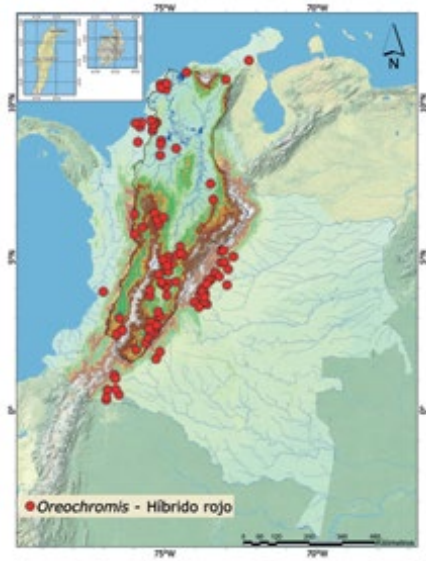


Figura 13. a) *Oreochromis* (híbrido rojo); b) cultivos de *Oreochromis* - híbrido rojo.



Figura 14. *Parachromis friedrichsthalii*.

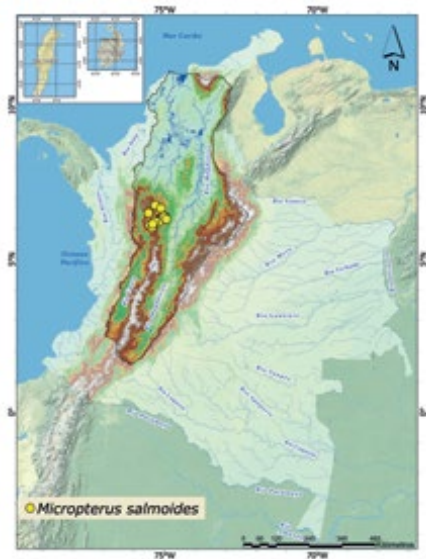


Figura 15. *Micropterus salmoides*.

PECES INTRODUCIDOS

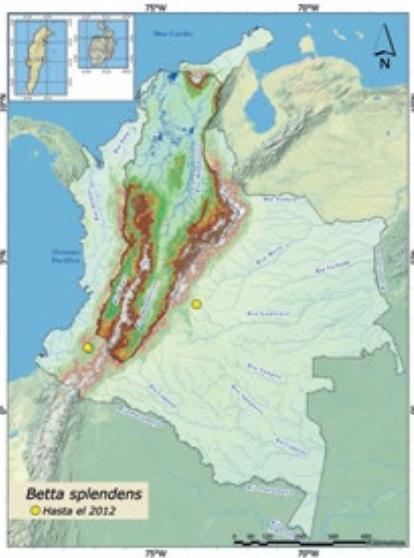


Figura 16. *Betta splendens*.



Figura 18. *Trichopodus pectoralis*.

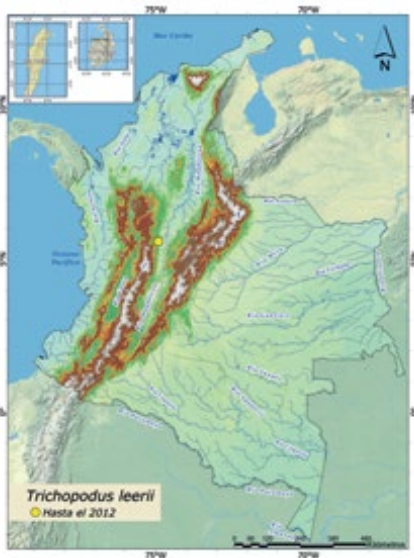


Figura 17. *Trichopodus leerii*.

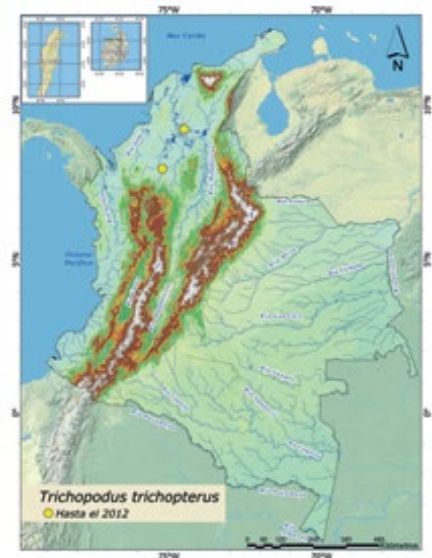


Figura 19. *Trichopodus trichopterus*.

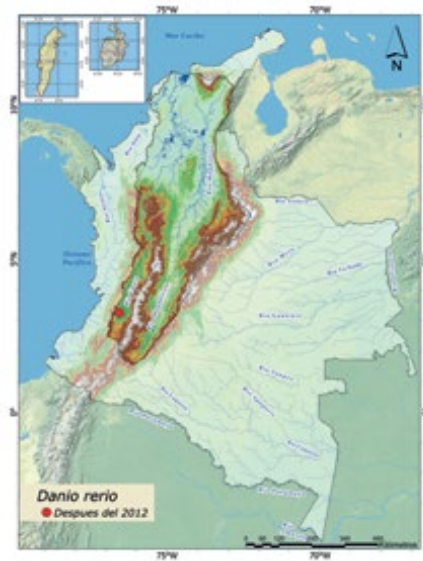


Figura 20. *Danio rerio*.

a



b

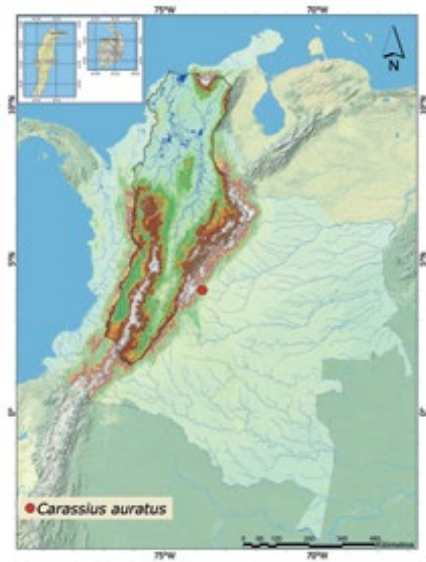


Figura 21. a) *Carassius auratus*; b) cultivos de *Carassius auratus*.

PECES INTRODUCIDOS

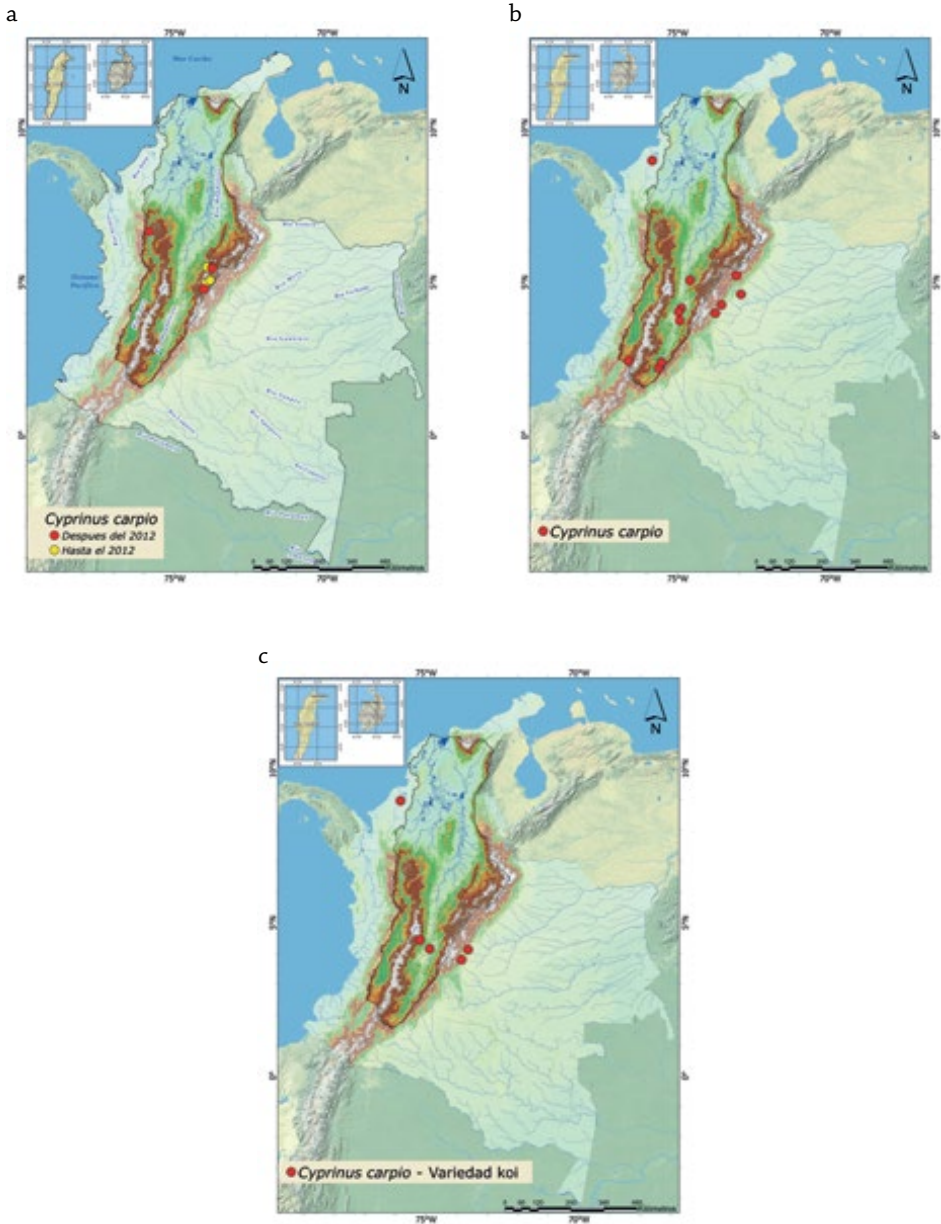


Figura 22. a) *Cyprinus carpio*; b) cultivos *Cyprinus carpio*; c) cultivos de *Cyprinus carpio* - variedad koi.

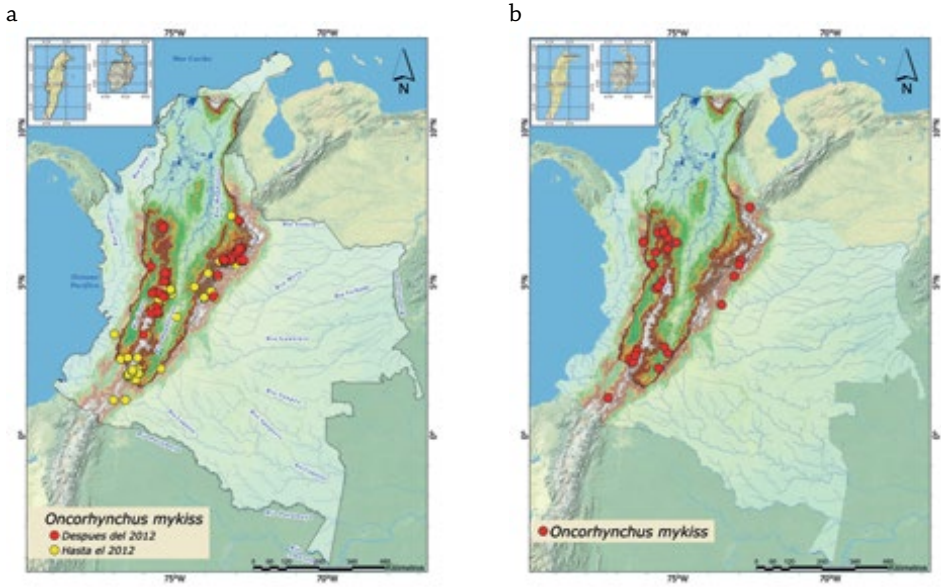


Figura 23. a) *Oncorhynchus mykiss*; b) Cultivos de *Oncorhynchus mykiss*.

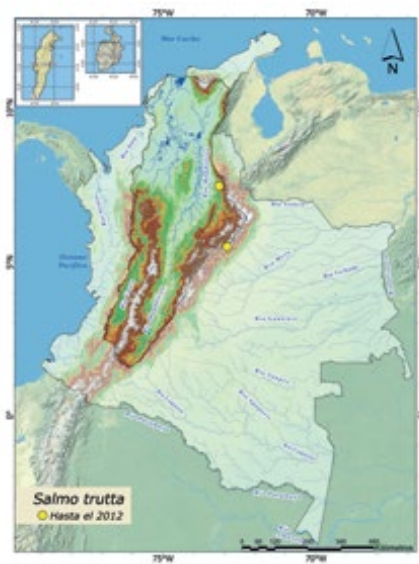


Figura 24. *Salmo trutta*.

PECES INTRODUCIDOS

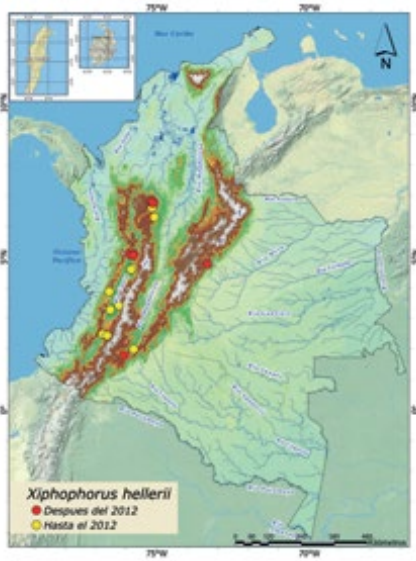


Figura 25. *Xiphophorus hellerii*.



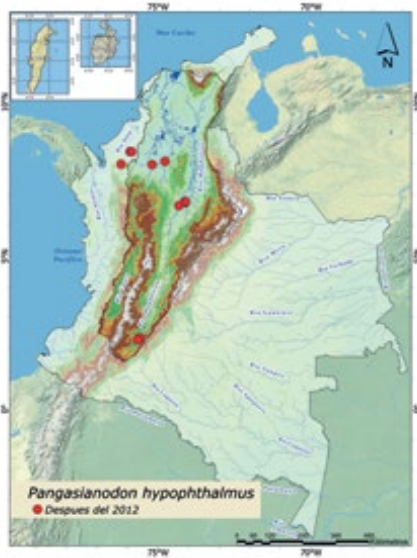
Figura 26. *Xiphophorus maculatus*.



Figura 27. *Xiphophorus variatus*.



a



b

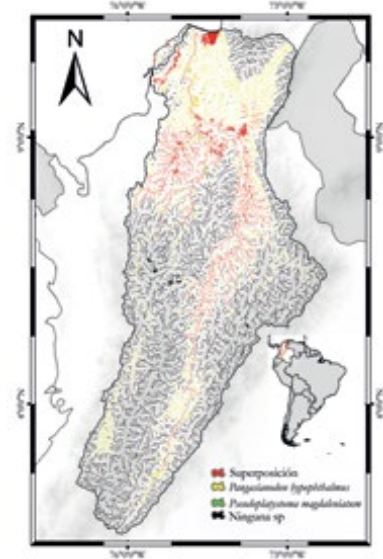


Figura 28. a) Distribución de *Pangasianodon hypophthalmus*; b) sobreposición del *Pangasius hypophthalmus* y bagre rayado (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*).

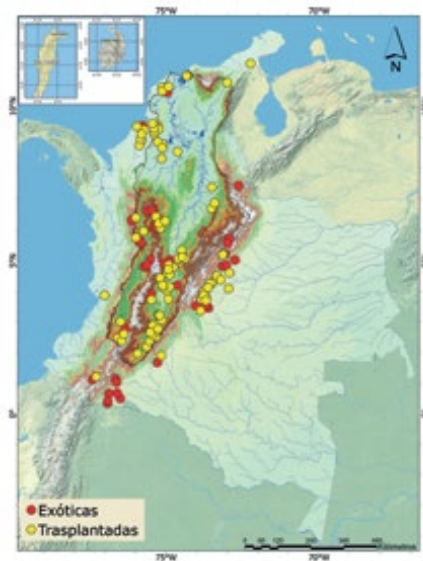


Figura 29. Localización de cultivos de especies introducidas (trasplantadas y exóticas) en Colombia (ver Anexo 3).

PECES INTRODUCIDOS

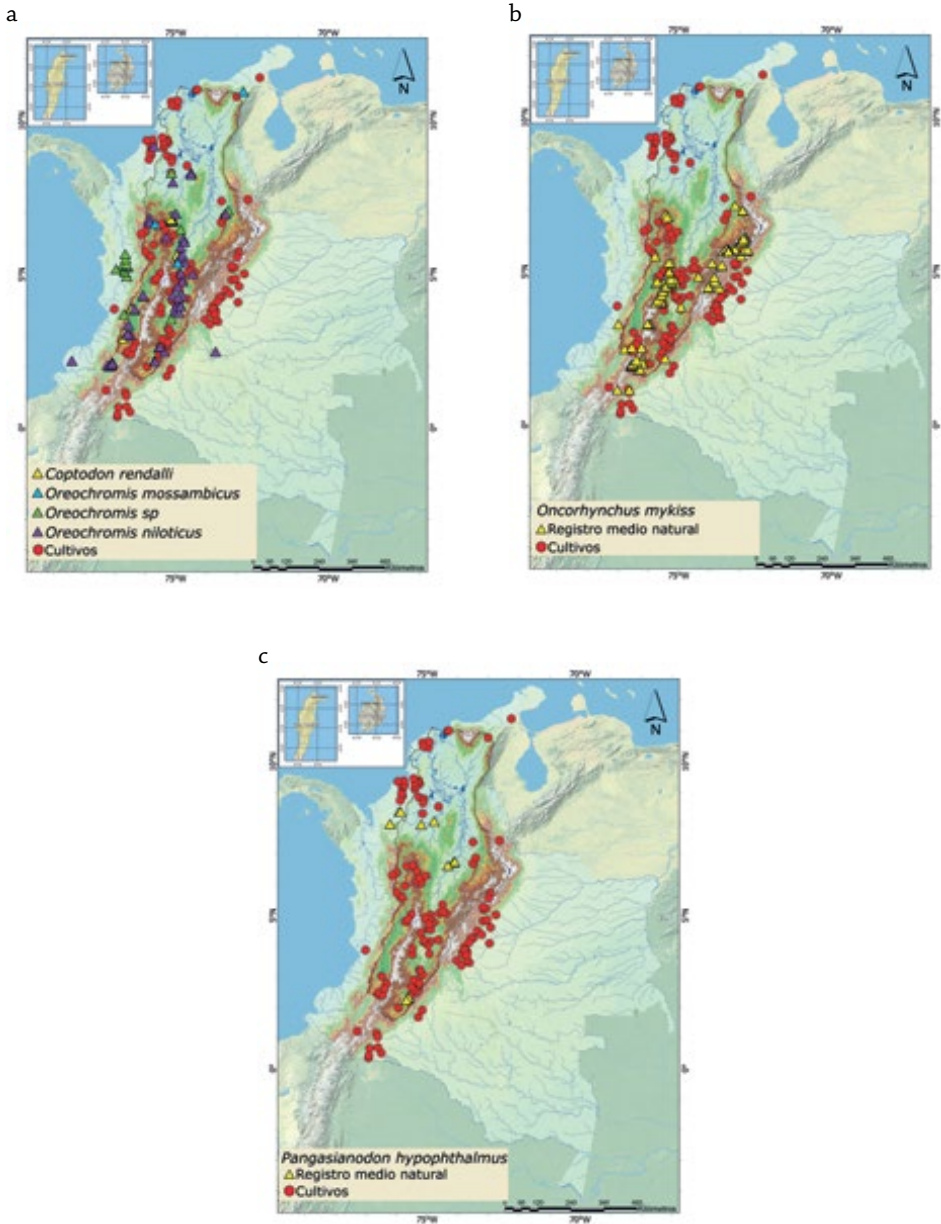


Figura 30. Localización de cultivos de especies introducidas y distribución actual de: a) *Coptodon rendalli*, *Oreochromis mossambicus*, *Oreochromis niloticus*, *Oreochromis sp*; b) *Oncorhynchus mykiss*; c) *Pangasianodon hypophthalmus*.



Anexo 3a. Cultivos de especies trasplantadas en Colombia. Fuente: SEPEC-AUNAP.

TRASPLANTADAS			
<i>Arapaima gigas</i>	Departamento	Municipio	Fecha
X	Caquetá	Puerto Rico	2018
X	Caldas	San José del Fragua	2017
X	Tolima	Lerida	2017
<i>Colossoma macropomum</i>	Departamento	Municipio	Fecha
X	Atlántico	Repelón	2016
X	Atlántico	Sabana Larga	2018
X	Boyacá	Miraflores	2018
X	Cauca	Popayán	2018
X	Córdoba	Ayapel	2018
X	Córdoba	San Bernardo del Viento	2016
X	Cundinamarca	Caparrapí	2018
X	Cundinamarca	Guaduas	2018
X	Cundinamarca	Quebradanegra	2018
X	Guajira	San Juan del Cesar	2016
X	Huila	Garzón	2016
X	Huila	Gigante	2016, 2018
X	Huila	Neiva	2018
X	Huila	Palermo	2016
X	Santander	El Carmen de Chucuri	2016
X	Sucre	Caimito	2018
X	Sucre	Los Palmitos	2018
X	Sucre	Sampués	2018
X	Sucre	San Juan de Betulia	2018
X	Sucre	San Marcos	2018
X	Sucre	Sincelejo	2018
X	Tolima	Guamo	2016, 2018
X	Tolima	Prado	2016
X	Tolima	San Luis	2016
X	Valle del Cauca	Buenaventura	2018

PECES INTRODUCIDOS

Anexo 3a. Continuación

TRASPLANTADAS			
<i>Piaractus orinoquensis</i>	Departamento	Municipio	Fecha
X	Antioquia	Caicedo	2017
X	Antioquia	Barbosa	2018
X	Antioquia	Cocorná	2018
X	Antioquia	San Luis	2018
X	Antioquia	San Rafael	2018
X	Antioquia	Venecia	2018
X	Atlántico	Luruaco	2017
X	Atlántico	Sabanalarga	2016, 2017,2018
X	Boyacá	Berbeo	2016
X	Caldas	San José del Fragua	2017
X	Cauca	Puracé	2016
X	Cauca	Santander de Quilichao	2016
X	Cauca	Silvia	2016
X	Córdoba	Ayapel	2018
X	Córdoba	Cereté	2016, 2018
X	Córdoba	Chimaná	2018
X	Córdoba	Lorica	2018
X	Córdoba	Monteria	2018
X	Córdoba	Purísima	2016, 2018
X	Córdoba	San Bernardo del Viento	2016, 2018
X	Córdoba	San Pelayo	2016, 2018
X	Córdoba	Tierralta	2017
X	Cundinamarca	Caparrapí	2018
X	Cundinamarca	Guaduas	2018
X	Cundinamarca	Medina	2016
X	Cundinamarca	Nocaima	2016
X	Cundinamarca	Paratebueno	2018
X	Cundinamarca	Quebradanegra	2018
X	Huila	Algeciras	2018

**Anexo 3a.** Continuación

TRASPLANTADAS			
X	Huila	Campoalegre	2016
X	Huila	Haipe	2017, 2028
X	Huila	Garzón	2016, 2017, 2018
X	Huila	Gigante	2016, 2018
X	Huila	Hobo	2016, 2018
X	Huila	Neiva	2018
X	Huila	Palermo	2016, 2018
X	Huila	Rivera	2016, 2018
X	Huila	Tello	2018
X	Huila	Timaná	2016
X	Huila	Villavieja	2016, 2018
X	Huila	Yaguará	2018
X	La Guajira	Maicao	2018
X	Magdalena	Pueblo Viejo	2018
X	Meta	Castilla	2016
X	Meta	Cubarral	2016
X	Meta	Cumaral	2016
X	Meta	El Dorado	2016
X	Meta	Guamal	2016
X	Meta	Puerto López	2016
X	Meta	Restrepo	2016
X	Meta	San Juan de Arama	2016
X	Meta	San Martin	2016
X	Meta	Villavicencio	2016
X	Nariño	Pasto	2016
X	Santander	El Carmen de Chucuri	2016
X	Santander	Sabana de Torres	2018
X	Santander	San Vicente del Chucurí	2018
X	Sucre	Caimito	2018
X	Sucre	La Unión	2018

PECES INTRODUCIDOS

Anexo 3a. Continuación

TRASPLANTADAS			
X	Sucre	Los Palmitos	2018
X	Sucre	Majagual	2018
X	Sucre	San Juan de Betulia	2018
X	Sucre	San Marcos	2018
X	Sucre	Sincé	2018
X	Sucre	Sincelejo	2018
X	Tolima	Alvarado	2017
X	Tolima	Ambalema	2017, 2028
X	Tolima	Armero	2017, 2018
X	Tolima	Campoalegre	2018
X	Tolima	Chaparral	2018
X	Tolima	Guamo	2017
X	Tolima	Espinal	2016, 2018
X	Tolima	Ibagué	2018
X	Tolima	Lerida	2017
X	Tolima	Piedras	2018
X	Tolima	Prado	2018
X	Tolima	Valle de San Juan	2018
X	Tolima	Venadillo	2018
Cachama blanca/cachama negra	Departamento	Municipio	Fecha
	Antioquia	Peñol	2018
	Córdoba	Chinú	2018
	Córdoba	Purísima	2016
	Córdoba	San Bernardo del Viento	2016
	Huila	Yaguará	2018
	Sucre	Los Palmitos	2018
	Sucre	Marroa	2018
	Sucre	Sampués	2018
	Sucre	San Juan de Betulia	2018
	Sucre	Sincé	2018



Anexo 3a. Continuación

TRASPLANTADAS			
	Sucre	Sincelejo	2018
	Sucre	Toluviejo	2018
<i>Brycon amazonicus</i>	Departamento	Municipio	Fecha
	Antioquia	Barbosa	2018
	Antioquia	San Rafael	2018
	Caldas	San José del Fragua	2017
	Cauca	Puracé	2016
	Cauca	Santander de Quilichao	2016
	Cundinamarca	Nocaima	2016
	Cundinamarca	Caparrapí	2018
	Cundinamarca	Guaduas	2018
	Cundinamarca	Paratebueno	2018
	Cundinamarca	Quebradanegra	2018
	Huila	Garzón	2016, 2018
	Huila	Gigante	2016, 2019
	Huila	Neiva	2018
	Huila	Palermo	2018
	Huila	Tello	2018
	Huila	Villavieja	2017, 2018
	Huila	Yaguaragua	2018
	Tolima	Ambalema	2018
	Tolima	Campoalegre	2018
	Tolima	Chaparral	2018
	Tolima	Ibagué	2018
	Tolima	Piedras	2018
	Valle del Cauca	Buenaventura	2018
<i>Brycon sp</i>	Departamento	Municipio	Fecha
	Antioquia	Caicedo	2017
	Cauca	Silvia	2016
	Huila	Aipe	2017
	Huila	Garzón	2017

PECES INTRODUCIDOS

Anexo 3a. Continuación

TRASPLANTADAS			
<i>Prochilodus nigricans</i>	Departamento	Municipio	Fecha
	Antioquia	Caidedo	2017
	Meta	Restrepo	2016
	Caldas	San José del Fragua	2017
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Departamento	Municipio	Fecha
	Casanare	Villanueva	2018
	Cundinamarca	Caparrapí	2018
	Cundinamarca	Paratebueno	2018
	Cundinamarca	Quebradanegra	2018
	La Guajira	Maicao	2018
	Meta	Acacias	2016
	Meta	Cubarral	2016
	Meta	Cumaral	2016
	Meta	Granada	2018
	Meta	Guamal	2016
	Meta	Puerto López	2016
	Meta	Restrepo	2016
	Meta	San Martin	2016, 2018
	Buenaventura	Valle del Cauca	2018
<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>	Departamento	Municipio	Fecha
	Meta	Acacias	2018
	Meta	Cumarral	2018
	Meta	Restrepo	2018
	Meta	Villavicencio	2018

**Anexo 3b.** Cultivos de especies exóticas en Colombia

EXÓTICAS			
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Departamento	Municipio	Fecha
	Antioquia	Barbosa	2108
	Antioquia	Belmira	2108
	Antioquia	Carmen de Viboral	2017
	Antioquia	Jardín	2017
	Antioquia	San Rafael	2028
	Antioquia	Santa Rosa de Osos	2017
	Antioquia	Urrao	2017
	Antioquia	Venecia	2018
	Boyacá	Miraflores	2018
	Boyacá	Sogamoso	2017
	Boyacá	Tota	2017
	Caldas	Villamaría	2017
	Cauca	Jambaló	2018
	Cauca	Popayán	2018
	Cauca	Silvia	2018
	Cauca	Puracé	2017
	Huila	Garzón	2018
	Huila	Campoalegre	2016
	Huila	Palermo	2016
	Meta	Restrepo	2016
	Nariño	Pasto	2016
	Nariño	Yacuanquer	2018
	Norte de Santander	Pamplonita	2016

PECES INTRODUCIDOS

Anexo 3b. Continuación

EXÓTICAS			
	Pereira	Risaralda	2016
	Risaralda	Santa Rosa de Cabal	2016
<i>Oreochromis niloticus</i>	Departamento	Municipio	Fecha
	Antioquia	Barbosa	2018
	Antioquia	Caicedo	2017
	Antioquia	Peñol	2018
	Antioquia	San Luis	2018
	Antioquia	San Rafael	2018
	Antioquia	Venecia	2018
	Atlántico	Luruaco	2016, 2017
	Atlántico	Manati	2016, 2018
	Atlántico	Repelón	2018
	Atlántico	Sabanalarga	2016, 2017
	Boyacá	Berbero	2016
	Boyacá	Miraflores	2018
	Boyacá	San Eduardo	2018
	Boyacá	Zataquirá	2018
	Caquetá	El Doncello	2018
	Casanare	Villanueva	2018
	Cauca	Popayán	2018
	Cauca	Silvia	2016
	Córdoba	Lorica	2018
	Córdoba	Purísima	2016, 2018
	Córdoba	San Antero	2018
	Córdoba	San Bernardo del Viento	2016, 2018

**Anexo 3b.** Continuación

EXÓTICAS			
	Cundinamarca	Guaduas	2018
	Cundinamarca	Medina	2016
	Cundinamarca	Quebradanegra	2018
	Guajira	San Juan del Cesar	2016
	Huila	Aripe	2017
	Huila	Campoalegre	2016
	Huila	Garzón	2016, 2017, 2018
	Huila	Gigante	2016, 2018
	Huila	Hobo	2016, 2018
	Huila	Palermo	2016
	Huila	Rivera	2016, 2018
	Huila	Timaná	2016
	Huila	Villavieja	2017
	Huila	Yaguará	2018
	Meta	Acacias	2016, 2018
	Meta	Castilla	2016, 2019
	Meta	Cubarral	2018
	Meta	Cumaral	2016
	Meta	El Dorado	2018
	Meta	Guamal	2016, 2018
	Meta	Restrepo	2016, 2018
	Meta	San Juan de Arama	2018
	Meta	Villavicencio	2018
	Putumayo	Mocoa	2018
	Putumayo	Orito	2018

PECES INTRODUCIDOS

Anexo 3b. Continuación

EXÓTICAS			
	Putumayo	Puerto Caicedo	2018
	Putumayo	San Miguel	2018
	Putumayo	Valle del Guamez	2018
	Santander	El Carmen de Chucuri	2016
	Sucre	Los Palmitos	2018
	Sucre	San Marcos	2018
	Sucre	Sincelejo	2018
	Sucre	Toluviejo	2018
	Tolima	Ambalema	2017, 2018
	Tolima	Armero	2017
	Tolima	Campoalegre	2018
	Tolima	Espinal	2018
	Tolima	Guamo	2016, 2018
	Tolima	Piedras	2018
	Tolima	Prado	2016, 2018
	Tolima	San Luis	2016
<i>Oreochromis</i> "híbrido rojo"	Departamento	Municipio	Fecha
	Antioquia	Barbosa	2018
	Antioquia	Caicedo	2017
	Antioquia	Cocorná	2018
	Antioquia	Peñol	2018
	Antioquia	San Luis	2018
	Antioquia	San Rafael	2018
	Antioquia	Venecia	2018
	Atlántico	Luruaco	2017

**Anexo 3b.** Continuación

EXÓTICAS			
	Atlántico	Manatí	2018
	Atlántico	Repelón	2016, 2018
	Atlántico	Sabanalarga	2016, 2017, 2018
	Boyacá	Berbeo	2016
	Boyacá	Miraflores	2018
	Boyacá	San Eduardo	2018
	Boyacá	San Luis de Gaceno	2018
	Buenaventura	Valle del Cauca	2018
	Caldas	San José del Fraguas	2017
	Caquetá	El Doncello	2018
	Caquetá	Monterrey	2018
	Caquetá	Puerto Rico	2018
	Casanare	Sabanalarga	2018
	Casanare	Tauramenta	2018
	Casanare	Villanueva	2018
	Cauca	Popayán	2018
	Cauca	Santander de Quilichao	2016
	Cauca	Silvia	2016
	Córdoba	Ayapel	2018
	Córdoba	Chinú	2018
	Córdoba	Lorica	2018
	Córdoba	Montería	2018
	Córdoba	San Antero	2018
	Córdoba	San Bernardo del Viento	2016, 2018
	Cundinamarca	Caparrapí	2018

PECES INTRODUCIDOS

Anexo 3b. Continuación

EXÓTICAS			
	Cundinamarca	Guaduas	2018
	Cundinamarca	Medina	2016
	Cundinamarca	Nocaima	2016
	Cundinamarca	Paratebueno	2018
	Cundinamarca	Quebradanegra	2018
	Huila	Aipe	2018
	Huila	Algeciras	2018
	Huila	Campoalegre	2016
	Huila	Garzón	2016, 2017, 2018
	Huila	Gigante	2016, 2018
	Huila	Hobo	2016, 2018
	Huila	Neiva	2018
	Huila	Palermo	2016, 2018
	Huila	Rivera	2016, 2018
	Huila	Tello	2018
	Huila	Timaná	2016
	Huila	Villavieja	2017, 2018
	Huila	Yaguará	2018
	La Guajira	Maicao	2018
	La Guajira	San Juan del Cesar	2016
	Magdalena	Puebloviejo	2018
	Meta	Acacias	2016, 2018
	Meta	Castilla	2016, 2018
	Meta	Cubarral	2016, 2018
	Meta	Cumarral	2016, 2018

**Anexo 3b.** Continuación

EXÓTICAS			
	Meta	El Dorado	2016, 2018
	Meta	Fuente de Oro	2018
	Meta	Granada	2018
	Meta	Guamal	2016, 2018
	Meta	Lejanías	2018
	Meta	Puerto López	2016
	Meta	Restrepo	2016, 2018
	Meta	San Juan de Arama	2016, 2018
	Meta	San Martín	2016, 2018
	Meta	Villavicencio	2016, 2018
	Putumayo	Mocoa	2018
	Putumayo	Orito	2018
	Putumayo	Puerto Asís	2018
	Putumayo	Puerto Caicedo	2018
	Putumayo	San Miguel	2018
	Putumayo	Valle del Guamez	2018
	Putumayo	Villagarzón	2018
	Santander	Sabana de Torres	2018
	Santander	San Vicente del Chucurí	2016, 2018
	Sucre	Caimito	2018
	Sucre	Los Palmitos	2018
	Sucre	Majagual	2018
	Sucre	Marroa	2018
	Sucre	Sampués	2018
	Sucre	San Marcos	2018

PECES INTRODUCIDOS

Anexo 3b. Continuación

EXÓTICAS			
	Sucre	Sincelejo	2018
	Sucre	Toluviejo	2018
	Tolima	Alvarado	2018
	Tolima	Ambalema	2017, 2018
	Tolima	Armero (Guayabal)	2017, 2018
	Tolima	Campoalegre	2018
	Tolima	Chaparral	2018
	Tolima	Espinal	2016, 2018
	Tolima	Guamo	2016, 2017, 2018
	Tolima	Ibagué	2017, 2018
	Tolima	Lérida	2017
	Tolima	Libano	2018
	Tolima	Melgar	2018
	Tolima	Piedras	2018
	Tolima	Prado	2016, 2018
	Tolima	San Antonio	2018
	Tolima	San Luis	2016
	Tolima	Valle de San Juan	2018
	Tolima	Venadillo	2018
<i>Carassius auratus</i>	Departamento	Municipio	Fecha
	Meta	Acacias	2018
<i>Cyprinus carpio</i>	Departamento	Municipio	Fecha
	Boyacá	San Eduardo	2018
	Casanare	Villanueva	2018

**Anexo 3b.** Continuación

EXÓTICAS			
	Cauca	Popayán	2018
	Córdoba	San Pelayo	2016
	Cundinamarca	Guaduas	2018
	Huila	Garzón	2017
	Huila	Gigante	2016
	Meta	Acacias	2016
	Meta	Restrepo	2016
	Tolima	Espinal	2018
	Tolima	Guamo	2017
	Tolima	Prado	2018
<i>Cyprinus carpio</i> variedad Koi	Departamento	Municipio	Fecha
	Córdoba	San Pelayo	2018
	Meta	Cubarral	2016
	Meta	Villavicencio	2016, 2018
	Tolima	Espinal	2016
	Tolima	Ibagué	2018



Pesca de mojarra o lora amarilla, *Caquetaia kraussii*. Foto: Luis J. García-Melo.



9. PRESIÓN DE USO DEL RECURSO ÍCTICO POR LA PESCA ARTESANAL EN LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA, COLOMBIA

Sandra Hernández-Barrero, Carlos G. Barreto-Reyes y Mauricio Valderrama-Barco

Resumen

La pesca artesanal multiespecífica en la cuenca del Magdalena involucra a más de 30.000 pescadores. La gestión clásica identifica a la sobrepesca como la responsable del agotamiento de los peces y como el factor primordial a controlar. Así, la pesca selectiva (tallas de peces y tamaño de ojos de malla) se plantea como la forma de reducir los efectos que esta genera en los ecosistemas y a su vez aumentar los rendimientos pesqueros. No obstante, hallazgos recientes desafían esta narrativa sugiriendo que el patrón de explotación de los pescadores a pequeña escala podría estar más cerca de un enfoque ecosistémico. Para analizar este planteamiento se realizó un análisis del efecto de las presiones que ejerce la pesca artesanal sobre las comunidades de peces y el ecosistema, soportada

en la identificación de los cambios en la producción pesquera, en la estructura trófica y en los tamaños de las especies, junto con las modificaciones en la biomasa relativa, composición, biomasa óptima, tasa de explotación y artes de pesca. Al final se contempla la posible respuesta de los pescadores hacia una autorregulación, concluyendo que la gestión clásica ha generado efectos contrarios a lo deseado. En consecuencia, como contribución a los administradores de la pesca, se presentan recomendaciones dirigidas a modificar los paradigmas de manejo actuales y se reafirma la necesidad de fortalecer los procesos de gobernanza.

Palabras clave. Estructura poblacional, estructura trófica, gestión clásica, pesca selectiva, sobrepesca.

Hernández-Barrero, S., Barreto-Reyes, C. G. & Valderrama-Barco, M. 2020. Presión de uso del recurso íctico por la pesca artesanal en la cuenca del río Magdalena, Colombia. *En: Jiménez-Segura, L. & C. A. Lasso (Eds.). XIX. Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible.* Pp: 369-387. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. DOI: 10.21068/B2020RRHHXIX09

PRESIÓN DE USO DEL RECURSO

Abstract

Classic fishery management strategies usually identify overfishing as cause of fish stock depletion and as the primary factor to control. Thus, selective fishing regulations controlling fish sizes and/or net mesh size have traditionally been proposed as the best way to reduce the impacts of overfishing on ecosystems and in turn increase fishing yields. However, recent findings challenge this narrative by suggesting that the pattern of exploitation of small-scale fishers may be closer to a sustainable ecosystem approach. To analyze this approach, and study of the effect of artisanal fishers on fish communities and the aquatic ecosystem a research program was designed and carried out. The study took into account the observed changes in fishery production, trophic structure and sizes of the harvested species, together with changes in relative biomass, catch composition, optimal biomass, exploitation rate and fishing gear. Also, the possible response of fishers towards self-regulation was considered, concluding that classical management practices have produced effects contrary to what is desired. Consequently, as a contribution to fisheries managers, recommendations are presented aimed at modifying current management paradigms. The need to strengthen enforcement of fishing regulations is reaffirmed.

Keywords. Classic management, overfishing, population structure, selective fishing, trophic structure.

Introducción

La pesca en la cuenca del Magdalena es una actividad tradicional que involucra a más de 30.000 pescadores según la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca -AUNAP- (Medio Ambiente 2017) y se caracteriza por

ser del tipo artesanal de múltiples artes y múltiples especies (Valderrama *et al.* 2020). Dicha diversidad de peces ha generado una amplia variedad de artes de pesca, cuyo uso se relaciona con su eficiencia en la captura de acuerdo con el ambiente y la época donde se realiza la pesca. Por esta razón, los pescadores realizan continuas modificaciones y mejoras, con el fin de adaptarse a las condiciones locales y al tamaño de la especie deseada. Este comportamiento ha sido reportado en otras pesquerías artesanales en el continente africano y asiático (Eyo y Akpati 1995, Silvano y Begossi 2001, Saldaña *et al.* 2017, Dienye y Olopade 2017), sin embargo, en este contexto en general, se han involucrado métodos de pesca denominados “indiscriminados” y considerados poco éticos, destructivos y, por tanto, ilegales bajo el paradigma de la gestión clásica. Todo lo anterior ha venido originando conflictos constantes entre los pescadores y, a su vez, con los administradores, incluso bajo situaciones de cogestión (Kolding *et al.* 2014).

En cuanto a las decisiones para el manejo de la pesca artesanal en Colombia, estas han sido creadas a partir de los modelos pesqueros desarrollados para pesquerías industriales y uniespecíficas del hemisferio norte, como es tradicional en otras pesquerías artesanales tropicales, continentales y marinas (Berkes *et al.* 2003, Kolding y van Zwieten 2011). Dicha gestión clásica se ha basado en los factores internos concernientes a la pesca y se ha centrado en el servicio ecosistémico final: el de la provisión de carne de pescado, sin contemplar los procesos y funciones ambientales necesarios para llegar a generarlo. Es por ello que se identifica a la sobrepesca como la responsable del agotamiento de los peces y, por tanto, como el factor primordial a controlar.



Kolding y van Zwieten (2011) afirman que el paradigma de la gestión clásica se basa en “cuánto” se puede pescar y “cómo” se debe pescar (tallas de los peces y ojos de malla de las artes). Este enfoque desconoce los factores externos de la pesquería, que actúan a través de elementos de presión directos e indirectos (contaminación, hidroeléctricas, minería, sedimentación, cambio del uso del suelo, deforestación entre otras), y que a su vez degradan el sistema biofísico encargado de sustentar al servicio ecosistémico de provisión de carne de pescado. Según Welcomme *et al.* (2010) cuando se aduce que la sobrepesca es la causante del deterioro pesquero, no se considera la magnitud de los impactos que la agricultura, los sectores industriales y domésticos generan sobre los recursos. Por tanto, el no cumplimiento de la reglamentación de artes y tallas inspirados en las pesquerías del hemisferio norte hace que los pescadores artesanales estén sujetos a una imagen negativa. Misund *et al.* (2002) señalan que esta es una opinión abrumadora entre muchos actores del sector pesquero, en particular, biólogos, economistas pesqueros, administradores del recurso y gestores de política, al sustentar que al pescar individuos juveniles se conducirá a una sobrepesca de crecimiento. Hallazgos recientes desafían esta narrativa y sugieren que el patrón de explotación de los pescadores a pequeña escala, a menudo, podría estar más cerca de un enfoque ecosistémico que el de las pesquerías selectivas convencionales (Zhou *et al.* 2010).

En la gestión de la pesca, la selectividad de las tallas se incluyó con la esperanza de reducir los efectos de dicha actividad comercial en los ecosistemas y aumentar los rendimientos. Esta gestión clásica, según Law *et al.* (2013) se sustenta en el desarrollo de una actividad orientada a la extracción de los ejemplares más grandes

(sexualmente maduros) y proteger a los pequeños, bajo los principios básicos de la teoría de la propagación “déjalos engendrar” —para asegurar que los peces tengan al menos una oportunidad de reproducirse antes de ser pescados— y la teoría del crecimiento “dejarlos crecer” (no pescarlos demasiado pequeños), hasta que alcancen su potencial de crecimiento. No obstante, lo anterior no mide las consecuencias que esto trae en el ámbito de las especies, las comunidades de peces y del ecosistema; a su vez, hay cada vez más pruebas de que esta estrategia de manejo no maximiza la producción ni reduce los efectos en los ecosistemas (Belgrano y Fowler 2013).

En este ámbito, la eliminación de individuos grandes genera una selección direccional de aquellos genes que causan una maduración más temprana y un crecimiento más lento (Beyer y Andersen 2011, Law *et al.* 2013). Así mismo, la extracción de los tamaños grandes altera la estructura de las comunidades de peces, genera una disminución de la biomasa de los depredadores y un aumento de los peces más pequeños (las presas) (Law *et al.* 2013). Por consiguiente, ocurren alteraciones en la red trófica (cascada trófica), que son síntomas de la llamada sobrepesca del ecosistema (Kolding y van Zwieten 2011). Todo esto se traduce en pesquerías cada vez menos sostenibles.

En este capítulo se presenta un análisis de la presión generada por la pesca sobre las comunidades de peces y el ecosistema en la cuenca del río Magdalena, cuya área geográfica de estudio está entre los 0 y 800 m s.n.m. En esta zona es en la que se lleva a cabo el sistema de pesca artesanal comercial. Para analizar las presiones de la actividad de la pesca artesanal, se realizó un análisis del efecto de la pesca selectiva sobre las comunidades de peces y el

PRESIÓN DE USO DEL RECURSO

ecosistema, soportada en la identificación de las presiones referidas a los cambios en la producción pesquera, con cambios en la estructura trófica y en los tamaños de las especies, junto con las modificaciones en la biomasa relativa, composición, biomasa óptima, tasa de explotación y artes de pesca. No obstante, el enfoque trasciende de lo eminentemente pesquero e intenta una aproximación ecosistémica que busca, en un marco integral, discutir la situación actual de los recursos pesqueros en la cuenca del Magdalena.

La producción pesquera

En cuanto a la producción pesquera, es relevante diferenciarla de los desembarcos pesqueros. La primera corresponde a la captura total generada en un área geográfica, mientras que los segundos hacen referencia a la captura comercial que llega a puertos de desembarque dentro de un área geográfica. En el periodo 1975 - 2016, la producción pesquera en la cuenca del río

Magdalena fluctuó entre 81.653 y 26.132 t con dos fases de desarrollo (Figura 1). La fase de mayor declive a lo largo de la historia de la pesquería de la cuenca se presentó entre los años 1975 - 1992 para luego alcanzar una fase de estabilización con producciones entre 26.132 y 36.159 t. Cabe resaltar que durante la fase de declive se presentaron dos incrementos de la producción en biomasa del ecosistema, que no lograron ser sostenibles en el tiempo (durante el año 1978 y el periodo 1985 - 1987). De manera complementaria, estos cambios en la producción pesquera han afectado de forma directa la seguridad alimentaria de los pescadores, lo cual resalta la importancia regional y local que posee la pesca artesanal en la cuenca Magdalena.

Cambios en la estructura trófica y poblacional (tallas)

Las comunidades de peces de la cuenca del Magdalena están reguladas por procesos

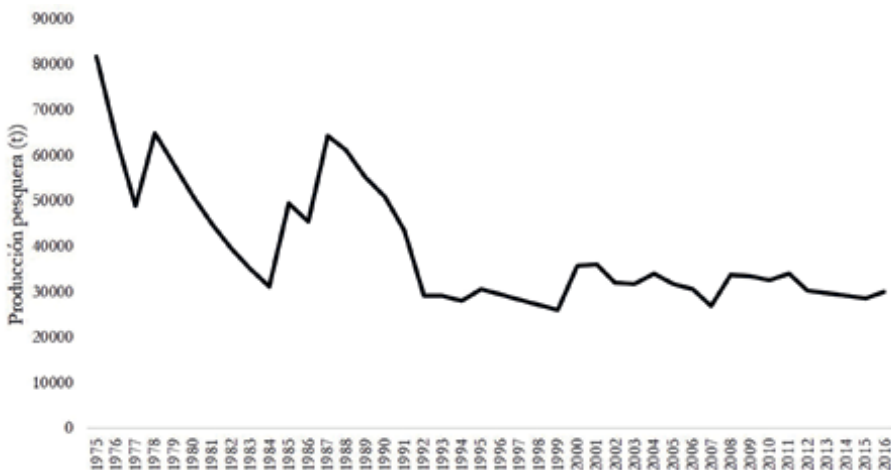


Figura 1. Tendencias y fases de la producción pesquera en la cuenca del río Magdalena (1975-2016). Fuente: Barreto (2017).



IAvH

de flujo de energía, competencia y depredación a través de la red alimentaria. Los depredadores principales como el bagre rayado (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*), juegan un papel crucial en esta dinámica alimentaria, junto con los niveles tróficos más bajos: los detritívoros. Dentro de estos últimos se encuentra el bocachico, *Prochilodus magdalenae*. Estos procesos regulatorios se han visto afectados al irse eliminando los depredadores principales ocasionado el efecto de las cascadas tróficas (Shackell *et al.* 2010). Es decir, la reducción en la abundancia de los depredadores apicales ha conllevado a que las presas sufran menos mortalidad por depredación y, por tanto, se ha incrementado su abundancia. Estas cascadas tróficas, según Belgrano y Fowler (2013),

se dan cuando la abundancia de los depredadores regula la densidad de sus presas y no al revés. El efecto cascada se puede observar claramente en la pesquería de la cuenca del río Magdalena (Figura 2), efecto que Hernández-Barrero *et al.* (*en revisión*) ya lo han advertido, al ocasionarse un forzamiento de arriba hacia abajo, el cual se viene dando históricamente y que se refleja en la reducción de la biomasa de los grandes depredadores (piscívoros y carnívoros), un incremento en la de los consumidores secundarios (omnívoros) y una reducción en la de la población productora (detritívoros). De esta forma, se evidencia que la cascada trófica constituye el primer indicador de una pesquería no sostenible y que conlleva a una sobrepesca del ecosistema.

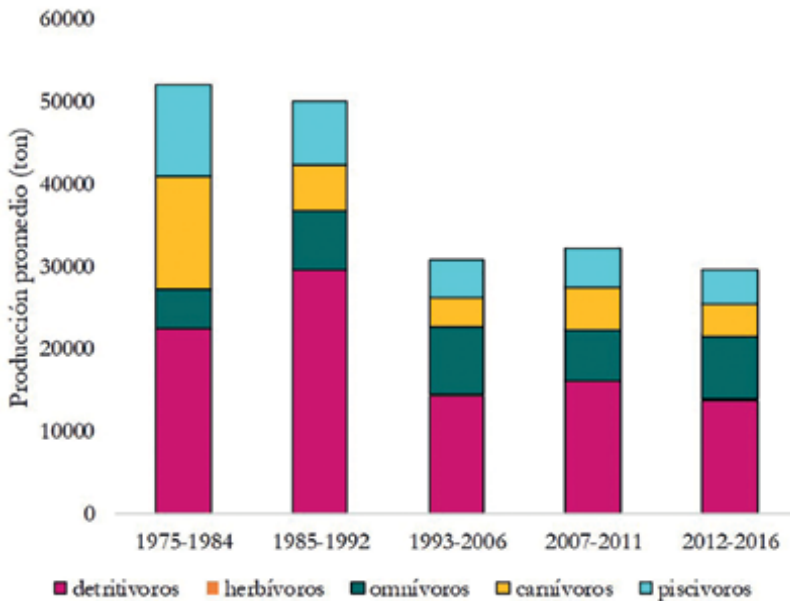


Figura 2. Cambios en la estructura trófica de las especies objeto de pesca en la cuenca del Magdalena entre 1974 y 2016. Fuente: Tomado y adaptado de Hernández-Barrero *et al.* (*en revisión*), los años 1993 a 2016 se obtuvieron a partir de Barreto (2017).

PRESIÓN DE USO DEL RECURSO

Estos efectos a nivel de comunidad de peces se agravan con el desarrollo de una pesca selectiva en la cuenca del Magdalena, amparada en la estrategia de manejo tradicional y, por tanto, con el derecho legítimo de dirigir la captura hacia individuos más grandes (sexualmente maduros), a través del establecimiento de tallas reglamentarias de captura (Resolución 25 de 1971, Resolución 0595 de 1978 y Resolución 0430 de 1982) y de regulaciones a nivel de las artes de pesca, que son las que condicionan una pesca selectiva (Resolución 25 de 1971, Resolución 1442 de 1979, Acuerdo 005 de 1993 y Resolución 0533 de 2000). A partir de lo anterior, se desafían las consecuencias

darwinianas (selectivas) ocasionando efectos en la historia de vida de las especies (se favorecen genotipos con un crecimiento más lento y una edad más temprana de madurez) como lo indican (Kolding *et al.* 2011, Kuparinen *et al.* 2016, Rochet y Benoît 2012). A nivel de las poblaciones, ocurre una reducción en su productividad y a nivel del ecosistema, alteración de la estructura, funcionamiento —junto con el flujo de energía— el reciclaje de elementos, las interacciones entre las especies, la productividad y la pérdida de resiliencia (Conover y Munch 2002 Kolding y van Zwieten 2011, Kuparinen *et al.* 2016, Mosepele 2014, Ripple *et al.* 2016, Zimmermann

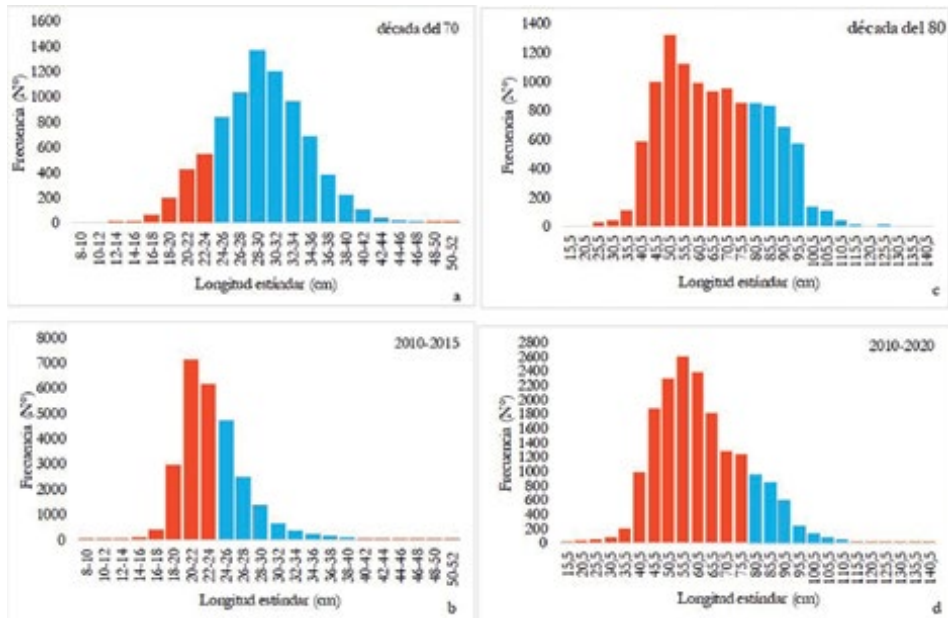


Figura 3. Cambio de la estructura de las poblaciones del bocachico, *Prochilodus magdalenae* (a-b) y el bagre rayado, *Pseudoplatystoma magdaleniatum* (c-d) en la cuenca del Magdalena a través del tiempo. El color naranja refleja a los ejemplares a proteger de acuerdo con la normatividad pesquera que rige para la cuenca, mientras el color azul muestra los tamaños a los que la pesca debe ser dirigida.



IAvH

y Jørgensen 2017). De acuerdo con van Wijk *et al.* (2013), los efectos en los cambios fenotípicos pueden ocurrir en períodos de tiempo relativamente cortos.

Cambios en biomasa relativa y composición

En la figura 4 se visualiza cómo el patrón de la pesca ejercido en la cuenca ha logrado distribuir la presión a través de un amplio espectro de tamaños, especies y, por tanto, de niveles tróficos. Investigadores como García *et al.* (2012) y Zhou *et al.* (2019) indican que la diversidad de artes de pesca, en ecosistemas tropicales, contribuyen a una explotación más balanceada en proporción a su productividad natural. De igual forma, en la figura 4 se observa que los tamaños más pequeños (22 - 28 cm Ls) son los que generan el mayor aporte en biomasa relativa, frente a los ejemplares de tamaños más grandes (> 40 cm Ls). Así lo explican Kolding *et al.* (2016) y Wolff *et al.* (2015) al indicar que, al ser los peces pequeños más abundantes, estos crecen más rápido y, por tanto, tienen una mayor biomasa y rotación general en el sistema. Lo anterior, les permite tolerar una mayor mortalidad por pesca.

Si bien son los tamaños pequeños los que generan altos rendimientos, tal como es enunciado por Jacobsen *et al.* (2014), esto ocurre a expensas del colapso de las especies o de los tamaños más grandes. Esta condición se refleja en la cuenca, donde el efecto de la selectividad persiste al presentarse niveles diferenciales en la estructura de tamaños de las especies y de la biomasa relativa, entre períodos de años, con reducciones del 47% (2015-2019 versus 2007-2010, Figura 4); es decir, se confirma la condición de sobrepesca del ecosistema. Al extraerse los grandes reproductores (mayor fecundidad y mayor grado de sobrevivencia

de la progenie), las especies para poder mantener sus poblaciones han compensado esta pérdida al soportarse en los reproductores más pequeños (menor fecundidad y mayor mortalidad de la progenie), lo que conlleva a poblaciones cada vez menos numerosas. En general estos hechos no son considerados por la gestión clásica de manejo basado en la selectividad y captura de megadesovadores.

Por tanto, aunque los peces pequeños sean más productivos, si se alienta a continuar una pesca dirigida a los tamaños grandes, la tendencia será a una menor abundancia de individuos y, por ende, una menor biomasa en el futuro. Según Kuparinen *et al.* (2016) se ha evidenciado que las especies, para subsanar la pérdida de sus grandes reproductores, han alterado sus historias de vida hacia una maduración más temprana, factor que ha afectado no solo la biomasa de los peces, sino que ha reducido la viabilidad de la población, su capacidad de amortiguar y de recuperarse de las perturbaciones y las fluctuaciones ambientales. Con base en ello, se presenta el tercer indicador: la sobrepesca por reclutamiento.

A partir de lo anterior, dichos resultados se traducen en los cambios que los pescadores vienen presentando en sus capturas individuales. De acuerdo con Hernández-Barrero *et al.* (*en revisión*), la mediana de la captura por unidad de esfuerzo disminuyó en el tiempo, al pasar de 27 kg.UEP.día⁻¹ en los años 70 a 12,5 kg.UEP.día⁻¹ para el período 2012-2015. Pero es necesario destacar que en estos años más recientes los rendimientos fueron ligeramente mayores (13%) a los registrados en los años inmediatamente anteriores (2007-2011), mostrando un aumento de la CPUE. A su vez, se ha evidenciado que frente a la disminución de la CPUE los pescadores han tenido

PRESIÓN DE USO DEL RECURSO

la habilidad y resiliencia para adaptar y mejorar sus artes en función de su realidad, condición que ha llevado a una mayor diversidad de especies aprovechadas por la pesquería a lo largo del tiempo. En la tabla 1 se observa que durante los años 1977 a 1989 se registraban once especies (más un grupo denominado “otras”), mientras que en el período 2010 al 2015 fueron 49. Dichas especies estarían concentradas en las tallas de menor tamaño (Figura 4a y 4b).

En cuanto a la reacción de los pescadores frente a la disminución de la CPUE, esta ha sido explicada por Kolding *et al.* (2016) como lógica y necesaria. A su vez, ha requerido una disminución gradual de los tamaños de malla por parte de ellos, para que puedan mantener tasas de captura aceptables. El resultado ha sido el aumento en la cantidad de peces pequeños, una mayor diversidad de especies y en la cantidad de especies pequeñas que ingresan a la pesquería.

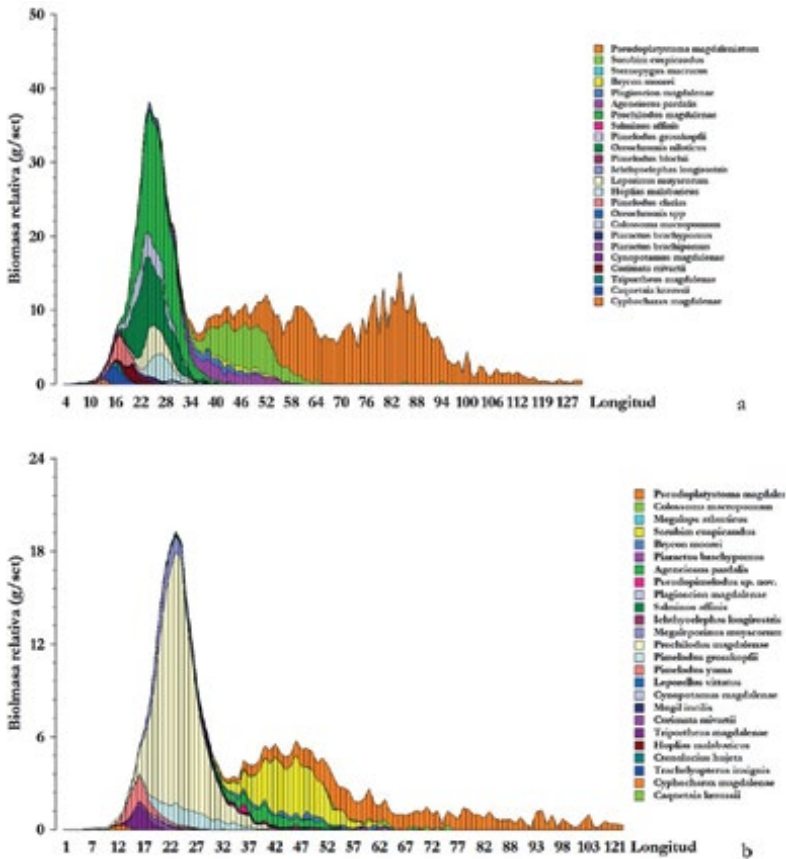


Figura 4. Biomasa relativa de las comunidades de peces sujetas a uso en la cuenca del Magdalena, con base en la estructura de tamaños de sus poblaciones. (a) Años 2007-2010 y (b) años 2015-2019.



Tabla 1. Relación de las especies sujetas a uso desde 1975 y la incorporación de otras en el tiempo. El grupo “otras” resulta de la combinación de una serie de especies, cuyos aportes a la pesca son bajos y es así como aparecen en los registros estadísticos.

Nombre científico	Nombre común	1975 - 1989	1990 - 1999	2000 - 2009	2010 - 2015
<i>Triportheus magdalenae</i>	arenca	x	x	x	x
<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>	bagre rayado	x	x	x	x
<i>Sorubim cuspicaudus</i>	blanquillo	x	x	x	x
<i>Prochilodus magdalenae</i>	bocachico	x	x	x	x
<i>Cynopotamus magdalenae</i>	chango	x	x	x	x
<i>Ageneiosus pardalis</i>	doncella	x	x	x	x
<i>Brycon moorei</i>	dorada, mueluda	x	x	x	x
<i>Pimelodus yuma</i>	nicuro	x	x	x	x
<i>Plagioscion magdalenae</i>	pacora	x	x	x	x
<i>Sternopygus aequilabiatu</i>	mayupa	x	x	x	x
<i>Megaleporinus muyscorum</i>	mohino	x	x	x	x
Combinación especies	otras	x	x	x	
<i>Pseudopimelodus spp</i>	bagre sapo		x	x	x
<i>Piaractus brachypomus</i>	cachama		x	x	x
<i>Pimelodus grosskopfii</i>	capaz		x	x	x
<i>Panaque cochliodon</i>	coroncoro		x	x	x
<i>Caquetaia kraussii</i>	mojarra amarilla		x	x	x
<i>Oreochromis niloticus</i>	mojarra plateada		x	x	x
<i>Oreochromis sp</i>	mojarra roja		x	x	x
<i>Hoplias malabaricus</i>	moncholo		x	x	x
<i>Ichthyoelephas longirostris</i>	pataló		x	x	x
<i>Megalops atlanticus</i>	sábalo		x	x	x
<i>Curimata mivartii</i>	vizcaina		x	x	x
<i>Ctenolucius hujeta</i>	agujeta			x	x
<i>Sturisomatichthys spp</i>	alcalde			x	x
<i>Xyliphius magdalenae</i>	cachegua			x	x
<i>Sternopygus aequilabiatu</i>	caloche			x	x
<i>Hypostomus hondae</i>	corote			x	x

PRESIÓN DE USO DEL RECURSO

Tabla 1. Continuación.

Nombre científico	Nombre común	1975 - 1989	1990 - 1999	2000 - 2009	2010 - 2015
<i>Chaetostoma spp</i>	cucha barbona			x	x
<i>Andinoacara latifrons</i>	mojarra azul			x	x
<i>Geophagus steindachneri</i>	mula, morrua			x	x
<i>Salminus affinis</i>	picuda, rubio			x	x
<i>Potamotrygon magdalenae</i>	raya			x	x
<i>Astyanax magdalenae</i>	sardina			x	x
<i>Cyphocharax magdalenae</i>	yalúa, madrebochacho			x	x
<i>Spatuloricaria gymnogaster</i>	zapatero			x	x
<i>Colossoma macropomum</i>	cachama			x	x
<i>Notarius bonillai</i>	bagre chivo			x	x
<i>Dasylicaria spp</i>	coroncoro perro			x	
<i>Pangasionodon hypophthalmus</i>	basa				x
<i>Chaetostoma thomsoni</i>	choca				x
<i>Leporinus striatus</i>	corunta				x
<i>Ancistrus spp</i>	cucha cachona				x
<i>Sin identificar</i>	cucha pintada				x
<i>Rhamdia guatemalensis</i>	guabina				x
<i>Centrochir crocodili</i>	matacaiman				x
<i>Leporellus vittatus</i>	mazorco				x
<i>Kronoheros umbrifer</i>	mojarra común				x
<i>Brycon henni</i>	sabaleta				x
<i>Trachelyopterus insignis</i>	garagara				x
<i>Cetopsis othonops</i>	babosa				x
N° especies reportadas		11+ otras	22 + otras	38 + otras	49

De acuerdo con la teoría general de producción, la disminución de la captura individual (CPUE o biomasa relativa) es algo de esperar en la medida que se pesca. Además, se indica que es apropiado reducir su

biomasa a aproximadamente la mitad de su nivel virgen, para aumentar la productividad del stock (biomasa anual neta añadida) y maximizar el rendimiento sostenible. Por tanto, el uso de una disminución



IAvH

de las CPUE como indicador del estado de las existencias puede ser engañoso o incluso incorrecto. No obstante, como se desconoce el esfuerzo pesquero ejercido a lo largo de ese tiempo, no es posible confirmar el estado de sobrepesca biológica en la cuenca porque tal como es planteado por Kolding *et al.* (2014) solo una disminución en las capturas totales, sin una disminución en el esfuerzo, permitiría hablar de sobrepesca.

Hacia un enfoque multiespecífico y un análisis del estado de aprovechamiento a través del tiempo

En la figura 5 se presentan cinco de las principales especies sujetas a uso, en las cuales se muestra la probabilidad que cada una tiene para alcanzar su máxima biomasa, en función de las características propias de su historia de vida. Este término se entiende como la capacidad que tiene una especie para distribuir sus recursos limitados entre el crecimiento, la supervivencia y la

descendencia (Mims y Olden 2012). En ese sentido, se observa de modo diferencial el comportamiento de cada especie, donde el bocachico es la primera de ellas en alcanzar los máximos de biomasa, mientras que el capaz es el que lo logra de forma más tardía frente al resto de las especies. Lo anterior indica que cada especie tiene una vulnerabilidad diferencial de explotación. Por tanto, cuando se gestiona de manera uniespecífica una pesquería multiespecífica, los objetivos de una especie podrían estar en detrimento de las otras, condición que Jacobsen *et al.* (2014) explica a partir de la mortalidad por pesca, la cual produce un rendimiento máximo sostenible diferente en los casos de especies múltiples y especies individuales. La pesca artesanal de la cuenca del río Magdalena es multiespecífica, pero su gestión se ha abordado con instrumentos de pesquerías industriales y uniespecíficas, aspecto que ha conllevado a una pesquería no sostenible.

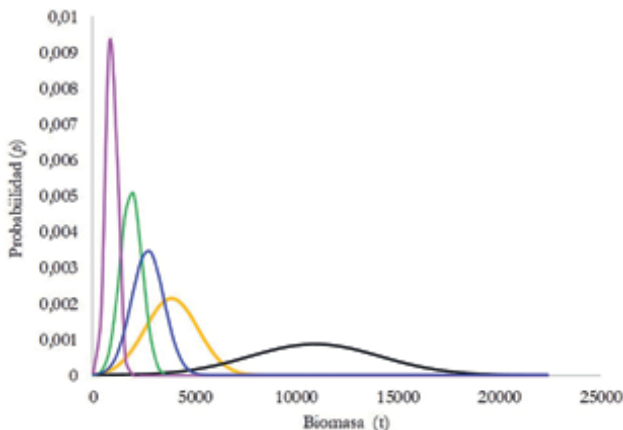


Figura 5. Probabilidad de las principales especies para alcanzar la biomasa óptima (t) con base en su historia de vida. La línea negra corresponde al bocachico (*Prochilodus magdalenae*), línea amarilla al bagre rayado (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*), línea azul al nicuro (*Pimelodus yuma*), línea verde al blanquillo (*Sorubim cuspicaudus*) y línea fucsia al capaz (*Pimelodus grosskopfii*).

PRESIÓN DE USO DEL RECURSO

Con base en todos los elementos expuestos anteriormente no debe extrañar a los administradores pesqueros, ni a los biólogos, que las tasas de explotación (E) de los principales recursos pesqueros muestren niveles de sobreexplotación al ser comparados con la tasa óptima recomendada (E= 50%) (Tabla 2). En especial, las dos más importantes en el sistema: el bagre rayado y el bocachico mostraron incrementos en sus tasas de explotación (37% y 51% respectivamente) al ser comparadas con el periodo de la década de los 70. Esta situación de sobreexplotación corresponde tanto al patrón de pesca selectiva como a los probables efectos de los tensores ambientales que impactan los tamaños poblacionales de las especies de peces.

Cambios en artes de pesca y respuesta de los pescadores

La adaptación a los diferentes escenarios de producción pesquera condujo a la diversificación del tipo de artes de pesca utilizados por las comunidades de pescadores. De acuerdo con Hernández-Barrero *et al.*

(*en revisión*), entre 1970 y 2015 existieron 87 tipos de arte de pesca en la cuenca, entre activos y pasivos, y de estos, 64 se reportan en la última década (desde el año 2010) como resultado de la combinación de una amplia gama de diferentes tamaños de ojo de malla y tipos de artes. En cuanto al incremento del tipo de artes en el tiempo, aquellos autores determinaron una relación significativa cuando la abundancia de los peces disminuyó; sin embargo, una vez la producción pesquera se estabilizó (1993-2015) el incremento del tipo de artes disminuyó y reveló la alta capacidad de los pescadores de adaptarse y, en algunos casos, se presentó una respuesta a través de una auto regulación. Aunque en la cuenca se presentaron, y aún se evidencian eventos de regulación pesquera a nivel local impuestos por agentes del conflicto armado, no pueden considerarse como respuestas de autorregulación. A diferencia, el poder adaptativo y resiliente de los pescadores artesanales a los cambios productivos —como ambientales y geográficos— les ha permitido diversificar y

Tabla 2. Tasa de explotación (E= fracción en % de la mortalidad por pesca con referencia a la mortalidad total que soporta la especie) en diferentes periodos de tiempo para especies sujetas de uso pesquero en la cuenca Magdalena.

Especie	Nombre científico	Periodo	Tasa de explotación (E%)	Fuente
Bocachico	<i>Prochilodus magdalenae</i>	1978-1979	41	Valderrama <i>et al.</i> (1993)
		2011-2015	84	Hernández-Barrero <i>et al.</i> (<i>en revisión</i>)
Bagre rayado	<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>	1976-1986	54	Hernández-Barrero <i>et al.</i> (<i>en revisión</i>)
		2014	86	Fundación Bosques y Humedales <i>et al.</i> (2013)
Blanquillo	<i>Sorubim cuspidatus</i>	2011-2015	86	Hernández-Barrero <i>et al.</i> (<i>en revisión</i>)
Capaz	<i>Pimelodus grosskopfii</i>	2011-2015	87	Hernández-Barrero <i>et al.</i> (<i>en revisión</i>)
Nicuro	<i>Pimelodus yuma</i>	2011-2015	83	Hernández-Barrero <i>et al.</i> (<i>en revisión</i>)



regular sus artes hacia una pesca menos selectiva que ha resultado ser más acorde con la sostenibilidad ecosistémica de los ambientes tropicales y de múltiples especies. Esta afirmación concuerda con los trabajos de Du Feu *et al.* (1997), Misund *et al.* (2002), Jawad (2006), Ogundiwin (2014), Welcomme *et al.* (2010), Dienye y Olopade (2017) y Kolding y van Zwieten (2011). Dichos autores afirman que el desconocimiento del origen de la historia de la ciencia pesquera —desarrollada para pesquerías industriales y de una sola especie— fue la base para que la selectividad de artes y tamaños fuera adoptada en la mayoría de las pesquerías tropicales. Bajo los anteriores supuestos, la percepción del uso de artes dañinos (incluso al interior de los mismos pescadores) empieza a cuestionarse.

Si bien los pescadores llegaron a realizar sobrepesca durante los períodos de mayor abundancia (década de los 70 y mediados de los años 80), posteriormente se autorregularon. Esta condición, a partir del año 1992, se ha mantenido relativamente constante en las capturas totales (Figura 1), mientras que se observó en los años recientes una disminución en el incremento del número de tipos de artes. Este hecho sumado a que es considerando un número relativamente constante de pescadores en el tiempo y que existe un leve incremento de la CPUE en los últimos años, se estaría confirmando que los pescadores se autorregularon disminuyendo el uso de nuevos tipos de artes. Esto también es soportado en las encuestas realizadas a grupos focales, cuyos resultados indicaron que, en los años 70, la pesca fue la actividad económica por excelencia de los pescadores de la cuenca, quienes se apoyaron en la agricultura para completar la seguridad alimentaria de su núcleo familiar.

Pero durante los años 80 esta dedicación cambió frente a la fuerte disminución de las capturas y aunque la pesca se mantuvo como la actividad económica principal, se diversificaron las actividades económicas complementarias ejercidas por los pescadores (la minería, los jornales, la construcción, la celaduría entre otras). Esto con certeza contribuyó a modificar el tiempo de dedicación a la pesca, lo cual los ha llevado a clasificarse como permanentes, ocasionales y esporádicos.

También los pescadores en la cuenca Magdalena han respondido ante la problemática pesquera elevando sus niveles de conciencia pública e intensificando esfuerzos hacia un mayor fortalecimiento social y gremial. Con ello buscan intervenir efectivamente en los procesos de ordenación pesquera que se llevan a cabo en la región. Esta nueva y muy positiva actitud es debida a la percepción de que gran parte de la problemática existente es causada por presiones ambientales, que aunque en su mayoría están fuera de su alcance (embalses, minería ilegal, desecación de ciénagas, ganadería y agricultura invasiva, extracción petrolera, degradación de la calidad del aguas o aquellas relacionadas con la variabilidad ambiental y sus efectos), sí priorizan acciones hacia la necesidad de garantizar la conectividad entre los planos inundables y el río, y la recuperación de la salud de los ecosistemas acuáticos. De esta forma, ellos empíricamente comprenden la necesidad de contar con un enfoque ecosistémico que garantice la sostenibilidad de la pesca. Por ello, en los últimos años se han dado emprendimientos exitosos que buscan implementar procesos de gobernanza participativa, la cual vale la pena mencionar, es ya considerada como un eje estratégico en la política pesquera nacional.

PRESIÓN DE USO DEL RECURSO

Conclusiones

La pesca artesanal selectiva ha propiciado cambios en la estructura trófica de la comunidad y en las poblaciones de peces alterando sus historias de vida. Esto ha conllevado a que los pescadores tengan menores rendimientos en sus actividades diarias de pesca, lo que se ha traducido en una disminución de la producción pesquera. Conllevando todo ello a la sobrepesca, que ha condicionado esta situación y que para algunos recursos aún se mantiene. Se concluye que las acciones clásicas de manejo pesquero dirigidas hacia una pesca selectiva, que no incluyen el enfoque ecosistémico, no van a resolver la sostenibilidad de las pesquerías artesanales de la cuenca Magdalena.

Los pescadores han respondido a la problemática pesquera adaptando sus estrategias de pesca y han diversificado sus fuentes económicas contribuyendo en el marco de sus posibilidades, a mantener una producción pesquera relativamente estable en los últimos años. El incremento, aunque leve de los rendimientos de la pesca CPUE en los años recientes lo confirman.

Las presiones ambientales son entendidas por los pescadores los cuales priorizan dos acciones urgentes de implementación: la necesidad de garantizar la conectividad de los planes de inundación con los ríos y la de restaurar la salud de los ecosistemas. De esta forma, ellos empíricamente avalan un enfoque ecosistémico que garantice la sostenibilidad de la pesca. Los emprendimientos exitosos que en los últimos años se han dado y que han buscado incrementar la participación de los pescadores en las decisiones de ordenación pesquera, se han ido poco a poco consolidando en la cuenca.

El patrón de pesca actual viene demostrando ser más acorde a una pesquería sostenible

que a la abanderada por la gestión clásica de la pesca, cuyo pilar alienta a la extracción de los peces más grandes. Por tanto, la gestión clásica se estaría desviando de los dos objetivos de la ordenación pesquera: maximizar los rendimientos sostenibles establecido en el Convenio de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar -art 61: 3- (Naciones Unidas 1994), y desarrollar estrategias para la conservación y uso sostenible de la diversidad biológica de manera equitativa señaladas en el Convenio de Diversidad Biológica (Naciones Unidas 1992).

Recomendaciones y perspectivas

Los biólogos, académicos, administradores del recurso pesquero y gestores de la política pesquera deben incorporar nuevas medidas acordes con la realidad colombiana, en particular, para la cuenca del río Magdalena. Esta cuenca cuenta con una amplia diversidad de ecosistemas acuáticos, esenciales para el desarrollo y el cumplimiento del ciclo de vida de múltiples especies.

El nuevo paradigma de gestión propuesto traerá controversia a todos los niveles: desde los pescadores, investigadores, administradores e inclusive en el público en general. Pero la historia señala que el modo como se ha venido realizando la gestión pesquera no ha logrado los efectos deseados. Sin embargo, podrá probablemente dirimir el conflicto constante entre la norma y el cumplimiento de la misma. Los pescadores nos están enseñando algo, y no solo es optimizar el manejo pesquero, sino que, ahora, éste debe ser combinado con la disminución del impacto en el ecosistema.

Es claro que, desde el año de 1992, la cuenca del río Magdalena tiene un nuevo escenario en términos de producción pesquera y estado de las poblaciones de peces. Por tanto, es necesario garantizar que aquel



IAvH

sea resiliente y adaptativo al cambio. En este contexto, se requiere de un enfoque de gestión dirigida como mínimo para mantener las condiciones actuales.

No se debe olvidar que la pesca solo explica en menor medida el estado de las poblaciones de peces, frente a lo que la degradación ambiental de la cuenca lo está condicionando. De allí que, sin una protección y recuperación ambiental efectiva y urgente, se pueden invalidar los esfuerzos directos del manejo pesquero.

Gestionar, fortalecer e implementar procesos de gobernanza de la pesca es una estrategia prioritaria para mantener, por lo menos, las condiciones actuales de producción. Esta es un instrumento prioritario para garantizar los beneficios socioambientales actualmente derivados de la pesca. Apoyar las iniciativas exitosas que se están generando y ampliar el proceso a toda la cuenca es una de las acciones más pertinentes a ser implementadas.

Por último, se recomienda que los resultados de las investigaciones y la información que proveen no puede seguir quedando en artículos científicos o permaneciendo restringida a medios académicos. Esta debe ser difundida y divulgada si se quiere que sea parte esencial de las estrategias de gestión de las pesquerías artesanales colombianas.

La información acá presentada invita a continuar investigando y evaluando científicamente los efectos de la pesca selectiva en comparación con una pesca con enfoque ecosistémico

Bibliografía

- Acuerdo 005 de 1993 [Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura INPA]. Por el cual se autoriza el uso de algunos artes y aparejos

de pesca en las cuencas de los ríos Magdalena, Cauca y San Jorge y se dictan otras disposiciones, 24 de febrero de 1993.

- Arbeláez-Arias, F. A. A., & Vargas, G. M. (2010). Instituciones, gobernanza y sustentabilidad en la política colombiana de ordenamiento territorial municipal. *Sociedad y Economía*, 19, 279-304. <http://sociedadyeconomia.univalle.edu.co>
- Barreto, C. G. (2017). *Producción pesquera de la Cuenca del río Magdalena: Desembarcos y estimación ecosistémica* (p. 38) [Técnico estadístico]. The Nature Conservancy, Mac Arthur Foundation, AUNAP. <http://sepec.aunap.gov.co/Home/VerPdf/63>
- Belgrano, A., & Fowler, C. W. (2013). How Fisheries Affect Evolution. *Science*, 342(6163), 1176-1177. <https://doi.org/10.1126/science.1245490>
- Berkes, F., Colding, J., & Folke, C. (Eds.). (2003). *Navigating social-ecological systems: Building resilience for complexity and change* (First Edition, Vol. 119). Unit Kingdom at the University Press. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S00066320704000138>
- Beyer, J. E., & Andersen, K. H. (2011). Ecological and evolutionary impacts of size-selective fishing. En S. M. Garcia (Ed.), *Selective Fishing and Balanced Harvest in Relation to Fisheries and Ecosystem Sustainability* (pp. 3-5). <http://www.iucn.org>
- Conover, D. O., & Munch, S. B. (2002). Sustaining Fisheries Yields Over Evolutionary Time Scales. *Science*, 297(5578), 94-96. <https://doi.org/10.1126/science.1074085>
- Dienye, H. E., & Olopade, A. (2017). A Review of Fishing Methods and Gears in Niger Delta Nigeria. *Journal of Natural Sciences Research*, 7(6), 70-79.
- Du Feu, T. A., Abayomi, S., & Seisay, M. D. B. (1997). *Fishing gear survey of Kainji Lake, Northern Nigeria* (Nigerian-German Kainji Lake Fisheries Promotion Project Technical Report Series 6., p. 27). GTZ. <http://aquaticcommons.org/3836/>
- Eyo, J. E., & Akpati, C. I. (1995). Fishing gears and fishing methods. En H. M. G. Ezenwaji, N. M. Inyang, & E. C. Orji (Eds.), *Proceedings of the UNDP-Sponsored Training Workshop on Artisanal Fisheries Development*

PRESIÓN DE USO DEL RECURSO

- (pp. 143 – 159). https://www.researchgate.net/publication/233817982_FISHING_GEAR_AND_FISHING_METHODS
- Garcia, S. M., Kolding, J., Rice, J., Rochet, M.-J., Zhou, S., Arimoto, T., Beyer, J. E., Borges, L., Bundy, A., Dunn, D., Fulton, E. A., Hall, M., Heino, M., Law, R., Makino, M., Rijnsdorp, A. D., Simard, F., & Smith, A. D. M. (2012). Reconsidering the Consequences of Selective Fisheries. *Science*, 335(6072), 1045-1047. <https://doi.org/10.1126/science.1214594>
 - Hernández-Barrero, S. (en revisión). *Enfoque socioecológico para el manejo y la gestión de la actividad pesquera en la cuenca del Río Magdalena-Cauca, Colombia* (archivo propio) [Tesis Doctoral]. Universidad Estatal a Distancia-UNED.
 - Jacobsen, N. S., Gislason, H., & Andersen, K. H. (2014). The consequences of balanced harvesting of fish communities. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1775), 20132701. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2701>
 - Jawad, L. A. (2006). Fishing Gear and Methods of the Lower Mesopotamian Plain with Reference to Fishing Management. *Marina Mesopotamica Online*, 1(1), 1-39. <https://www.researchgate.net/publication/237130354>
 - Kolding, J., Béné, C., & Bavinck, M. (2014). Small-scale fisheries-importance, vulnerability, and deficient knowledge. En S Garcia, J Rice, and A Charles (Eds.), *Governance of marine fisheries and biodiversity conservation*. Chapter 22 (pp. 317-331). John Wiley & Sons, Ltd. DOI:10.1002/9781118392607.
 - Kolding, J., Jacobsen, N. S., Andersen, K. H., & van Zwieten, P. A. M. (2016). Maximizing fisheries yields while maintaining community structure. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 73(4), 644-655. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2015-0098>
 - Kolding, J., Rice, J., Rochet, M.-J., Zhou, S., Arimoto, T., Beyer, J., Borges, L., Bundy, A., Dunn, D., Graham, N., Hall, M., Heino, M., Law, R., Makino, M., Rijnsdorp, A.D., Simard, F., Smith, A.D.M., and Symons, D. 2011. Selective Fishing and Balanced Harvest in Relation to Fisheries and Ecosystem Sustainability. Edited by Garcia, S.M. Report of a scientific workshop organized by the IUCN-CEM Fisheries Expert Group (FEG) and the European Bureau for Conservation and Development (EBCD) in Nagoya (Japan), 14–16 October 2010. P. 142
 - Kolding, J., & van Zwieten, P. A. M. (2011). The Tragedy of Our Legacy: How do Global Management Discourses Affect Small Scale Fisheries in the South? *Forum for Development Studies*, 38(3), 267-297. <https://doi.org/10.1080/08039410.2011.577798>
 - Kuparinen, A., Boit, A., Valdovinos, F. S., Lassaux, H., & Martinez, N. D. (2016). Fishing-induced life-history changes degrade and destabilize harvested ecosystems. *Scientific Reports*, 6(1). <https://doi.org/10.1038/srep22245>
 - Law, R., Kolding, J., & Plank, M. J. (2013). Squaring the circle: Reconciling fishing and conservation of aquatic ecosystems. *Fish and Fisheries*, 16(1), 160-174. <https://doi.org/10.1111/faf.12056>
 - Medio Ambiente. (Diciembre 20, 2017). Este es el panorama más actualizado de la pesca artesanal en Colombia. En la cuenca del Magdalena se ubican la mayoría de los pescadores artesanales del país. *EL TIEMPO*, <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/este-es-el-panorama-mas-actualizado-de-la-pesca-artesanal-en-colombia-163800>
 - Mims, M. C., & Olden, J. D. (2012). Life history theory predicts fish assemblage response to hydrologic regimes. *Ecology*, 93(1), 35–45.
 - Misund, O. A., Kolding, J., & Fréon, P. (2002). Fish Capture Devices in Industrial and Artisanal Fisheries and their Influence on Management. En P. J. B. Hart & J. D. Reynolds (Eds.), *Handbook of Fish Biology and Fisheries, Volume 2* (pp. 13-36). Blackwell Science Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470693919.ch2>
 - Mosepele, K. (2014). Classical Fisheries Theory and Inland (Floodplain) Fisheries Management; Is there Need for a Paradigm Shift? Lessons from the Okavango Delta, Botswana. *Fisheries and Aquaculture Journal*, 5(3). <https://doi.org/10.4172/2150-3508.1000101>



- Naciones Unidas (1994). Acuerdo relativo a la aplicación de la parte XI de la convención de las Naciones Unidas sobre el derecho del mar de 10 de diciembre de 1982. <https://digitallibrary.un.org/record/174993?ln=es>
- Naciones Unidas (1992) Convenio de Diversidad Biológica de 5 de junio de 1992 <https://digitallibrary.un.org/record/166269?ln=es>
- Ogundiwin, D. I. (2014). *Survey of Artisanal Fishing Gear and Craft A case study of Kainji Lake lower basin, Nigeria* [Master, The Arctic University of Norway]. <https://munin.uit.no/bitstream/handle/10037/7126/thesis.pdf?sequence=1>
- Ripple, W. J., Estes, J. A., Schmitz, O. J., Constant, V., Kaylor, M. J., Lenz, A., Motley, J. L., Self, K. E., Taylor, D. S., & Wolf, C. (2016). What is a Trophic Cascade? *Trends in Ecology & Evolution*, 31(11), 842-849. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.08.010>
- Resolución 025 de 1971 [Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Medio Ambiente-INDERENA]. Por la cual se fijan las normas sobre pesca fluvial en las hoyas hidrográficas de los ríos Magdalena y Sinú, se dictan otras medidas sobre la materia y se derogan otras disposiciones, 27 de enero de 1971
- Resolución 0595 de 1978 [Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Medio Ambiente-INDERENA]. Por medio de la cual se modifica el Artículo 12 de la Resolución No 025 del 27 de enero de 1971 y se establecen las tallas mínimas para otras especies no contempladas en aquellas, 1 de junio de 1978
- Resolución 1442 de 1979 [Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Medio Ambiente-INDERENA]. Por la cual se fijan normas para el uso de trasallo en las Ciénagas de los ríos Magdalena, San Jorge y Cauca, 27 de junio de 1979
- Resolución 0430 de 1982 [Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Medio Ambiente-INDERENA]. Por medio de la cual se modifica el artículo primero de la resolución No 0595 del 1 de junio de 1978, 19 de abril de 1982.
- Resolución 0533 de 2000 [Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura INPA]. Por el cual se reglamentan algunos artes pesqueros en Cuenca de los Ríos Magdalena, Cauca y San Jorge, 7 de noviembre de 2000.
- Rochet, M.-J., & Benoît, E. (2012). Fishing destabilizes the biomass flow in the marine size spectrum. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1727), 284-292. <https://doi.org/10.1098/rspb.2011.0893>
- Saldaña, A., Salas, S., Arce-Ibarra, A. M., & Torres-Irineo, E. (2017). Fishing operations and adaptive strategies of small-scale fishers: Insights for fisheries management in data-poor situations. *Fisheries Management and Ecology*, 24(1), 19-32. <https://doi.org/10.1111/fme.12199>
- Shackell, N. L., Frank, K. T., Fisher, J. A. D., Petrie, B., & Leggett, W. C. (2010). Decline in top predator body size and changing climate alter trophic structure in an oceanic ecosystem. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277(1686), 1353-1360. <https://doi.org/10.1098/rspb.2009.1020>
- Silvano, R. A. M., & Begossi, A. (2001). Seasonal dynamics of fishery at the Piracicaba River (Brazil). *Fisheries Research*, 51(1), 69-86
- Valderrama M., J. L. Escobar C., R. Pardo B, M. Toro S., J. C. Gutiérrez C. & S. López C. 2020. Servicios ecosistémicos generados por los peces en la cuenca del río Magdalena, Colombia. En Jiménez-Segura, L. & C. A. Lasso (Eds.). XIX. Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible. Pp: 205-235. Bogotá D.C. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. DOI: 10.21068/B2020RRHHXIX05.
- van Wijk, S. J., Taylor, M. I., Creer, S., Dreyer, C., Rodrigues, F. M., Ramnarine, I. W., van Oosterhout, C., & Carvalho, G. R. (2013). Experimental harvesting of fish populations drives genetically based shifts in body size and maturation. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(4), 181-187. <https://doi.org/10.1890/120229>
- Welcomme, R. L., Cowx, I. G., Coates, D., Bene, C., Funge-Smith, S., Halls, A., & Lorenzen, K. (2010). Inland capture fisheries.

PRESIÓN DE USO DEL RECURSO

- Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2881-2896. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0168>
- Wolff, M., Taylor, M. H., & Tesfaye, G. (2015). Implications of using small meshed gillnets for the sustainability of fish populations: A theoretical exploration based on three case studies. *Fisheries Management and Ecology*, 22(5), 379-387. <https://doi.org/10.1111/fme.12137>
 - Zhou, S., Kolding, J., Garcia, S. M., Plank, M. J., Bundy, A., Charles, A., Hansen, C., Heino, M., Howell, D., Jacobsen, N. S., Reid, D. G., Rice, J. C., & van Zwieten, P. A. M. (2019). Balanced harvest: Concept, policies, evidence, and management implications. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 29(3), 711-733. <https://doi.org/10.1007/s11160-019-09568-w>
 - Zhou, S., Smith, A. D. M., Punt, A. E., Richardson, A. J., Gibbs, M., Fulton, E. A., Pascoe, S., Bulman, C., Bayliss, P., & Sainsbury, K. (2010). Ecosystem-based fisheries management requires a change to the selective fishing philosophy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(21), 9485-9489. <https://doi.org/10.1073/pnas.0912771107>
 - Zimmermann, F., & Jørgensen, C. (2017). Taking animal breeding into the wild: Regulation of fishing gear can make fish stocks evolve higher productivity. *Marine Ecology Progress Series*, 563, 185-195. <https://doi.org/10.3354/meps11996>



Ciénaga, Cimitarra, Santander. Foto: Catalina Osorio-Peláez.



Deforestación para ampliación frontera ganadera. Foto: Catalina Osorio-Peláez.



PARTE III

Amenazas, manejo
y conservación



Ciénaga. Foto: Luis J. García-Melo.



10. DIAGNÓSTICO DEL GRADO DE AMENAZA, MEDIDAS DE MANEJO Y CONSERVACIÓN PARA LOS PECES DEL RÍO MAGDALENA, COLOMBIA

Silvia López-Casas, Yesid F. Rondón-Martínez, Ángela Gutiérrez-Cortés, Jorge L. Escobar-Cardona, Sebastián Muñoz-Duque, Daniel Valencia-Rodríguez, Paulo Petry, Angélica M. Batista-Morales, Carolina Rincón, Luisa F. Casas, Juan G. Ospina-Pabón, Víctor Atencio-García, Mauricio Valderrama Barco, Carlos A. Lasso y Luz Jiménez-Segura

Resumen

El uso de los peces y la relación con los ecosistemas acuáticos ha sido una constante en la historia del país, pero solo hasta la década de 1970 se vio la necesidad de llevar registro de las capturas y regular su uso para su conservación. Análisis de las categorías de amenaza de los peces de la cuenca indican que el Magdalena presenta el mayor número de especies amenazadas del país, siendo una de las más amenazadas de todos los Andes tropicales, con esfuerzos insuficientes por manejar sus especies o por conservarlas. Así, las medidas se han basado en el enfoque clásico de manejo de pesquerías monoespecíficas de zonas templadas, centrándose en las

especies comerciales de consumo, y más recientemente ha incluido especies ornamentales y algunas medidas para los ecosistemas acuáticos, con un enfoque jerárquico que no incluye a los pescadores en la formulación de las medidas, y con falencias en el seguimiento y en la evaluación de sus objetivos. Se evidenció que las medidas cubren solo un cuarto de las especies de la cuenca y que es necesario cambiar al manejo de las pesquerías multiespecíficas tropicales, requiriéndose una estrategia a nivel nacional, de largo plazo, que integre y articule las diferentes medidas, instrumentos y órganos de manejo, ordenamiento e implementación de acciones para la conservación de la cuenca

López-Casas, S., Rondón-Martínez, Y. F., Gutiérrez-Cortés, A., Escobar-Cardona J. L., Muñoz-Duque, S., Valencia-Rodríguez, D., Petry, P., Batista-Morales A. M., Rincón, C., Casas, L. F., Ospina-Pabón J. G., Atencio-García, V., Valderrama Barco, M., Lasso, C. A. & Jiménez-Segura, L. F. 2020. Diagnóstico del grado de amenaza y medidas de manejo para los peces del río Magdalena, Colombia. *En: Jiménez-Segura, L. & C. A. Lasso (Eds.). XIX. Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible*. Pp: 391-429. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. DOI: 10.21068/B2020RRHHXIX10

AMENAZAS, MANEJO Y CONSERVACIÓN

y sus recursos acuáticos. Todo esto debe estar enmarcado en una visión socio-ecosistémica incluyente y participativa de protección de los ecosistemas acuáticos, con soluciones basadas en la naturaleza a escala de cuenca.

Palabras clave. Co-manejo, ecosistemas acuáticos de agua dulce, gobernanza, ictiofauna, normativa.

Abstract

Although the use of fish and human's intimate dependency on aquatic ecosystems has been a constant in the history of Colombia, it was only in the 1970s that the need to accurately record fish catches and regulate the fishery was necessary to ensure the sustainability and conservation of Colombia's freshwater fishery resources. Analysis of the threat categories for fish in the basin indicates that the Magdalena River has the highest number of threatened species in the country, and that the tropical Andes is one of the most threatened ecosystems of all, with insufficient efforts to manage or conserve its species. Until now, fishery management strategies have been based on the classic approach used for temperate monospecific fisheries, focusing on commercial species for consumption, and more recently, some ornamental species and some management measures for aquatic ecosystems have been also included, with a hierarchical approach, excluding fishers from the formulation of measures, and with shortcomings in the monitoring and evaluation of their objectives. It was shown that the current fishery management regulations cover only a quarter of the species in the basin and that it is necessary to change to a different management strategy for tropical multispecific fisheries. This will require the creation of a long-term

national strategy that integrates and articulates the different measures, instruments and organs of management, ordering and implementation of actions for the conservation of the basin and its aquatic resources. All this must be framed within an inclusive and participatory socio-ecosystemic vision of protection of aquatic ecosystems, with solutions based on nature at basin scale.

Key words. Co-management, freshwater aquatic ecosystems, governance, ichthyofauna, regulations.

Introducción

Desde la llegada de las primeras comunidades humanas, el desarrollo de diversos pueblos en Colombia ha estado ligado al agua y a lo largo de todos los ríos sus pobladores aprendieron a vivir de la pesca (Fals-Borda 1979). De este modo, ya desde el periodo comprendido entre los siglos V y I A.C. la pesca constituyó la principal actividad de la cual los pobladores del río Magdalena derivaron su subsistencia, capturando y consumiendo activamente al menos 12 especies de peces (Peña-León 2011).

Se estima que en la cuenca del río Magdalena existen alrededor de 233 especies de peces (García-Alzate *et al.* 2020). Dentro de los peces de interés pesquero al menos 65 especies son usadas como fuente de alimento directo para los humanos (Valderrama *et al.* 2020, Hernández-Barrero *et al.* 2020), sin embargo, existen especies menos reconocidas: alrededor de 40 especies son usadas en la acuariofilia (Valderrama *et al.* 2020), al menos 28 especies para la recreación o pesca deportiva (Lasso *et al.* 2020) y aquellas que no tienen ningún uso por parte de los humanos, pero que como las demás, tienen un importante rol en el funcionamiento



Paula Ruíz

de los ecosistemas de agua dulce y sus servicios ecosistémicos (Valderrama *et al.* 2020, Hernández-Barrero *et al.* 2020). A pesar de la larga historia de uso de los peces como recurso para las comunidades de la cuenca del río Magdalena, solo hasta la década de 1970, se vio la necesidad en el país de llevar registro de las capturas y regular su uso, hecho que coincidió con el importante descenso en los desembarcos de las especies nativas de la cuenca.

Con el fin de proteger tanto los recursos pesqueros de la cuenca como las especies de peces que no son objeto de la pesca, en el país se han implementado medidas para su conservación y manejo. Estas medidas han sido la estrategia¹ principal del Estado Colombiano para, inicialmente, velar por el mantenimiento de las principales especies nativas de peces de interés pesquero, y más recientemente, para proteger la biodiversidad ante obras de infraestructura u otras intervenciones de los ecosistemas acuáticos en el territorio nacional. Así, el país ha respondido, aunque de manera lenta comparada con la velocidad de los cambios, a lo que ha considerado como las principales amenazas sobre los peces y los ecosistemas acuáticos de la cuenca del río

Magdalena: la presión de uso, y en menor medida, a la modificación, alteración y pérdida de hábitat y de calidad del agua (Angarita *et al.* 2020, Gutiérrez-Moreno y De La Parra-Guerra 2020, Hernández-Barrero *et al.* 2020; Tabla 1).

A pesar de lo anterior, al momento de la presente revisión no se encontró una estrategia o plan regional integrado, a escala de cuenca de la magnitud del río Magdalena que sea incluyente, integral e interinstitucional, para la conservación² o mantenimiento de sus especies de peces y sus diversos ecosistemas acuáticos de agua dulce, y que direccionen todas las posibles medidas de manejo³.

El presente capítulo presenta un diagnóstico del grado de amenaza y del manejo de las especies de peces de la cuenca del río Magdalena y realiza un análisis reflexivo, resultado de una revisión de 188 documentos que incluyen resoluciones, planes de manejo de diferentes áreas protegidas, planes de acción, términos de referencia, leyes, entre otros, que incluyen las diferentes medidas de conservación y manejo que se han empleado para la gestión de los peces y los ecosistemas de agua dulce de la cuenca del río Magdalena. Con este análisis, se busca tener un mejor entendimiento de las medidas instauradas y/o implementadas

1 Es necesario distinguir entre estrategia de manejo y medida de manejo. Una estrategia es un plan para dirigir un asunto, y está orientada a alcanzar uno o varios objetivos siguiendo una pauta de actuación. Una medida es una acción específica con un objetivo determinado. Así, una estrategia de conservación se compone de una serie de acciones o medidas de manejo ambiental, que ayudan a tomar decisiones y a conseguir los mejores resultados posibles, planificadas y encaminadas a evitar, mitigar o compensar los impactos, efectos y riesgos ambientales, que pueden causar impactos negativos en las especies o al medio ambiente producto de las actividades humanas.

2 Conservación. Conjunto de acciones destinadas a la preservación, el uso sostenible, generación de conocimiento y restauración de la biodiversidad, que le permita a los sistemas socio-ecológicos incrementar su resiliencia y así garantizar la oferta de los servicios ecosistémicos (Buitrago y Salazar 2018).

3 Las medidas de manejo por lo general se aplican en el contexto de áreas protegidas (en los Planes de Manejo Ambiental) o en actividades particulares de uso, como la pesca, para garantizar que sean actividades sostenibles.

AMENAZAS, MANEJO Y CONSERVACIÓN

hasta la fecha en la cuenca del río Magdalena, los problemas de fondo en su aplicación y su eficiencia en la protección de los

peces de la cuenca, a partir de lo cual se proponen alternativas que replanteen los actuales escenarios de manejo.

Tabla 1. Conflictos ambientales y tipo de medidas de manejo y conservación identificadas para las especies y hábitats de la cuenca del río Magdalena. PTAR: Plantas de tratamiento de aguas residuales. Nótese que existen varios conflictos ambientales para los cuales no hay ningún tipo de medidas.

Conflicto ambiental		Medidas identificadas	Objetivo de la medida
Presión de uso: actividad pesquera (disminución de las capturas)		Restricción total	Especies interés pesquero
		Veda temporal	Especies interés pesquero
		Fomento/piscicultura	Especies interés pesquero
		Tallas de captura	Especies interés pesquero
		Selectividad	Especies interés pesquero
		Institucional	Especies interés pesquero
		Planificación/gestión	Mixta (ecosistemas acuáticos, especies de interés pesquero y/o biodiversidad)
Modificación de hábitat	Hidroenergía	Mitigación	Especies interés pesquero
		Monitoreo e investigación	Especies interés pesquero
			Biodiversidad
		Planificación/gestión	Especies interés pesquero
		Restauración	Ecosistemas acuáticos
	Replamamiento	Especies interés pesquero	
	Agricultura		
Minería			
Navegación			
Contaminación del agua	Vertimientos de ciudades	Planes de acción: construcción y mantenimiento PTAR's y filtros verdes en algunas localidades	Ecosistemas acuáticos



Paula Ruíz

Tabla 1. Continuación.

Conflicto ambiental		Medidas identificadas	Objetivo de la medida
Contaminación del agua	Minería: sedimentos y metales pesados		
	Hidrocarburos y Organoclorados		
	Agroquímicos		
Introducción de especies	Piscicultura/Acuarística/Pesca deportiva	Reglamentación	Biodiversidad
Pérdida de diversidad genética	Replamamiento	Reglamentación	Biodiversidad
Pérdida de especies	Especies amenazadas	Listas y Libros Rojos	Biodiversidad
		Áreas Críticas para la conservación de peces amenazados	Biodiversidad
	Especies pesqueras	Replamamiento	Biodiversidad

Grado de amenaza de las especies de peces

Una de las formas más ampliamente usadas por los gobiernos y científicos para evaluar el estado de conservación de las especies es realizar un análisis de las presiones que actúan sobre las especies y sus tamaños poblacionales, para evaluar el riesgo de que las especies se extingan, en concordancia con los rangos de distribución actuales para las especies. Esto se hace siguiendo los criterios establecidos por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), a partir de los cuales se generan las Listas Rojas (UICN 2020).

En Colombia, ajustando el método de la UICN acorde a la información disponible en el país, se han realizado dos ejercicios académicos para determinar la categoría de amenaza de las especies de peces: los Libros Rojos de peces Dulceacuícolas (Mojica

et al. 2002, 2012). En dichos ejercicios se evaluaron 81 especies presentes en diferentes cuencas del país que, de acuerdo con el criterio de expertos, se categorizaron en alguna categoría de amenaza. De estas especies, en la cuenca del río Magdalena una especie está en Peligro Crítico (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*), dos En Peligro (*Brycon labiatus* e *Ichthyoelephas longirostris*), diecinueve en estado Vulnerable (*Abramites eques*, *Ageneiosus pardalis*, *Apterotonus magdalenensis*, *Brycon moorei*, *Callichthys fabricioi*, *Carlastyanax aurocaudatus*, *Characidium phoxocephalum*, *Curimata mivartii*, *Eremophilus mutisii*, *Genycharax tarpon*, *Leporinus muyscorum*, *Panaque cochliodon*, *Parodon caliensis*, *Pimelodella macrocephala*, *Pimelodus grosskopfii*, *Prochilodus magdalenae*, *Sorubim cuspidatus*, *Trichomycterus cachiraensis* y *Trichomycterus sandovali*) y cuatro en Preocupación Menor (*Grundulus bogotensis*, *Saccodon dariensis*, *Salminus*

AMENAZAS, MANEJO Y CONSERVACIÓN

affinis y *Trichomycterus caliensis*), doce en Preocupación Menor (*Brycon rubricauda*, *Callichthys oibaensis*, *Caquetaia umbrifera*, *Characidium caucanum*, *Cynopotamus magdalena*, *Gymnotus ardilai*, *Hypostomus hondae*, *Megalonema xanthum*, *Microgenys minuta*, *Plagioscion magdalena*, *Potamotrygon magdalena*, *Pseudopimelodus schultzi*).

Adicional a los análisis nacionales, la UICN realizó una evaluación del estado de conservación de la biodiversidad en los Andes Tropicales, que incluyó toda la sección del piedemonte del Magdalena, la cual presenta el mayor número de especies amenazadas (Tognelli *et al.* 2016). Así, con la información disponible, se identificó que 113 especies endémicas de la cuenca del Magdalena se encuentran dentro de alguna categoría de amenaza, mientras que para otras 35 especies no se tenía información que permitiera asignarlas a alguna categoría. Una en Peligro Crítico (*Pimelodus grosskopfii*), siete En Peligro (*Ancistrus tolima*, *Ancistrus vericaucanus*, *Austrofundulus myersi*, *Brycon labiatus*, *Gymnotus ardilai*, *Parodon alfonsoi* y *Pseudoplatystoma magdaleniatum*), diez Casi Amenazadas (*Astroblepus longifilis*, *Callichthys oibaensis*, *Carlastyanax aurocaudatus*, *Curimata mivartii*, *Cynopotamus magdalena*, *Dasylicaria seminuda*, *Hyphesobrycon poeciloides*, *Panaque cochliodon*, *Trichomycterus cachiraensis* y *Trichomycterus ruitoquensis*), diez vulnerables (*Astroblepus latidens*, *Brycon moorei*, *Bryconamericus tolimae*, *Callichthys fabricioi*, *Genycharax tarpon*, *Ichthyoelephas longirostris*, *Megaleporinus muyscorum*, *Pimelodella macrocephala*, *Trichomycterus transandianus* y *Prochilodus magdalena*) y 85 Casi Amenazadas (Jiménez-Segura *et al.* 2016).

Más recientemente, en el marco de un análisis para la determinación de áreas clave para la conservación de la biodiversidad

dulceacuícola amenazada en Colombia, se listaron 23 especies de peces amenazadas para la cuenca del río Magdalena (1 especie en Peligro Crítico - CR; 3 en Peligro - EN y 19 especies en categoría Vulnerable - VU). Esta lista fue usada en la Resolución 1912 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-MADS, que establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera. La lista establece una categorización y clasificación de las especies que se encuentran amenazadas, para así desplegar los mecanismos necesarios de protección de dichas especies, toda vez que el Estado colombiano tiene la obligación de disponer su reglamentación para la conservación y protección necesaria de esas especies.

En términos prácticos, estos esfuerzos por listar las especies con algún grado de amenaza o riesgo de extinción deben guiar los planes y medidas de manejo y conservación en términos de políticas públicas, tanto nacionales como regionales (adelantadas por las Corporaciones Autónomas y Departamentos Administrativos Ambientales), lo que implica hechos y acciones concretas, incluso de tipo legal. Sin embargo, en Colombia para el caso específico de los peces dulceacuícolas, se ha observado que los esfuerzos realizados por parte de las entidades gubernamentales, dirigidos a la conservación de estas especies y sus hábitat no tuvieron efectos significativos en términos de reducir el número de especies listadas bajo algún grado de amenaza (Sánchez-Duarte y Lasso 2013). Adicionalmente, un análisis de las acciones de las corporaciones ambientales (medidas en términos de proyectos) que involucraron a las especies de la cuenca en alguna categoría de amenaza, identificó que en orden de importancia, el bocachico



Paula Ruíz

Prochilodus magdalenae (VU), el pataló *Ichthyoelephas longirostris* (EN), la picuda *Salminus affinis* (Preocupación menor-LC), el bagre rayado *Pseudoplatystoma magdaleniatum* (CR) y el blanquillo *Sorubim cuspi-caudus* (VU) fueron las especies que más recibieron atención, evidenciando que los esfuerzos realizados no fueron suficientes y a pesar de lo cual las especies se mantienen en su categoría de amenaza (Lasso y Sánchez-Duarte 2015).

Por último, el análisis realizado para Colombia sobre las Áreas Clave para la Conservación (ACC) de biodiversidad dulceacuícola amenazada, identificó que de las 139 ACC definidas para el país (Lasso *et al.* 2017), 28 de ellas fueron para peces, y, dentro de estas, el mayor número (16 ACC) correspondió a la cuenca del Magdalena, indicando que de acuerdo con el número de especies en alguna categoría de amenaza, esta cuenca es la más amenazada a nivel nacional (Mesa-S. *et al.* 2017) e incluso dentro de las cuencas evaluadas de los Andes tropicales (Jiménez-Segura *et al.* 2016).

Medidas de conservación y manejo en la cuenca magdalena: de la visión clásica a la gobernanza local

Históricamente, el Estado ha sido el principal actor en la regulación de los recursos naturales (Figura 1). Aunque desde 1921 se establecieron las primeras Reservas Forestales Protectoras en la cuenca, solo hasta la década de 1970 se formalizaron las primeras medidas para el manejo de las principales especies de peces de interés comercial. Estas medidas se mantienen hasta la actualidad con algunas actualizaciones y se han ampliado a nuevas especies. En la última década, las medidas han tenido una orientación ligada a conservar la biodiversidad asociada a ecosistemas y

biomas estratégicos y a evitar la pérdida de biodiversidad en áreas transformadas por proyectos de desarrollo, por lo que estas últimas dependen de obligaciones ambientales asociadas con el licenciamiento ambiental y del sector productivo del país (Tabla 1, Figura 1). Adicionalmente, la participación de las comunidades en iniciativas locales de conservación comienza a ser protagonista, en respuesta a la apropiación y defensa de los recursos naturales ante la ausencia del Estado en regiones en donde el uso de los recursos naturales subyace la vida de sus habitantes (Figura 1, Anexo 1).

Actualmente, según la revisión realizada, la mayoría de las medidas de manejo y conservación identificadas para las especies y hábitats de la cuenca del río Magdalena se pueden clasificar en cinco grandes categorías centrándose en la conservación de ecosistemas (acuáticos y terrestres), en el recurso íctico (peces con y sin interés pesquero), en medidas mixtas (planificación y gestión de diversos sistemas), y en una proporción menor al licenciamiento ambiental y al funcionamiento o fortalecimiento de organizaciones o instituciones cuyo objetivo es velar por los intereses ambientales de la cuenca (Figura 2, medidas organizacionales).

Las medidas que velan por la *protección de las especies* o el recurso íctico se focalizan principalmente en especies de interés pesquero, en especial las endémicas y amenazadas, y una porción menor a la conservación de la biodiversidad (evitar la pérdida de especies). Estas medidas incluyen la regulación de tallas y artes de pesca legales para la captura, vedas temporales y restricción total a la captura de algunas especies o a hábitats, ordenamiento pesquero y zonificación de áreas de pesca y el repoblamiento de peces (AUNAP-UNIMAGDALENA 2013,

AMENAZAS, MANEJO Y CONSERVACIÓN

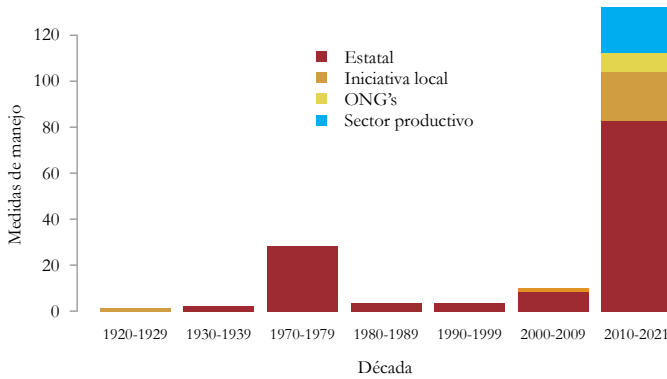


Figura 1. Número de medidas de manejo y conservación identificadas para las especies y hábitats de la cuenca del río Magdalena y los actores responsables de éstas. Elaboración: Jorge L. Escobar-Cardona.

Pardo y Valderrama 2013, AUNAP 2019a, 2019b). Para las especies ornamentales de la cuenca llama la atención que solo a partir de este siglo surgen medidas regulatorias para su uso, determinado por cuotas anuales de captura. Adicionalmente, son comunes el fomento de la acuicultura, la educación ambiental y el fortalecimiento institucional con el objetivo de capacitar y concientizar a los usuarios del sector en la necesidad de ejercer la pesca y la acuicultura de manera responsable. Todas estas medidas para el manejo y la conservación a nivel de especies son el resultado de normativas y actividades estatales (en su gran mayoría), iniciativas locales (una minoría) y el monitoreo, investigación y mitigación de impactos ambientales, resultado del licenciamiento ambiental. (Figura 2).

Por su parte, la revisión también mostró que las medidas relacionadas con la *conservación de ecosistemas* se fundamentan principalmente en la creación de áreas protegidas, y en menor medida en la restauración, planificación y gestión de hábitats críticos (zonificación de áreas de pesca, delimitación

de hábitats, deslinde de rondas hídricas, entre otras) y el monitoreo e investigación. (Figura 2). Las áreas protegidas son en su mayoría definidas por entidades gubernamentales (Santuarios de Flora y Fauna, Reservas Forestales, Distritos de Manejo Integrado, sitios RAMSAR) y minoritariamente son medidas discrecionales (como las Áreas de Reservas de la Sociedad Civil -RNSC), mientras que las medidas surgidas desde las obligaciones ambientales se centran en la investigación y monitoreo, y aquellas surgidas desde la gobernanza local de los recursos de agua dulce se centran en los acuerdos, zonificaciones locales y restauración.

Aunque las áreas protegidas también podrían aportar a la conservación de las especies de peces, la mayoría de las áreas protegidas de la vertiente Caribe de los Andes (Magdalena, Cauca, Sinú, Atrato y Ranchería) se encuentran sobre los 2000 m s.n.m, mientras que la mayor riqueza de peces dulceacuícolas se encuentra bajo los 1000 m s.n.m., adicionalmente estas áreas no promueven la conectividad del paisaje



Paula Ruíz

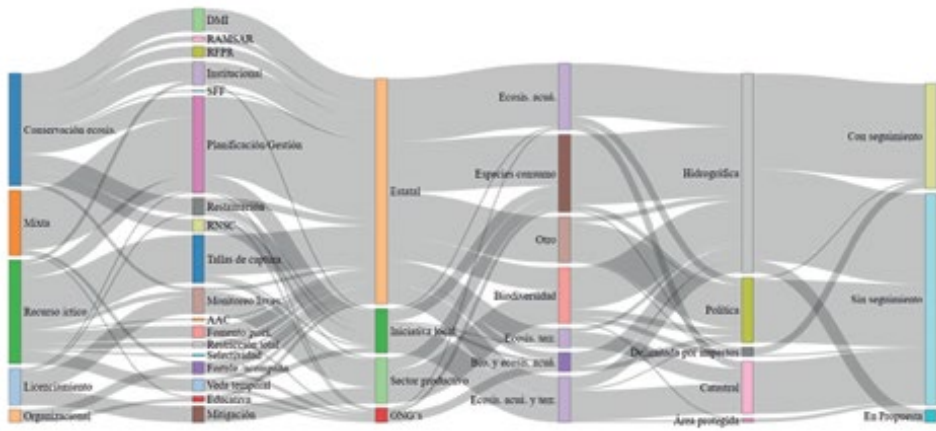


Figura 2. Relación entre las principales medidas de manejo y conservación identificadas para las especies y hábitats de la cuenca del río Magdalena, los actores responsables de éstas, sus objetos de conservación y el estado del seguimiento. DMI: Distrito de Manejo Integrado; SFF: Santuario de Flora y Fauna; RFP: Reserva Forestal Protectora Regional; RNSC: Reserva Nacional de la Sociedad Civil; RAMSAR: Humedales de Importancia Internacional. El grosor de la barra en gris corresponde al número de medidas que se relacionan. Elaboración: Jorge L. Escobar-Cardona.

fluvial, ni incluyen áreas de importancia para la reproducción y crianza de peces potamódromos (Jiménez-Segura *et al.* 2018) y no son lo suficientemente representativas para la conservación de las especies amenazadas (Lasso y Sánchez-Duarte 2015).

Por su parte, las *medidas mixtas* incluyen varios tipos de actividades (Figura 2), siendo las más comunes aquellas que promueven la planificación, gestión y ordenamiento territorial de diversos ecosistemas a lo largo de la cuenca con el fin de integrar las actividades productivas de las diversas poblaciones humanas a los planes de conservación, además incluyen el fortalecimiento, acompañamiento y educación de pescadores u otras organizaciones sociales ligadas al sector pesquero. Estas medidas son en su mayoría promovidas por

el estado, y más recientemente por ONGs y por iniciativas locales ciudadanas, tales como la declaración de ríos como sujetos de derechos, que bajo una mirada ecocentrista visibilizan la importancia de las relaciones en los sistemas socio-ecológicos⁴.

4 Los sistemas socio-ecológicos son aquellos en los que existe una estrecha relación entre un ecosistema y la sociedad humana, en la cual los componentes ecológicos (en este caso los ecosistemas acuáticos y su biota) y sociales (culturales, políticos, económicos, tecnológicos) interactúan entre sí y se moldean (Berkes, 2011). Y que deben ser entendidos bajo una perspectiva sistémica, holística e integradora del “ser humano en la naturaleza” (Farhad, 2012).

AMENAZAS, MANEJO Y CONSERVACIÓN

Las *medidas organizacionales* identificadas buscan exclusivamente el acompañamiento y fortalecimiento de comunidades ribereñas y organizaciones de base a través de la transferencia de capacidades, la educación ambiental y la capacitación, siendo promovidas tanto por el estado como por ONG. Por último, las *medidas del licenciamiento ambiental* son producto de intervenciones en la cuenca por parte del sector productivo, de obligatorio cumplimiento y se centran en el monitoreo e investigación de las especies, para identificar cambios en sus poblaciones a través del tiempo, producto de los impactos residuales en los ecosistemas acuáticos generados por las actividades de los proyectos licenciados (Figura 2).

En la escala espacial, la revisión de las medidas para la cuenca del río Magdalena permitió identificar que la mayoría están circunscritas a un límite hidrográfico, especialmente aquellas relacionadas con las especies de interés pesquero, mientras que las medidas de protección de ecosistemas, en la mayoría de los casos se circunscriben a la delimitación política (departamentos, municipios o corregimientos), a un límite catastral (los límites de los predios en conservación) y en menor medida a áreas protegidas y a áreas donde se prevé suceda un impacto debido a la construcción de un proyecto de infraestructura o de extracción (Figura 2, quinta columna).

Así, aunque a lo largo de toda la cuenca hay actividad pesquera, un gran número de especies únicas y ecosistemas acuáticos con altos índices de biodiversidad (García-Alzate *et al.* 2020, Capítulo 2), las medidas de manejo se concentran en el sector Medio y Bajo de la cuenca (desde Caldas hasta la desembocadura), evidenciando un sesgo en cuanto a las áreas y especies objeto de

conservación (Figura 3). Esta tendencia puede responder a que históricamente el mayor volumen de desembarcos proviene de las regiones cenagosas (abajo de los 300m s.n.m.) en el Bajo Magdalena (Valde-rrama *et al.* 2020).

Esta situación pone de manifiesto la creencia por parte de quienes promueven las medidas de conservación para los peces de que para lograr la conservación de sus poblaciones de peces es fundamental promover acciones concretas que protejan los sistemas cenagosos, desconociendo que el estado de estas zonas depende también de lo que sucede aguas arriba, en la cuenca media y alta, debido a los procesos longitudinales y la acumulación de impactos de los ecosistemas lóticos (Boyer 2009). A esto se le suma que muchas especies comerciales, las migratorias, requieren también de hábitats en áreas de las partes altas-medias de los ríos para su reproducción y el mantenimiento de procesos críticos de su ciclo de vida, por lo que serían necesarias medidas que protejan la cuenca de manera integral, tanto en sus zonas bajas y medias como altas, o como se plantea más adelante, que busquen la conservación de procesos ecológicos como las migraciones de peces.

La visión clásica y sus problemas

Históricamente, el Estado colombiano como principal actor veedor de la biodiversidad del país y de los recursos pesqueros mediante la asignación de responsabilidades y competencias de sus diferentes instituciones administrativas (INDERENA, INPA, INCODER e ICA, de las corporaciones autónomas regionales, la AUNAP, CORMAGDALENA y Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS). Para orientar las medidas de manejo ha asumido que la principal razón para el



Paula Ruíz

declive de las pesquerías del Magdalena ha sido la sobrepesca (Hernández-Barrero *et al.* 2020), por lo que las medidas de manejo

para la conservación se han centrado en el control y “seguimiento” de la presión de uso ocasionada por la actividad pesquera.

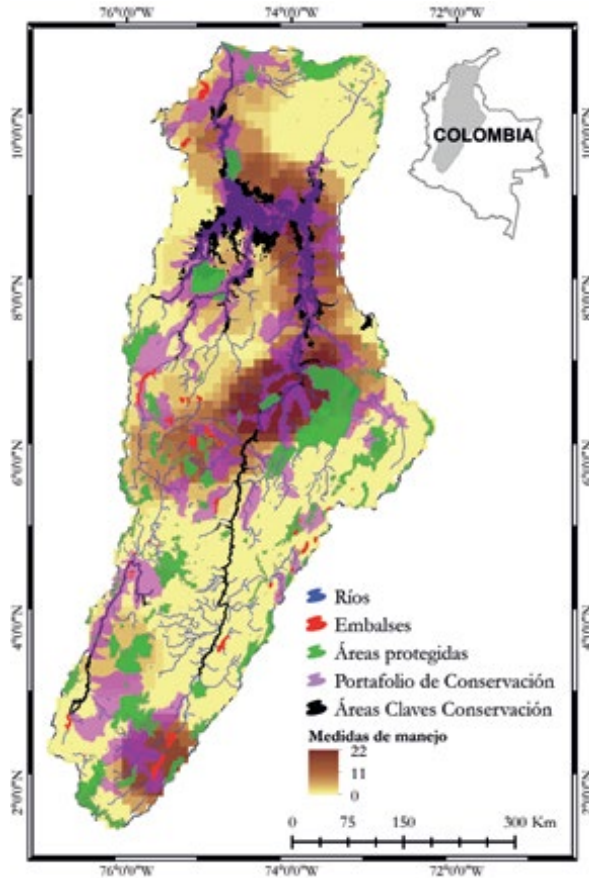


Figura 3. Mapa de calor con 156 de las 188 medidas identificadas para la conservación y manejo de los peces, recursos pesqueros y ecosistemas acuáticos de la cuenca del río Magdalena. Las áreas de mayor número de medidas están ligadas a las obligaciones ambientales, dado que se concentran ligadas a áreas con desarrollo hidroeléctrico. Adicionalmente, se presentan las áreas identificadas por dos portafolios de conservación disponibles para la cuenca del Magdalena: Portafolio de Conservación de Agua Dulce para la Cuenca del Magdalena-Cauca y Áreas Clave para la Conservación de la biodiversidad acuática continental amenazada. No se incluyeron las medidas que aplican para toda la cuenca, puesto que no permiten discriminar ningún área en particular. Elaboración: Daniel Valencia-Rodríguez.

AMENAZAS, MANEJO Y CONSERVACIÓN

Esta aproximación del gobierno colombiano tiene su fundamento en el discurso global de la gestión de la pesca. Desde los orígenes del manejo de las pesquerías en el mundo, durante más de 600 años, el miedo sobre el agotamiento de las poblaciones de peces y la sobrepesca han sido parte de la tradición pesquera, esta aproximación clásica está respaldada por dos narrativas fundamentales que tienen un impacto global: el temor a los regímenes de acceso abierto a los recursos, y la condena de la captura de peces inmaduros y de menor tamaño (Kolding y van Zwiete 2011). En respuesta a este temor, las formulaciones pesqueras clásicas originarias de zonas

templadas y derivadas de las pesquerías de una sola especie (monoespecíficas), se han centrado en los impulsores internos (por ejemplo, el esfuerzo de pesca, el control de las artes de pesca y de los tamaños de captura), como los principales agentes de cambio que deben gestionarse para lograr una utilización sostenible de los peces (Ricker 1944, Kolding y van Zwieten 2011). Fue así como en Colombia en la década de 1970, junto con los primeros registros pesqueros para la cuenca, surgieron las primeras medidas para tratar con la disminución de las poblaciones de las cuatro especies más capturadas en la cuenca del río Magdalena (Figura 4).

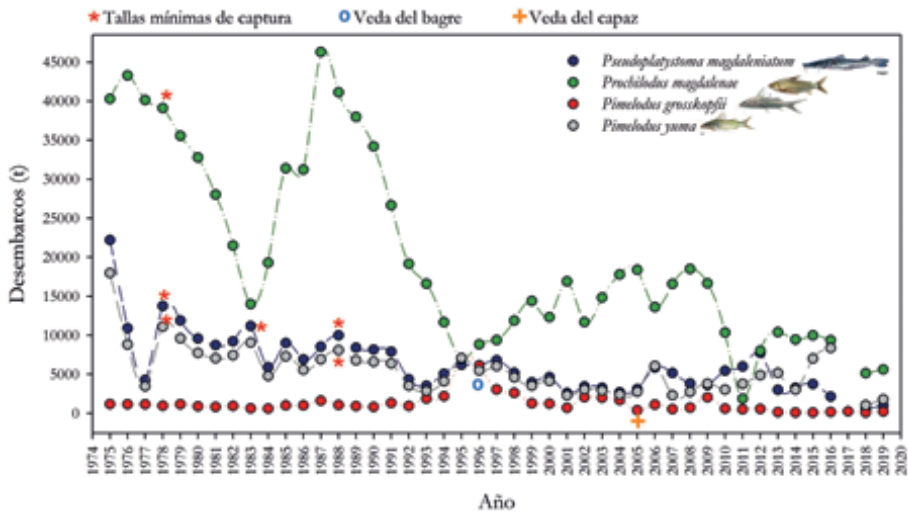


Figura 4. Desembarcos del periodo comprendido entre 1975 y 2019 de las cuatro especies emblemáticas y con más información histórica en las pesquerías de la cuenca: bagre (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*), bocachicho (*Prochilodus magdalenae*), capaz (*Pimelodus grosskopfii*) y nicuro (*Pimelodus yuma*). Los símbolos señalan la aparición de las resoluciones que determinaron las tallas mínimas de captura para estas especies y las vedas en el caso del bagre y del capaz. A pesar de la implementación y mantenimiento de estas medidas por cerca de 50 años, las capturas presentan una tendencia decreciente, especialmente para bocachicho, y fluctúan independientemente de las medidas de manejo en cuestión, respondiendo a factores externos a las pesquerías. Fuente Barreto (2017) y SEPEC (2020). Elaboración: Silvia López-Casas.



Paula Ruíz

Estas medidas, fundamentadas en los modelos básicos para gestionar la pesca continental, se basan en modelos de equilibrio de estado estable (“steady-state”), asumiendo condiciones poblacionales invariables en el tiempo y descuidando los factores externos (por ejemplo, las variaciones interanuales en la magnitud de las inundaciones y el ciclo hidrológico, los ciclos de nutrientes, los ciclos ENSO, etc.), principalmente porque se consideraba que no se podían gestionar (Hernández-Barrero *et al.* 2020). Sin embargo, las pesquerías de agua dulce de sistemas pulsantes con planicies inundables (como el gran sistema de ciénagas de la Depresión Momposina o la Mojana caucana), son dinámicas y están impulsadas por dichos factores externos que son discordantes con el enfoque clásico de las zonas templadas. Así, en nuestro país la adopción y el mantenimiento del enfoque de gestión clásico, sin considerar los pulsos de inundación y sus ciclos hidrosedimentológicos, ha creado un problema sustancial debido a las diferencias que existen entre los sistemas templados y los tropicales (Mosepele 2014, Hernández-Barrero *et al.* 2020), pues como se verá en la sección de propuestas los factores externos pueden y deben ser gestionados para un uso sostenible de los recursos.

Otra medida común en Colombia fundamentada en el enfoque clásico de las pesquerías, es el repoblamiento con especies nativas. Esta medida ha sido usada como una herramienta de mitigación y compensación para contrarrestar la disminución del tamaño de las poblaciones de peces migratorios nativos, como consecuencia de múltiples factores de impacto. Esto ha generado una economía de producción acuícola de especies nativas para el repoblamiento, en la que, la acuicultura para el repoblamiento se ha convertido en un motor indirecto de

la pérdida de biodiversidad (Forero *et al.* en prensa, Márquez *et al.* 2020, Capítulo 4). La resolución 2838 de 2017 de la AUNAP, robustece la normatividad de las actividades de repoblamiento íctico, dando los lineamientos para la construcción e implementación de un plan de repoblamiento que considera aspectos económicos, pesqueros, sociales y principalmente ecológicos. El plan de repoblamiento incluye las particularidades de las especies de interés desde el punto de vista genético, dinámicas poblacionales, impacto de la introducción en la comunidad íctica, mantenimiento de la diversidad e incluso los requerimientos ambientales para la siembra de modo que se favorezca la supervivencia de los individuos. Adicionalmente, una de las mayores fortalezas de dicha resolución es la exigencia de actividades de seguimiento y monitoreo biológico-pesquero del impacto social y ecológico de la especie o especies objeto de repoblamiento en las comunidades de peces y humanas, por lo cual deberían privilegiarse especies cuyos hábitos alimenticios y reproductivos no representen ningún riesgo para la comunidad íctica nativa. El repoblamiento es una medida de última instancia, y que tal como lo muestra la pirámide de las funciones de los ecosistemas acuáticos (Figura 5), sólo se debería “repoblar” si el ecosistema está en buen estado.

El repoblamiento es solicitado y usado con recurrencia tanto por agencias ambientales nacionales o regionales (como CORMAGDALENA que los incluye en sus Planes de Acción), como por dirigentes y políticos, sin considerar ninguno de los aspectos de la norma definida por la AUNAP. Como consecuencia, la opción de “repoblar”, se convierte en una acción de “des-educación” ambiental para los usuarios de la cuenca, ya que es usada como una excusa para evitar tomar medidas preventivas ligadas

AMENAZAS, MANEJO Y CONSERVACIÓN



Figura 5. Pirámide de la jerarquía de las funciones de los ecosistemas acuáticos continentales. Para el mantenimiento de las pesquerías, es necesario el mantenimiento de la biota y las funciones biológicas de la biodiversidad acuática y terrestre asociada (ecosistemas riparios), de las funciones hidrológicas (cantidad y estacionalidad del agua), hidráulicas (la forma en que el agua es transportada a través del paisaje), geomorfológicas (disponibilidad de hábitats) y fiscoquímicas (calidad de agua). Además, las medidas de ordenamiento pesquero solo atienden un reglón de un problema complejo. Tomada y modificada de Harman *et al.* (2012) por Silvia López-Casas.

al cuidado de los ecosistemas acuáticos y de sus recursos pesqueros, con el pretexto de que siempre se puede repoblar una ciénaga o un río, avalada por las autoridades competentes. Para que el repoblamiento, efectivamente, cumpla con los objetivos de mitigar la declinación brusca de una población, debe considerar por lo menos dos aspectos esenciales: i) la pureza y variabilidad genética de los individuos y ii) la supervivencia de los individuos repoblantes⁵.

El repoblamiento tal y como se realiza en Colombia, se convierte en una solución de corto plazo, con poco impacto, y en la que se invierten recursos económicos importantes que no responden a las necesidades

reales del ecosistema, ni de las poblaciones de peces, así como tampoco a necesidades de las comunidades que habitan los territorios. Al mismo tiempo, se convierte en una fuente de contaminación del genoma y una amenaza a la diversidad genética de las poblaciones naturales de las especies repobladas, ya que paralelo a lo ya mencionado en el capítulo 5 (Márquez *et al.* 2020), también ha sido un motor de traslado de especies nativas entre diferentes cuencas del país, ampliando notablemente su área de distribución natural (Lasso *et al.* 2020, Capítulo 8).

Con respecto a las especies ornamentales de la cuenca, llama la atención que no todas las especies identificadas como ornamentales (40 especies nativas, Valde-ramma *et al.* 2020), han sido autorizadas para su comercio, pues solo 34 aparecen en

5 Como se verá más adelante, la supervivencia depende del buen estado de las funciones del ecosistema.



Paula Ruíz

la Resolución 1924 del 2015⁶ de la AUNAP. Entre las especies no autorizadas, pero que poseen aprovechamiento actual, llama la atención la cucha de ojos azules, *Panaque cochliodon*, que tiene alto interés comercial incluso a nivel internacional (López-Casas, S. observación personal Octubre 2019). De modo similar, no se establecen cuotas para la mayoría de las especies ornamentales de la cuenca del Magdalena, es así como a pesar de que para el año 2019 se exportaron 29 especies nativas provenientes de diferentes regiones de la cuenca, el Comité Técnico y Ejecutivo para la pesca liderado por la Autoridad Pesquera-AUNAP y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-MADR, que establece anualmente las cuotas globales de pesca de las diferentes especies continentales de uso ornamental del país, incluyó en la resolución 350 de 2019, a una sola especie del Magdalena, la raya *Potamotrygon magdalenae* (Valderrama *et al.* 2020, Ortega-Lara *et al.* 2015).

Adicionalmente, en la revisión realizada no se encontraron los criterios por medio de los cuales se establecen las cuotas de pesca en el país y preocupa que, por ejemplo, en el caso de las rayas en algunos años se establezca una cuota única para todas las rayas de agua dulce del país, sin discriminar entre especies ni por cuencas. Es así como

6 La Resolución 1924 de 2015 (AUNAP, 2015), actualiza lo establecido para el comercio de especies de interés ornamental, haciendo énfasis en cuáles especies de la fauna silvestre pertenecen a este grupo, cuáles han sido introducidas para este fin y que actualmente hacen parte de procesos de zootecnia y que a su vez no podrán considerarse para actividades de repoblamiento. Así mismo, establece cuáles especies bajo ningún criterio pueden ser objeto de trasplante por la afectación potencial que pueden generar a los sitios donde sean eventualmente liberados.

la resolución No. 266 de 2009 del MADR estableció una cuota de 29,000 individuos de especies de rayas (*Potamotrygonidae*) en toda Colombia, siendo esta cuota reducida en el 2011 a 23,200. Para el año 2020 se fijó la cuota en 20.000 individuos, de las cuales 9000 (45 %) son aportadas por *P. magdalenae* y el resto por otras nueve especies, discriminándose la cuota para la especie del Magdalena, pero manteniéndola integrada para las especies de las otras cuencas. *Potamotrygon magdalenae* representó el primer o segundo lugar dentro de los potamotrigónidos más exportados entre los años 2003 y 2012 (Perdomo-Núñez 2005, Sánchez-Duarte *et al.* 2013), exportándose 14.621 individuos en 2009 (INCODER, en CITES 2015), siendo de principal interés los ejemplares juveniles (Mejía-Falla *et al.* 2016). A esta regulación se le suma el manejo tradicional de regulación por talla mínima de captura, en este caso de ancho de disco (AD, resolución 1609 de 2017 de AUNAP).

Así, la visión de manejo y de conservación del recurso íctico en la cuenca se ha enfocado en establecer criterios para especies grandes y/o que representen algún tipo de retribución económica dentro del mercado de consumo y que a su vez han sido categorizadas bajo algún grado de amenaza (Lasso y Sánchez-Duarte 2015, Resolución 1924 de 2015, Resolución 1912 de 2017), mientras que aquellas especies que no son objeto de aprovechamiento comercial, carecen a la fecha de cualquier tipo de medida o acción en pro de su manejo o conservación, pese a tener un papel ecológico dentro de los ecosistemas que habitan y de que contribuyen a la biodiversidad de la cuenca y sus elevados niveles de endemismo. Es por esto, que los esfuerzos por conservar los peces de la cuenca del Magdalena deben apuntar a una visión holística, que considere al ecosistema como un todo

AMENAZAS, MANEJO Y CONSERVACIÓN

para el manejo de los recursos, tanto para aquellos que generan dividendos económicos en la cadena de valores, como para aquellos que hasta el momento no lo hacen.

Por otro lado, como ya se ha mencionado en el libro (Hernández-Barrero *et al.* 2020, Capítulo 7), las intervenciones para intentar garantizar la sostenibilidad de los recursos pesqueros y la biodiversidad acuática por parte del gobierno y otras instituciones de conservación se han basado en la imposición de normas y regulaciones (Pardo y Valderrama 2013, AUNAP 2019a, 2019b). Tal como ocurre en otros lugares, en Colombia estas normas han considerado un enfoque ortodoxo (también llamado manejo paramétrico) (Wilson *et al.* 1994). Esto se ha hecho basado en comisiones regulatorias compuestas por legisladores, científicos y encargados de hacer cumplir las regulaciones impuestas desde las instituciones del estado, en un marcado mecanismo jerárquico de arriba-hacia abajo (“*top-down*”), excluyendo en la mayoría de los casos a los pescadores durante su formulación, vulnerando los derechos de participación en la toma de decisiones de los usuarios directamente interesados.

Estudios recientes en el Pantanal, un sistema socio-económico similar al de la cuenca del Magdalena, demuestran que las reglas de manejo pesquero a menudo fallan porque las personas no las cumplen debido a que los pescadores dudan de la legitimidad de las reglas y desconfían de las agencias que las promulgan. Adicionalmente, los pescadores artesanales desconfían del entendimiento que tiene la comunidad académica para una pesca sostenible, razón por la cual no siguen tales recomendaciones (Shirley y Gore 2019). Es decir, la principal dificultad, es que las reglas son diseñadas

y establecidas sin los usuarios, que son quienes usan el recurso.

Adicionalmente, todos los departamentos con un Producto Interno Bruto (PIB) pesquero representativo en la cuenca del río Magdalena están caracterizados por presentar un índice rural de necesidades básicas insatisfechas (NBI rural) por encima del promedio nacional (DANE 2020). Así, las condiciones socioeconómicas de los pescadores contribuyen a la omisión de la normatividad ambiental, ya que las medidas restrictivas y punitivas, sin alternativas económicas para las comunidades de pescadores artesanales, vulneran sus derechos fundamentales, en especial el del *mínimo vital* y *la vida digna*, sino que son la combinación perfecta para la ineficacia de dichas medidas. Además, demuestran la desconexión entre las instituciones y la realidad en el territorio⁷.

Por último, la falta de una aproximación ecosistémica se evidencia incluso en figuras de conservación que tienen como VOC las ciénagas y el recurso pesquero, pues a pesar de identificarlos como esenciales para el área protegida y sus comunidades, los Planes de Manejo Ambiental no logran plasmar acciones integrales contundentes para su conservación, uso y manejo sostenible, ya que aún la mayoría de acciones propuestas se centran en los ecosistemas terrestres de estas áreas. Esto también

7 Desde el año 2016 cursa en el congreso un proyecto de ley encaminado a mejorar la subsistencia del pescador artesanal durante los períodos que sean necesarios para asegurar la conservación y preservación de los recursos pesqueros, con el objeto de garantizar que el pescador, su familia y sus comunidades aseguren su mínimo vital y con ello la vida en condiciones dignas.



Paula Ruíz

es evidente en la carencia por parte del país de un Manual de Compensación por Pérdida de Biodiversidad en Ecosistemas de Agua Dulce que permita dar lineamientos para una adecuada intervención en los ecosistemas acuáticos de agua dulce, promoviendo el desarrollo sin el detrimento de la base natural⁸. Lo anterior evidencia la recurrente falta de capacidad de las autoridades ambientales para pensar y realizar acciones integrales para las figuras de conservación, especialmente aquellas relacionadas con ecosistemas de agua dulce y su biota.

Por otro lado, a pesar de que las especies introducidas en el país son reconocidas como un importante factor de pérdida de la biodiversidad (Forero *et al.* en prensa, Baptiste *et al.* 2018, Albert *et al.* 2020, Lasso *et al.* 2020), el país no tiene ninguna política de manejo o mitigación, y sus poblaciones se han establecido en la cuenca, donde sus desembarcos fluctúan en una tendencia similar a las de los peces nativos (Figura 6).

Por último, estos problemas se ven agravados por el hecho de que en el país, el manejo de los peces como grupo biológico no corresponde a una única institución, sino que se ha subdividido en tres entes de control diferentes: la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca -AUNAP para los organismos sujetos a pesca y acuicultura, al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) responsable de formular las

políticas de desarrollo del sector pesquero, entre otras funciones, y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) encargado de diseñar y regular las políticas públicas y las condiciones generales para el uso, manejo, aprovechamiento, conservación, restauración y recuperación de los recursos naturales, dentro de los que se incluyen los peces que no son sujetos de ningún uso, a fin de impedir, reprimir, eliminar o mitigar el impacto de actividades contaminantes, deteriorantes o destructivas del entorno o del patrimonio natural, en todos los sectores económicos y productivos. Esta subdivisión ha generado zonas grises, en los que los diferentes órganos alegan no tener jurisdicción.

Seguimiento a la efectividad de las medidas de manejo

A pesar de la importancia de conocer si las diversas medidas de manejo han tenido un impacto positivo en la protección de los peces, apenas se conoce la valoración del impacto que tuvo la determinación de las especies amenazadas de peces (Mojica *et al.* 2012) sobre el desarrollo de estas medidas (Sánchez-Duarte y Lasso 2013). La evaluación periódica de la eficiencia y eficacia de las medidas de manejo permite hacer el seguimiento y verificar el cumplimiento de los objetivos de conservación establecidos y permite a su vez reevaluar, ajustar o trazar nuevos objetivos, acorde a los resultados obtenidos; proceso conocido como *manejo adaptativo*.

En las pesquerías del Magdalena, además de usar el enfoque clásico para gestionar la pesquería artesanal, las medidas de manejo no son evaluadas en su eficiencia. Un claro ejemplo es el uso de la talla mínima de captura como parámetro de referencia para evaluar el impacto de la pesca en las poblaciones de peces. Anualmente en los reportes

8 La Constitución Política de Colombia (1991) en sus artículos 8, 79 y 80, resalta la necesidad de proteger la biodiversidad, las riquezas naturales y la integridad del ambiente, así como de conservar las áreas de especial importancia ecológica y garantizar su manejo y el aprovechamiento sostenible de sus recursos naturales.

AMENAZAS, MANEJO Y CONSERVACIÓN

del sistema de seguimiento a la pesca que emite el Servicio Estadístico Pesquero Colombiano (SEPEC) (como Narváez-Barandica *et al.* 2012, de la Hoz-M *et al.* 2013 y de la Hoz-M *et al.* 2017), informan que las tallas medias de captura de un número importante de especies como el bagre (*P. magdaleniatum*), nicuro (*P. yuma*), capaz (*P. grosskopfii*) y bocachico (*P. magdalenae*), se encuentran por debajo de las tallas mínimas legales de captura vigentes y que, dependiendo de la especie y del año, hasta el 100% de los individuos de especies como la mojarra (*Caquetaia kraussii*) o el capaz (*P. grosskopfii*), son capturados antes de alcanzar dicha talla⁹ (Figura 6). El análisis realizado con los datos y reportes del SEPEC evidencia que esta medida de manejo no funciona en la cuenca pues no es acatada por los pescadores, a lo que se suma que los valores de los parámetros estimados hace décadas se mantienen sin revisiones y/o replanteamiento de sus objetivos de conservación y que no tienen en cuenta las oscilaciones naturales en las poblaciones de los peces, puesto que los parámetros usados son insuficientes y no detectan los cambios anuales en las dinámicas de las poblaciones sujetas de extracción (Allison y Ellis 2001).

Una situación que ha afectado históricamente la posibilidad de hacer seguimiento del impacto de la pesca y otras actividades humanas sobre la biodiversidad es la falta de estadísticas pesqueras y monitoreos bioecológicos continuos en el tiempo y de cobertura espacial representativa (Rueda *et al.* 2011, Duarte *et al.* 2018). Lo anterior, ha resultado en una ausencia crítica de estadísticas confiables en las décadas pasadas, las cuales son necesarias para caracterizar y dimensionar la producción pesquera y conocer el estado poblacional de las especies de recurso pesquero, así como

del resto de la diversidad íctica. Desde la década de los 70's se registran muestras de los desembarcos pesqueros para construir estadísticas pesqueras (Figura 4 y Figura 7). Sin embargo, aunque la cobertura espacial ha aumentado, la temporal es poco robusta, con un número significativo de años con meses sin datos, a lo que se le suma la eliminación de instituciones para el manejo de la pesca (INDERENA, INPA, INCODER, ICA, AUNAP), que desencadenó en la pérdida de todos los datos tomados antes de 1993, con excepción de cuatro especies (Figura 4), lo que se constituye en una pérdida irreparable, la cual tiene consecuencias enormes para la interpretación del estado actual de las especies.

Adicionalmente, en los pocos casos en los que ha habido seguimiento al cumplimiento de las medidas, como la “Veda del *candeleo*¹⁰ del Bagre” y las tallas mínimas de captura, el diseño de muestreo para la toma de datos de pesca está orientado a mostrar los impactos de la pesca en las poblaciones de peces (el enfoque clásico de las pesquerías), dejando de lado la influencia de las externalidades¹¹ tan presentes de los ecosistemas acuáticos y en las pesquerías tropicales (Kolding y van Zwieten 2011, Angarita *et al.* 2020). A esto se suma que en la revisión realizada, se evidenció que en el país no hay un estudio a largo plazo,

10 En la cuenca del río Magdalena los pescadores llaman *candeleo* al evento de cortejo y cópula de los bagres en el río.

11 Externalidades son aquellas actividades que afectan a otros sin que estos paguen por ellas o sean compensados. Los diferentes usos del agua generan unas externalidades, que afectan la cantidad y la calidad del agua afectando a diferentes sectores. Tales externalidades no suelen entrar en los cálculos de costos y beneficios individuales, sino que aumentan los costos sociales (Gómez 2015).



Paula Ruiz

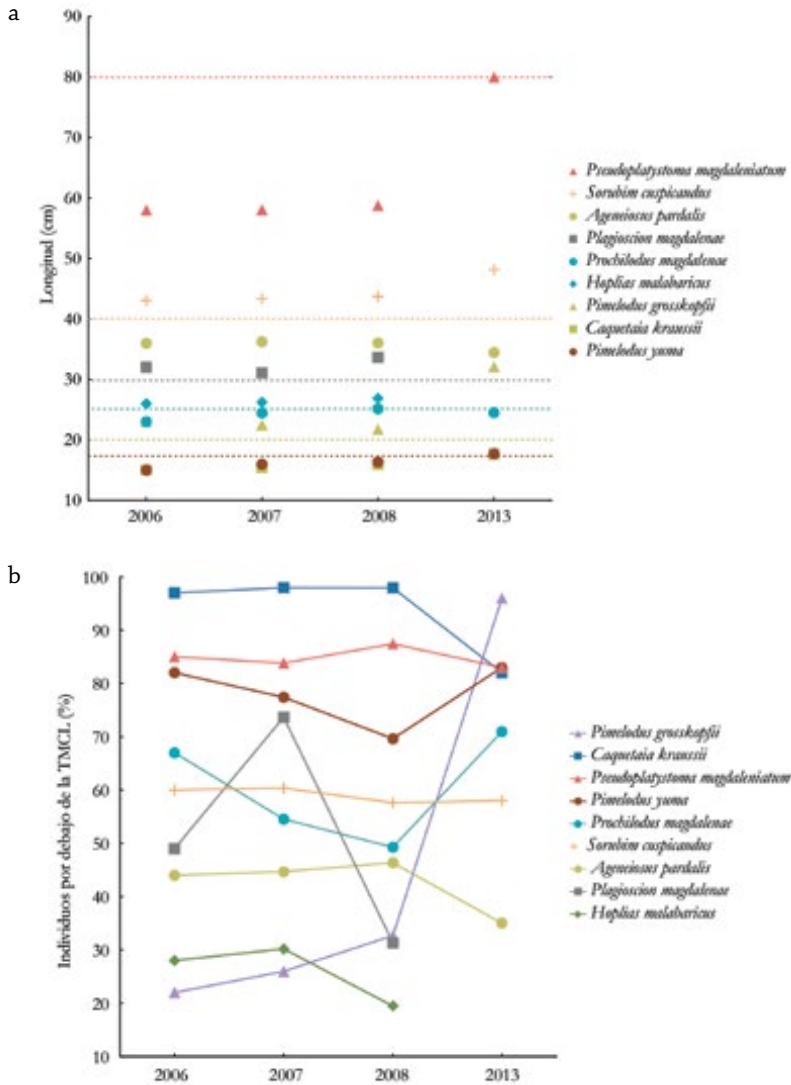


Figura 6. a) Tallas medias de captura (TMC, representada por los símbolos) y tallas mínimas legales de captura (TMLC, representadas por líneas) para algunas especies de interés pesquero de la cuenca del Magdalena. Nótese que algunas especies cuentan con la misma TMLC. b) Porcentaje de individuos capturados con una talla inferior a la mínima legal de captura. Los colores de las líneas se corresponden con los colores de los símbolos de las especies. A pesar de que la cuenca cuenta con cerca de 61 especies de consumo, la selección de las especies correspondió a aquellas con datos de seguimiento para esta medida en los reportes del SEPEC (de la Hoz-M *et al.* 2017, 2013 y Duarte *et al.* 2018). Elaboración: Ángela Gutiérrez-Cortés.

AMENAZAS, MANEJO Y CONSERVACIÓN

o diseño de muestreo, que busque evaluar los impactos que ha ocasionado el cambio de los ecosistemas acuáticos en la salud de las poblaciones de peces (comerciales y no comerciales) ni su diversidad genética, así como tampoco hay exploraciones juiciosas, con series de datos históricos, de la distribución de las especies en la cuenca, de forma que se pueda valorar la pérdida de biodiversidad de peces, cambios en los tamaños poblacionales o la pérdida de áreas de distribución. Esto se agrava por el conocimiento parcial del número total de especies de peces que tenemos en la actualidad, que se incrementa año a año con descripciones de nuevas especies (García-Alzate *et al.* 2020).

Los monitoreos a la ictiofauna son una medida común de manejo resultante de las obligaciones ambientales o de los estudios de impacto ambiental de proyectos de infraestructura (principalmente hidroeléctricas) y actividades extractivas que afectan los ecosistemas acuáticos de la cuenca y su biodiversidad. Acorde al análisis realizado, el monitoreo se centra en la evaluación del comportamiento del medio biótico, abiótico, socioeconómico y de los recursos naturales en relación con los impactos derivados de la actividad autorizada. Sin embargo, a la fecha no se conoce un análisis de la efectividad de esta medida como una estrategia de manejo apropiada para evitar o mitigar la pérdida de biodiversidad ni la disminución de los tamaños poblacionales. Adicionalmente, no existen criterios técnicos concretos para estandarizar la toma y análisis de datos para hacer dicha evaluación, ni tampoco hay un replanteamiento de manejo adaptativo o de nuevas medidas de mitigación o compensación acorde a los resultados encontrados. Por consiguiente, los criterios dependen del equipo técnico que los ejecuta, por lo que no existe

trazabilidad ni posibilidad de comparación entre los diversos lugares y/o proyectos de la cuenca, que al igual que con el control de tallas, carecen de una revisión constante de su eficacia para determinar si deben efectuarse cambios o si deben replantearse los objetivos de conservación en los Planes de Manejo Ambiental.

La falta de datos históricos de la diversidad y variabilidad genética de las poblaciones silvestres de peces de la cuenca no permite evidenciar la pérdida de diversidad. A esto se le suma que la ausencia de marcadores moleculares o inconsistencia en su uso, limitan las comparaciones entre los pocos estudios genéticos poblacionales publicados. Gracias a herramientas moleculares polimórficas y multialélicas desarrolladas específicamente para especies endémicas, se recomienda su uso como herramienta común que permita la comparación de datos genéticos en escalas geográficas mayores y la construcción de mapas de diversidad que permitan visualizar la distribución de la diversidad y estructura genética espacial y temporal de las especies ícticas de la cuenca (Márquez *et al.* 2020).

Por último, aunque la norma del repoblamiento lo establece, no se encontraron reportes a los diversos repoblamientos realizados en la cuenca, que deberían incluir los certificados de los análisis genéticos (bajo una metodología estandarizada y comparable), el plan y resultados del monitoreo o seguimiento con datos de la supervivencia de los individuos, entre otros datos relevantes, sin embargo, la información encontrada y reportada por las entidades se limita al número de ejemplares liberados, según la especie, en un cuerpo de agua y momento particular, además de la fuente de los ejemplares y el costo de éstos.



Paula Ruíz

Un nuevo paradigma en construcción: una visión ecosistémica

Considerando las dificultades para observar los peces y hacer seguimiento a la pesca o al estado de las poblaciones naturales de estos organismos, se presentan grandes retos para lograr un entendimiento correcto de estos recursos y proveer a los usuarios con elementos que orienten la crítica constructiva requerida para manejar tales recursos (Zhang *et al.* 2020). Al no tomar en cuenta las dinámicas ecológicas de los peces y sus implicaciones para la gobernanza, las figuras e instrumentos de conservación son insuficientes, puesto que no consideran la integridad de los ecosistemas de agua dulce como la principal medida para la conservación de los peces y las pesquerías (Mosepele 2014, Figura 7). El estado de los peces y otros recursos acuáticos de agua dulce en un lugar determinado refleja la salud de los ecosistemas, determinada por los efectos acumulativos de todos los usos terrestres y acuáticos río arriba (urbanos, domésticos, industriales o agrícolas), impactos generalmente lejanos de las áreas de pesca (Baigun 2013), además de factores climáticos (Harman *et al.* 2012).

El deterioro de en los ecosistemas acuáticos es la principal causa, tanto en Colombia como a nivel mundial, de lo que se ha denominado *la crisis de la biodiversidad de agua dulce*, reconociéndose que los cambios en la calidad del agua, la alteración del régimen de caudales, la pérdida de conectividad tanto longitudinal (a lo largo del eje del río), como lateral (río-ciénaga) y la contaminación orgánica, inorgánica y biológica y la introducción de especies son los principales motores directos de transformación y pérdida de la biodiversidad (Albert *et al.* 2020, Forero *et al.* en

prensa), explicando al menos el 60% de la reducción en la producción pesquera de la cuenca del río Magdalena (Hernández-Barrero *et al.* 2020). En los ecosistemas acuáticos, los tóxicos descargados de diversas fuentes causan efectos perjudiciales sobre características importantes como el metabolismo, el crecimiento y la reproducción de la biota acuática, por lo que la sobrevivencia de los peces (larvas, juveniles o adultos) se dificulta (Mehta-Ambani 2015, Sierra-Márquez *et al.* 2019). Un ejemplo de esto es la contaminación por hidrocarburos (Mancera-Rodríguez y Álvarez-León 2006, Gutiérrez y de La Parra 2020) o bajas concentraciones de mercurio o cadmio pueden dañar los espermatozoides y causar la muerte de las larvas de peces migratorios como el bocachico (*P. magdalenae*) (Sierra-Márquez *et al.* 2019, Madariaga-Mendoza *et al.* 2017, Zapata *et al.* 2017, Gutiérrez y de La Parra 2020). Esto se evidencia al encontrar que el 70% de las larvas que se capturan mediante estudios científicos en las aguas del río Cauca durante la temporada de reproducción de los peces migratorios están muertas (V. Atencio, com. pers. Agosto 2020), afectando el tamaño de las poblaciones de peces y su supervivencia en el tiempo, ya que aún con eventos reproductivos exitosos, no se ven representados en la siguiente generación. Sin embargo, para mantener la biodiversidad acuática y terrestre asociada a los ecosistemas acuáticos es necesario el mantenimiento no solo de la calidad del agua, sino también de todas las otras funciones ecosistémicas que subyacen el mantenimiento de la vida en los ecosistemas acuáticos (Figura 5, Harman *et al.* 2012).

Los recursos pesqueros, así como los otros recursos acuáticos de agua dulce, se caracterizan por los altos y diversos niveles de

AMENAZAS, MANEJO Y CONSERVACIÓN

externalidades¹² (Figura 8), los altos costos para la recolección de información sobre el estado y uso de los recursos, y los altos costos del monitoreo y de hacer cumplir los instrumentos de gobernanza¹³, que debido a la naturaleza de los recursos, involucran a múltiples y diferentes actores por su competencia y/o interés.

En ríos de zonas tropicales con grandes planicies de inundación como el Magdalena, el Okavango (África), el Pantanal (Brasil), entre otras, un nuevo paradigma de la gestión y el manejo de los recursos pesqueros han empezado a surgir. Desde esta nueva gobernanza se han creado e impulsado las Plataformas Multi-Actores (PMA's), que son estructuras de gobernanza formales e informales destinadas a reunir diferentes sectores y actores para abordar problemas específicos (Zhang *et al.* 2020). Las PMAs, han surgido en reconocimiento de las limitaciones del Estado, por lo que hay mayor disposición hacia una gestión descentralizada que favorece la toma de decisiones incluyente y participativa, creando los “espacios” necesarios para desarrollar la capacitación comunitaria, la creación de redes sociales y el intercambio de información y conocimiento, los cuales tienen el potencial de promover la diversidad y equidad, especialmente en el

manejo de los recursos acuáticos de agua dulce, dada su gran y diversa base de actores interesados (Zhang *et al.* 2020).

En la cuenca del río Magdalena, los pescadores y demás habitantes preocupados por proteger sus recursos naturales, han establecido en la última década un creciente número de medidas promovidas desde la gobernanza local, tanto para cuidar la diversidad íctica, como las especies de interés pesquero y los ecosistemas acuáticos y terrestres (Figura 2). Un ejemplo interesante es La Mesa del Bagre, una PMA regional creada por los pescadores del bagre (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*), quienes, ayudados por una ONG, lograron el aval de la AUNAP para implementar varias medidas concertadas entre los usuarios, con el fin de conservar el bagre rayado al mismo tiempo que se mejoran las condiciones de los bagreros de la cuenca media del río Magdalena (M. Valderrama, com. pers. Julio 2020).

Adicionalmente, desde la base comunitaria, en la actualidad se están gestionando aproximadamente 15 Unidades Integrales de Mejoramiento Pesquero (UIMEP) en la zona del Bajo y Medio Magdalena que implican cambios en las formas de manejar y regular los recursos, ya que se gestionan a partir de la participación de los pescadores en la identificación y aprobación de medidas de manejo y la participación local en las investigaciones y en los procesos de monitoreo. De esta manera los mecanismos de participación para la toma de decisiones han ido surgiendo y la gobernanza compartida viene siendo promovida por las mismas comunidades, quienes lideran, convocan y exigen la participación de todos los actores competentes en la conservación y manejo de los recursos, lo que a la vez promueve que las autoridades competentes actúen en

12 Como los conflictos ambientales (capítulo 7), las características propias de las especies y sus estrategias de vida (Capítulo 4), la competencia o interacciones con otras especies, incluyendo las especies exóticas e introducidas (Capítulo 7.3), todas estas externalidades impactan el tamaño de las poblaciones de peces, incluyendo las que tienen presión por pesca.

13 Se consideran instrumentos de gobernanza las resoluciones y normativas creadas para el manejo de los recursos pesqueros y la diversidad de peces.



Paula Ruíz

dichas iniciativas de acuerdo con lo que les corresponde por ley (C. Rincon com. pers. Agosto 2020).

Por otro lado, surge el reconocimiento de la necesidad de generar medidas que protejan la cuenca de forma integral y los cuerpos de agua que generan conectividad acuática y terrestre. Un ejemplo de esto es la creación reciente de los Distritos Regionales de Manejo Integrado en el Magdalena medio¹⁴ y de los Mosaicos de Conservación¹⁵. Si bien aún es muy pronto para evaluar la eficacia de estas figuras, por su naturaleza policéntrica y al ser los Mosaicos una figura no-formal, configuran estructuras de interacción de cara a la consecución de fines comunes en el manejo (como las PMAs), ya que requieren transformaciones y acuerdos en el territorio que permitan la interacción de diferentes medidas de uso y manejo de los recursos.

Esta nueva visión o paradigma de manejo, además de incluir a los usuarios de los recursos, integra la singularidad de las

pesquerías de ríos con planicies inundables, como la Depresión Momposina y Mojana Caucana. Según esta visión, la gestión de la pesca continental en estos sistemas debería centrarse más en el enfoque ecosistémico, teniendo en cuenta: 1) su hidrología y limnología (dinámica del pulso de inundación y estado de los ecosistemas acuáticos); 2) la biología y ecología de las pesquerías (historias de vida y variables que controlan la distribución de las especies); 3) los regímenes de explotación de sus pesquerías (de subsistencia, comercial y recreacional) y sus artes de pesca asociadas, y 4) las características socioeconómicas de los pescadores y el manejo local de las pesquerías, ya que un enfoque clave para la gestión de la pesca continental es la co-gestión. Con este marco, los objetivos claves de gestión en las pesquerías continentales deberían ser: a) asegurar el valor de seguridad alimentaria y nutricional para las comunidades ribereñas; b) mejorar los sistemas de recopilación de datos dependientes e independientes de la pesca; c) mejorar el conocimiento sobre el valor socioeconómico de estas pesquerías para que sus valores se incorporen a la ordenación (Mosepele 2014). Los “nuevos” paradigmas son el resultado de las luchas de las comunidades, frente a un contexto complejo, por asumir el control de los recursos naturales. Por lo anterior, son cada vez más frecuentes la creación de áreas protegidas con esquemas de manejo compartido, el reconocimiento de otras medidas efectivas de manejo o medidas complementarias de conservación, y la creación de espacios de gestión que garanticen la integridad y conectividad ecosistémica y social a escala de cuenca (L.F. Casas y C. Rincón com. pers. Agosto 2020).

Manejar sosteniblemente los recursos acuáticos de agua dulce requiere un

14 DRMI del Complejo Cenagoso de Zapatosa, DRMI de la Ciénaga de Barbacoas, DRMI de la Ciénaga de Chiqueros y el DRMI Bosques, Mármoles y Pantágoras en río Claro.

15 Los Mosaico de Conservación son redes de áreas protegidas y paisajes complementarios que incluyen combinaciones de parques nacionales, paisajes marinos y terrestres de producción y territorios de propiedad étnica colectiva” (Barona *et al.* 2012), tales como el establecido entre los complejos cenagoso de Zapatosa, de Barbacoas y de Chucurí. Permiten relacionar áreas protegidas con paisajes complementarios, donde se combinan diferentes figuras e iniciativas de conservación y manejo, que permiten promover el uso sostenible de la biodiversidad y el desarrollo local, donde la participación y decisiones sociales contribuyen a la gestión territorial (Santamaría *et al.* 2012).

AMENAZAS, MANEJO Y CONSERVACIÓN

enfoque ecosistémico en la ordenación pesquera, que acepte que el estado y mantenimiento de las pesquerías dependen de la relación de interdependencia entre sus pesquerías, su biodiversidad (el alimento y sustento de los peces sujetos a pesquerías) y la integridad (salud) de sus ecosistemas acuáticos. Sumando la participación equitativa y efectiva de los actores que hacen uso de estos recursos en la generación de normas y acuerdos de uso, y la aplicación de medidas integrales para la resolución de los diferentes conflictos que afectan a los recursos pesqueros, en las que sea de obligatorio cumplimiento el seguimiento y el manejo adaptativo de las medidas (revisión del desempeño y modificación oportuna y efectiva).

Al ampliar los esfuerzos gubernamentales para incentivar a las comunidades de pescadores para ser partícipes de la gestión de los ecosistemas acuáticos y sus recursos e invertir en monitoreo y vigilancia, incluyendo a las comunidades locales, Colombia puede mejorar la eficacia de su enfoque normativo y proteger la sostenibilidad de las pesquerías y los ingresos que éstas generan (Herrón *et al.* 2019). Esto permitirá generar una gestión integral y articulada que involucra a los pescadores e institucionalidad responsable, no sólo por medio del co-manejo sino también a través del monitoreo participativo, brindando la oportunidad de mantener las actividades del monitoreo a largo plazo, además de generar creación y fortalecimiento de capacidades locales y una forma efectiva de educación ambiental y de generar apropiación, entre otras. Esto permitirá a su vez realizar análisis de las capturas a través de indicadores ecológicos, que proporcionan nuevas alternativas para la evaluación y seguimiento de las pesquerías artesanales, que complementan las

evaluaciones tradicionales de una sola especie y proporcionan información sobre los posibles impactos ecológicos de la pesca (Herrón *et al.* 2019), como por ejemplo los impactos en la estructura de tallas y las cadenas tróficas (Hernández-Barrero *et al.* 2020).

Adicionalmente, mejorar la recopilación de datos, incluyendo a los usuarios, ayuda en el diseño de políticas que integren objetivos sociales y económicos con la necesidad de reconstruir y mantener las poblaciones de peces y los ecosistemas (OCDE 2016) y apuntar hacia el manejo y evaluación de las pesquerías con un enfoque basado en los ecosistemas (Herrón *et al.* 2019). Un ejemplo de esta aproximación son los aplicativos InBasa y MiPez, que por medio de ciencia ciudadana buscan mejorar el reporte de especies invasoras como el pez Basa (UN y Fundación Humedales 2016) y visibilizar la actividad económica de los pescadores del Magdalena (TNC 2020), respectivamente, solucionando el problema de que las actividades de subsistencia, incluida la pesca, han sido sistemáticamente subvaloradas y de que la informalidad del sector pesquero no ha permitido conocer el valor real de la importancia económica de la pesca, por lo que se desconoce el impacto económico (PIB¹⁶) que ha tenido la disminución del tamaño de las poblaciones de peces resultado de la degradación ambiental de los ecosistemas acuáticos de la cuenca.

Si bien Colombia ha ido dando pasos hacia esta construcción de una estrategia de manejo ecosistémico para los ambientes

16 Según AUNAP (Capítulo de Servicios Ecosistémicos) se estima que la pesca genera anualmente 20.000 millones de pesos anuales en precio de primera venta.



Paula Ruíz

acuáticos de agua dulce, aún existen múltiples y grandes falencias, desde su planteamiento hasta su ejecución y cumplimiento. Una aproximación desde esta perspectiva se plantea en la *Guía de Rondas Hídricas*, en la que se define la conservación como un conjunto de acciones destinadas a la preservación, el uso sostenible, generación de conocimiento y restauración de la biodiversidad, que le permita a los sistemas socio-ecológicos¹⁷ incrementar su resiliencia y así garantizar la oferta de los servicios ecosistémicos. Para esto, en una visión holística, la Guía contempla gran cantidad de factores para la conservación del recurso hídrico, incluyendo su biodiversidad asociada y el mantenimiento de la funcionalidad ecológica de las rondas. Así mismo, considera la contribución de la vegetación de ribera al mantenimiento de los hábitats acuáticos, como corredores biológicos y filtros de posibles contaminantes que llegan por escorrentía (Buitrago y Salazar 2019). A pesar de este gran esfuerzo, hay una desconexión entre los lineamientos expuestos en el documento y su aplicación en el país. Es así como por ejemplo no se ven reflejados en los requerimientos de las licencias ambientales, en los ejercicios catastrales y el deslinde de ciénagas y cuerpos de agua, el urbanismo, entre otros. De modo similar, aunque asume que la conservación de la integridad ecológica de la ronda hídrica garantizará la

17 Los sistemas socio-ecológicos son aquellos en los que existe una estrecha relación entre un ecosistema y la sociedad humana, en la cual los componentes ecológicos (en este caso los ecosistemas acuáticos y su biota) y sociales (culturales, políticos, económicos, tecnológicos) interactúan entre sí y se moldean (Berkes, 2011). Y que deben ser entendidos bajo una perspectiva sistémica, holística e integradora del “ser humano en la naturaleza” (Farhad, 2012).

disponibilidad de hábitat para las actividades de postura y cría de juveniles de peces, no considera la conectividad de los ecosistemas acuáticos (longitudinal ni río-plano de inundación), necesaria para el mantenimiento de múltiples procesos ecológicos que permiten sostener la gran diversidad y productividad de peces, o las rutas migratorias, entre otros procesos ecológicos. Sumado a lo anterior, la guía de rondas hídricas también establece que, con el fin de gestionar los ecosistemas acuáticos, se puede usar información ambiental y biológica proveniente de diversos instrumentos de ordenación¹⁸, evidenciando que si bien actualmente existen múltiples figuras de manejo, su aplicación es limitada, y su articulación para las acciones de conservación es casi nula.

En este contexto, cabe mencionar los múltiples planes de manejo de CORMAGDALENA, en los cuales es notable el esfuerzo por llevar a cabo medidas cuyo objetivo es propender por la conservación de los recursos hidrobiológicos en la cuenca, tales como monitorear y mejorar la calidad del agua y la conectividad en diferentes ecosistemas, desarrollar programas de restauración, promover y ejecutar actividades educativas, de investigación y de inclusión comunitaria, entre otras. No obstante, la corporación centra sus acciones en la parte media y baja de la cuenca, desconociendo su integralidad. A esto se le suma que en los Planes de

18 Del Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica - POMCA, del Plan de Manejo Ambiental de microcuenca, del Plan de manejo ambiental de acuíferos, de los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico - PORH, de las Áreas Forestales Protectoras, del Plan de Manejo de humedales, entre otros.

AMENAZAS, MANEJO Y CONSERVACIÓN

Acción no se evidencia una normativa o lineamientos de carácter vinculante que articulen los diferentes órganos, recursos e instrumentos de manejo en las diferentes escalas de la cuenca. De este modo, los instrumentos de planificación están definidos para cada actor, de acuerdo con su escala geográfica político-administrativa, su competencia y representatividad. Adicionalmente, los horizontes temporales de ejecución de los instrumentos están ajustados a las directrices y reglamentaciones definidas por Ley, algunos coincidentes con la duración de las administraciones de turno, otras por períodos articulados con dinámicas de inversión nacional o regionales, o de transferencia de recursos de la Nación, y que requieren de articulación y armonización, de modo que respondan a prioridades a nivel de cuenca y no a necesidades individuales o sectoriales. Los conflictos y/o desarticulación entre estos instrumentos se evidencian por ejemplo en los conflictos por el uso del suelo, ya que hay contradicciones o incompatibilidades en términos de la zonificación propuesta entre los Planes de Manejo Ambiental con los Planes de Ordenamiento Territorial.

Es necesario entonces que haya un plan estratégico a escala de cuenca, a largo plazo, que permita articular y guiar la implementación de como mínimo la Guía de Rondas Hídricas, los Planes de Manejo de cualquier área de conservación –que deben estar en armonía con los Planes de Desarrollo Municipales, los Planes de Acción de las Corporaciones Autónomas Regionales (CARs) y los Planes de Gestión Ambiental Regional (PGAR), además de los POMCA y PORH y el plan de manejo de la cuenca Magdalena. Esto facilitaría que las Alcaldías y CARs puedan ejecutar acciones de manejo en estos ecosistemas.

Propuestas de manejo

Teniendo en cuenta la complejidad del problema de los ecosistemas acuáticos de agua dulce (Gutiérrez-Moreno y De La Parra-Guerra 2020, Angarita *et al.* 2020, Hernández-Barrero *et al.* 2020, Lasso *et al.* 2020) y de la supervivencia de su biota acuática expuestas en este capítulo (Figura 5, Figura 8), es fundamental contar con una estrategia a nivel nacional, que integre y articule las diferentes medidas, instrumentos y órganos de manejo, ordenamiento e implementación de acciones para la conservación de la cuenca y sus recursos acuáticos. Esta política debe tener un enfoque ecosistémico, a escala de cuenca, que con un carácter incluyente, objetivos de conservación a escala regional y a largo plazo, permita que los diferentes actores que usan la cuenca (agricultores, pescadores, generadores hidroeléctricos, ganaderos, transportadores, acueductos, entre otros) y sus recursos trabajen de forma conjunta y articulada, reconociendo que los pescadores son parte del socio-ecosistema y que la conservación de las especies de peces (su biodiversidad) y la ordenación pesquera deben responder a la variabilidad ambiental natural y a aquella producida por las actividades humanas (los impactos ambientales) (Figura 8).

En este contexto, y teniendo en cuenta que no existen figuras de conservación que protejan a los ríos¹⁹, quizá una estrategia interesante sería la conservación de procesos ecológicos tales como las migraciones, la captura de carbono, el transporte de sedimentos, la dispersión de

¹⁹ Medidas excluyentes, es decir que protejan definitivamente los ecosistemas acuáticos de cualquier amenaza y velen por la integridad de la totalidad de sus funciones ecológicas (Figura 5).



Paula Ruiz



Figura 8. Externalidades y problemas de las medidas de manejo de los peces y las pesquerías de la cuenca del río Magdalena. Las medidas de manejo abordan la disminución de los volúmenes desembarcados y la pérdida de especies, que corresponden a la punta del iceberg de un problema complejo. Elaboración: Silvia López-Casas.

semillas de los bosques riparios, e incluso el pulso de inundación como proceso ecológico fundamental para la conservación y el mantenimiento de la biodiversidad de la cuenca, entre otros procesos ecológicos y servicios ecosistémicos, algunos de ellos presentados por Valderrama *et al.* (2020). La creación o declaración de corredores fluviales (*fishways*) podría, al mismo tiempo que se protegen varios ecosistemas claves, proteger un proceso ecológico como la migración de peces, entendiendo que la mayoría de peces comerciales son migratorios y para su prevalencia requieren de la gestión y manejo de los corredores fluviales que utilizan durante todo su ciclo de vida, lo que implica mayor participación, coordinación y cooperación.

Una aproximación muy interesante a esta visión es el Portafolio de sistemas ecológicos de agua dulce para la cuenca Magdalena construido en convenio entre The Nature Conservancy y CORMAGDALENA, en el cual se identificaron los 86 sitios prioritarios para la conservación y desarrollo sostenible de esta cuenca, que deben

ser mantenidos si se pretende disfrutar de los bienes y servicios que nos provee en el largo plazo (Téllez *et al.* 2011). Lamentablemente esta propuesta de conservación nunca se adoptó ni implementó, ni quedó incluida como un objetivo de los Planes de Manejo de la cuenca por parte de CORMAGDALENA (López-Casas obs. pers. Julio 2020). Sin embargo, debería revisarse y gestionarse para que sea incluida en otras herramientas de planificación de modo que sea apropiada por los usuarios como una herramienta que les sea útil. De modo similar, el portafolio de Áreas Clave para la Conservación de la biodiversidad dulceacuícola amenazada en Colombia (Lasso *et al.* 2017), propone 16 áreas clave para la conservación de peces amenazados dentro de la Cuenca del río Magdalena. Estas áreas están ubicadas en la parte baja, media y alta de los ríos -cauce principal y afluentes- en los ríos Magdalena, Cauca y San Jorge (Mesa *et al.*, 2017), por lo que una solución podría ser la articulación y “cruce” de los dos portafolios de conservación existentes para proteger tanto ecosistemas y así garantizar la funcionalidad de

AMENAZAS, MANEJO Y CONSERVACIÓN

la cuenca, sus servicios ecosistémicos y sus especies bajo alguna categoría de amenaza. Entonces, proteger y conservar cuerpos de agua que estén conectados y cuyo funcionamiento ecosistémico conserve su tendencia histórica, puede ser la estrategia más efectiva, incluso promoviendo simultáneamente la conservación de varias especies de peces (con o sin importancia pesquera) que presenten alta vulnerabilidad demográfica²⁰, y de las cuales, en muchos casos, no existe información bioecológica suficiente.

En el enfoque socio-ecosistémico el co-manejo es el marco de la gestión de las pesquerías. Para esto es necesario gestionar las comunidades pesqueras, cambiando su rol de usuarios-transgresores de la ley a usuarios-actores de conservación y manejo, lo que implica su inclusión dentro del proceso de formulación, implementación y monitoreo de nuevas políticas, medidas y estrategias de conservación de los peces en la cuenca del río Magdalena. A su vez, esto requiere su inclusión en los escenarios de toma de decisiones al igual que la promoción de Plataformas Multi-Actores (PMAs) para la protección de los recursos. Las PMAs en sí mismas pueden variar a lo largo del tiempo y el espacio dependiendo del contexto en el cual funcionen, ya que algunas son permanentes para abordar el co-manejo continuo de recursos, mientras que otras son temporales, por ejemplo, para lidiar con la resolución de conflictos (Zhang *et al.* 2020).

Un ejemplo de este tipo de medidas integrales se ve en La Mesa del Bagre, un instrumento que se enmarca en los esfuerzos que realizan las comunidades de pescadores,

las organizaciones de la sociedad y algunas entidades del orden privado que se han sumado al propósito de la conservación del bagre rayado del río Magdalena en el paisaje Carare-Chucurí-Barrancabermeja. Fue creada en el año 2015 y hasta el momento está operando. En ella, todas las medidas recientes de ordenación pesquera aplicadas en esta región han sido discutidas, aprobadas y, en su mayoría, han sido implementadas. Estas medidas de manejo han sido: la selección de la Ciénaga Chucurí Aguas Negras y la Ciénaga El Clavo para la creación de zonas de reserva y de la Ciénaga de Chucurí Aguas Blancas y la Ciénaga La Colorada como zonas de manejo especial; la implementación de la “veda del *candeleo* del bagre” que ocurre durante el momento real del evento reproductivo; alternativas de ocupación productiva en épocas de veda; acciones dirigidas al respeto de acuerdos de buenas prácticas de pesca en materia de tallas y artes de pesca y ejecución de acciones de restauración de la conectividad del plano inundable, entre otras. La participación de diferentes actores ha sido amplia y significativa, lo que ha permitido llegar a acuerdos y consensos legítimos en torno a vedas y las otras medidas de conservación (M. Valderrama com. pers. Julio 2020).

Sobre las medidas de manejo de las pesquerías como las vedas, se requieren medidas en varias escalas espaciales y temporales, que sean dinámicas y estén ligadas al ciclo hidrológico, no a fechas fijas sino determinadas por los caudales (los desencadenantes de los procesos ecológicos). Como ya se mencionó, la “veda del *candeleo* del bagre” reconoce que el periodo de desove depende de las lluvias, por lo que ocurre en fechas diferentes cada año, a diferencia de la gubernamental “veda del bagre” (establecida en 1996 y fijada para los meses de mayo y

20 Como los incluidos en las categorías de amenaza de la UICN o en la categoría Datos Insuficientes.



Paula Ruíz

octubre de cada año). Una gestión similar de los factores externos a las pesquerías debería aplicarse para el manejo de las subriendas de peces, también ligadas al ciclo hidrológico, que son reconocidas por la AUNAP (de la Hoz-M. *et al.* 2013, de la Hoz-M. *et al.* 2017) como un factor determinante en la dinámica pesquera de la cuenca, por lo que debería ser uno de los ejes de ordenamiento pesquero, y que permitiría incluir el impacto de otros determinantes ambientales como los ciclos ENSO, que pueden tener fuertes impactos en el tamaño de las poblaciones de peces debido a su efecto en las reservas energéticas para la migración, la reproducción y en el éxito del reclutamiento (López-Casas 2015).

Otro ejemplo del manejo dinámico de los recursos pesqueros, que incluye la gestión de factores externos, es la incorporación de reglas de operación a la hidroeléctrica Urrá para manejar los impactos de los cambios del caudal ocasionados por la operación hidroeléctrica (*hydropeacking*) a la reproducción de los peces migratorios del río Sinú (Atencio-García 2000). Durante la temporada reproductiva de dichos peces (durante las lluvias) en el caso específico de Urrá, los caudales aguas abajo del embalse deben estar por encima de 400 m³/s (aproximadamente 50% del caudal máximo medio multianual) y, con variaciones de caudal de por lo menos 100 m³/s, durante el pico de la temporada reproductiva de la cuenca (abril-junio). Estas reglas de manejo son dinámicas y buscan proteger un proceso ecológico, en la medida en que no tienen una fecha fija, sino que están ligadas a las variaciones climáticas de cada año (factores externos), y buscan simular tanto el estímulo para el desove de los peces reofílicos o migratorios, como el caudal necesario para que las larvas ingresen a los complejos cenagosos a continuar con su

desarrollo biológico (Atencio-García 2000, Kerguelén-Durango y Atencio-García 2015) y así garantizar el éxito reproductivo de los peces que sostienen las pesquerías de la cuenca, lo que se constituye en un paliativo funcional parcial, ya que debe integrarse a otras medidas para mantener las poblaciones en buen estado. Medidas de este tipo deberían implementarse en la cuenca del Magdalena, especialmente en las cuencas con ríos regulados que han sido identificados como importantes áreas de desove como el Sogamoso, La Miel, Samaná Norte y Nechí (UDEA y TNC, 2016).

Por último, es necesario revisar, bajo el marco del enfoque ecosistémico, la validez y efectividad de las medidas de selectividad que durante décadas se han usado para el manejo de las pesquerías. Estudios recientes plantean nuevos paradigmas de la ciencia pesquera, particularmente en ecosistemas tropicales multiespecíficos y multiartes (Hernández-Barrero *et al.* 2020), como los de la cuenca del río Magdalena, en donde la captura selectiva tanto de los organismos más grandes (mega-desovadores y depredadores tope) como de los más pequeños (reclutas y/o consumidores primarios), son nocivos y afectan la sostenibilidad de los recursos (Herrón *et al.* 2019, Hernández-Barrero *et al.* 2020). Por consiguiente, es importante que el nuevo enfoque integre aspectos bióticos, socioeconómicos y culturales, al tiempo que se generan otros indicadores, que no sean sólo referente a las especies de captura, sino indicadores más amplios a nivel ecosistémico y en los que se incluyan a las especies sin ningún interés pesquero, además de las especies ornamentales aún sin incluir. Adicionalmente, es necesario instaurar medidas de manejo dirigidas a establecer tallas máximas de captura, que protejan a los individuos mega-desovadores

AMENAZAS, MANEJO Y CONSERVACIÓN

de las distintas especies, tal como se argumentó en el capítulo de Presión de Uso (Hernández-Barrero *et al.* 2020).

Sería necesario entonces que, al igual que existen estándares de variables y rangos determinados para medir aspectos físico-químicos de los cuerpos de agua, el país y la cuenca implementen a futuro estándares para evaluar atributos ecológicos que puedan ser útiles para establecer el estado de las comunidades de peces en el tiempo, y cómo reaccionan a los diferentes eventos naturales o antrópicos que ocurren en la cuenca. Estudios que revelen el grado de resiliencia de los ecosistemas acuáticos merecen una atención especial en las próximas décadas, por lo que además se hace necesaria la evaluación y seguimiento de la contaminación del agua en la cuenca del Magdalena. Esto requiere del establecimiento de una red de monitoreo permanente, con metodología estandarizada y ajustada a las fuentes y tipo de contaminación, a las condiciones geográficas y climáticas de la cuenca (Gutiérrez y De La Parra 2020).

La falta de datos históricos no permite evidenciar la pérdida de diversidad genética y la ausencia de marcadores moleculares o inconsistencia en su uso, limitan las comparaciones entre los pocos estudios genéticos poblacionales publicados. Sin embargo, el desarrollo de loci de microsatélites específicos de la especie brinda una oportunidad a corto plazo para evaluar el estado general de las especies de peces a escala nacional (Márquez *et al.* 2020).

Se requiere un instrumento como el Manual de Compensación por Pérdida de Biodiversidad en Ecosistemas de Agua Dulce, que como su equivalente para ecosistemas terrestres, oriente el cumplimiento

de compensaciones obligatorias a impactos que afecten la biodiversidad de ecosistemas de agua dulce generados por la construcción de proyectos sujetos a licenciamiento ambiental u otro instrumento de manejo y control, bajo una visión ecosistémica regional que contribuya al uso sostenible, la preservación y la restauración, a través de acciones y resultados medibles orientados a demostrar la No Pérdida Neta de Biodiversidad y, de ser posible, una ganancia en biodiversidad respecto a los ecosistemas impactados (adicionalidad). Y que a su vez se articule, agregue y complemente las acciones con otras iniciativas de conservación e instrumentos de planificación ambiental (Figura 9).

Conclusiones

Los peces están inmersos en los ecosistemas acuáticos de la cuenca, para los cuales se identifican múltiples y complejos conflictos ambientales, por lo cual el descenso del tamaño de las poblaciones de peces y la pérdida de especies están mediados por los impactos de dichos conflictos.

Las medidas de manejo para la conservación de los peces de la cuenca del río Magdalena se han centrado en 61 especies de interés pesquero de consumo u ornamental, dejando de lado el 73,8 % de las especies de peces de la cuenca. Esto se ha hecho basado en la visión clásica de las pesquerías, intentando controlar sus factores internos y la sobrepesca (la punta del iceberg), sin tener en cuenta factores externos como el estado de los ecosistemas acuáticos (lo que no se ve del iceberg) y el funcionamiento mismo de los ecosistemas acuáticos tropicales.

La regulación para la extracción y exportación de especies de uso ornamental no contempla todas las especies sujetas al uso, existiendo especies que, a pesar de no contar



Paula Ruiz



Figura 9. Principales lineamientos identificados para la estrategia y medidas de conservación de los peces de la cuenca del río Magdalena.

con permisos de extracción, son exportadas. Adicionalmente no fue posible encontrar la metodología o los criterios con los que el Ministerio de Agricultura y la AUNAP determinan las cuotas de extracción.

La ordenación, manejo y gestión de las especies de peces en el país está mediada por tres instituciones que emiten normas y resoluciones: la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP), el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, lo cual refleja y propicia una visión desarticulada, y a la que se le suma la Agencia Nacional de Licenciamiento Ambiental y las corporaciones regionales, que solicitan medidas de manejo, mitigación o compensación bajo un conocimiento y entendimiento de la ictiofauna también limitado y fragmentado.

En general las medidas para el manejo y la conservación de los peces del Magdalena

carecen de seguimiento a su efectividad, por lo que los objetivos de conservación no son revisados ni reformulados acorde a los resultados obtenidos.

Las medidas de manejo no han tenido en cuenta a los usuarios de los recursos, lo que ha impactado el cumplimiento de la normativa y, por ende, su efectividad. Por otro lado, se ha demostrado que la gobernanza local y las plataformas de múltiples actores interesados (PMAs) para el co-manejo de los recursos con dinámicas complejas presentan mayor cumplimiento y efectividad.

Recomendaciones y perspectivas

Se requiere una estrategia y política de alto nivel, a nivel nacional, a largo plazo, que integre y articule las diferentes medidas, instrumentos y órganos de manejo, ordenamiento e implementación de acciones para la conservación de la cuenca y sus recursos acuáticos. Todo esto debe estar

AMENAZAS, MANEJO Y CONSERVACIÓN

enmarcado en una visión socio-ecosistémica (incluyente y participativa) de protección de los ecosistemas acuáticos y con soluciones a escala de cuenca (de macro-paisaje), basadas en infraestructura verde, que promueva la restauración y el mantenimiento del funcionamiento de los ríos y ciénagas. Esta estrategia debe incluso establecer los límites de alteración de los ecosistemas acuáticos ocasionados por los proyectos de infraestructura o aprovechamiento de los ecosistemas acuáticos o recurso hídrico, integrando un manual de compensaciones para los ecosistemas acuáticos de agua dulce, reconociendo la diferencia de los impactos en ecosistemas terrestres.

Es necesario revisar las medidas de manejo bajo la lupa de los nuevos paradigmas de manejo de las pesquerías tropicales multiespecíficas, con visión ecosistémica, que dentro de su normativa tienen en cuenta la dinámica del pulso de inundación y estado de los ecosistemas acuáticos, las historias de vida y las variables que controlan la distribución de las especies, si las pesquerías son de subsistencia, comerciales o recreacionales, y las características socio-económicas de los pescadores, con el fin de promover normativas dinámicas que se adapten a los ecosistemas (en función de su dinámica hidrológica) y a diferentes contextos socio-económicos, y que promuevan e incentiven el manejo local de las pesquerías, ya que un enfoque clave para la gestión de la pesca continental es la co-gestión.

Es necesario mejorar los sistemas de recopilación de datos dependientes (desembarcos, especies, artes de pesca) e independientes de la pesca (diversidad de especies, genética, calidad de agua, estado de los ecosistemas) tanto por parte del estado como por

parte de los usuarios (monitoreos participativos) para la correcta interpretación de los cambios en los tamaños poblacionales de las especies. Adicionalmente, es necesario mejorar el conocimiento sobre el valor socioeconómico de estas pesquerías para que sus valores se incorporen a la ordenación (aporte a la economía del pescador, precios de primera venta, de intermediación).

Por último, es clave fortalecer la gobernanza local y debería ser una prioridad impulsada por el Estado. No obstante, dada la magnitud del reto de conservación, el enfoque de gobernanza policéntrica debe responder también a las necesidades reales de recuperación ecosistémica, ya que la problemática ambiental incide en la calidad, funcionalidad e integralidad de los ecosistemas acuáticos y, por ende, en su productividad y en la salud de sus poblaciones de peces.

Bibliografía

- Albert, J. S., Destouni, G., Duke-Sylvester, S. M., Magurran, A. E., Oberdorff, T., Reis, R. E., Winemiller, K. O. & Ripple, W. J. (2020). Scientists' warning to humanity on the freshwater biodiversity crisis. *Ambio*, 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01318-8>
- Allison, E. H. & Ellis, F. (2001). The livelihoods approach and management of small-scale fisheries. *Marine policy*, 25(5), 377-388.
- Angarita, H., Santos-Fleischmann, A., Rogéliz, C., Campo, F., Narváez-Campo, G., Delgado, J., Santos, T., Santos, A., Herrera-R, G. & Jiménez-Segura, L. (2020). Modificación del hábitat para los peces en la cuenca del río Magdalena, Colombia. En Jiménez-Segura, L. & C. Lasso (Eds.). *XIX. Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible*. Pp: 265-293. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.



Paula Ruíz

- Atencio-García V.J. (2000). Impactos de la Hidroeléctrica Urrá en los peces migratorios del río Sinú. *Rev. Temas Agrarios*, 5(9): 29-40.
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. (2019a). Normatividad vedas vigentes, Cuadro de vedas actualizado DTAF (03-07-19): Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca.
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. (2019b). AUNAP_2019_TallaMinimaCaptura 03-07-19: Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca.
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. AUNAP-UNIMAGDALENA (2013). *Cartilla Tallas mínimas de captura para el aprovechamiento sostenible de las principales especies de peces, crustáceos y moluscos comerciales de Colombia*. Convenio 058 de 2013 entre la Autoridad nacional de acuicultura y pesca y La Universidad del Magdalena. 58 páginas. [http://sepec.aunap.gov.co/Archivos/Cartilla%20-%20TALLAS%20MINIMAS_Digital%20\(2\).pdf](http://sepec.aunap.gov.co/Archivos/Cartilla%20-%20TALLAS%20MINIMAS_Digital%20(2).pdf)
- Barona, A. B., Orjuela, M. y Rey Cobos, N. (2012). Introducción. En Santamaría, M., Barona, A. B., Rey Cobos, N., Orjuela, M., Chaves, M. E., eds. *Mosaicos de Conservación*. Patrimonio Natural. Bogotá: Fondo para la biodiversidad y áreas protegidas.
- Barreto, C. (2017). *Producción pesquera de la cuenca del río Magdalena: desembarcos y estimación ecosistémica*. (Informe técnico). Bogotá D. C.: The Nature Conservancy, AUNAP. 38 pp.
- Baptiste, M. P., García, L. M., Córdoba, D., y Rodríguez-Buriticá, S. (2018). Mecanismos de introducción y dispersión de fauna exótica en Colombia. En: Moreno, L. A., Rueda, C. y Andrade, G. I. (Eds.). *Biodiversidad 2017. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 84p.
- Baigún, C. R. (2013). Manual para la gestión ambiental de la pesca artesanal y las buenas prácticas pesqueras en la cuenca del río Paraná, Argentina. Fundación Humedales/Wetlands International. Buenos Aires, Argentina. 13 pp.
- Berkes, F. (2011). Restoring unity: The concept of marine social-ecological systems. *World Fisheries*, 9-28.
- Boyer, K. (2009). *Stream visual assessment protocol Version 2*. National Biology Handbook, Subpart B—Conservation Planning, United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. 75 pp. Disponible en: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs144p2_042678.pdf
- Buitrago, C.L. & Salazar Galán, S.A. (2019). *Guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia*. Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá.
- CITES (julio de 2020). *Rayas De Agua Dulce (Familia Potamotrygonidae) (Decisiones 16.131 Y 16.132)*. ACT28 Doc.18 [Archivo PDF]. Vigésimo octava reunión del Comité de Fauna Tel Aviv (Israel), 30 de agosto-3 de septiembre de 2015.
- DANE-Departamento Administrativo Nacional de Estadística (15 de noviembre de 2020). *Necesidades básicas insatisfechas (NBI)*, Información Censo nacional de población y vivienda 2018 Recuperado el 15 de noviembre de 2020 de <https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/CNPV-2018-NBI.xlsx>
- de La Hoz-M, J., J.C Narváez, L. Manjarrés-Martínez, R. Rivera & J. Blanco. (2013). Tallas mínimas de captura y recomendaciones técnicas para el aprovechamiento sostenible de los recursos pesqueros de Colombia. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP), Bogotá, 55 pp.
- De la Hoz-M, J., J.C Bustamante & L. Manjarrés-Martínez. (2017). Análisis de la estructura de tallas de captura de las principales especies ícticas explotadas por las pesquerías artesanales de Colombia durante el periodo marzo diciembre de 2017. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP), 8-13 p.
- Duarte L.O., L. Manjarrés-Martínez, J. de la Hoz-M, Cuello, F. & Altamar J. (2018). *Estado de los principales recursos pesqueros de Colombia. Análisis de indicadores basados en tasas*

AMENAZAS, MANEJO Y CONSERVACIÓN

- de captura, tallas de captura y madurez.* Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP), Universidad del Magdalena. 37 pp.
- Fals-Borda, O. (1979). *Historia Doble de la Costa-Tomo 1-Mopox y Loba.* Carlos Valencia Editores. Bogotá. 330 pp.
 - Farhad, S. (2012). Los sistemas socio-ecológicos. Una aproximación conceptual y metodológica. *XII Jornadas de economía crítica*, 265-280.
 - Forero, G., Pinel, N., Clerici, N., López-Casas, S., Molina, L. F., Pinilla, M. C., Ríos, H. F., Sánchez, A., Villegas, C. I. y Villegas, J. C. (En prensa). Capítulo 4. Motores directos de transformación y pérdida de biodiversidad. Informe de Evaluación de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos Colombia. IPBES.
 - García-Alzate, C., Donascimento, C., Villa-Navarro, F.A., García-Melo, J. E. & Herrera-R, G. (2020). Diversidad de peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia. En Jiménez-Segura, L. & C. Lasso (Eds.). *XIX. Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible.* Pp: 85-114. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
 - Gómez, D. E. (2015). *Múltiples usos del agua, conflictos y externalidades: Estudio de caso de la parte alta del río Cauca en Colombia* (Documento técnico). Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona, Doctorado en Economía aplicada. 59pp. https://pagines.uab.cat/appliedeconomics/sites/pagines.uab.cat/appliedeconomics/files/Gomez,%20Dolores_paper.pdf
 - Gutiérrez-Moreno, L.C. & De la Parra-Guerra, A. (2020). Contaminación en la cuenca del río Magdalena (Colombia) y su relación con los peces. En Jiménez-Segura, L. & C. Lasso (Eds.). *XIX. Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible.* Pp: 239-263. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
 - Harman, W., Starr, R., Carter, M., Tweedy, K., Clemmons, M., Suggs, K., & Miller, C. (2012). A function-based framework for stream assessment and restoration projects. US Environmental Protection Agency, Office of Wetlands, Oceans, and Watersheds, Washington, DC EPA.
 - Hernández-Barrero, S., Barco, M. V., Reyes, C. G. B., Sierra, L. S., & Stotz, W. (2020). Is Overfishing the Main or Only Factor in Fishery Resource Decline? The Case of The Magdalena River Fishery and Its Correlation with Anthropic Pressures. bioRxiv, preprint doi: <https://doi.org/10.1101/2020.06.04.134072>, version posted June 5, 2020.
 - Hernández-Barrero, S., Barreto-Reyes, C.G. & Valderrama-Barco, M. (2020). Presión de uso del recurso íctico por la pesca artesanal en la cuenca del río Magdalena, Colombia. En Jiménez-Segura, L. & C. Lasso (Eds.). *XIX. Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible.* Pp: 369-387. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
 - Herrón, P., Stähler, M., Castellanos-Galindo, G., Díaz, J. M., & Wolff, M. (2019). Towards ecosystem-based assessment and management of small-scale and multi-gear fisheries: insights from the tropical eastern Pacific. *Frontiers in Marine Science*, 6, 127.
 - Invbasa (2017). *InvBasa la app de especies invasoras.* Universidad Nacional de Colombia. <http://www.biovirtual.unal.edu.co/invbasa/es/>
 - Jiménez-Segura, L.F., Ortega, A., Chuchta-ya, J., Jiménez-Prado, P., Carvajal-Vallejos, F. M., Rivadeneira, J. F., Mojica, J.I., Mesa, L.M., Sánchez-Duarte, P., Maldonado-Ocampo, J.A., Correa, V., Chocano, L., Velázquez, M.A., Hidalgo, M., Usma, J.S., Laso, C.A., Anderson, E.P., Villa-Navarro, F. & Tognelli, M. (2016). Estado de conservación y distribución de los peces de agua dulce de los Andes Tropicales. En Tognelli, M. F., Lasso, C. A., Bota-Sierra, C. A., Jiménez-Segura, L. F., & Cox, N. A. (Eds.). *Estado de conservación y distribución de la biodiversidad de agua dulce en los Andes Tropicales.* Gland. Suiza. Cambridge. UK y Arlington. USA: UICN. XII. 29 pp.



Paula Ruiz

- Jiménez-Segura, L.F., Herrera-Pérez, J., López-Casas, S., García-Alzate, C. & Valencia-Rodríguez, D. (2018). El sistema de áreas protegidas al nor-occidente de los Andes y su impacto en la conservación de ictiofauna altamente endémica. En: Asociación Colombiana de Zoología. (2019). Reconciliarte con la biodiversidad, un acto de paz. Libro de resúmenes. V Congreso Colombiano de Zoología. Asociación Colombiana de Zoología. <http://vccz.aczcolombia.org/wp-content/uploads/2019/02/resumenes.pdf>
- Tognelli, M. F., Lasso, C. A., Bota-Sierra, C. A., Jiménez-Segura, L. F., & Cox, N. A. (2016). *Estado de conservación y distribución de la biodiversidad de agua dulce en los Andes Tropicales*. Gland, Suiza. Cambridge. UK y Arlington, USA: UICN. XII. 290 pp.
- Kerguelén-Durango, E. & Atencio-García V.J. (2015). Environmental characterization of the reproductive season of migratory fish of the Sinú river (Córdoba, Colombia). *Rev. MVZ Córdoba*; 20(3): 4766-4778.
- Kolding, J., & van Zwieten, P. A. (2011). The tragedy of our legacy: how do global management discourses affect small scale fisheries in the South?. *Forum for development Studies* (Vol. 38, No. 3, pp. 267-297). Routledge.
- Lasso, C., Escobar, M.D. Herrera, J., Castellanos M.C., Valencia-Rodríguez, D., Campuzano, J., García, F. & Jiménez-Segura, L. (2020). Peces introducidos en el río Magdalena y cuencas vecinas, Colombia. En Jiménez-Segura, L. & C. A. Lasso (Eds.). XIX. Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible. Pp: 295-367. Bogota D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Lasso, C. A., D. Córdoba & M. A. Morales-Betancourt (Eds.). (2017). XVI. *Áreas clave para la conservación de la biodiversidad dulceacuícola amenazada en Colombia: moluscos, cangrejos, peces, tortugas, crocodilidos, aves y mamíferos*. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 353 pp.
- Lasso, C. A. & Sánchez-Duarte, P. (2015). Conservación de grandes peces de agua dulce en áreas no protegidas de Colombia. Capítulo 1. Pp. 27-52. En: Garrido, E. P., Lasso, C. A., y Castaño-Uribe, C. (Eds.). *Conservación de grandes vertebrados en áreas no protegidas de Colombia, Venezuela y Brasil*. Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- López-Casas, S. (2015). *Magdalena potamodromous migrations: effects of regulated and natural hydrological regimes* (Tesis de Doctorado). Medellín: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Instituto de Biología, Universidad de Antioquia, Colombia. 135pp. Disponible en: http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/5651/1/SilviaLopezCasas_2015_MagdalenaPotadromousMigrations.pdf
- Madariaga-Mendoza, D., Espinosa-Araujo, J., Marrugo-Negrete, J. & Atencio-García, V. (2017). Efecto del mercurio sobre la calidad seminal de bocachico *Prochilodus magdalenae*. *DAHLIA* (Rev. Asoc. Colomb. Ictiol.). 13: 54.
- Mancera-Rodríguez, N. J. & Álvarez-León, R. (2006). Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Acta biológica colombiana*, 11(1), 3-23
- Márquez, E., Restrepo-Escobar, N., Yepes-Acevedo, A.J. & Narváez, J. C. (2020). Diversidad y estructura genética de los peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia. En Jiménez-Segura, L. & C. Lasso (Eds.). XIX. *Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible*. Pp: 115-157. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Mehta-Ambani, M. (2015) Effects of reproductive biology on heavy metal pollution on the histopathological structure of gonads in India. *Rev International Scholars Journals* 3(2):223-227.
- Mejía-Falla, P. A., J. G. Pérez-Rojas, Gómez-Martínez, D., Muñoz-Osorio, L. A., Galindo, E., López-García, J., Pedreros, T., Fernández, G., & Navia, A. F. (2016). Avances en el conocimiento de *Potamotrygon magdalenae* (Duméril, 1865), raya dulceacuícola

AMENAZAS, MANEJO Y CONSERVACIÓN

- endémica de Colombia. En Lasso, C. A., R. S. Rosa, M. A. Morales-Betancourt, D. Garrone-Neto & M. Carvalho (Eds.). XV. *Rayas de agua dulce (Potamotrygonidae) de Suramérica. Parte II: Colombia, Brasil, Perú, Bolivia, Paraguay, Uruguay y Argentina*. Pp 305-323. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). 435 pp.
- Mesa-S., L. M., Córdoba, D. & Lasso, C. A. (2017). Peces. En Lasso, C. A., D. Córdoba y M. A. Morales-Betancourt (Eds.). XVI. *Áreas clave para la conservación de la biodiversidad dulceacuícola amenazada en Colombia: moluscos, cangrejos, peces, tortugas, crocodílicos, aves y mamíferos*. Pp. 123-181. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
 - MiPez (2020). The Nature Conservancy-Colombia. MiPez: la nueva aplicación de apoyo a las comunidades pescadoras para proteger la biodiversidad del río Magdalena. Versión 1.1. [aplicación móvil]. Google Play Store. <https://www.nature.org/es-us/sobre-tnc/donde-trabajamos/tnc-en-latinoamerica/colombia/mipez-aplicacion-pescadoras-agua-dulce/>.
 - Mojica, J. I., C. Castellanos, J. S. Usma y R. Álvarez-León (Eds). 2002. *Libro Rojo de peces dulceacuícolas de Colombia. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia*. Bogotá D.C.: Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente. 288 pp.
 - Mojica, J. I.; J. S. Usma; R. Álvarez-León y C. A. Lasso (Eds). 2012. *Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia 2012*. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, WWF Colombia y Universidad de Manizales. 319 pp.
 - Mosepele, K. (2014). Classical fisheries theory and inland (floodplain) fisheries management; is there need for a paradigm shift? Lessons from the Okavango Delta, Botswana. *Fisheries and Aquaculture Journal* 5:3. DOI: 10.4172/2150-3508.1000101
 - Narváez-Barandica J.C., J. de la Hoz., J. Blanco R., Bolívar, R. Rivera M., T. Álvarez, A. Mora R., O. Bran Bonilla & Riascos C. (2012). Tallas mínimas de captura para el aprovechamiento sostenible de las principales especies de peces comerciales de Colombia. Bogotá D.C.: Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP). 35 p.
 - OCDE - Organization for Economic Cooperation and Development (2016). Fisheries and Aquaculture in Colombia. <http://www.oecd.org/tad/fisheries/>
 - Ortega-Lara, A., Cruz-Quintana, Y. & Puentes, V. (2015) Dinámica de la actividad pesquera de peces ornamentales continentales en Colombia. Serie Recursos Pesqueros de Colombia. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca, FUNINDES, Santiago de Cali, 174 pp.
 - Pardo, R. & Valderrama, M. (2013). *Normatividad para la pesca artesanal en la Cuenca de los ríos Magdalena, Cauca y San Jorge. Fundación Humedales*. Impresores Molher Ltda. Bogotá D.C. 28 pp.
 - Peña-León, G. A. P. (2011). Pescadores de los raudales del Río Magdalena durante el período Formativo Tardío (siglos V al I a. C). *Caldasia*, 33(2), 295-314.
 - Perdomo-Núñez, J. M. 2005. *Rayas de agua dulce del género Potamotrygon utilizadas como ornamentales en Colombia*. (Informe técnico). Bogotá D.C. ACOLPECES. 15 pp.
 - Resolución 1924 de 2015 [Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca]. Por la cual se autorizan las especies ícticas ornamentales aprovechables comercialmente, se establecen unas prohibiciones, se derogan las resoluciones 3532 del 17 de diciembre de 2007 y 740 del 4 de mayo de 2015 y se establecen otras disposiciones. 3 de noviembre de 2015.
 - Resolución 1609 de 2017 [Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca]. Por la cual se establecen medidas de administración y manejo para los siguientes recursos ornamentales: Rayas de la familia Potamotrygonidae y Pterophyllum altum. 14 de agosto de 2017.
 - Resolución 1912 de 2017 [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por la cual se establecen el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino



Paula Ruíz

- costera que se encuentran en el territorio nacional, y se dictan otras disposiciones. 15 de septiembre de 2017.
- Resolución 2838 de 2018 [Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca]. Por la cual se establecen las directrices técnicas y los requisitos para realizar repoblamientos y rescate, traslado y liberación con recursos pesqueros ícticos en aguas continentales de Colombia y se deroga la Resolución No. 0531 del 20 de diciembre de 1995 expedida por el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura — INPA. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. 28 de diciembre de 2018.
 - Resolución 350 de 2019 [Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural]. Por la cual se establecen las cuotas globales de pesca de las diferentes especies bajo aprovechamiento para el año 2020. 25 de octubre de 2019.
 - Ricker, W.E. (1944) Further Notes on Fishing Mortality and Effort. *Copeia* 1: 23-44.
 - Rueda, M., J. Blanco, J.C. Narváez, E.A. Viloria & C. Beltrán. (2011). Coastal Fisheries of Colombia. En S. Salas, R. Chuenpagdee, A. Charles y J.C. Seijo (eds). *Coastal fisheries of Latin America and the Caribbean*. Pp. 117-136. Roma: FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 544. 430 pp.
 - Sánchez-Duarte, P.C., Baptiste, M.P., Lasso, C.A.; Suárez, A.M. & Guzmán, A. (2013). Marco normativo y comercialización de las rayas de agua dulce (Potamotrygonidae) en el norte de América del Sur. Pp. 311-341. En: Lasso, C. A., R. S. Rosa, P. C. Sanchez-Duarte, M. A. Morales-Betancourt & E. Agudelo-Cordoba (Eds.) *Rayas de agua dulce (Potamotrygonidae) de Suramérica. Parte I. Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú, Brasil, Guyana, Surinam y Guayana Francesa: diversidad, bioecología, uso y conservación*. Pp. 311-341. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
 - Sánchez-Duarte, P., & Lasso, C. A. (2013). Evaluación del impacto de las medidas de conservación del Libro Rojo de peces dulceacuícolas (2002-2012) en Colombia. *Biota Colombiana*, 14(2).
 - Santamaría, M., Barona, A. B., Rey Cobos, N., Orjuela, M. & Chaves, M. E., (eds). (2012). *Mosaicos de Conservación*. Bogotá: Patrimonio Natural, Fondo para la biodiversidad y áreas protegidas. 412 pp.
 - Shirley, E. A. & Gore, M. L. (2019). Trust in scientists and rates of noncompliance with a fisheries rule in the Brazilian Pantanal. *PloS one*, 14(3), e0207973.
 - Sierra-Marquez, L., Espinosa-Araujo, J., Atencio-García, V. & Olivero-Verbel, J. (2019). Effects of cadmium exposure on sperm and larvae of the neotropical fish *Prochilodus magdalenae*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology y Pharmacology*, 225, 108577. doi.org/10.1016/j.cbpc.2019.108577
 - SEPEC-Servicio Estadístico Pesquero Colombiano. (2020). *Principales especies desembarcadas mensual*. Servicio Estadístico Pesquero Colombiano. <http://sepec.aunap.gov.co/InformesAvanzados/DesembarcoEspecie>
 - Téllez, P., Petry, P., Walschburger, T., Higgins, J. & Apse, C. (2011). *Portafolio de conservación de agua dulce para la cuenca del Magdalena-Cauca*. Bogotá D.C.: The Nature Conservancy - CORMAGDALENA. 203 pp.
 - TNC – The Nature Conservancy. (2020). *Mipez: la nueva aplicación de apoyo a las comunidades pescadoras para proteger la biodiversidad del río Magdalena*. The Nature Conservancy. Recuperado el 15 de noviembre de 2020 de <https://www.nature.org/es-us/sobre-tnc/donde-trabajamos/tnc-en-latinoamerica/colombia/mipez-aplicacion-pescadoras-agua-dulce/>
 - Valderrama M., Escobar, J., Pardo, R., Toro M., Gutiérrez, J. C. & López-Casas, S. (2020). Servicios ecosistémicos generados por los peces en la cuenca del río Magdalena, Colombia. En Jiménez-Segura, L. & C. Lasso (Eds.). XIX. *Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible*. Pp: 205-235. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
 - UICN - Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (2020). The UICN red list of threatened species. <https://www.iucnredlist.org/es/>
 - UDEA-Universidad de Antioquia y TNC-The Nature Conservancy. (2016). *Áreas de reproducción para peces migratorios en la cuenca*

AMENAZAS, MANEJO Y CONSERVACIÓN

- Magdalena-Cauca*. Convenio NASCA 00505/2015. (Informe final) Bogotá D.C. 80 pp.
- Wilson, J.A, Acheson, J.M, Metcalfe & M, Kleban, P. (1994). Chaos, complexity and community management of fisheries. *Marine. Policy*. 18(4):291-305.
 - Zapata, L., Jiménez-Segura, L.F. & Rodríguez, P. (Eds.) (2017). Simposio Minería. *DAHLIA*. 13: 50-61.
 - Zhang, W., ElDidi, H., Swallow, K., Meinen-Dick, R., Ringler, C., Masuda, Y. & Aldous, A. (2020). *Manejo comunitario de recursos de agua dulce, Guía práctica para la aplicación del esquema formulado por TNC: Voz, Elección y Acción*. The Nature Conservancy e International Food Policy Research Institute. USA. 25 pp.



Paula Ruíz

Anexo 1. Medidas de manejo.

Categoría de la medida	n (%)	Objetivos de la medida	Actores involucrados	Beneficiarios de la medida
Conservación ecosistemas	64 (34,0)	Medidas direccionadas al entorno biótico, conservar/proteger biodiversidad, ecosistemas acuáticos, terrestres, cuencas	Estatal (MADR, CAR's); Iniciativas locales (Propietarios predios-RNSC y comunidades locales) y sector prrductivo	Ecosistemas acuáticos (claves en el ciclo hidrológico) y terrestres (biomas amenazados y hábitats claves), objetivos de conservación, bienes y servicios ambientales, comunidades locales
Licenciamiento	21 (11,1)	Estudios direccionados a la conservación de especies de interés para la biodiversidad o uso sostenible especies de consumo local	Estatal (ANLA, AUNAP); sector productivo (EPM, EMGESA, ISAGEN...)	Poblaciones de peces afectada/modificada por los proyectos, y comunidades de pescadores con cambios en sus dinamicas de pesca
Mixta	37 (19,6)	Direccionadas a la conservación de la estructura fisico-biotica, conservar biodiversidad, protección al ambiente, ecosistemas acuáticos, terrestres, cuencas	Estatal (entes municipales, departamentales, CAR's) y ONG's	Areas intervenidas por actividades antrópicas, biodiversidad local y regional, comunidades locales y aquellas dependientes del recurso pesquero, navegabilidad y sectores económicos
Organizacional	7 (3,7)	Planes de acción (conservación de las especies y del medio ambiente de los ecosistemas)	Estatal (CAR'S) y ONG's	Recuperación de la navegación, actividad y desarrollo portuario, adecuación y conservación de tierras, distribución y aprovechamiento de la energía, medio ambiente y recursos naturales renovables
Recurso íctico	59 (31,4)	Medidas direccionadas al uso sostenible de las poblaciones de especies de consumo local/ regional, regulación en la extracción pesquera, monitoreo e investigación	Estatal (AUNAP, CAR'S), iniciativas locales (asociaciones de pescadores, JAC), sector productivo y ONG's	Usuarios de los recursos (comunidades locales, pescadores que basan su sustento en la pesca), integridad y resiliencia del ecosistema.
Resumen de las MADR: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Rural, CAR'S: Corporaciones Autonoma Regionales, RNSC: Reserva Nacional de la Sociedad Civil, AUNAP: Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca, JAC: Juntas de Acción Comunal.				



Pesca artesanal en ciénagas. Foto: Carlos A. Lasso



11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

Luz Jimenez-Segura y Carlos A. Lasso

El Magdalena está entre los diez primeros ríos a escala global con mayor producción de sedimentos. Las condiciones climáticas como la alta precipitación, la geología a lo largo del sistema de drenaje montañoso, que es joven y con alta actividad sísmica, las condiciones morfológicas y los suelos en altas pendientes, hacen que esta particularidad sea natural. Sin embargo, los cambios y el desarrollo económico de la sociedad colombiana, han modificado rápidamente el suelo disparando esa carga de sedimentos y generado transformaciones en la cuenca, particularmente en sus zonas bajas, que en algunos casos son ya irreversibles. Más del 70% de la conectividad río - ciénagas en el bajo Magdalena se ha interrumpido en los últimos 20 años, situación que nos pone frente a un contexto de cambio donde las zonas bajas perdieron la capacidad de amortiguación de las crecidas del río, provocando escenarios de inundación críticos que se hacen aún más dramáticos debido a la descontrolada expansión de la población sobre territorios que le pertenecen al río. Igualmente, estas afectaciones tan graves se han extendido

a las zonas costeras y hábitats valiosos para los ecosistemas y la biodiversidad estuarina y marina, como los manglares y corales, que son los elementos más llamativos.

En Colombia es necesario que la aproximación del Sistema Nacional Ambiental-Sina, se realice dentro un marco que conecte las montañas con los planos bajos inundables y el mar. La gestión de todo este territorio inundable o anfíbio, no puede seguir estando compartimentalizada y ser cada compartimiento analizado por separado. Esta estrategia ha demostrado no ser eficiente ni en lo biológico ni en lo social ¿Porque vivir *contra* el río?, ¿no podemos convivir *con* él? El desarrollo no puede seguir siendo entonces solo soluciones de ingeniería gris (p. e. diques que controlen las inundaciones, cubrir los cauces con concreto). Debemos vigilar que cualquiera sea la alternativa de manejo, esta armonice con la dinámica del río, lo respete y lo proteja. Todas las decisiones de protección y manejo deben estar fundamentadas en conocimiento logrado a partir investigaciones pertinentes y de largo aliento.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este libro reúne lo mucho y lo poco que conocemos de los peces del río Magdalena y su relación con toda la cuenca. Poco, porque aún falta mucho por descubrir, y mucho, porque es tal vez la cuenca con mayor cantidad de estudios realizados para conocer su riqueza y dinámica. A pesar de ello, poca información es considerada para la toma de decisiones acertadas y permitir el desarrollo sostenible del país sin que la biodiversidad sea sacrificada.

En este río pulsante y dinámico habitan 233 especies de peces, 70% de ellas endémicas, algo único a nivel mundial. Dentro de la cuenca, el sector del medio Magdalena es un área de importancia ya que en ella se concentra la mayor riqueza y el mayor número de especies endémicas y también, las zonas más importantes para el desove de las especies migratorias y de interés pesquero. La diversidad genética para algunas de las especies estudiadas aun es alta y la información contenida en el ADN aún nos tiene reservada una gran historia asociada con la formación de los Andes en Colombia. Para su salvaguardarla, es necesario tomar decisiones apropiadas sobre la incorporación de nuevos métodos de análisis genómico y, sobre todo, en el desarrollo de la piscicultura y de los repoblamientos, ya que sus prácticas sin acompañamiento, generarían serias amenazas a esta diversidad.

El río Magdalena es también un río de montaña y único dentro de los Andes debido a la riqueza paisajística que ofrece el contraste de las zonas bajas e inundables y las zonas escarpadas que lavan sedimentos y nutrientes con cada aguacero. El 70% de la riqueza de especies se encuentra debajo de los 700 m de elevación y aunque en las zonas altas hay menor número de especies,

la mayoría de ellas son endémicas. Ante este escenario de dos inundaciones al año, dominan en número aquellas especies oportunistas de rápido crecimiento y que consumen los recursos disponibles en el momento (omnívoras). Si bien las comunidades de especies migradoras que conectan las zonas bajas con las zonas altas, no son las más diversas, si son muy importantes pues proveen de alimento a la población colombiana. Proveer de proteína animal al ser humano no es el único beneficio que ofrecen los peces del río Magdalena a los colombianos, también está el de mantener el flujo de carbono a lo largo de la cuenca, el de controlar poblaciones que pueden afectar la salud humana y el servir de base para una cultura fuertemente arraigada con el río.

Las condiciones del río que favorecen la presencia de su biota nativa han cambiado. La calidad de sus aguas refleja la falta de inversión en medidas de control a los residuos que vertimos los humanos a los ríos. El desarrollo de diversos sectores económicos (p. e. agropecuario, minero-energético, acuícola, entre otros) que mejoran las condiciones de vida de las personas en las ciudades, afectan los hábitats dentro de los ecosistemas acuáticos en la cuenca y esto, en el largo plazo, traerá consecuencias irreversibles. Estas circunstancias exigen de forma prioritaria de un esfuerzo del Estado y de los propios colombianos para mejorar sus prácticas y que los costos ambientales de sus actividades sean cada vez menores. Debe ser prioritario no solo recuperar y preservar la salud de los ecosistemas naturales, sino la conectividad entre ellos. Esta no es una conversación fácil ni traerá soluciones de corto plazo, pero en algún momento debemos comenzar. ¿Porque no hacerlo ahora?



Puerto Boyacá. Foto: Eduardo Navarro-Osorio.



Artes y aparejos de pesca. Ciénaga El Guájaro. Foto: Carlos A. Lasso.

