

# BIOTA COLOMBIANA

ISSN 0124-5376

Volumen 15 · Número 2 · Especial embalses y ríos regulados  
Julio - diciembre de 2014



**Biota Colombiana** es una revista científica, periódica-semestral, que publica artículos originales y ensayos sobre la biodiversidad de la región neotropical, con énfasis en Colombia y países vecinos, arbitrados mínimo por dos evaluadores externos y uno interno. Incluye temas relativos a botánica, zoología, ecología, biología, limnología, pesquerías, conservación, manejo de recursos y uso de la biodiversidad. El envío de un manuscrito implica la declaración explícita por parte del (los) autor(es) de que este no ha sido previamente publicado, ni aceptado para su publicación en otra revista u otro órgano de difusión científica. El proceso de arbitraje tiene una duración mínima de tres a cuatro meses a partir de la recepción del artículo por parte de *Biota Colombiana*. Todas las contribuciones son de la entera responsabilidad de sus autores y no del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, ni de la revista o sus editores.

*Biota Colombiana* incluye, además, las secciones de Artículos de datos (*Data papers*), Notas y Comentarios, Reseñas y Novedades bibliográficas, donde se pueden hacer actualizaciones o comentarios sobre artículos ya publicados, o bien divulgar información de interés general como la aparición de publicaciones, catálogos o monografías que incluyan algún tema sobre la biodiversidad neotropical.

*Biota colombiana* is a scientific journal, published every six months period, evaluated by external reviewers which publish original articles and essays of biodiversity in the neotropics, with emphasis on Colombia and neighboring countries. It includes topics related to botany, zoology, ecology, biology, limnology, fisheries, conservation, natural resources management and use of biological diversity. Sending a manuscript, implies a the author's explicit statement that the paper has not been published before nor accepted for publication in another journal or other means of scientific diffusion. Contributions are entire responsibility of the author and not the Alexander von Humboldt Institute for Research on Biological Resources, or the journal and their editors.

*Biota Colombiana* also includes the Notes and Comments Section, Reviews and Bibliographic News where you can comment or update the articles already published. Or disclose information of general interest such as recent publications, catalogues or monographs that involves topics related with neotropical biodiversity.

*Biota Colombiana* es indexada en Pubindex (Categoría B), Redalyc, Latindex, Biosis: Zoological Record, Ulrich's y Ebsco.

*Biota Colombiana* is indexed in Pubindex, Redalyc, Latindex, Biosis: Zoological Record, Ulrich's and Ebsco.

*Biota Colombiana* es una publicación semestral. Para mayor información contáctenos / *Biota Colombiana* is published two times a year. For further information please contact us.

#### Información

[www.humboldt.org.co/biota](http://www.humboldt.org.co/biota)  
[biotacol@humboldt.org.co](mailto:biotacol@humboldt.org.co)  
[www.sibcolombia.net](http://www.sibcolombia.net)

#### Comité Directivo / *Steering Committee*

Brigitte L. G. Baptiste	Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt
Germán D. Amat García	Instituto de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Colombia
Francisco A. Arias Isaza	Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives De Andrés" - Invemar
Charlotte Taylor	Missouri Botanical Garden

#### Editor / *Editor*

Carlos A. Lasso	Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt
-----------------	--

#### Editora invitada / *Guest editor*

Luz Fernanda Juménez-S.	Instituto de Biología Universidad de Antioquia
-------------------------	--

#### Editor Datos / *Data papers editor*

Dairo Escobar	Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt
---------------	--

#### Coordinación y asistencia editorial

##### *Coordination and Editorial assistance*

Susana Rudas Lleras	Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt
---------------------	--

#### Comité Científico - Editorial / *Editorial Board*

Adriana Prieto C.	Instituto de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Colombia
Ana Esperanza Franco	Universidad de Antioquia
Arturo Acero	Universidad Nacional de Colombia, sede Caribe.
Cristián Samper	WCS - Wildlife Conservation Society
Donlad Taphorn	Universidad Nacional Experimental de los Llanos, Venezuela
Francisco de Paula Gutiérrez	Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano
Gabriel Roldán	Universidad Católica de Oriente, Colombia
Hugo Mantilla Meluk	Universidad del Quindío, Colombia
John Lynch	Instituto de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Colombia
Jonathan Coddington	NMNH - Smithsonian Institution
José Murillo	Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia
Juan A. Sánchez	Universidad de los Andes, Colombia
Martha Patricia Ramírez	Universidad Industrial de Santander, Colombia
Paulina Muñoz	Instituto de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Colombia
Rafael Lemaitre	NMNH - Smithsonian Institution, USA
Reinhard Schnetter	Universidad Justus Liebig, Alemania
Ricardo Callejas	Universidad de Antioquia, Colombia
Steve Churchill	Missouri Botanical Garden, USA
Sven Zea	Universidad Nacional de Colombia - Invemar

Impreso por JAVEGRAF

Impreso en Colombia / *Printed in Colombia*

Revista *Biota Colombiana*

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos

Alexander von Humboldt

Teléfono / *Phone* (+57-1) 320 2767

Calle 28A # 15 - 09 - Bogotá D.C., Colombia

---

## Editorial

---

La energía eléctrica es fuente indiscutible de bienestar para la población humana, así como para el desarrollo económico de las naciones. Son múltiples las fuentes que pueden proveer de este recurso a la sociedad. Entre las más conocidas están las provenientes de la radiación solar, la presión del vapor de agua, la combustión de biomasa vegetal y fósil (térmicas), mareas (mareomotriz), viento (eólica), isotopos radioactivos (nuclear), la vibración de cristales (piezoeléctrica) y finalmente, la que es de nuestro interés inmediato, la caída del agua (hidroeléctrica). Son varias las fuentes energéticas, pero la energía nuclear y la hidroeléctrica han sido las de mayor uso en el mundo debido a la relación entre la cantidad de energía producida y la inversión realizada. Sin embargo, las modificaciones sobre los sistemas naturales que generan las hidroeléctricas y los riesgos de contaminación asociados con el funcionamiento de las centrales nucleares, son la mayor justificación para que la ciencia a nivel mundial continúe investigando para lograr masificar el uso de fuentes alternativas para generar energía eléctrica.

En Colombia las centrales hidroeléctricas proveen un poco más del 60% de la energía al país. La geomorfología y la producción de agua de nuestro territorio han hecho que sea la fuente de energía más recurrente dentro del sistema nacional de generación de energía. La crisis energética de 1992 promovió cambios definitivos en el funcionamiento del Sistema Nacional de Energía y llevó a que el Estado colombiano hiciera modificaciones importantes en la administración del recurso y así asegurar una capacidad instalada en firme que supliera la demanda de energía eléctrica del país. Estas modificaciones se consignaron en la Leyes 142 y 143 de 1994 y de estos cambios, la separación del sector en generadores, transmisores y comercializadores, fue tal vez el de mayor importancia.

Conscientes de que la formación de un embalse dentro del cauce de un río genera modificaciones en el sistema fluvial y en la biota asociada, el Sistema Nacional Ambiental y las empresas generadoras han venido monitoreando los cambios que se suceden en las cuencas y valorando su magnitud. Esta situación ha generado nuevas oportunidades de investigación para el sector académico colombiano y ha creado líneas de trabajo para la generación de conocimiento en torno a la respuesta de los sistemas naturales a este cambio.

Este número especial de *Biota Colombiana* recoge algunas de las investigaciones realizadas en la última década por las empresas del sector eléctrico y la Academia de nuestro país. Los trabajos aquí presentados muestran la respuesta de la biota acuática a la formación de embalses y se proponen alternativas al mismo tiempo para su manejo, prevención y mitigación. Es sin duda alguna, el primer ejercicio en este sentido en Colombia. Por ello, agradecemos a Emgesa S. A. E.S.P., Isagen S. A. E.S.P. y Empresas Públicas de Medellín (EPM), empresas del sector eléctrico que dentro de su compromiso y responsabilidad con su gestión ambiental, financiaron algunas de las investigaciones que se presentan aquí y, por supuesto, al Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (Dirección y Subdirección Científica), por habernos brindado este espacio de difusión.

**Luz Fernanda Jiménez-Segura**

Editora Invitada  
Profesor Asociado  
Instituto de Biología  
Universidad de Antioquia

**Carlos A. Lasso A.**

Editor *Biota Colombiana*  
Instituto de Investigación  
de Recursos Biológicos  
Alexander von Humboldt

---

# Ictiofauna y desarrollo del sector hidroeléctrico en la cuenca del río Magdalena-Cauca, Colombia

Luz Fernanda Jiménez-Segura, Daniel Restrepo-Santamaría, Silvia López-Casas, Juliana Delgado, Mauricio Valderrama, Jonathan Álvarez y Daniel Gómez

---

## Resumen

La cuenca del río Magdalena-Cauca presenta 213 especies de peces, de las cuales un poco más del 50 % son endémicas. Esta cuenca concentra el 80 % de la población colombiana, sostiene el 80% del PIB nacional y en sus cauces se localiza el 84 % de las centrales hidroeléctricas que surten de energía al país. La presencia de los Andes genera gradientes altitudinales en los sistemas acuáticos así como en la biota asociada a lo largo de la cuenca Magdalena-Cauca. Para analizar la interacción entre el gradiente altitudinal en la distribución de especies de peces dulceacuícolas y la localización de los embalses actuales, se hizo un análisis de la distribución altitudinal de las especies peces endémicas y migratorias, y se discutieron las implicaciones para su conservación respecto al estado actual y futuro en la formación de embalses, basados en la revisión de estudios de caso a nivel global y nacional. Se encontró que el número de especies es inversamente proporcional a la altitud, mientras que los endemismos son directamente proporcionales y que la localización de embalses abajo de los 700 m de altitud influirá en el estado de conservación de las especies migratorias. Se evidencia que un embalse crea nuevos gradientes de riqueza y modifica los cauces que son utilizados por especies migratorias como áreas de desove. Se concluye que el desarrollo del sector eléctrico basado en el uso del agua de los ríos andinos, así como otras actividades asociadas con el desarrollo económico de la sociedad colombiana, ha generado cambios en los sistemas acuáticos dulceacuícolas en la cuenca Magdalena-Cauca, e influye en la estructura de los ensamblajes de especies de peces y en la dinámica migración-reproducción de las especies de peces importantes para la pesca artesanal.

**Palabras clave.** Embalses. Represas. Peces dulceacuícolas. Andes.

## Abstract

The Magdalena-Cauca River basin has 213 species of freshwater fish, of which slightly more than 50% are endemic. This basin accounts for 80% of the Colombian population, holds 80% of the national GDP and within its channels are located the 84% of the hydroelectric plants that supply energy to Colombia. The Andean mountains generate altitudinal gradients in aquatic systems as well as its associated biota along the Magdalena-Cauca basin. To analyze the interaction between the altitudinal gradient in the distribution of species of freshwater fish and the location of existing reservoirs, it was performed an analysis of the altitudinal distribution of endemic and migratory fish species and their implications for their conservation based on the current and future state in the formation of reservoirs, using a review of case studies at global and national levels. It was found that the number of species is inversely proportional to altitude, while the endemics are directly proportional and reservoirs below 700 m altitude affect the conservation status of migratory species. A reservoir creates new species richness gradients and modifies the channels that are used by migratory species as spawning areas. We conclude that the development of the hydropower based on the use of water in the Andean rivers and another activities associated with economic development of Colombian society, has led to changes in freshwater aquatic systems in the Magdalena-Cauca basin, influences in the structure of the assemblages of species of fish and in the dynamic of migration and spawning of freshwater fish species important for artisanal fisheries.

**Key words.** Reservoirs. Dams. Freshwater fish. Andean mountains.

## Introducción

La ictiofauna dulceacuícola en Colombia está conformada por 1435 especies (Maldonado-Ocampo *et al.* 2008). Aunque la cuenca del río Magdalena-Cauca no es la más rica en especies (213 especies), su porcentaje de endemismo es alto con un poco más del 50 % de sus especies restringidas a esta cuenca (Abell *et al.* 2008, Albert *et al.* 2011). El desarrollo económico en la cuenca y la concentración del 80 % de la población humana en esta cuenca ha llevado a que la conservación de su ictiofauna esté amenazada (Galvis y Mojica 2007) y entre estas amenazas se incluye la formación de embalses dentro de los cauces de los ríos para la generación de energía hidroeléctrica.

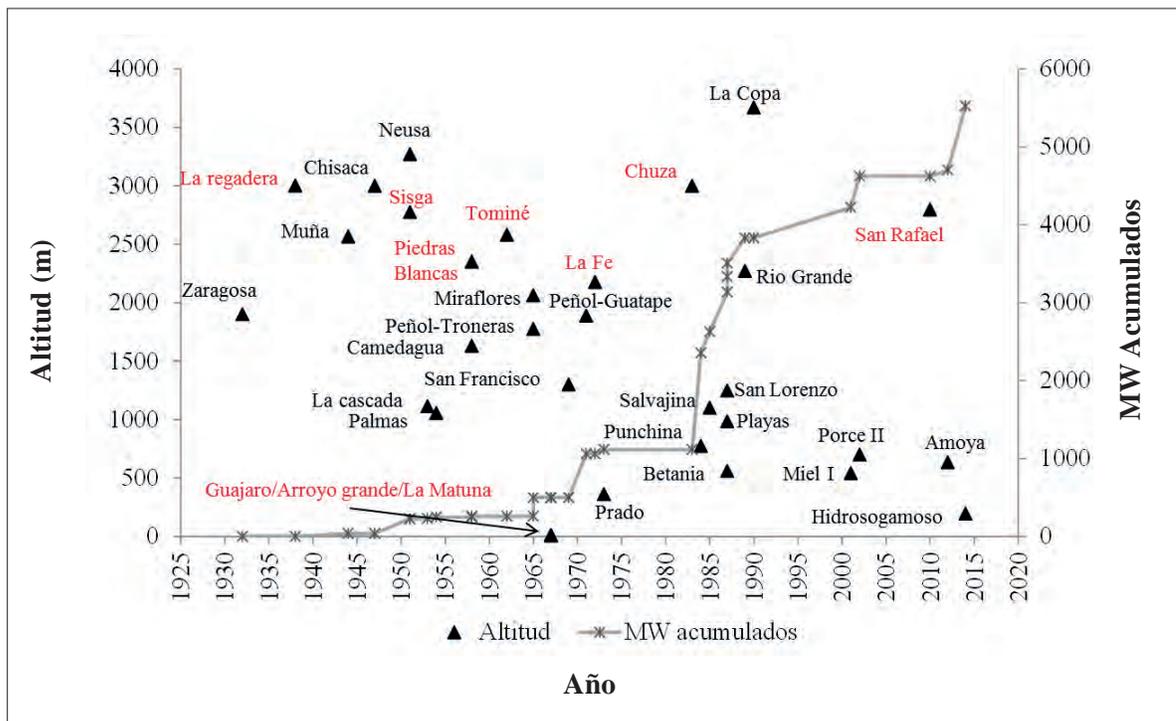
El control de las aguas de los ríos es una práctica antigua dentro de la cultura humana. La finalidad más común es la de mantener agua para controlar crecientes, proveer acueductos y sistemas de riego. En 1880 el descubrimiento de la transformación de la energía cinética liberada por las caídas de agua en energía eléctrica mediante su paso por unas turbinas acopladas a un generador, permitió que estos reservorios de agua fueran también considerados para generar energía eléctrica. El crecimiento de la población humana, así como la economía de los países, requieren del uso de la energía eléctrica y es por ello que el Producto Interno Bruto PIB de las naciones se asocia fuertemente con la oferta de éste tipo de energía, a tal punto que el PIB depende de la capacidad de los Estados de proveerla a su población y a sus industrias.

La formación de un embalse dentro del cauce de un río conlleva múltiples cambios en el sistema acuático (Margalef 1983). Petts (1980) define que estos efectos pueden ser considerados como respuestas jerárquicas. Los efectos de primer orden se relacionan con el desvío del río, con el comienzo del llenado del embalse, con la alteración en la transferencia de energía que viene de la cuenca afluyente y con el cambio en la tipología del régimen de caudal aguas abajo. Los de segundo orden (en una escala mayor de tiempo), se relacionan con el cambio en la geomorfología del cauce y en la influencia que tiene el río sobre su plano lateral aguas abajo de la presa. Y los de tercer orden, aquellos que se dan sobre la biota acuática como resultado de la interacción de las dos primeras categorías de efectos.

A pesar de que los estudios sobre las características de estos efectos y sus implicaciones en la dinámica de los sistemas acuáticos, así como de su biota asociada han sido tema de múltiples investigaciones y publicaciones a nivel global (Avakyan y Iakovleva 1998, Finer y Jenkins 2012, Liermann *et al.* 2012), el análisis en sistemas tropicales y de montaña representa un desafío para el estudio de la respuesta de la biota acuática a la modificación impuesta por los embalses. Los ríos andinos presentan cauces continuos entre altitudes que van desde los 5 m hasta arriba de los 3500 m, generando gradientes ambientales asociados con la pendiente longitudinal y lateral del cauce, la temperatura y velocidad del agua (Jaramillo-Villa *et al.* 2010). Esta es tal vez una de las principales causas del elevado endemismo de sus especies: la variedad de sistemas acuáticos y el tiempo de aislamiento de la región oriental suramericana (Rodríguez-Olarte *et al.* 2013).

Colombia es uno de los países andinos con mayor potencial para el desarrollo de la energía hidroeléctrica (Ledec y Quintero 2003) y el Estado Colombiano planea duplicarla en los próximos 15 años (UPME 2014), teniendo como principal eje de desarrollo la zona Andina de la cuenca Magdalena-Cauca. Al año 2013, la capacidad instalada en el país para la generación de energía eléctrica es de 14478 MW; 64 % proviene de centrales hidroeléctricas, 31 % de termoeléctricas y el 5 % de otras fuentes (p. e. eólica) (UPME 2013). Colombia cuenta con embalses que poseen capacidades de almacenamiento superiores a 15 Mm<sup>3</sup>; de éstos el 54 % se destinan para generación de energía. A partir de la década de los años 70, la construcción de embalses se promovió en cauces abajo de los 1000 m de altitud (Figura 1). Estos embalses tienen un área superficial cercana a 325 km<sup>2</sup>, un volumen de agua embalsado de 11518 Mm<sup>3</sup> y una producción de energía eléctrica efectiva de 8392 MW, de la cual cerca del 90 % es producida por veinte centrales hidroeléctricas, y de éstas el 84 % se encuentran dentro de la cuenca del río Magdalena-Cauca (Figura 2).

Con el fin de analizar el efecto de la formación de los embalses a lo largo del gradiente altitudinal en la cuenca



**Figura 1.** Cronología de la formación de embalses de acuerdo con su altitud (m) y la capacidad acumulada de generación (MW). En letras rojas, embalses que no generan energía.

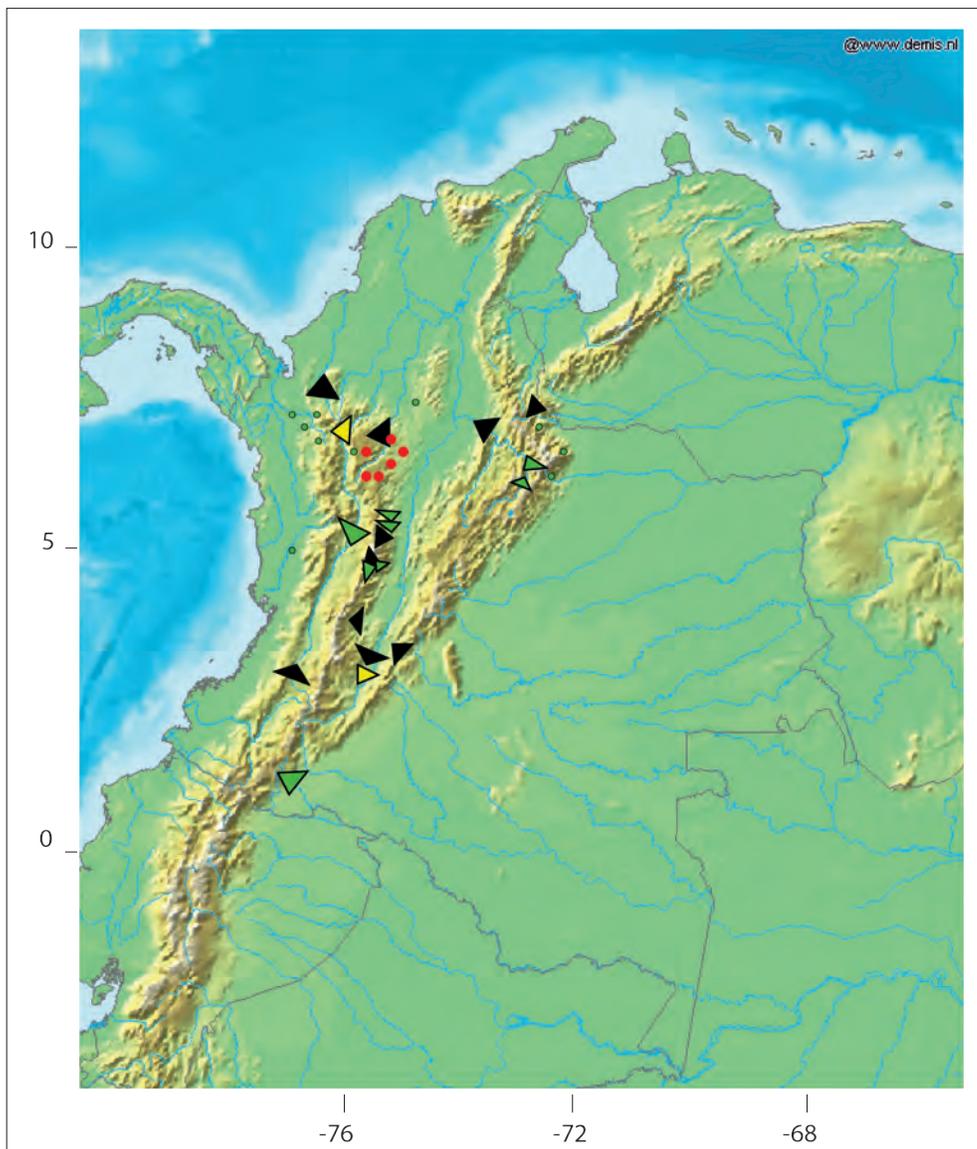
del río Magdalena-Cauca y la respuesta de la ictiofauna a la modificación de éste sistema acuático Andino se hizo una revisión de estudios de caso a nivel global sobre los cambios que los embalses generan sobre la ictiofauna dulceacuícola, se analizó la distribución altitudinal de las especies de peces y la posición de los embalses en la cuenca del río Magdalena-Cauca. A partir de allí se discuten las implicaciones que el desarrollo del sector hidroeléctrico tiene sobre la conservación de la ictiofauna presente en esta cuenca.

### Material y métodos

El análisis de la influencia del desarrollo del sector hidroeléctrico en la cuenca del río Magdalena-Cauca sobre la ictiofauna se basó en la distribución altitudinal de las especies y la ubicación de los embalses actuales y planeados. Dado que la distribución de las especies dulceacuícolas de la cuenca del río Magdalena-Cauca está fuertemente influenciada por la altitud y sus variables asociadas (Jaramillo-Villa et al. 2010), se utilizó la información de bases de datos publicadas

sobre la composición de especies de peces, su distribución altitudinal y su presencia en los embalses (Maldonado et al. 2008, Jiménez-Segura et al. 2010, Jiménez-Segura et al. 2013). La información sobre los embalses actuales y planeados al año 2027 (pe. altitud, coordenadas geográficas) fue obtenida de los informes de la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética), reportes técnicos encontrados en las páginas de internet de las empresas generadoras de energía, base de datos de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) y bases de datos de las Corporaciones Autónomas regionales.

Utilizando la distribución del número de especies de peces por clase de altitud (amplitud de 100 m), se definió dentro de cada sector del cauce modificado, el número de especies de peces totales esperadas, y con base en estas, se estimó el número de especies migratorias según lo reportado en Usma et al. (2013) y el número de especies endémicas basados en la distribución geográfica presentada en Eschmeyer y Fong (2014).



**Figura 2.** Localización geográfica de los embalses utilizados para generación de energía eléctrica en Colombia. Triángulos (capacidad de generación mayor a 100 MW), círculos (capacidad de generación menor a 100 MW); negro (embalses construidos), verde (embalses en estudio), amarillo (embalses en construcción).

Para definir las afectaciones que el uso del agua para generar energía eléctrica ha generado en la ictiofauna dulceacuícola a nivel global, se realizó una búsqueda de estudios de caso sobre el tema que estuvieran disponibles en internet. En total fueron revisados 300 documentos (86 % publicados en revistas científicas, 4 % reportes técnicos, 4 % capítulos de libros y 6 % tesis) provenientes de áreas geográficas en diferentes latitudes (55 % de zona intertropical,

33 % latitud norte, 13 % latitud sur) producidos entre los años 1975 y 2013. Los efectos reportados en los peces dulceacuícolas por la literatura revisada fueron agrupados en impactos. La frecuencia de ocurrencia de cada impacto fue estimada como el número de veces en que se reporta el impacto *i* respecto al número de casos a nivel global, y en cada una de las franjas latitudinales (latitud Norte, Latitud Sur, Trópico).

## Resultados

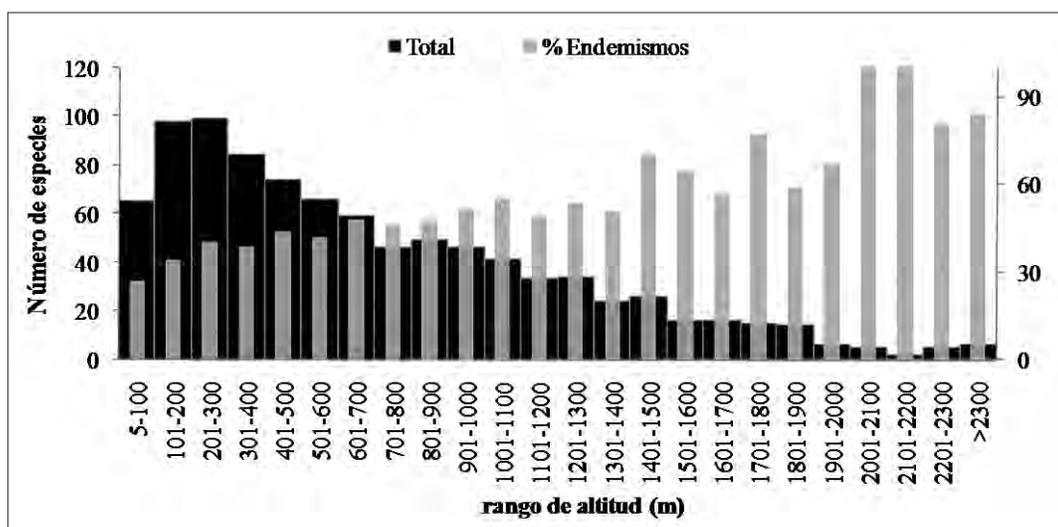
### Distribución altitudinal de la ictiofauna

El número de especies de peces en la cuenca del río Magdalena-Cauca cambia lo largo del gradiente altitudinal, los ensamblajes con mayor número de especies se encuentran en las menores altitudes. Sin embargo, a pesar de que el número de especies se reduce a medida que se incrementa la altura, el porcentaje de endemismos es directamente proporcional a la altitud (Figura 3).

Aunque el número de especies del ensamblaje es inverso a la altitud, este patrón presenta una disrupción, con un incremento a ciertas altitudes. En los ecosistemas acuáticos del río Magdalena que se encuentran entre los 5 y 100 m de altitud (p. e. ciénagas o lagos dentro del plano de inundación), se reportan hasta 62 especies; entre los 100 y los 300 m el número de especies puede llegar a 92, y arriba de los 2300 m los ensamblajes pueden estar conformadas por entre tres y seis especies. Entre los 5 y los 100 m de altitud, las ciénagas o lagos del plano inundable del río Magdalena y el Cauca, son hábitat de donde especies como *Cyphocharax magdalenae*, *Pimelodus blochii*, *Prochilodus magdalenae*, *Hoplosternum magdalenae* y *Astyanax magdalenae*, son dominantes en el sistema. A medida que aumenta la altitud, en los ríos andinos el ensamblaje está conformado por cerca de 100 especies donde especies como *Chaetostoma* spp., *Andinoacara*

*latifrons*, *Astyanax* spp y *Creagrutus magdalenae*, son representativas de este gradiente. Entre los 200 y 700 m, los géneros *Astroblepus*, *Trychomycterus*, *Lebiasina* y especies como *Brycon henni* caracterizan la ictiofauna, y se presentan entre 50 y 92 especies. En sistemas de corrientes de montaña entre los 1000 y los 1800 m de altitud, pueden encontrarse entre 20 y 30 especies, donde carácidos como *B. henni* y *Creagrutus* spp., y especies de los géneros *Astroblepus* y *Trychomycterus* son característicos. Arriba de los 1800 m el ensamblaje es pobre en especies y está representado por *Eremophilus mutissi*, especies del género *Grundulus* y *Lebiasina narinensis*.

El 15 % de las especies de la cuenca del río Magdalena-Cauca tienen un comportamiento migratorio. La altura mayor a la que se reportan ejemplares de individuos de especies migratorias como *Prochilodus magdalenae*, *Salminus affinis*, *Brycon moorei* e *Ichthyoelephas longirostris* son los 1500 m; aunque especies como la sabaleta *Brycon henni* pueden alcanzar los 2000 m. Dentro del grupo de los bagres (Familia Pimelodidae) especies del género *Pimelodus* como *P. grosskopfii*, pueden alcanzar los 900 m mientras que ejemplares de especies como *Pseudoplatystoma magdaleniatum* y *Sorubim cuspicaudus* no sobrepasan altitudes mayores a los 500 m.



**Figura 3.** Distribución altitudinal del número de especies de peces y del porcentaje de endemismos. Tomada y modificada de Jiménez-Segura et al. (2013)

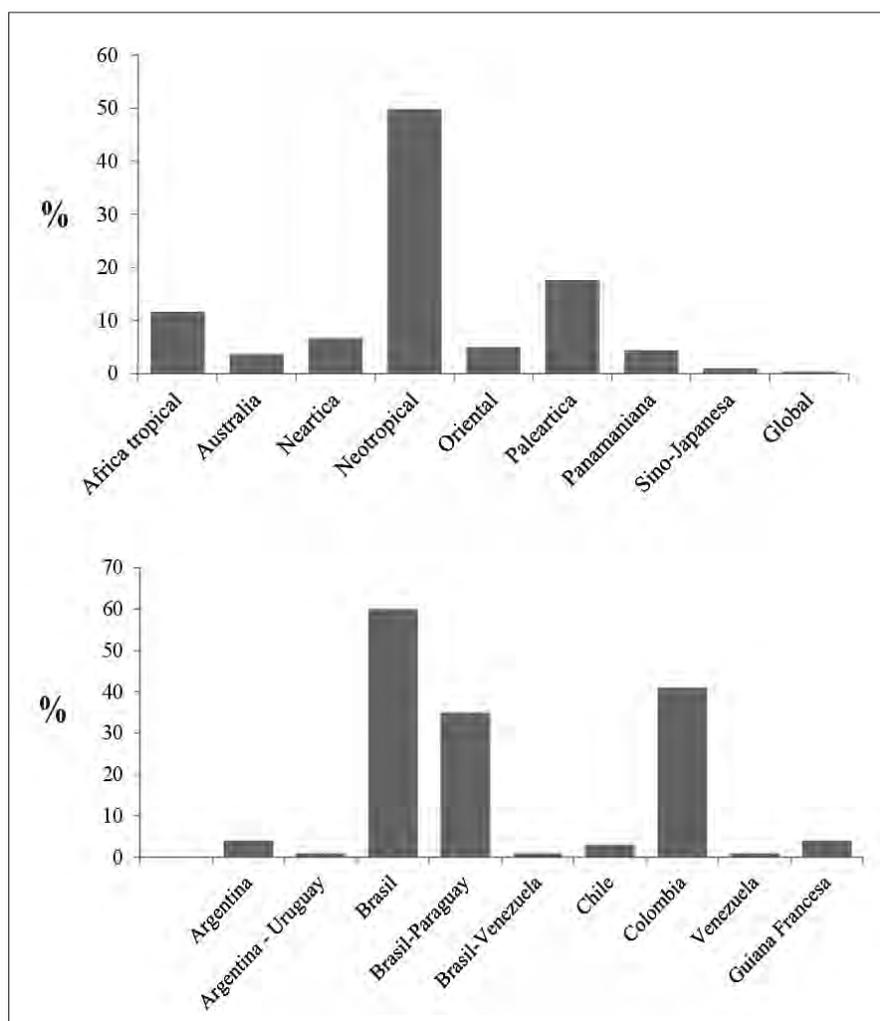
**La ictiofauna dulceacuícola y los embalses: revisión de estudios de caso**

El 50 % de los estudios de caso encontrados en internet fueron de la región neotropical. Dentro de ésta, el mayor número de trabajos provienen de Brasil y Colombia (Figura 4). Dentro de la región neotropical, Colombia es el país con el mayor porcentaje de reportes no publicados.

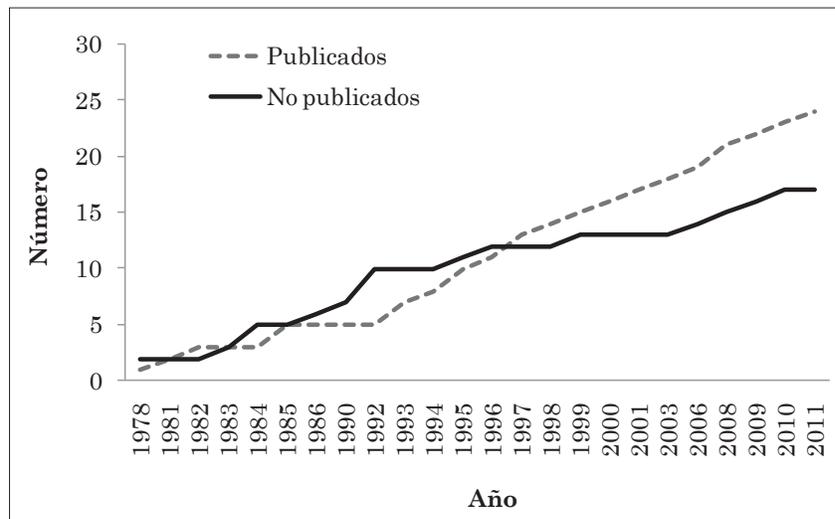
El conocimiento sobre los efectos de los embalses en Colombia ha venido creciendo en los últimos veinte años (Figura 5). La formación del embalse Betania en el año 1987 fue el disparador de las diferentes publicaciones encontradas. En los últimos cinco

años, aunque el número de reportes no publicados (literatura gris) continúa siendo importante, se ha reducido respecto a los publicados.

Los estudios de caso a nivel global reportan 35 efectos de los embalses sobre la ictiofauna dulceacuícola, basados en ellos identificamos diez impactos (Tabla 1). El cambio en las rutas de movimiento para las especies migratorias, el éxito de especies foráneas dentro del ensamblaje del embalse, el cambio en el ensamblaje de este sistema y el incremento en el conocimiento de la ictiofauna presente en los cauces modificados son los efectos más importantes (en términos del número) dentro de lo reportado a nivel global.



**Figura 4.** Número de trabajos encontrados (publicados y no publicados ) por región biogeográfica, y dentro de la región neotropical, por país. Las regiones biogeográficas siguen a Holt et al. (2013).



**Figura 5.** Distribución acumulada anualmente del número de estudios publicados y no publicados (literatura gris), en Colombia.

**Tabla 1.** Efectos que generan impactos sobre la ictiofauna, reportados en estudios de caso a nivel mundial y en Colombia debido a la formación de embalses para generación de energía eléctrica. El nombre del impacto (resultado de la interacción de los efectos) es resaltado en gris.

	Global	Colombia
<b>Cambio de la ruta de migración de peces</b>	<b>43</b>	<b>6</b>
Interrupción a rutas de migración de especies de peces de gran tamaño	9	2
Interrupción a rutas de dispersión y migración de especies de peces	34	4
<b>Cambio en el uso del hábitat por los peces dentro del embalse</b>	<b>15</b>	<b>2</b>
Características de los embalses influyen en la distribución de las especies que los habitan	15	2
<b>Cambio en la actividad pesquera de la cuenca</b>	<b>58</b>	<b>32</b>
Cambio en la actividad pesquera y en la productividad pesquera de la cuenca	58	32
<b>Cambio en la estructura del ensamblaje en embalse</b>	<b>128</b>	<b>16</b>
Acumulación de sustancias xenobióticas en embalse afecta reproducción de especies	2	0
Aislamiento de poblaciones de peces y reducción en el intercambio genético intra-población reduce la variabilidad genética de poblaciones aisladas dentro del embalse	1	0
Aumento en la abundancia de especies de escaso valor comercial favorecidas por condiciones lénticas del embalse	31	4
Calidad del agua del embalse afecta dinámica de poblaciones (crecimiento y talla)	8	0

*Cont. Tabla 1.* Efectos que generan impactos sobre la ictiofauna, reportados en estudios de caso a nivel mundial y en Colombia debido a la formación de embalses para generación de energía eléctrica. El nombre del impacto (resultado de la interacción de los efectos) es resaltado en gris.

	<b>Global</b>	<b>Colombia</b>
Cambio en la distribución de la biomasa de las especies dentro del embalse	2	0
Cambio en la oferta de alimento para la ictiofauna influye en el bienestar de los peces dentro del embalse	23	1
Cambio temporal en el ensamblaje dentro del embalse	7	0
Cambios en el ensamblaje (composición y disminución de la abundancia) del embalse	20	1
Depredación influye en biomasa de peces dentro del embalse	4	0
Embalse como área de crianza de algunas especies de peces	1	0
Incremento abundancia numérica de especies no nativas en el embalse	24	10
Incremento en la mortalidad de peces por disminución de oxígeno disuelto en el hipolimnio del embalse	1	0
Pérdida de hábitat dentro del embalse para nidificar debido a remoción de vegetación inmersa afecta el reclutamiento de algunas especies	2	0
Reducción de macrófitas afecta la estructura del ensamblaje dentro del embalse	1	0
Reducción en las poblaciones de peces migratorios dentro del embalse	1	0
<b>Cambio en la estructura del ensamblaje en río aguas abajo del embalse</b>	<b>54</b>	<b>0</b>
Cambios en la temperatura del agua afecta el desarrollo embrionario y modificación en el desarrollo ontogénico aguas abajo del embalse	7	0
Disminución de la riqueza aguas abajo del embalse	11	0
Disminución en la abundancia de las especies aguas abajo de la presa	8	0
Modificación en el reclutamiento de las poblaciones de especies debido a cambios en sus tácticas reproductivas aguas abajo del embalse	15	0
Modificación en el reclutamiento de poblaciones de especies debido a cambio en señales ambientales para desove asociadas con el cambio en tipo de pulso río abajo	11	0
Mortalidad por disminución de oxígeno disuelto aguas abajo del embalse	1	0
Reducción de la influencia del Pulso de caudal sobre el plano inundable genera Pérdida de áreas de crianza y alimentación para peces aguas abajo del embalse para peces aguas abajo del embalse	1	0
<b>Cambio en la pesquería dentro del embalse</b>	<b>21</b>	<b>2</b>
Manejo inapropiado de recursos pesqueros en el embalse	2	0
Reducción en poblaciones (abundancia y talla) de especies de interés pesquero en el embalse	17	2
Relación inversa en la CPUE de la pesca y el nivel del embalse	2	0

*Cont. Tabla 1.* Efectos que generan impactos sobre la ictiofauna, reportados en estudios de caso a nivel mundial y en Colombia debido a la formación de embalses para generación de energía eléctrica. El nombre del impacto (resultado de la interacción de los efectos) es resaltado en gris.

	Global	Colombia
<b>Incremento en el conocimiento científico de la ictiofauna</b>	<b>76</b>	<b>10</b>
Conocimiento de la ictiofauna (reporte de nuevas especies, estudios de riqueza, diversidad, dieta, reproducción)	76	10
<b>Mayor efectividad en la mitigación por afectación de la ictiofauna</b>	<b>21</b>	<b>10</b>
Desarrollo de nuevas tecnologías para mitigar efecto de embalses	6	0
Recuperación de variabilidad genética de la población de una especie nativa	15	10
<b>Modificación de las relaciones entre pescadores</b>	<b>6</b>	<b>2</b>
Conflictos con pescadores deportivos en el uso de los recursos pesqueros	6	2
<b>Modificación en el ciclo de nutrientes en la cuenca</b>	<b>3</b>	<b>0</b>
Retención de nutrientes en el embalse	1	0
Retención de nutrientes en el embalse afecta la producción agrícola en las zonas ribereñas aguas abajo del embalse	2	0

En Colombia, el mayor número ha sido respecto al cambio en la actividad y producción de la pesquería artesanal, y el cambio en la estructura del ensamblaje dentro del embalse.

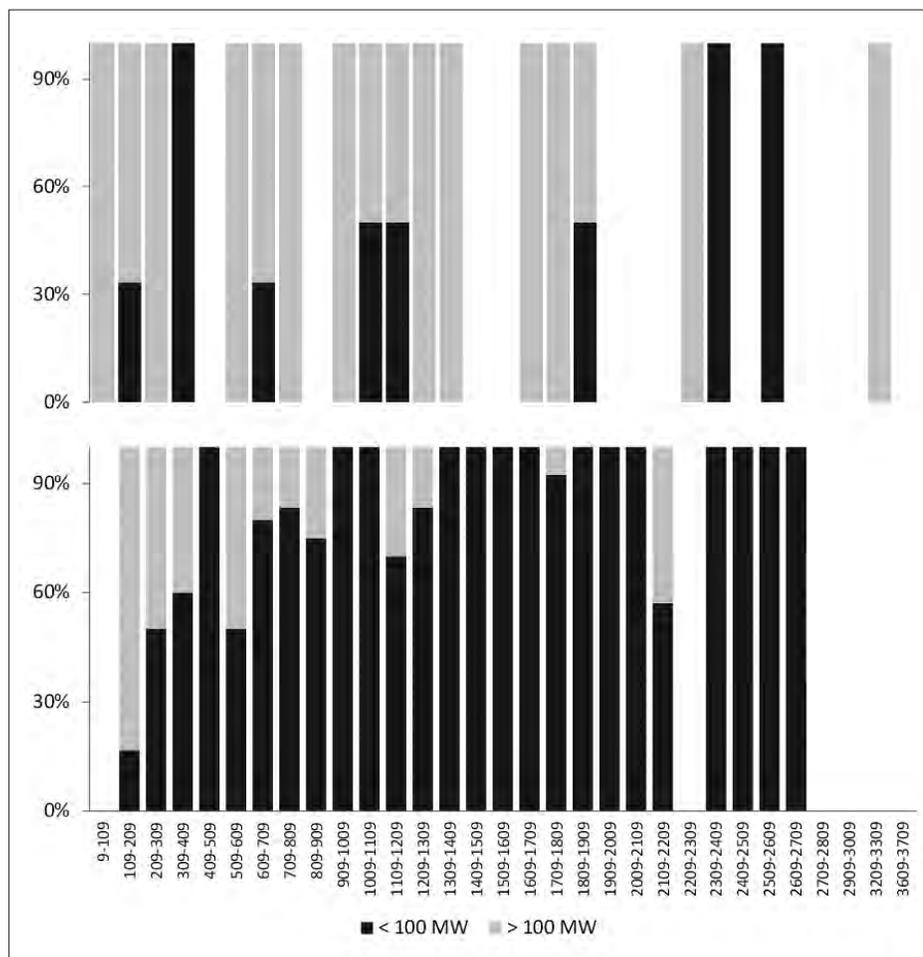
La modificación del ensamblaje original dentro del embalse, el mayor conocimiento de la ictiofauna y el cambio en la actividad pesquera, fueron los más frecuentes a nivel global, sin embargo fue diferente entre latitudes. En la región Norte fueron más importantes en términos de su frecuencia el conocimiento científico de su ictiofauna, y el cambio en el ensamblaje, tanto dentro del embalse como aguas abajo de él. En la región Sur, el cambio en el ensamblaje dentro del embalse y aguas abajo de él, y la modificación en las migraciones de peces fueron los más frecuentes. Y en la región tropical, el cambio en el ensamblaje dentro del embalse, el conocimiento científico de sus peces, así como el cambio en la actividad pesquera, fueron los más recurrentes (Figura 6). En Colombia el impacto más reportado en los estudios de caso es el cambio de la actividad pesquera y el cambio en el ensamblaje dentro del embalse. Los cambios del ensamblaje aguas abajo del embalse y la modificación en la distribución de

nutrientes en la cuenca no han sido reportados en los estudios de caso revisados.

### Perspectivas en el desarrollo del sector hidroeléctrico en la cuenca

Se obtuvieron datos de 240 embalses, de los cuales 14 % ya fueron construidos, 1 % está en construcción y 85 % en estudios. De los construidos, el 50 % tienen como única finalidad la generación de energía eléctrica y de los que se encuentran en construcción y en estudio, el 100 % y el 98 % serán para generar energía, respectivamente.

La capacidad instalada actual en los embalses es de 5522 MW, el 52 % se encuentra entre los 5-700 m de altitud, el 26 % entre los 700 y los 1300 y el 26 % arriba de los 1300 m. Al año 2027 el sector eléctrico planea alcanzar los 24000 MW. Para lograrlo están en estudios 205 embalses (174 de ellos con capacidad instalada menor a 100 MW) que se distribuyen a partir de los 100 m de altitud en la cuenca (48 % entre los 100 y 700 m de altitud, el 19 % entre los 700 y los 1300, y el 33 % arriba de los 1300 m) (Figura 7).



**Figura 7.** Distribución porcentual por intervalo de altitud (m) y capacidad instalada en embalses para generar energía eléctrica en la cuenca del río Magdalena-Cauca. Figura superior: construidos y en construcción, figura inferior: en estudio.

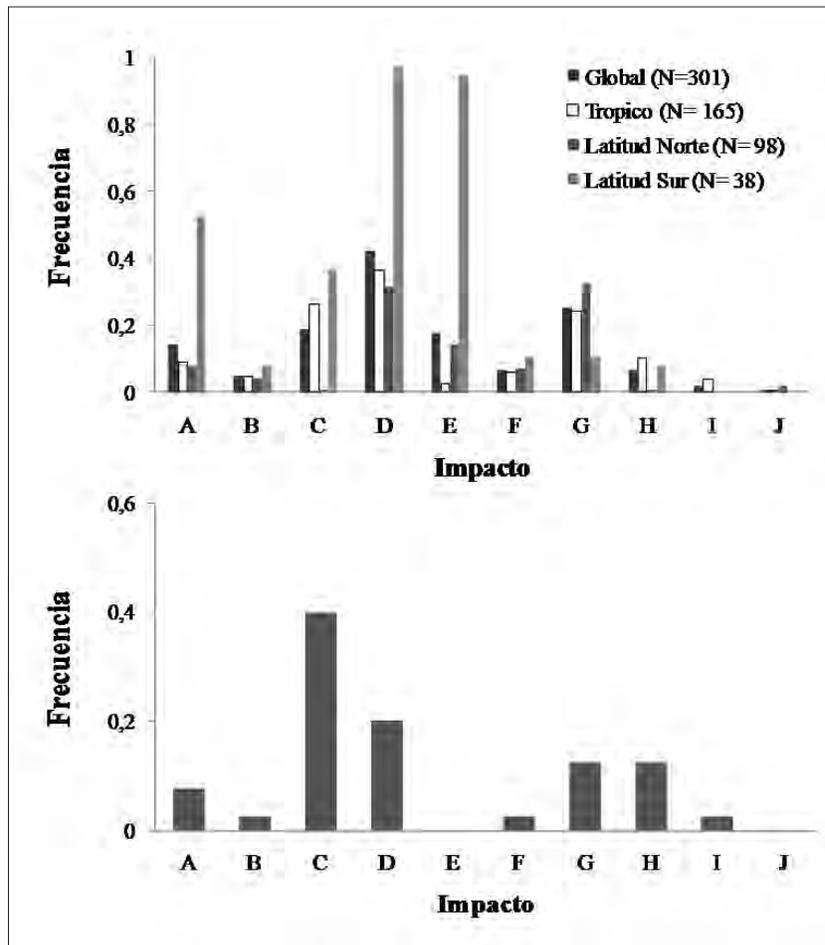
## Discusión

La capacidad para generar energía eléctrica en Colombia debe responder a los requerimientos energéticos del país, resultado de su crecimiento económico. La planificación del crecimiento económico en particular de los usuarios no regulados (grandes empresas) ha llevado a que el sector minero energético tenga dentro de su plan de desarrollo duplicar la capacidad de generación de energía para el año 2027 y así satisfacer la demanda futura (UPME 2014). Así que la formación de nuevos embalses es una prioridad para aumentar la capacidad instalada.

La formación de un embalse dentro del cauce de un río genera cambios significativos en su estructura física y

en su dinámica hidrológica, y como resultado de su interacción, en la biota que lo habita (Poff *et al.* 2007). Los cambios en la ictiofauna son de los más evidentes dado que muchas de sus especies son recurso proteico para la población humana y la modificación en la estructura del ensamblaje y en la oferta de peces, es rápidamente detectada por los pescadores (Agostinho *et al.* 2008, Hoeninghaus *et al.* 2009).

La distribución de la ictiofauna dulceacuícola en el gradiente altitudinal a lo largo de los cauces de los ríos en los Andes está fuertemente influenciada por la pendiente, la velocidad y temperatura del agua (Jaramillo-Villa *et al.* 2010), lo que conlleva la



**Figura 6.** Frecuencia de reporte de los impactos que generan la formación de embalses para la generación de energía eléctrica a nivel global (superior) y en Colombia (inferior). **A.** Cambio de la ruta de migración de peces. **B.** Cambio en el uso del habitat por los peces dentro del embalse. **C.** Cambio en la actividad pesquera de la cuenca. **D.** cambio en la estructura del ensamblaje en embalse. **E.** cambio en la estructura del ensamblaje en río aguas abajo del embalse. **F.** Cambio en la pesquería dentro del embalse. **G.** Incremento en el conocimiento científico de la ictiofauna. **H.** Mayor efectividad en la mitigación por afectación de la ictiofauna. **I.** Modificación de las relaciones entre pescadores. **J.** Modificación en el ciclo de nutrientes en la cuenca.

formación de ensamblajes de especies particulares a la altitud. Los sectores del cauce abajo de los 700 m de altitud son los más ricos en especies. En estos sectores la oferta de diferentes ambientes acuáticos es alta, se pueden encontrar desde pequeñas quebradas, ríos de cauce amplio y plano lateral generoso, hasta extensas áreas de lagos que recurrentemente son inundados por las crecientes del río (Maldonado *et al.* 2012). Aunque la gran variedad de ambientes acuáticos en estos sectores puede ser la causa de la

mayor riqueza de especies, esta es una hipótesis que requiere ser verificada.

A medida que se incrementa la altura, la temperatura del agua se reduce y la velocidad del agua aumenta, resultado de la mayor pendiente del cauce (Lewis 2008). Estas condiciones generan cambios en la composición del ensamblaje de especies peces y ya son más frecuentes especies de pequeño porte que han desarrollado estructuras que le permiten vivir en

dichos ambientes (Winemiller *et al.* 2008). La boca en forma de ventosa y fuertes aletas pectorales y pélvicas de especies del género *Astroblepus* y de la familia Loricariidae son de las características más evidentes y que se asocian con el tipo de ambiente acuático en el que habitan estas especies (Maldonado *et al.* 2005).

Los ensamblajes de especies de peces que están fuertemente asociados con las características del hábitat físico que se presenta en los cauces en altitudes por debajo de los 700 m, cambian temporalmente debido a la llegada de ejemplares de especies migratorias (Jiménez-Segura *et al.* 2014, en este número). Estas especies utilizan diferentes ambientes acuáticos durante sus periodos de vida así como en los momentos hidrológicos de la cuenca del río Magdalena-Cauca, siendo las lluvias y el nivel del agua de los ríos las principales señales ambientales para iniciar las migraciones (Jimenez-Segura *et al.* 2010). Cerca del 15 % de las especies de la cuenca tienen comportamiento migratorio y la mayoría de ellas son la base para la pesquería artesanal en Colombia (Lasso

*et al.* 2011). Algunas de las especies migratorias más conocidas son *Prochilodus magdalenae*, *Brycon moorei*, *Salminus affinis*, *Cyphocharax magdalenae*, *Triportheus magdalenae*, *Curimata mivartii*, *Leporinus muyscorum*, *Ichthyoelephas longirostris*, *Pimelodus blochii*, *Pseudoplatystoma magdaleniatum* y *Sorubim cuspicaudus* (Usma *et al.* 2013).

Durante las últimas cinco décadas, el conocimiento sobre la dinámica de las migraciones provenía del conocimiento de los pescadores y de los datos de producción de su captura. Ahora se cuenta con datos detallados que describen rutas, distancias y tiempos de migración. Basados en investigaciones inéditas a la fecha sobre periodos y lugares de desove de estas especies se ha encontrado que la migración se sucede entre cuatro ambientes acuáticos: ciénagas, caños de conexión entre las ciénagas y el cauce principal del río, el cauce principal del río Magdalena-Cauca, y los tributarios (Figura 8). En términos de la distancia de recorrido de peces marcados en el río La Miel o el río Sogamoso (cuenca media del río Magdalena), el

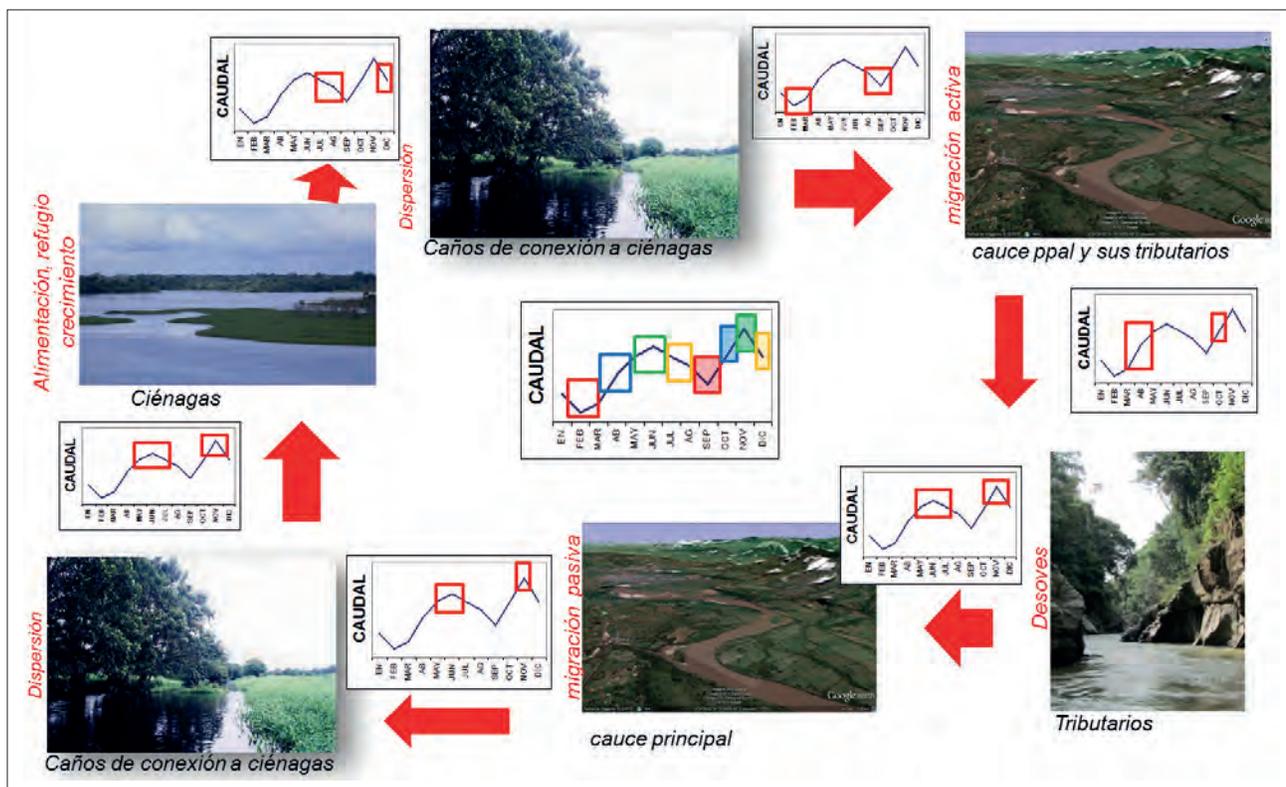


Figura 8. Ciclo de migración entre los diferentes sistemas acuáticos en la cuenca del río Magdalena-Cauca.

valor medio fue de 33 km pero el rango estuvo entre cero y un poco más de 1200 km, y esta amplitud se asoció con la especie. El reporte de la distancia promedio que recorren los ejemplares de *Salminus affinis* fue de 62 km, el de *P. magdalenae* de 34 km, el de *I. longirostris* de 26 km y el menor valor para *S. cuspidatus* de 0,8 km (López-Casas et al. 2013). Si se tiene en consideración la altitud máxima de migración reportada y la distancia total del cauce del río Magdalena abajo de los 700 m de altura es de 1542 km y la del río Cauca 1350, los valores reportados de movimiento de estos peces pueden ser considerados altos para *P. magdalena* (López-Casas et al. 2013) y como medios para la mayoría de las especies, tal y como ha sido planteado en Usma et al. (2013). Entonces durante cada periodo de aguas bajas o de aguas altas, los peces recorren aguas arriba y aguas abajo estas distancias a lo largo de los cauces de los ríos ó de los caños que comunican los cauces con las ciénagas.

Durante el periodo de aguas bajas, buena parte de los peces migratorios salen de las ciénagas debido a que las condiciones de hábitat se tornan desfavorables (p. e. baja concentración de oxígeno disuelto, alta temperatura del agua, reducción del área y de la profundidad, mayor depredación). En esta primera fase del ciclo de migración, aunque la mayoría de los peces se mueven desde la ciénaga hacia el cauce principal del río, algunos permanecen en los caños de conexión con el río o dentro la ciénaga. Durante la segunda fase los peces que salieron de la ciénaga hacia el cauce del río comienzan a moverse río arriba y a madurar sus gónadas. Muchos de estos peces ingresan a los tributarios y permanecen en ellos durante las aguas bajas. Una vez comienzan las lluvias, y con ellas el incremento en el nivel del agua, comienza la tercera fase: los peces que están en el cauce principal del río se mueven a los tributarios a desovar, así como los que permanecieron allí durante las aguas bajas. A medida que el caudal aumenta, los adultos y los embriones derivan hacia aguas abajo por el cauce principal del río, durante esta migración pasiva los embriones se incuban. Finalmente, la cuarta fase comienza cuando las crecientes hacen que el río se desborde e ingrese a las ciénagas, y con él, ingresan los adultos y sus larvas. En las ciénagas los peces encuentran refugio y alimento para crecer durante el periodo de aguas altas. En este momento el

ciclo de migración finaliza y se reiniciará nuevamente con la próxima reducción del nivel del agua.

Con base en el conocimiento que se tiene de la ictiofauna dulceacuícola de la cuenca del río Magdalena y de los efectos definidos por los estudios de caso sobre la respuesta de los peces ante la formación de un embalse en el cauce de un río, se puede analizar las implicaciones que el desarrollo del sector hidroeléctrico tiene y tendrá para la conservación de los peces en la cuenca del río Magdalena-Cauca, a la luz del gradiente altitudinal que se conoce en la estructura de los ensamblajes de peces.

El cambio en la estructura del ensamblaje ribereño original producto de la modificación que genera un embalse en las condiciones del sistema ribereño (flujo unidireccional, altas velocidades de agua, turbulencia) ha sido el cambio más reportado a nivel mundial y regional. Este cambio es producto de varios efectos que actúan sinérgicamente en el reclutamiento de las poblaciones de las especies ribereñas: la interrupción en la ruta de dispersión y migración, el cambio en la oferta de alimento, en las señales ambientales asociadas con la maduración y el desove, y en las condiciones que favorecen el crecimiento individual y reducen la depredación. En Colombia son pocos los estudios de caso que permitan dimensionar este cambio. Cala (1995) lo describió basado en los niveles tróficos del ensamblaje de peces en el embalse de Betania. Recientemente Álvarez y Jiménez-Segura (2014) encontraron que la ictiofauna remanente en los embalses del río Porce (localizados entre los 500 y los 900 m de altitud en la cuenca del río Cauca) (Figura 9), aunque conserva algunas de las especies del ensamblaje ribereño original, es pobre en especies (seis especies) y la presencia de especies exóticas es importante. De hecho, su abundancia permite sostener una productiva pesquería (EPM 2014). Adicionalmente, encuentra que la formación del embalse genera gradientes locales en la riqueza de especies, siendo las quebradas tributarias al embalse y el cauce del río con flujo continuo los que mayor número de especies albergan. Esto sugiere que un embalse rompe el gradiente altitudinal reportado (Jaramillo-Villa et al. 2010, Jiménez-Segura et al. 2013) y crea nuevos gradientes de riqueza dentro del área de influencia de los embalses.



**Figura 9.** Embalse Porce, cuenca del río Cauca. **a. b. y c.** Embalse Porce II. **d y e.** Embalse Porce III.

La pérdida del cauce embalsado así como el que esta aguas arriba del embalse como ruta de migración de ejemplares de especies migratorias, es otro de los efectos más recurrentes en los reportes a nivel mundial (Makrakis *et al.* 2012, Greathouse *et al.* 2006). La presencia de la presa fragmenta el continuo del río y elimina el sector del cauce localizado aguas arriba de ella, como ruta de movimiento río arriba de los peces que vienen desde el sector de aguas abajo (Esguicero y Arcifa 2010). Las descripciones realizadas por Agostinho *et al.* (2007) sobre las migraciones de peces desde los embalses hacía aguas arriba de éstos en el río Paraná, son resultado de la interacción entre la presencia de lagos dentro del plano lateral del cauce que está en el sector entre los embalse de Porto Primavera y el embalse de Itaipú a lo largo de un trecho de 200 km (Agostinho *et al.* 2004). Esto permite que existan sectores extensos del cauce asociados con bajas pendientes que facilitan la migración y el desove, así como lagos inundables que permiten el reclutamiento natural de las poblaciones. Esta situación ha permitido que luego de casi 30 años de desarrollo hidroeléctrico en el río Paraná aún persistan poblaciones de especies migratorias dentro de este sector embalsado del río.

En nuestro país, Pareja *et al.* (2014) han encontrado que en el sector del río Magdalena aguas arriba del embalse de Betania aún se observan desoves de especies migratorias. Entender los factores ambientales que permiten que los peces migren y encuentren las señales apropiadas para desovar en estos sectores aislados, así como el efecto de la barrera sobre el aislamiento en el flujo genético de las poblaciones, son temas que esta por conocerse en la cuenca.

En Colombia, la mayoría de los embalses para generar energía eléctrica se encuentran en tributarios al río Magdalena o al río Cauca, que drenan las regiones montañosas de los Andes y sus cauces son de fuerte pendiente (longitudinal y lateral) con un plano lateral poco desarrollado. Así que en su mayoría son embalses profundos, cuyo cauce arriba del embalse tiene fuerte pendiente y las ciénagas son inexistentes. El embalse en el río Sogamoso es una de las excepciones dado que se ubica en el sector del cauce entre el límite entre el sector medio que es montañoso

y, el sector bajo donde el cauce presenta plano lateral inundable la ciénaga El Llanito se localiza a 70 km de la presa. Los embalses de Betania y Salvajina así como los que se encuentran en construcción como El Quimbo y Pescadero-Ituango, difieren dentro del conjunto de embalses ubicados en los tributarios porque están directamente sobre el cauce principal de los ríos Magdalena y Cauca, y en algunos casos presentan plano lateral desarrollado y presencia de ciénagas arriba del embalse o aguas abajo de él. En el caso de Betania en el río Magdalena, la primera ciénaga (ciénaga de Guarinocito) se encuentra a 420 km de distancia de la presa. En el río Cauca las áreas cenagosas se encuentran a 50 km (sector El Congo) aguas abajo del embalse Salvajina, y el futuro embalse Pescadero-Ituango tiene áreas cenagosas 500 km aguas arriba (arriba de La Virginia, Risaralda) y 86 km aguas abajo. Entonces, la posición del embalse dentro de la cuenca y la posibilidad de que la pendiente del cauce favorezca la migración aguas arriba y que se den las condiciones para la incubación de los embriones producto de los desoves así como que existan rutas de migración alternativas aguas abajo y se conserven ciénagas conectadas al cauce, serán factores fundamentales para que las poblaciones de especies migratorias persistan en estas cuencas reguladas.

López-Casas *et al.* (2014) encontraron en el río La Miel (cuenca del río Magdalena), que si bien la presa del embalse Amaní-central Miel I actúa como barrera a la migración, los peces migratorios ingresan por los túneles de descarga del agua turbinada, permanecen en la caverna de oscilación y pueden retornar rápidamente de nuevo al cauce del río (al menos un día), para dirigirse a otros ríos de flujo libre como rutas de migración alternativas. Esta estrategia también ha sido reportada por en cauces de ríos brasileros aguas abajo de las presas (Antonio *et al.* 2007). Dada la diversidad geomorfológica de las cuencas donde se encuentran los embalses colombianos, las rutas y distancias que logran migrar los peces aguas arriba del embalse donde quedaron atrapados luego del aislamiento es aún un tema por conocer en nuestro país.

Si bien, la modificación en la estructura del ensamblaje aguas abajo del embalse, es un cambio poco frecuente

en los estudios de caso encontrados a nivel global, en Colombia no se encontraron estudios de caso visibles, al menos en internet. Jiménez-Segura *et al.* (2014) afirmaron que la estructura del ensamblaje de peces del río La Miel aguas abajo de la descarga de turbinas no había tenido cambios importantes en su riqueza y diversidad durante los últimos nueve años debido a que existe un tributario importante (río Samaná), que no ha sido intervenido para el desarrollo hidroeléctrico. Esto permite que sea una ruta de migración alternativa y que dado que tiene caudal similar al del río la Miel, sirva como amortiguador de las condiciones generadas por los cambios diarios en el nivel del agua que genera la operación de la central hidroeléctrica Miel I. De Fex y Jiménez-Segura (2011) encontraron que a cambios diarios en el nivel del agua asociados a la operación (conocidos como “hydropeaking”), modifican el desarrollo de las células de la hipófisis (gonadótropos) que regulan la maduración del tejido gonádico en *Prochilodus magdalenae*, cambiando así el proceso fisiológico que lleva a la maduración y al desove de ésta especie en el río La Miel, el cual en condiciones naturales es desencadenado por la interacción entre la reducción en el brillo solar, el cambio ascendente y sostenido en el nivel del agua, la reducción en la conductividad y el incremento en la turbidez (Jiménez-Segura 2007).

Las montañas de los Andes emergieron hace ocho millones de años y con ella la conformación de las cuencas de ríos suramericanos que drenan hacia el nor-occidente y hacia la región amazónica (Lundberg *et al.* 2003). Los suelos andinos son recientes dado que están formados por depósitos del Cuaternario y son de fácil erosión; es por ello que los ríos suramericanos de origen andino se caracterizan por presentar las mayores cargas de sedimentos a nivel global (Restrepo *et al.* 2005). Los sedimentos viajan río abajo y se depositan periódicamente en los planos laterales durante los periodos de máximas crecientes. La modificación en la distribución de nutrientes asociados con los sedimentos aguas abajo de los embalses es otro de los impactos reportados a nivel mundial (Childs 2010). Vörösmarty *et al.* (2003) estima que los embalses construidos a esa fecha en la cuenca Magdalena-Cauca retienen entre el 20 y el 40 % de los sedimentos producidos por la cuenca. Restrepo (2003) demuestra una reducción evidente en la carga de sedimentos de los

ríos Magdalena, Nare y Bogotá, luego de la formación de los embalses (Betania en el río Magdalena; Neusa, Tominé, Chuza, San Rafael en el río Bogotá; El Peñol, Jaguas, San Lorenzo y Punchina en el río Nare). Al ser retenidos los sedimentos en el embalse, el agua que pasa por las turbinas y que se descarga aguas abajo de la presa tendrá menor carga de sedimentos y con ello mayor capacidad de abrasión. Esta particularidad toma importancia en el balance hidrológico entre el cauce y el plano lateral aguas abajo de la presa, especialmente en aquellos cauces cuyo sustrato está conformado por partículas finas (limos, arcillas), en los que el plano lateral es inundado periódicamente por las crecientes y que tienen presencia de ciénagas. En cuanto mayor sea la retención de sedimento, mayor será la capacidad de abrasión del agua turbinada (Petts 1984, Gordon y Meentemeyer 2006). Esto llevará a que el sustrato sea fácilmente removido, el cauce aumente su profundidad progresivamente y las márgenes se erosionen (Childs 2010). El incremento en la profundidad (socavación del lecho) llevará a que la conexión hidrológica con el plano lateral se reduzca debido a que los incrementos en el nivel del agua (ya regulados por la operación de la central), no tendrán la capacidad de desbordar el cauce y llevar el agua hacia el plano lateral. Así, las ciénagas perderán paulatinamente su conexión con el cauce principal. Aunque este proceso aún no ha sido reportado en Colombia, el estado actual de sedimentación del caño de conexión río Sinú-ciénaga de Lorica (obs. Pers.) puede ser resultado de la reducción en la influencia temporal que tenía el río Sinú en ésta área de crianza debido a la posible de la socavación del lecho del río y la reducción en la magnitud de las crecientes que ha generado el embalse Urrá II.

La interacción entre la retención de sedimentos que hacen los embalses, la estructura del lecho de cauces aguas abajo de las presas y la conectividad hidrológica entre el cauce principal y su plano lateral, es un proceso que debe ser analizado con mayor detalle teniendo en cuenta que puede generar una de las mayores afectaciones en la sobrevivencia de las larvas de peces migratorios y con ello reducir el reclutamiento de sus poblaciones. En la cuenca del río Magdalena-Cauca buena parte de los embalses ya construidos antes de 1990 se encuentran localizados en los sectores alto y medio de la cuenca tributaria.

En los sectores altos, los cauces presentan sustratos conformados principalmente por partículas gruesas (gravas, rocas) que reducen la capacidad de socavación del lecho, así como un plano lateral poco desarrollado y ausencia de ciénagas. Estas condiciones han permitido que el análisis del efecto de los embalses sobre el balance en la conexión hidrológica con su plano lateral no haya sido analizado. Sin embargo, la reciente construcción y formación de embalses en tributarios (p. e. en el río Sogamoso y en el bajo río Cauca), que presentan en el sector bajo de sus cuencas extensos planos laterales inundables y ciénagas, hace que el análisis tome la mayor importancia, dado que la interacción entre la reducción en la magnitud de las crecientes y la socavación del lecho en los cauces aguas abajo de la presa creará un efecto sinérgico negativo en la conectividad cauce-plano lateral. En términos biológicos, se puede perder el acceso de las larvas de peces migratorios (que vienen derivando a lo largo del cauce y desde los lugares de desove) a sus zonas de desarrollo y protección. Esto será definitivo en el estado de las poblaciones de peces migratorios y de paso, en la producción pesquera de la cuenca Magdalena-Cauca.

El recurso pesquero reofilico en la cuenca Magdalena-Cauca posee importancia a nivel económico y social para las comunidades de pescadores, especialmente en las partes medias y bajas de la cuenca, y en particular aquellas asociadas a planicies inundables. Cuarenta especies nativas son aprovechadas por la pesca artesanal y se ha estimado que el valor del total del producto pesquero comercializado en la cuenca alcanza \$368.853 millones de pesos colombianos al año; recursos generados por más de 32.798 pescadores y aproximadamente 157.000 personas que dependen del recurso pesquero para su subsistencia y seguridad alimentaria (Valderrama et al. 2014 en prensa). La captura de las especies migratorias es la más significativa. Los desembarques de pescado en el año 2013 en los principales centros de acopio (AUNAP-Universidad del Magdalena 2014) estuvieron representados en un 69 % por nueve especies migratorias como *Prochilodus magdalenae* (23,2 %), *Pseudoplatystoma magdaleniatum* (17,5 %), *Pimelodus blochii* (11,7 %), *Sorubim cuspicaudus* (9,3 %), *Leporinus muyscorum* (6,4 %), *Pimelodus grosskopfii* (1,3 %) y menores a 1 % *Icthyoelephas*

*longirostris*, *Brycon moorei* y *Salminus affinis*. En los embalses ubicados por debajo de los 1000 m de altitud, aunque el aporte de las especies migratorias es poco, la producción pesquera alcanza 2180 ton. año<sup>-1</sup>, se basa en especies foráneas como las del género *Coptodon*, y se estima que hay cerca de 2010 pescadores que dependen económica y socialmente de un espejo de agua embalsado cercano a las 28954 ha (Valderrama et al. 2014 en prensa).

Si bien los registros de captura de la pesca artesanal en la cuenca del río Magdalena-Cauca sufren de sesgos asociados con el método usado, existe una tendencia negativa de reducción de los desembarcos y/o capturas, reportada a nivel general por los pescadores. Esta situación es generalizada a nivel mundial en las pesquerías de las aguas dulces y en la pesca marina (FAO 2014). En 1998, Pauly en su clásica publicación *Fishing down in the food web* afirmó que la pesquería había sufrido un cambio significativo en el nivel trófico de las poblaciones que usaba. Se pasó de la explotación hasta el agotamiento de poblaciones de especies piscívoras, de mayor tamaño y altas fecundidades, a especies de niveles tróficos menores (omnívoros, detritívoros), de menor tamaño y menores fecundidades (Pauly et al. 1998). Esto también ha sucedido en la captura de los pescadores en la cuenca del río Magdalena-Cauca. Las especies objetivo hace cuatro décadas eran los grandes depredadores como *Pseudoplatystoma magdaleniatum*, *Salminus affinis* y *Sorubim cuspicaudus*; actualmente la pesca es sostenida en un 90 % por el detritívoro *Prochilodus magdalenae*. Es importante resaltar que a pesar de que la sobrepesca ha sido en parte responsable de la reducción en las poblaciones de peces de los mayores niveles tróficos, la modificación de los sistemas acuáticos es mucho más eficiente en su deterioro dado que afecta directamente la sobrevivencia de sus primeros periodos de vida (embriones y larvas), y de paso su reclutamiento y lo que en su conjunto es definitivo para definir el tamaño de la población. En esto, el desarrollo del sector minero-energético (embalses, minería aluvial), así como el desarrollo del sector agropecuario en las áreas cenagosas, tienen responsabilidad, dado que su crecimiento está basado en la modificación de los sistemas acuáticos que son importantes para el sostenimiento de las poblaciones de peces en el tiempo.

A pesar de que Colombia es uno de los países del Neotrópico con mayor número de estudios de caso sobre embalses, cerca del 50 % no han sido publicados y muchos de ellos se han concentrado en caracterizar el cambio de la actividad pesquera y en el conocimiento de la ictiofauna. Con la formación de un embalse, la primera y más evidente respuesta son las características de la pesquería artesanal: sus especies objetivo, los aparejos de pesca, la inversión económica y la temporalidad. En el embalse, los pescadores que anteriormente usaban el río buscan aquellos peces de especies migratorias que quedaron atrapados pero en primera instancia deben cambiar sus métodos de pesca ya que sus atarrayas y redes de arrastre no son efectivas en un sistema de grandes profundidades y zona litoral poco desarrollada. A medida que avanzan los años, dado que no hay reclutamiento de estas especies dentro del embalse, las especies objeto de pesca pasan a ser diferentes. Ahora usaran aquellas a las que le son favorables las condiciones del nuevo sistema: generalmente especies de pequeño porte, bajas fecundidades y bajo valor comercial. Aunque son especies por las cuales reciben menos recursos, el balance económico se logra al considerarse que las jornadas de pesca requieren una baja inversión (p. e. redes de espera, movilidad a remo, ausencia de carnada) y a que hay una oferta permanente de estas especies ya que su disponibilidad no se asocia con los periodos hidrológicos. Por el contrario, aguas abajo el embalse la pesca basada en especies migratorias persiste. Sin embargo, las nuevas características que le impone al río el cambio en el nivel del agua generado por la turbinación hacen que la inversión en la jornada de pesca sea alta (p. e. mayor inversión en combustible, menor efectividad de los aparejos de pesca) (López-Casas *et al.* 2013). A esto se le suma la reducción en la oferta de peces a lo largo del tiempo debido al deterioro de los sistemas acuáticos. La situación ha llevado a que la actividad del pescador sea menospreciada por la sociedad, y que el paso de su conocimiento y cultura a las siguientes generaciones se ponga en riesgo dado que los padres evitan que sus hijos los acompañen en sus jornadas de pesca.

La proyección en el desarrollo de embalses como proveedores de energía hidroeléctrica no es un buen augurio para la conservación de la ictiofauna dulceacuícola presente en la cuenca Magdalena-Cauca. La distribución altitudinal potencial de los

embalses a lo largo del eje altitudinal de los cauces en la cuenca (Figura 10), generará impactos acumulativos a lo largo de la cuenca que afectarán no sólo a las poblaciones de especies migratorias sino a aquellas endémicas que se encuentran en cauces arriba de los 1300 m. Es por ello que es prioritario aportar a la planificación del desarrollo del sector energético la información biológica relevante que permita reducir los efectos que puede ocasionar el desarrollo tal y como se ha planteado por sector energético en nuestro país. La generación de conocimiento biológico proveniente de iniciativas de investigación desde las empresas del sector hidroeléctrico han sido definitivas para lograrlo.

Las empresas del sector eléctrico en Colombia desarrollan múltiples e innovadoras estrategias de manejo que buscan prevenir, compensar y mitigar los impactos. El rescate y traslado de peces, el monitoreo a las migraciones de peces, la restauración física de sistemas acuáticos, el diseño de caudales “ambientales” y el repoblamiento son algunas de las más utilizadas. Su descripción y análisis pueden ser objeto de una nueva publicación sobre el tema dada la diversidad de acciones que se vienen desarrollando. A pesar de estas valiosas iniciativas, los embalses son uno de los factores, que de manera sinérgica interactúan con otros muchos que se observan en la cuenca (p.e. sobrepesca, minería fluvial, contaminación del agua, deforestación, avance del sector agropecuario sobre las ciénagas, entre otros) y que afectan el estado de conservación de los peces en la cuenca del río Magdalena-Cauca.

Se puede afirmar que el desarrollo del sector eléctrico basado en el uso del agua de los ríos andinos han aportado al cambio los sistemas acuáticos dulceacuícolas y ha reorganizado la estructura de los ensamblajes de especies, en particular de aquellos presentes en los embalses. La perspectiva de progreso en la generación de hidro-energía tendrá una fuerte influencia en la conformación de los ensamblajes de especies de peces asociados con el intervalo altitudinal y en los sistemas acuáticos que permiten el reclutamiento de las especies migratorias. Aquellos embalses construidos arriba de los 700 m de altitud modificarán sectores del cauce donde habitan especies de pequeño porte, y aunque no representan gran interés como recurso proteico para la población colombiana,



más del 80 % de estas especies son endémicas de la cuenca, por lo que tendría un gran impacto en la conservación de la biodiversidad y el correcto funcionamiento de los sistemas, ya que su presencia allí es resultado de miles de años de evolución. Por su parte, los embalses cuya construcción es aguas abajo de los 700 m, influirán negativamente en el reclutamiento de las poblaciones de especies migratorias, que son las que sostienen la actividad pesquera en la cuenca Magdalena-Cauca.

La sociedad colombiana debe tomar conciencia de que su crecimiento así como su desarrollo tiene consecuencias en la conservación de los sistemas naturales. La pesca es un servicio ecosistémico que debe ser garantizado a los pobladores ribereños, así como a la sociedad colombiana. La oferta de peces para los pescadores artesanales depende del bienestar y conectividad de los sistemas acuáticos en la cuenca Magdalena-Cauca como un todo, así que es prioritario que todos los sectores productivos de nuestro país confluyan en un gran esfuerzo para desarrollar estrategias que eviten efectivamente su deterioro.

## Agradecimientos

La autora principal agradece a las empresas Isagen S. A. E.S.P. y a Empresas Públicas de Medellín EPM por su interés en conocer la respuesta de los peces a la modificación en que se incurre al construir un embalse. Varios de los artículos, tesis de pregrado y maestría citados son producto de convenios de cooperación para la investigación sobre este tema entre éstas empresas y la Universidad de Antioquia (Convenio Isagen S.A.-Universidad de Antioquia No. 46/3296. Convenio EPM-Universidad de Antioquia No. 2011-000558).

## Literatura citada

Abell, R., M. Thieme, C. Revenga, M. Bryer, M. Kottelat, N. Bogutskaya, B. Coad, N. Mandrak, S. Contreras-Balderas, W. Bussing, M. Stiassny, P. Skelton, G. Allen, P. Unmack, A. Naseka, N. Sindorf, J. Robertson, E. Armijo, J. Higgins, T. Heibel, E. Wikramanayake, D. Olson, H. López, R. Reis, J. Lundberg, M. Sabaj Pérez y P. Petry. 2008. Freshwater ecoregions of the World: a new map of biogeographic units for Freshwater Biodiversity Conservation. *BioScience* Vol 58 (5): 403-414.

Albert J., P. Petri y R. Reis. 2011. Major biogeographic and phylogenetic patterns. Pp: 21-56. *En*: Albert J. y R. Reis (Eds.). Historical biogeography of Neotropical freshwater fishes. University of California Press. Londres, Inglaterra.

Alvárez J. y L. F. Jiménez-Segura. 2014. Ictiofauna en embalses en cascada: el caso del río Porce. Tesis de maestría. Instituto de Biología, Universidad de Antioquia. 60 pp.

Agostinho, A. A., L. C. Gomes, S. M. Thomaz y N. S. Hahn. 2004. The Upper Paraná river and its floodplain: main characteristics and perspectives for management and conservation. Pp. 381-393. *En*: Thomaz, S. M., A. A. Agostinho y N. S. Hahn (Eds.). The Upper Paraná River and its floodplain: physical aspects, ecology and conservation. Leiden. Backhuys Publishers.

Agostinho, A. A., F. M. Pelicice y L. C. Gomes. 2008. Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. *Brazilian Journal of Biology* 68 (4): 1119-1132

Agostinho, A. A., L. C. Gomes y F. M. Pelicice. 2007. Ecología e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil. Maringa. EDUEM. 501 pp.

Antonio, R. R., A. A. Agostinho, F. M. Pelicice, D. Bailly, E. K. Okada y J. H. Pinheiro-Dias. 2007. Blockage of migration routes by dam construction: can migratory fish find alternative routes?. *Neotropical Ichthyology* 5 (2): 177-184

Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP) y Universidad del Magdalena. 2014. Base de datos de estadísticas pesqueras en la cuenca Magdalena-Cauca. Año 2013. Bogotá, Colombia (archivo digital).

Avakyan, A. B. y V. B. Lakovleva. 1998. Status of global reservoirs: The position in the late twentieth century. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*: 3: 45-52.

Cala, P. 1995. Niveles tróficos de los peces más abundantes de la represa de Betania, alto río Magdalena, Colombia. *Acta Biológica Venezuelica* 16: 47-53

Childs, M. 2010. Literature survey: impacts of dams on river channel geomorphology. Departamento de Geografía. Universidad de Hull, Reino Unido. 31 pp.

De Fex, D. y L. F. Jiménez-Segura. 2011. Respuesta endocrina de *Prochilodus magdalenae* (Steindachner 1879) a cambios en el pulso de caudal en el río La Miel. Trabajo de grado. Universidad de Antioquia. 78 pp.

Empresas Públicas de Medellín EPM. 2014. 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 Final. Fundación Humedales-EPM, Contrato CT-00087-2011. 38 pp.

- Eschmeyer, W. y Fong. 2014. Catalog of fishes. <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp> (fecha de consulta: 24 de septiembre de 2014).
- Esguícero, A. L. H y M. S. Arcifa. 2010. Fragmentation of a neotropical migratory fish population by a century-old dam. *Hydrobiologia* 638: 41-53.
- Finer, M. y C.N. Jenkins. 2012. Proliferation of hydroelectric dams in the Andean Amazon and implications for Andes-Amazon connectivity. *PLoS ONE* 7(4): e35126. doi:10.1371/journal.pone.0035126.
- Food and Agriculture Organization - FAO. 2014. Estado mundial de la pesca y la acuicultura 2014, oportunidades y desafíos. Organización de las Naciones Unidas para la Pesca y la Acuicultura. 253 pp.
- Galvis, G. y J. I. Mojica. 2007. The Magdalena River freshwater fishes and fisheries. *Aquatic ecosystem health and Management* 10 (2): 127-139.
- Gordon B. G. y R. K. Meentemeyer. 2006. Efectos of dam operation and land use on stream channel morphology and riparian vegetation. *Geomorphology* 83: 412-429.
- Greathouse, E. A., C. M. Pringle y J. G. Holmquist. 2006. Conservation and management of migratory fauna: dams in tropical streams of Puerto Rico. *Aquatic conservation: Marine and freshwater ecosystems* 16: 695-712.
- Hoeinghaus, D. J., A. A. Agostinho, L. C. Gomes, F. M. Pelicice, E. K. Okada, J. D. Latini, E. A. Kashiwaqui y K. O. Winemiller. 2009. Effects of river impoundment on ecosystem services of large tropical rivers: Embodied Energy and Market Value of Artisanal Fisheries. *Conservation Biology* 23 (5): 1222-1231.
- Holt, B. G., J. P. Lessard, M. K. Borregaard, A. F. Fritz, M. B. Araújo, D. Dimitrov, P. H. Fabre, C. H. Graham, G. R. Graves, K. A. Jönsson, D. Nogués-Bravo, Z. Wang, R. J. Whittaker, J. Fjeldså y C. Rahbek. 2013. An Update of Wallace's Zoogeographic Regions of the World. *Science* 339: 74-77.
- Jaramillo-Villa, U., J. A. Maldonado-Ocampo y F. Escobar. 2010. Altitudinal variation in fish assemblage diversity in streams of the central Andes of Colombia. *Journal of Fish Biology* 76: 2401-2417.
- Jiménez-Segura, L. F. 2007. Ictioplancton y reproducción de los peces en la cuenca media del río Magdalena (sector de Puerto Berrio, Antioquia). Tesis doctoral, Universidad de Antioquia. 257 pp.
- Jiménez-Segura, L. F., J. Palacio y R. Leite. 2010. River flooding and reproduction of migratory fish species in the Magdalena River basin, Colombia. *Ecology of Freshwater Fish* 19: 178-186.
- Jiménez-Segura L. F., R. Álvarez-León, F. Gutiérrez-Bonilla, S. Hernández, M. Valderrama y F. Villanavarró. 2011. La pesca y los recursos pesqueros en los embalses colombianos. Pp. 233-282. *En*: Lasso, C. A., F. de Paula Gutiérrez, M. A. Morales-Betancourt, E. Agudelo, H. Ramírez-Gil y R. E. Ajiaco-Martínez (Eds.). II. Pesquerías continentales de Colombia: cuencas del Magdalena-Cauca, Sinú, Canalete, Atrato, Orinoco, Amazonas y vertiente del Pacífico. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia.
- Jiménez-Segura, L. F., A. Arango, M. I. Ríos y C. García-Alzate. 2013. Distribución altitudinal de la ictiofauna en un río transandino en el norte de Suramérica. *En*: Memorias del XII Congreso colombiano de ictiología y III Encuentro Suramericano de ictiólogos. Universidad Javeriana, ACICTIOS.
- Jiménez-Segura, L. F., J. Maldonado-Ocampo y C. Pérez. 2014. Gradiente de recuperación longitudinal en la estructura de la ictiofauna en un río andino regulado. *Biota Colombiana* 15 (2): 61-80.
- Ledec, G. y J. D. Quintero. 2003. Good and bad dams, environmental criteria for site selection of hydroelectric projects. Banco Mundial Región Latinoamérica y el Caribe. Sustainable Development Working Paper No. 16. 30 pp.
- Lewis, W. M. 2008. Physical and chemical features of tropical flowing waters. Pp. 1-21. *En*: Tropical Stream Ecology. Dudgeon D. (Eds.). Academic Press, London.
- Liermann, R. C., C. Nilsson, J. Robertson e Y. Ng R. 2012. Implications of dam obstruction for global freshwater fish diversity. *BioScience* 62 (6): 539-548.
- López-Casas, S., L. F. Jiménez-Segura, A. A. Agostinho, M. Petrere Jr. y C. Pérez. 2012. Flow Regulation and Fishery Catch in La Miel River (Magdalena Basin, Colombia). *En*: Proceedings of 9th International Symposium on Ecohydraulics. Julio 2012, Austria.
- Lasso, C. A., F. de Paula Gutiérrez, M. A. Morales-Betancourt, E. Agudelo, H. Ramírez-Gil y R. E. Ajiaco-Martínez (Eds.). 2011. II. Pesquerías continentales de Colombia: cuencas del Magdalena-Cauca, Sinú, Canalete, Atrato, Orinoco, Amazonas y vertiente del Pacífico. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 304 pp.
- López-Casas, S., Jiménez-Segura L. F. y C. Pérez. 2014. Peces migratorios en la caverna de oscilación de una Central Hidroeléctrica: Caso Miel I (Caldas-Antioquia). *Biota Colombiana* 15 (Especial Embalses y ríos regulados): 28-41.
- López-Casas, S., L. F. Jiménez-Segura, F. Villa-Navarro, C. Pérez, D. M. Gualtero-Leal y V. J. Angel-Rojas. 2013. Peces potádamos migratorios en la cuenca del río Magdalena. Pp. 22. *En*: Memorias del XII Congreso

- Colombiano de Ictiología y III Encuentro Suramericano de Ictiólogos. Pontificia Universidad Javeriana, 52 pp.
- Lundberg, J. G., L. G. Marshall, J. Guerrero, B. Horton, M. C. Malabarba y F. Wesselingh. 1998. The stage of the neotropical fish diversification: A history of tropical South American Rivers. Pp 13-48. *En*: Malabarba, L., R. Reis, R. Vari, Z. Lucena y C. Lucena (Eds.). Phylogeny and classification of neotropical fishes. EDIPUCRS. Porto Alegre, Brasil.
- Maldonado-Ocampo, J., R. Vari y J. S. Usma. 2008. Checklist of the freshwater fishes in Colombia. *Biota Colombiana* 9: 143-237.
- Pauly, D., V. Christensen, J. Dalsgaard, R. Froese y F. Torres Jr. 1994. Fishing Down Marine Food Webs. *Science* 279 (5352): 860-863.
- Petts, G. E. 1980. Long-term consequences of upstream impoundment. *Environmental Conservation* 7: 325.
- Petts, G. E. 1984. Impounded rivers: perspectives for ecological management. Chichester: John Wiley. 326 pp.
- Makrakis M. C., L. E. Miranda, S. Makrakis, H. M. Fontes, J. W. G. Morlis, Dias J. H. P. y J. O. García. 2012. Diversity in migratory patterns among Neotropical fishes in a highly regulated river basin. *Journal of Fish Biology* 81: 866-881.
- Maldonado, M., J. A. Maldonado-Ocampo, H. Ortega, A. C. Encalada, F. M. Carvajal-Vallejos, J. F. Rivadeceira, F. Acosta, D. Jacobsen, A. Crespo y C.A. Rivera-Rondón. 2012. Diversidad en los sistemas acuáticos. Pp. 325-347. *En*: Herzog S. K., R. Martínez, P. M. Jorgensen y H. Tiessen (Eds.). Cambio climático y biodiversidad en los Andes tropicales. Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAJ), Sao José dos Campos y Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente (SCOPE), Paris.
- Margalef, R. 1983. Limnología. Ediciones Omega. Barcelona. 1010 pp.
- Poff, N. L., J. D. Olden, D. M. Merritt y D. M. Pepin. 2007. Homogenization of regional river dynamics by dams and global biodiversity implications. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104: 5732-5737.
- Restrepo, J. 2005. Los sistemas hídricos fluviales: visión general. Pp 21-51. *En*: Restrepo, J. (Ed). Los sedimentos del río Magdalena: reflejo de la crisis ambiental. Fondo Editorial. Universidad EAFIT, Medellín-Colombia. 267 pp.
- Rodríguez-Olarte D., J. Mojica Corzo y D. Taphorn. 2011. Northern South America, Magdalena and Maracaibo Basins, Pp. 243-258. *En*: Albert J. y R. Reis (Eds.). Historical biogeography of Neotropical freshwater fishes. University of California Press, Ltda. London, England.
- UPME - Unidad de Planeación Minero Energética. 2013. Plan de expansión de referencia Generación-Trasmisión 2013-2027. Ministerio de Minas y Energía, República de Colombia. 475 pp.
- Usma-Oviedo S., F. Villa-Navarro, C. A. Lasso, F. Castro, P. T. Zuñiga, C. A. Cipamocha, A. Ortega-Lara, R. E. Ajiaco, H. Ramírez-Gil, L. F. Jiménez, J. Maldonado-Ocampo, J. A. Muñoz y J.T. Suarez. 2013. Peces dulceacuícolas migratorios. Pp 216-485. *En*: Zapata, I. A. y J. S. Usma (Eds). Guía de las especies migratorias de la biodiversidad en Colombia. Vol. 2 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. WWF-Colombia, Bogotá, D. C. Colombia. 486 pp.
- Valderrama, M., S. Hernández y M. Pinilla. 2014. Análisis de estado de las pesquerías de la cuenca Magdalena-Cauca. *En*: The Nature Conservancy, Fundación Alma y Fundación Humedales (Eds). Guía para el manejo integrado de las planicies de inundación y el recurso pesquero en la macrocuenca Magdalena-Cauca. Bogotá, Colombia (*en prensa*).
- Vörösmarty, C. J., M. Meybeck, B. Fekete, K. Sharma, P. Green y J. P. M. Syvitsky. 2003. Antropogenic sediment retention: major global impact from registered river impoundments. *Global and Planetary Changes* 39: 169-190.
- Winemiller, K. O., A. A. Agostinho y E. Pellegrini-Caramaschi. 2008. Fish Ecology in Tropical Streams. Pp. 107-146. *En*: Tropical Stream Ecology. Dudgeon D. Eds. Academic Press, London.

Luz Fernanda Jiménez-Segura  
Grupo de Ictiología  
Instituto de Biología, Universidad de Antioquia  
Medellín-Colombia  
*luz.jimenez@udea.edu.co*

Daniel Restrepo-Santamaría D.  
Grupo de Ictiología  
Instituto de Biología, Universidad de Antioquia  
Medellín-Colombia  
*dasanta24@gmail.com*

Silvia López-Casas  
Grupo de Ictiología  
Instituto de Biología, Universidad de Antioquia  
Medellín-Colombia  
*silvilopezcasas@yahoo.com*

Juliana Delgado  
The Nature Conservancy  
Bogotá-Colombia  
*jdelgado@mc.org*

Mauricio Valderrama  
Fundación Humedales  
Bogotá-Colombia  
*mvalde@fundacionhumedales.org*

Jonathan Álvarez  
Grupo de Ictiología  
Instituto de Biología, Universidad de Antioquia  
Medellín-Colombia  
*jonalvarez04@gmail.com*

Daniel Gómez  
Grupo de Limnología y Biota Marina  
Instituto de Biología, Universidad de Antioquia  
Medellín-Colombia  
*dgomezgil88@gmail.com*

Ictiofauna y desarrollo del sector hidroeléctrico en la cuenca del río Magdalena - Cauca, Colombia

**Cítese como:** Jiménez-Segura, L. F., D. Restrepo-Santamaría, S. López-Casas, J. Delgado, M. Valderrama, J. Álvarez y D. Gómez. Ictiofauna y desarrollo del sector hidroeléctrico en la cuenca del río Magdalena - Cauca, Colombia. *Biota Colombiana* 15 (2): 3-25.

Recibido: 4 de agosto de 2014  
Aprobado: 18 de diciembre de 2014

---

# Guía para autores - Artículos de datos

www.humboldt.org.co/biota - biotacol@humboldt.org.co | www.sibcolombia.net - sib+iac@humboldt.org.co

---

El objetivo de esta guía es establecer y explicar los pasos necesarios para la elaboración de un manuscrito con el potencial de convertirse en artículo de datos para ser publicado en la revista *Biota Colombiana*. En esta guía se incluyen aspectos relacionados con la preparación de datos y el manuscrito.

## ¿Qué es un artículo de datos?

Un artículo de datos o *Data Paper* es un tipo de publicación académica que ha surgido como mecanismo para incentivar la publicación de datos sobre biodiversidad, a la vez que es un medio para generar reconocimiento académico y profesional adecuado a todas las personas que intervienen de una manera u otra en la gestión de información sobre biodiversidad.

Los artículos de datos contienen las secciones básicas de un artículo científico tradicional. Sin embargo, estas se estructuran de acuerdo a un estándar internacional para metadatos (información que le da contexto a los datos) conocido como el *GBIF Metadata Profile* (GMP)<sup>1</sup>. La estructuración del manuscrito con base en este estándar se da, en primer lugar, para facilitar que la comunidad de autores que publican conjuntos de datos a nivel global, con presencia en redes como la *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF) y otras redes relacionadas, puedan publicar fácilmente artículos de datos obteniendo el reconocimiento adecuado a su labor. En segundo lugar, para estimular que los autores de este tipo de conjuntos de datos que aún no han publicado en estas redes de información global, tengan los estímulos necesarios para hacerlo.

Un artículo de datos debe describir de la mejor manera posible el quién, qué, dónde, cuándo, por qué y cómo de la toma y almacenamiento de los datos, sin llegar a convertirse en el medio para realizar un análisis exhaustivo de los mismos, como sucede en otro tipo de publicaciones académicas. Para profundizar en este modelo de publicación se recomienda consultar a Chavan y Penev (2011)<sup>2</sup>.

## ¿Qué manuscritos pueden llegar a ser artículos de datos?

Manuscritos que describan conjuntos de datos primarios y originales que contengan registros biológicos (captura de datos de la presencia de un(os) organismo(s) en un lugar y tiempo determinados); información asociada a ejemplares de colecciones biológicas; listados temáticos o geográficos de especies; datos genómicos y todos aquellos datos que sean susceptibles de ser estructurados con el estándar *Darwin Core*<sup>3</sup> (DwC). Este estándar

es utilizado dentro de la comunidad de autores que publican conjuntos de datos sobre biodiversidad para estructurar los datos y de esta manera poder consolidarlos e integrarlos desde diferentes fuentes a nivel global. No se recomienda someter manuscritos que describan conjuntos de datos secundarios, como por ejemplo compilaciones de registros biológicos desde fuentes secundarias (p.e. literatura o compilaciones de registros ya publicados en redes como GBIF o IABIN).

## Preparación de los datos

Como se mencionó anteriormente los datos sometidos dentro de este proceso deben ser estructurados en el estándar DwC. Para facilitar su estructuración, el Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SiB Colombia), ha creado dos plantillas en Excel, una para registros biológicos y otra para listas de especies. Lea y siga detenidamente las instrucciones de las plantillas para la estructuración de los datos a publicar. Para cualquier duda sobre el proceso de estructuración de estos datos por favor contactar al equipo coordinador del SiB Colombia (EC-SiB) en sib+iac@humboldt.org.co.

## Preparación del manuscrito

Para facilitar la creación y estructuración del manuscrito en el estándar GMP, se cuenta con la ayuda de un editor electrónico (<http://ipt.sibcolombia.net/biota>) que guiará al autor en dicho proceso y que finalmente generará una primera versión del manuscrito. Se recomienda el uso del manual GMP, como una guía de la información a incluir en cada sección del manuscrito, junto con el anexo 1.

Pasos a seguir para la elaboración del manuscrito:

1. Solicite al correo [sib+iac@humboldt.org.co](mailto:sib+iac@humboldt.org.co) el acceso al editor electrónico. El EC-SiB le asignará un usuario y contraseña.
2. Ingrese con su usuario y contraseña al editor electrónico, luego diríjase a la pestaña *Gestión de recursos* y cree un nuevo recurso asignando un nombre corto a su manuscrito usando el formato "AcrónimoDeLaInstitución\_año\_tipoDeConjuntoDeDatos", p.e. ABC\_2010\_avestinije y dar clic en el botón crear.
3. En la vista general del editor seleccione "editar" en la pestaña *Metadatos* (por favor, no manipule ningún otro elemento), allí encontrará diferentes secciones (panel derecho) que lo guiarán en la creación de su manuscrito. Guarde los cambios al finalizar

---

<sup>1</sup> Wiecezorek, J. 2011. Perfil de Metadatos de GBIF: una guía de referencia rápida. En: Wiecezorek, J. The GBIF Integrated Publishing Toolkit User Manual, version 2.0. Traducido y adaptado del inglés por D. Escobar. Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia, Bogotá D.C., Colombia, 23p. Disponible en <http://www.sibcolombia.net/repositorio-de-documentos>.

<sup>2</sup> Chavan, V. y L. Penev. 2011. The data paper: The mechanism to incentivize data publishing in biodiversity science. *BMC Bioinformatics* 12 (Suppl 15): S2.

<sup>3</sup> TDWG. 2011. *Darwin Core*: una guía de referencia rápida. (Versión original producida por TDWG, traducida al idioma español por Escobar, D.; versión 2.0). Bogotá: SiB Colombia, 33 pp. Disponible en <http://www.sibcolombia.net/repositorio-de-documentos>

cada sección, de lo contrario perderá la información. Recuerde usar el manual GMP. A continuación se presentan algunas recomendaciones para la construcción del manuscrito. Las secciones se indican en MAYUSCULAS y los elementos de dichas secciones en **negrilla**.

- En PARTES ASOCIADAS incluya únicamente aquellas personas que no haya incluido en INFORMACIÓN BÁSICA.
- Los DATOS DEL PROYECTO y DATOS DE LA COLECCIÓN son opcionales según el tipo de datos. En caso de usar dichas secciones amplíe o complemente información ya suministrada, p. ej. no repita información de la **descripción** (COBERTURA GEOGRÁFICA) en la **descripción del área de estudio** (DATOS DEL PROYECTO).
- De igual manera, en los MÉTODOS DE MUESTREO, debe ampliar o complementar información, no repetirla. La información del **área de estudio** debe dar un contexto específico a la metodología de muestreo.
- Es indispensable documentar el **control de calidad** en MÉTODOS DE MUESTREO. Acá se debe describir que herramientas o protocolos se utilizaron para garantizar la calidad y coherencia de los datos estructurados con el estándar DwC.
- Para crear la **referencia del recurso**, en la sección REFERENCIAS, utilice uno de los dos formatos propuestos (Anexo 2). No llene el **identificador de la referencia**, este será suministrado posteriormente por el EC-SiB.
- Para incluir la bibliografía del manuscrito en **referencias**, ingrese cada una de las citas de manera individual, añadiendo una nueva referencia cada vez haciendo clic en la esquina inferior izquierda.

4. Rectifique que el formato de la información suministrada cumpla con los lineamientos de la revista (p. ej. abreviaturas, unidades, formato de números etc.) en la Guía general para autores de *Biota Colombiana*.

5. Una vez incluida y verificada toda la información en el editor electrónico notifique al EC-SiB al correo electrónico [sib+iac@humboldt.org.co](mailto:sib+iac@humboldt.org.co), indicando que ha finalizado la edición del manuscrito. Adicionalmente adjunte la plantilla de Excel con los datos estructurados (elimine todas las columnas que no utilizó). El EC-SiB realizará correcciones y recomendaciones finales acerca de la estructuración de los datos y dará las instrucciones finales para que usted proceda a someter el artículo.

### Someter el manuscrito

Una vez haya terminado la edición de su manuscrito y recibido las instrucciones por parte del EC-SiB, envíe una carta al correo electrónico [biotacol@humboldt.org.co](mailto:biotacol@humboldt.org.co) para someter su artículo, siguiendo las instrucciones en la Guía general para autores de *Biota Colombiana*.

Recuerde adjuntar:

- Plantilla de Excel con la última versión de los datos revisada por el EC-SiB.
- Documento de Word con las figuras y tablas seguidas de una lista las mismas.

Cuando finalice el proceso, sus datos se harán públicos y de libre acceso en los portales de datos del SiB Colombia y GBIF. Esto permitirá que sus datos estén disponibles para una audiencia nacional e internacional, manteniendo siempre el crédito para los autores e instituciones asociadas.

## Anexo 1. Estructura base de un artículo de datos y su correspondencia con el editor electrónico basado en el GMP.

SECCIÓN/SUBSECCIÓN	CORRESPONDENCIA CON LOS ELEMENTOS DEL EDITOR ELECTRÓNICO
TÍTULO	Derivado del elemento <b>título</b> .
AUTORES	Derivado de los elementos <b>creador del recurso, proveedor de los metadatos y partes asociadas</b> .
AFILIACIONES	Derivado de los elementos <b>creador del recurso, proveedor de los metadatos y partes asociadas</b> . De estos elementos, la combinación de <b>organización, dirección, código postal, ciudad, país y correo electrónico</b> , constituyen la afiliación.
AUTOR DE CONTACTO	Derivado de los elementos <b>creador del recurso</b> y proveedor de los metadatos.
CITACIÓN	Para uso de los editores.
CITACIÓN DELE RECURSO	Derivada del elemento <b>referencia del recurso</b> .
RESUMEN	Derivado del elemento <b>resumen</b> . Máximo 200 palabras.
PALABRAS CLAVE	Derivadas del elemento <b>palabras clave</b> . Máximo seis palabras.
ABSTRACT	Derivado del elemento <b>abstract</b> . Máximo 200 palabras.
KEY WORDS	Derivadas del elemento <b>key words</b> . Máximo seis palabras.
INTRODUCCIÓN	Derivado del elemento <b>propósito</b> (de las secciones Introducción y Antecedentes). Se sugiere un breve texto para introducir las siguientes secciones. Por ejemplo, historia o contexto de la colección biológica o proyecto en relación con los datos descritos, siempre y cuando no se repita información en las subsecuentes secciones.

cont. **Anexo 1.** Estructura base de un artículo de datos y su correspondencia con el editor electrónico basado en el GMP.

SECCIÓN/SUBSECCIÓN	CORRESPONDENCIA CON LOS ELEMENTOS DEL EDITOR ELECTRÓNICO
Datos del proyecto	Derivada de los elementos de la sección Datos del proyecto: <b>título, nombre, apellido, rol, fuentes de financiación, descripción del área de estudio y descripción del proyecto.</b>
Cobertura taxonómica	Derivada de los elementos de la sección Cobertura taxonómica: <b>descripción, nombre científico, nombre común y categoría.</b>
Cobertura geográfica	Derivada de los elementos de la sección Cobertura geográfica: <b>descripción, latitud mínima, latitud máxima, longitud mínima, longitud máxima.</b>
Cobertura temporal	Derivada de los elementos de la sección Cobertura temporal: <b>tipo de cobertura temporal.</b>
Datos de la colección	Derivada de los elementos de la sección Datos de la colección: <b>nombre de la colección, identificador de la colección, identificador de la colección parental, método de preservación de los especímenes y unidades curatoriales.</b>
MATERIAL Y MÉTODOS	Derivado de los elementos de la sección Métodos de muestreo: <b>área de estudio, descripción del muestreo, control de calidad, descripción de la metodología paso a paso.</b>
RESULTADOS	
Descripción del conjunto de datos	Derivado de los elementos de las secciones Discusión y Agradecimientos, contiene información del formato de los datos y metadatos: <b>nivel de jerarquía, fecha de publicación y derechos de propiedad intelectual.</b>
DISCUSIÓN	Se deriva del elemento <b>discusión</b> . Un texto breve (máximo 500 palabras), que puede hacer referencia a la importancia, relevancia, utilidad o uso que se le ha dado o dará a los datos en publicaciones existentes o en posteriores proyectos.
AGRADECIMIENTOS	Se deriva del elemento <b>agradecimientos</b> .
BIBLIOGRAFÍA	Derivado del elemento <b>bibliografía</b> .

## Anexo 2. Formatos para llenar el elemento referencia del recurso.

La referencia del recurso es aquella que acompañará los datos descritos por el artículo, públicos a través de las redes SiB Colombia y GBIF. Tenga en cuenta que esta referencia puede diferir de la del artículo. Para mayor información sobre este elemento contacte al EC-SiB. Aquí se sugieren dos formatos, sin embargo puede consultar otros formatos establecidos por GBIF<sup>4</sup>.

TIPO DE RECURSO	PLANTILLA	EJEMPLO
El conjunto de datos que el manuscrito describe es resultado de un proyecto de carácter institucional o colectivo con múltiples participantes.	<Institución publicadora/ Grupo de investigación> <(Año)>, <Título del recurso/Artículo>. <Número total de registros>, <aportados por:> <parte asociada 1 (rol), parte asociada 2 (rol) (...)>. <En línea,> <url del recurso>. <Publicado el DD/MM/AAAA>.	Centro Nacional de Biodiversidad (2013). Vertebrados de la cuenca de la Orinoquia. 1500 registros, aportados por Pérez, S. (Investigador principal, proveedor de contenidos, proveedor de metadatos), M. Sánchez (Procesador), D. Valencia (Custodio, proveedor de metadatos), R. Rodríguez (Procesador), S. Sarmiento (Publicador), V. B. Martínez (Publicador, editor). En línea, <a href="http://ipt.sibcolombia.net/biota/resource.do?r=verte_orin">http://ipt.sibcolombia.net/biota/resource.do?r=verte_orin</a> , publicado el 01/09/2013.
El conjunto de datos que el manuscrito describe es resultado de una iniciativa personal o de un grupo de investigación definido.	<Parte asociada 1, parte asociada 2 (...)> <(Año)>, <Título del recurso/Artículo>, <Número total de registros>, <en línea,> <url del recurso>. <Publicado el DD/MM/AAAA>	Valencia, D., R. Rodríguez y V. B. Martínez (2013). Vertebrados de la cuenca del Orinoco. 1500 registros, en línea, <a href="http://ipt.sibcolombia.net/biota/resource.do?r=verte_orin">http://ipt.sibcolombia.net/biota/resource.do?r=verte_orin</a> . Publicado el 01/09/2001.

<sup>4</sup> GBIF (2012). Recommended practices for citation of the data published through the GBIF Network. Version 1.0 (Authored by Vishwas Chavan). Copenhagen: Global Biodiversity Information Facility. Pp.12, ISBN: 87-92020-36-4. Accessible at [http://links.gbif.org/gbif\\_best\\_practice\\_data\\_citation\\_en\\_v1](http://links.gbif.org/gbif_best_practice_data_citation_en_v1)

# Guidelines for authors - Data Papers

www.humboldt.org.co/biota - biotacol@humboldt.org.co | www.sibcolombia.net - sib+iac@humboldt.org.co

The purpose of this guide is to establish and explain the necessary steps to prepare a manuscript with the potential to become a publishable data paper in Biota Colombiana. This guide includes aspects related to the preparation of both data and the manuscript.

## What is a Data Paper?

A data paper is a scholarly publication that has emerged as a mechanism to encourage the publication of biodiversity data as well as an approach to generate appropriate academic and professional recognition to all those involved in the management of biodiversity information.

A data paper contains the basic sections of a traditional scientific paper. However, these are structured according to an international standard for metadata (information that gives context to the data) known as the *GBIF Metadata Profile* (GMP)<sup>1</sup>. The structuring of the manuscript based on this standard enables the community of authors publishing datasets globally, with presence in networks such as the Global Biodiversity Information Facility (GBIF) and other related networks, to publish data easily while getting proper recognition for their work and to encourage the authors of this type of data sets that have not yet published in these global information networks to have the necessary incentives to do so.

A data paper should describe in the best possible way the Whom, What, Where, When, Why and How of documenting and recording of data, without becoming the instrument to make a detailed analysis of the data, as happens in other academic publications. To deepen this publishing model, it is recommended to consult Chavan & Penev (2011)<sup>2</sup>.

## Which manuscripts are suitable for publication as data paper?

Manuscripts that describe datasets containing original primary biological records (data of occurrences in a particular place and time); information associated with specimens of biological collections, thematic or regional inventories of species, genomic data and all data likely to be structured with the standard *Darwin Core Darwin Core*<sup>3</sup> (DwC). This standard is used in the community of authors publishing biodiversity datasets to structure the data and thus to consolidate and integrate from different sources

globally. It is not recommended to submit manuscripts describing secondary datasets, such as biological records compilations from secondary sources (e.g. literature or compilations of records already published in networks such as GBIF or IABIN).

## Dataset preparation

As mentioned above data submitted in this process should be structured based on DwC standard. For ease of structuring, the Biodiversity Information System of Colombia (SiB Colombia), created two templates in Excel; one for occurrences and other for species checklist. Carefully read and follow the template instructions for structuring and publishing data. For any questions about the structure process of data please contact the Coordinator Team of SiB Colombia (EC-SiB) at sib+iac@humboldt.org.co

## Manuscript preparation

To assist the creation and structuring of the manuscript in the GMP standard, an electronic writing tool is available (<http://ipt.sibcolombia.net/biota>) to guide the author in the process and ultimately generate a first version of the manuscript. The use of GMP manual as an information guide to include in each section of the manuscript, as well as the annex 1 is recommended.

Steps required for the manuscript preparation:

- 1 Request access to the electronic writing tool at [sib+iac@humboldt.org.co](mailto:sib+iac@humboldt.org.co). The EC-SiB will assign a username and password.
2. Login to the electronic writing tool, then go to the tab Manage Resources and create a new resource by assigning a short name for your manuscript and clicking on the Create button. Use the format: "InstitutionAcronym\_Year\_DatasetFeature", e.g. NMNH\_2010\_rainforestbirds.
3. In the overview of the writing tool click on edit in Metadata section (please, do not use any other section), once there you will find different sections (right panel) that will guide you creating your manuscript. Save the changes at the end of each section, otherwise you will lose the information. Remember to use the GMP manual. Here are some recommendations for editing the metadata, sections are indicated in CAPS and the elements of these sections in **bold**.

<sup>1</sup> GBIF (2011). GBIF Metadata Profile, Reference Guide, Feb 2011, (contributed by O Tuama, E., Braak, K., Copenhagen: Global Biodiversity Information Facility, 19 pp. Accesible at [http://links.gbif.org/gbif\\_metadata\\_profile\\_how-to\\_en\\_v1](http://links.gbif.org/gbif_metadata_profile_how-to_en_v1).

<sup>2</sup> Chavan, V. y L. Penev. 2011. The data paper: The mechanism to incentivize data publishing in biodiversity science. BMC Bioinformatics 12 (Suppl 15): S2.

<sup>3</sup> Biodiversity Information Standards – TDWG. Accesible at <http://rs.tdwg.org/dwc/terms/>

- In ASSOCIATED PARTIES include only those who are not listed in BASIC INFORMATION.
  - PROJECT DATA and COLLECTION DATA are optional depending on the data type. When using these sections extend or complement information already provided, i.e. do not repeat the same information describing the **description** (GEOGRAPHIC COVERAGE) in the **study area description** (PROJECT DATA).
  - Likewise, in SAMPLING METHODS, you must expand or complete the information, not repeat it. The information in **study extent** should give a specific context of the sampling methodology.
  - It is essential to document the **quality control** in SAMPLING METHODS. Here you should describe what tools or protocols were used to ensure the quality and consistency of data structured with DwC standard.
  - To create the **resource citation** in the CITATIONS section, follow one of the two formats proposed (Annex 2). Do not fill out the **citation identifier**, this will be provided later by the EC-SiB.
  - To include the manuscript bibliography in **citations**, enter each of the citations individually, adding a new citation each time by clicking in the bottom left.
4. Check that the format of the information provided meets the guidelines of the journal (e.g. abbreviations, units, number

formatting, etc.) in the *Biota Colombiana* Guidelines for Authors.

5. Once included and verified all information in the writing tool, notify to EC-SiB at [sib+iac@humboldt.org.co](mailto:sib+iac@humboldt.org.co), indicating that you have finished editing the manuscript. Additionally attach the Excel template with structured data (remove all columns that were not used). The EC-SiB will perform corrections and final recommendations about the structure of the data and give you the final instructions to submit the paper.

### Submit the manuscript

Once you have finished editing your manuscript and getting the instructions from EC-SiB, send a letter submitting your article to email [biotacol@humboldt.org.co](mailto:biotacol@humboldt.org.co), following the instructions of *Biota Colombiana* Guidelines for Authors.

Remember to attach:

- Excel template with the latest version of the data reviewed by the EC-SiB.
- Word document with figures and tables followed by a list of them.

At the end of the process, your information will be public and freely accessible in the data portal of SiB Colombia and GBIF. This will allow your data to be available for national and international audience, while maintaining credit to the authors and partner institutions.

---

### Annex 1. Basic structure of a data paper and its mapping to the writing tool elements based on GM.

---

SECTION/SUB-SECTION HEADING	MAPPING WITH WRITING TOOL ELEMENTS
TITLE	Derived from the <b>title</b> element.
AUTHORS	Derived from the <b>resource creator</b> , <b>metadata provider</b> , and <b>associated parties</b> elements.
AFFILIATIONS	Derived from the <b>resource creator</b> , <b>metadata provider</b> and <b>associated parties</b> elements. From these elements combinations of <b>organization</b> , <b>address</b> , <b>postal code</b> , <b>city</b> , <b>country</b> and <b>email constitute the affiliation</b> .
CORRESPONDING AUTHOR	Derived from the <b>resource contact</b> , <b>metadata provider</b> elements.
CITATION	For editors use.
RESOURCE CITATION	Derived from the <b>resource citation</b> element.
RESUMEN	Derived from the <b>resumen</b> element. 200 words max.
PALABRAS CLAVE	Derived from the <b>palabras clave</b> element. 6 words max.
ABSTRACT	Derived from the <b>abstract</b> element. 200 words max.
KEY WORDS	Derived from the <b>key words</b> element. 6 words max.
INTRODUCTION	Derived from the <b>purpose</b> (Introduction and Background section). A short text to introduce the following sections is suggested. For example, history or context of the biological collection or project related with the data described, only if that information is not present in subsequent sections.
Project data	Derived from elements <b>title</b> , <b>personnel first name</b> , <b>personnel last name</b> , <b>role</b> , <b>funding</b> , <b>study area description</b> , and <b>design description</b> .
Taxonomic Coverage	Derived from the taxonomic coverage elements: <b>description</b> , <b>scientific name</b> , <b>common name</b> and <b>rank</b> .
Geographic Coverage	Derived from the geographic coverage elements: <b>description</b> , <b>west</b> , <b>east</b> , <b>south</b> , <b>north</b> .

---

cont. **Annex 1.** Basic structure of a data paper and its mapping to the writing tool elements based on GM.

SECTION/SUB-SECTION HEADING	MAPPING WITH WRITING TOOL ELEMENTS
Temporal Coverage	Derived from the temporal coverage elements: <b>temporal coverage type</b> .
Collection data	Derived from the collection data elements: <b>collection name, collection identifier, parent collection identifier, specimen preservation method</b> and <b>curatorial units</b> .
MATERIALS AND METHODS	Derived from the sampling methods elements: <b>study extent, sampling description, quality control</b> and <b>step description</b> .
RESULTADOS	
Descripción del conjunto de datos	Derived from the discussion and acknowledgments, contains information about the format of the data and metadata: <b>hierarchy level, date published</b> and <b>ip rights</b> .
DISCUSSION	Derived from the discussion element. A short text (max 500 words), which can refer to the importance, relevance, usefulness or use that has been given or will give the data in the published literature or in subsequent projects.
ACKNOWLEDGMENTS	Derived from the <b>acknowledgments</b> element.
BIBLIOGRAPHY	Derived from the <b>citations</b> element.

**Annex 2.** Citation style quick guide for “resource reference” section.

The Resource Reference is the one that refer to the dataset described by the paper, publicly available through SiB Colombia and GBIF networks. Note that this reference may differ from the one of the paper. For more information about this element contact EC-SiB.

Here two formats are suggested; however you can consult other formats established by GBIF<sup>4</sup>.

TYPE OF RESOURCE	TEMPLATE	EXAMPLE
The paper is the result of a collective or institutional project with multiple participants.	<Institution/Research Group>. <Year>, <Title of the Resource/Paper>. <Number of total records>, <provided by :> <associated party 1 (role), associated party 2 (role), (...)>. <Online,> <resource URL>, <published on>. <Published on DD/MM/AAAA>.	National Biodiversity (2013). Vertebrates in Orinoco, 1500 records, provided by: Perez, S. (Principal investigator, content provider), M. Sanchez (Processor), D. Valencia (Custodian Steward, metadata provider), R. Rodriguez (Processor), S. Sarmiento (Publisher), VB Martinez (Publisher, Editor). Online, <a href="http://ipt.sibcolombia.net/biota/resource.do?r=verte_orin">http://ipt.sibcolombia.net/biota/resource.do?r=verte_orin</a> , published on 01/09/2013.
The paper is the result of a personal initiative or a defined research group.	<associated party 1, associated party 2, (...)>. <Year>, <Title of the Resource/Paper>, <Number of total records>, <Online,> <resource URL>. <Published on DD/MM/AAAA>.	Valencia, D., R. Rodríguez and V. B. Martínez. (2013). Vertebrate Orinoco Basin, 1500 records, Online, <a href="http://ipt.sibcolombia.net/biota/resource.do?r=verte_orin">http://ipt.sibcolombia.net/biota/resource.do?r=verte_orin</a> , published on 01/09/2001

<sup>4</sup> GBIF (2012). Recommended practices for citation of the data published through the GBIF Network. Version 1.0 (Authored by Vishwas Chavan). Copenhagen: Global Biodiversity Information Facility. Pp.12, ISBN: 87-92020-36-4. Accessible at [http://links.gbif.org/gbif\\_best\\_practice\\_data\\_citation\\_en\\_v1](http://links.gbif.org/gbif_best_practice_data_citation_en_v1)

# Guía para autores

(www.humboldt.org.co/biota)

## Preparación del manuscrito

El envío de un manuscrito implica la declaración explícita por parte del autor(es) de que este no ha sido previamente publicado, ni aceptado para su publicación en otra revista u otro órgano de difusión científica. Todas las contribuciones son de la entera responsabilidad de sus autores y no del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, ni de la revista o sus editores.

Los trabajos pueden estar escritos en español, inglés o portugués, y se recomienda que no excedan las 40 páginas (párrafo espaciado a 1,5 líneas) incluyendo tablas, figuras y anexos. En casos especiales el editor podrá considerar la publicación de trabajos más extensos, monografías o actas de congresos, talleres o simposios. De particular interés para la revista son las descripciones de especies nuevas para la ciencia, nuevos registros geográficos y listados de la biodiversidad regional.

Para la elaboración de los textos del manuscrito se puede usar cualquier procesador de palabras (preferiblemente Word); los listados (a manera de tabla) deben ser elaborados en una hoja de cálculo (preferiblemente Excel). Para someter un manuscrito es necesario además anexar una carta de intención en la que se indique claramente:

1. Nombre(s) completo(s) del(los) autor(es), y direcciones para envío de correspondencia (es indispensable suministrar una dirección de correo electrónico para comunicación directa).
2. Título completo del manuscrito.
3. Nombres, tamaños y tipos de archivos suministrados.
4. Lista mínimo de tres revisores sugeridos que puedan evaluar el manuscrito, con sus respectivas direcciones electrónicas.

## Evaluación del manuscrito

Los manuscritos sometidos serán revisados por pares científicos calificados, cuya respuesta final de evaluación puede ser: a) *aceptado* (en cuyo caso se asume que no existe ningún cambio, omisión o adición al artículo, y que se recomienda su publicación en la forma actualmente presentada); b) *aceptación condicional* (se acepta y recomienda el artículo para su publicación solo si se realizan los cambios indicados por el evaluador); y c) *rechazo* (cuando el evaluador considera que los contenidos o forma de presentación del artículo no se ajustan a los requerimientos y estándares de calidad de *Biota Colombiana*).

## Texto

- Para la presentación del manuscrito configure las páginas de la siguiente manera: hoja tamaño carta, márgenes de 2,5 cm en todos los lados, interlineado 1,5 y alineación hacia la izquierda (incluyendo título y bibliografía).
- Todas las páginas de texto (a excepción de la primera correspondiente al título), deben numerarse en la parte inferior derecha de la hoja.

- Use letra Times New Roman o Arial, tamaño 12 puntos en todos los textos. Máximo 40 páginas, incluyendo tablas, figuras y anexos. Para tablas cambie el tamaño de la fuente a 10 puntos. Evite el uso de negritas o subrayados.
- Los manuscritos debe llevar el siguiente orden: título, resumen y palabras clave, abstract y key words, introducción, material y métodos, resultados, discusión, conclusiones (optativo), agradecimientos (optativo) y bibliografía. Seguidamente, presente una página con la lista de tablas, figuras y anexos. Finalmente, incluya las tablas, figuras y anexos en tablas separadas, debidamente identificadas.
- Escriba los nombres científicos de géneros, especies y subespecies en cursiva (itálica). Proceda de la misma forma con los términos en latín (p. e. *sensu, et al.*). No subraye ninguna otra palabra o título. No utilice notas al pie de página.
- En cuanto a las abreviaturas y sistema métrico decimal, utilice las normas del Sistema Internacional de Unidades (SI) recordando que siempre se debe dejar un espacio libre entre el valor numérico y la unidad de medida (p. e. 16 km, 23 °C). Para medidas relativas como m/seg., use m.seg<sup>-1</sup>.
- Escriba los números del uno al diez siempre con letras, excepto cuando preceden a una unidad de medida (p. e. 9 cm) o si se utilizan como marcadores (p. e. parcela 2, muestra 7).
- No utilice punto para separar los millares, millones, etc. Utilice la coma para separar en la cifra la parte entera de la decimal (p. e. 3,1416). Enumere las horas del día de 0:00 a 24:00.
- Expresé los años con todas las cifras sin demarcadores de miles (p. e. 1996-1998). En español los nombres de los meses y días (enero, julio, sábado, lunes) siempre se escriben con la primera letra minúscula, no así en inglés.
- Los puntos cardinales (norte, sur, este y oeste) siempre deben ser escritos en minúscula, a excepción de sus abreviaturas N, S, E, O (en inglés W), etc. La indicación correcta de coordenadas geográficas es como sigue: 02°37'53''N-56°28'53''O. La altitud geográfica se citará como se expresa a continuación: 1180 m s.n.m. (en inglés 1180 m a.s.l).
- Las abreviaturas se explican únicamente la primera vez que son usadas.
- Al citar las referencias en el texto mencione los apellidos de los autores en caso de que sean uno o dos, y el apellido del primero seguido por *et al.* cuando sean tres o más. Si menciona varias referencias, éstas deben ser ordenadas cronológicamente y separadas por comas (p. e. Rojas 1978, Bailey *et al.* 1983, Sephton 2001, 2001).
- RESUMEN: incluya un resumen de máximo 200 palabras, tanto en español o portugués como inglés.
- PALABRAS CLAVE: máximo seis palabras clave, preferiblemente complementarias al título del artículo, en español e inglés.

## Agradecimientos

Opcional. Párrafo sencillo y conciso entre el texto y la bibliografía. Evite títulos como Dr., Lic., TSU, etc.

## Figuras, tablas y anexos

Refiera las figuras (gráficas, diagramas, ilustraciones y fotografías) sin abreviación (p. e. Figura 3) al igual que las tablas (p. e. Tabla 1). Gráficos (p. e. CPUE anuales) y figuras (histogramas de tallas), preferiblemente en blanco y negro, con tipo y tamaño de letra uniforme. Deben ser nítidas y de buena calidad, evitando complejidades innecesarias (por ejemplo, tridimensionalidad en gráficos de barras); cuando sea posible use solo colores sólidos en lugar de tramas. Las letras, números o símbolos de las figuras deben ser de un tamaño adecuado de manera que sean claramente legibles una vez reducidas. Para el caso de las figuras digitales es necesario que estas sean guardadas como formato tiff con una resolución de 300 dpi. Es oportuno que indique en qué parte del texto desea insertarla.

Lo mismo aplica para las tablas y anexos, los cuales deben ser simples en su estructura (marcos) y estar unificados. Presente las tablas en archivo aparte (Excel), identificadas con su respectivo número. Haga las llamadas a pie de página de tabla con letras ubicadas como superíndice. Evite tablas grandes sobrecargadas de información y líneas divisorias o presentadas en forma compleja. Es oportuno que indique en qué parte del texto desea insertar tablas y anexos.

## Bibliografía

Contiene únicamente la lista de las referencias citadas en el texto. Ordénelas alfabéticamente por autores y cronológicamente para un mismo autor. Si hay varias referencias de un mismo autor(es) en el mismo año, añada las letras a, b, c, etc. No abrevie los nombres de las revistas. Presente las referencias en el formato anexo, incluyendo el uso de espacios, comas, puntos, mayúsculas, etc.

### ARTÍCULO EN REVISTAS

Agosti, D., C. R. Brandao y S. Diniz. 1999. The new world species of the subfamily Leptanilloidinae (Hymenoptera: Formicidae). *Systematic Entomology* 24: 14-20.

### LIBROS, TESIS E INFORMES TÉCNICOS

*Libros:* Gutiérrez, F. P. 2010. Los recursos hidrobiológicos y pesqueros en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., 118 pp.

*Tesis:* Cipamocha, C. A. 2002. Caracterización de especies y evaluación trófica de la subienda de peces en el raudal Chorro de Córdoba, bajo río Caquetá, Amazonas, Colombia. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología. Bogotá D. C., 160 pp.

*Informes técnicos:* Andrade, G. I. 2010. Gestión del conocimiento para la gestión de la biodiversidad: bases conceptuales y propuesta programática para la reingeniería del Instituto Humboldt. Informe Técnico. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., 80 pp.

*Capítulo en libro o en informe:* Fernández F., E. E. Palacio y W. P. MacKay. 1996. Introducción al estudio de las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) de Colombia. Pp: 349-412. *En:* Amat, G. D., G. Andrade y F. Fernández (Eds.). *Insectos de Colombia. Estudios Escogidos.* Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales & Centro Editorial Javeriano, Bogotá.

*Resumen en congreso, simposio, talleres:* Señaris, J. C. 2001. Distribución geográfica y utilización del hábitat de las ranas de cristal (Anura; Centrolenidae) en Venezuela. *En:* Programa y Libro de Resúmenes del IV Congreso Venezolano de Ecología. Mérida, Venezuela, p. 124.

### PÁGINAS WEB

No serán incluidas en la bibliografía, sino que se señalarán claramente en el texto al momento de mencionarlas.

---

# Guidelines for authors

([www.humboldt.org.co/biota](http://www.humboldt.org.co/biota))

---

## Manuscript preparation

Submitting a manuscript implies the explicit statement by the author(s) that the paper has not been published before nor accepted for publication in another journal or other means of scientific diffusion. Contributions are entire responsibility of the author and not the Alexander von Humboldt Institute for Research on Biological Resources, or the journal and their editors.

Papers can be written in Spanish, English or Portuguese and it is recommended not exceeding 40 pages (with paragraphs spaced at 1,5) including tables, figures and Annex. For special cases, the editor could consider publishing more extensive papers, monographs or symposium conclusions. New species descriptions for science, new geographic records and regional biodiversity lists are of particular interest for this journal.

Any word-processor program may be used for the text (Word is recommended). taxonomic list or any other type of table, should be prepared in spreadsheet application (Excel is recommended). To submit a manuscript must be accompanied by a cover letter which clearly indicates:

1. Full names, mailing addresses and e-mail addresses of all authors. (Please note that email addresses are essential to direct communication).
2. The complete title of the article.
3. Names, sizes, and types of files provide.
4. A list of the names and addresses of at least three (3) reviewers who are qualified to evaluate the manuscript.

## Evaluation

Submitted manuscript will have a peer review evaluation. Resulting in any of the following: a) *accepted* (in this case we assume that no change, omission or addition to the article is required and it will be published as presented.); b) *conditional acceptance* (the article is accepted and recommended to be published but it needs to be corrected as indicated by the reviewer); and c) *rejected* (when the reviewer considers that the contents and/or form of the paper are not in accordance with requirements of publication standards of *Biota Colombiana*).

## Text

- The manuscript specifications should be the following: standard letter size paper, with 2.5 cm margins on all sides, 1.5-spaced and left-aligned (including title and bibliography).
- All text pages (with the exception of the title page) should be numbered. Pages should be numbered in the lower right corner.
- Use Times New Roman or Arial font, size 12, for all texts. Use size 10 text in tables. Avoid the use of bold or underlining. 40 pages maximum, including tables, figures and annex. For tables

use size 10 Times New Roman or Arial Font (the one used earlier).

- The manuscripts must be completed with the following order: title, abstract and key words, then in Spanish Título, Resumen y Palabras claves. Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion, conclusions (optional), acknowledgements (optional) and bibliography. Following include a page with the Table, Figure and Annex list. Finally tables, figures and annex should be presented and clearly identified in separate tables.
- Scientific names of genera, species and subspecies should be written in italic. The same goes for Latin technical terms (i.e sensu, *et al.*). Avoid the use of underlining any word or title. Do not use footnotes.
- As for abbreviations and the metric system, use the standards of the International System of Units (SI) remembering that there should always be a space between the numeric value and the measure unit (e.g., 16 km, 23 °C). For relative measures such as m/sec, use m.sec<sup>-1</sup>.
- Write out numbers between one to ten in letters except when it precedes a measure unit (e.g., 9 cm) or if it is used as a marker (e.g., lot 9, sample 7).
- Do not use a point to separate thousands, millions, etc. Use a comma to separate the whole part of the decimal (e.g., 3,1416). Numerate the hours of the from 0:00 to 24:00. Express years with all numbers and without marking thousands (e.g., 1996-1998). In Spanish, the names of the months and days (enero, julio, sábado, lunes) are always written with the first letter as a lower case, but it is not this way in English.
- The cardinal points (north, south, east, and west) should always be written in lower case, with the exception of abbreviations N, S, E, O (in English NW), etc. The correct indication of geographic coordinates is as follows: 02°37'53''N-56°28'53''O. The geographic altitude should be cited as follows: 1180 m a.s.l.
- Abbreviations are explained only the first time they are used.
- When quoting references in the text mentioned author's last names when they are one or two, and et al. after the last name of the first author when there are three or more. If you mention many references, they should be in chronological order and separated by commas (e.g., Rojas 1978, Bailey *et al.* 1983, Sephton 2001, 2001).
- ABSTRACT: include an abstract of 200 words maximum, in Spanish, Portuguese or English.
- KEY WORDS: six key words maximum, complementary to the title.

### **Figures, Tables and Annex**

- Figures (graphics, diagrams, illustrations and photographs) without abbreviation (e.g. Figure 3) the same as tables (e.g., Table 1). Graphics and figures should be in black and white, with uniform font type and size. They should be sharp and of good quality, avoiding unnecessary complexities (e.g., three dimensions graphics). When possible use solid color instead of other schemes. The words, numbers or symbols of figures should be of an adequate size so they are readable once reduced. Digital figures must be sent at 300 dpi and in .tiff format. Please indicate in which part of the text you would like to include it.
- The same applies to tables and annexes, which should be simple in structure (frames) and be unified. Present tables in a separate file (Excel), identified with their respective number. Make calls to table footnotes with superscript letters above. Avoid large tables of information overload and fault lines or presented in a complex way. It is appropriate to indicate where in the text to insert tables and annexes.

### **Bibliography**

References in bibliography contains only the list of references cited in the text. Sort them alphabetically by authors and chronologically by the same author. If there are several references by the same author(s) in the same year, add letters a, b, c, etc. Do not abbreviate journal names. Present references in the attached format, including the use of spaces, commas, periodss, capital letters, etc.

#### **JOURNAL ARTICLE**

Agosti, D., C. R. Brandao y S. Diniz. 1999. The new world species of the subfamily Leptanilloidinae (Hymenoptera: Formicidae). *Systematic Entomology* 24: 14-20.

#### **BOOK, THESIS, TECHNICAL REVIEWS**

*Book:* Gutiérrez, F. P. 2010. Los recursos hidrobiológicos y pesqueros en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., 118 pp.

*Thesis:* Cipamocha, C. A. 2002. Caracterización de especies y evaluación trófica de la subienda de peces en el raudal Chorro de Córdoba, bajo río Caquetá, Amazonas, Colombia. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología. Bogotá D. C., 160 pp.

*Technical reviews:* Andrade, G. I. 2010. Gestión del conocimiento para la gestión de la biodiversidad: bases conceptuales y propuesta programática para la reingeniería del Instituto Humboldt. Informe Técnico. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., 80 pp.

*Book chapter or in review:* Fernández F., E. E. Palacio y W. P. MacKay. 1996. Introducción al estudio de las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) de Colombia. Pp: 349-412. *En:* Amat, G. D., G. Andrade y F. Fernández (Eds.). Insectos de Colombia. Estudios Escogidos. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales & Centro Editorial Javeriano, Bogotá.

*Symposium abstract:* Señaris, J. C. 2001. Distribución geográfica y utilización del hábitat de las ranas de cristal (Anura; Centrolenidae) en Venezuela. *En:* Programa y Libro de Resúmenes del IV Congreso Venezolano de Ecología. Mérida, Venezuela, p. 124.

#### **WEB PAGES**

Not be included in the literature, but clearly identified in the text at the time of mention.

## TABLA DE CONTENIDO / TABLE OF CONTENTS

Editorial. <i>Luz Fernanda Jiménez-Segura y Carlos A. Lasso</i> .....	1
Ictiofauna y desarrollo del sector hidroeléctrico en la cuenca del río Magdalena-Cauca, Colombia. <i>Luz Fernanda Jiménez-Segura, Daniel Restrepo-Santamaría, Silvia López-Casas, Juliana Delgado, Mauricio Valderrama, Jonathan Álvarez y Daniel Gómez</i> .....	3
Peces migratorios al interior de una central hidroeléctrica: caso Miel I, cuenca del río Magdalena (Caldas-Antioquia), Colombia. <i>Silvia López-Casas, Luz Fernanda Jiménez-Segura y Clara María Pérez-Gallego</i> .....	26
Áreas de reproducción de peces migratorios en la cuenca alta del río Magdalena, Colombia. <i>María Isabel Pareja-Carmona, Luz Fernanda Jiménez-Segura, Francisco Antonio Villa-Navarro, Gladys Reinoso-Flórez, Diana María Gualtero-Leal y Victor Julio Ángel-Rojas</i> .....	40
Listado taxonómico de especies ícticas de importancia pesquera en tres embalses del Oriente antioqueño, cuenca del río Magdalena, Colombia. <i>María Isabel Pareja-Carmona y Juan Guillermo Ospina-Pabón</i> .....	54
Gradiente de recuperación longitudinal en la estructura de la ictiofauna en un río transandino regulado. <i>Luz Fernanda Jiménez-Segura, Javier Maldonado-Ocampo y Clara María Pérez-Gallego</i> .....	61
Aspectos ecológicos de <i>Chaetostoma</i> sp. (Siluriformes: Loricariidae) en el alto río Magdalena, Colombia. <i>Pamela Zúñiga-Upegui, Francisco Antonio Villa-Navarro, Luis José García-Melo, Jorge Enrique García-Melo, Gladys Reinoso-Flórez, Diana María Gualtero-Leal y Victor Julio Ángel-Rojas</i> .....	81
Comunidad planctónica en un embalse con alta tensión ambiental: La Playa (Tuta, Boyacá), Colombia. <i>Andrea Paola Rodríguez-Zambrano y Nelson Javier Aranguren-Riaño</i> .....	95
Historia de vida del bagre <i>Imparfinis usmai</i> (Heptapteridae: Siluriformes) en el área de influencia del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, alto río Magdalena, Colombia. <i>Francisco Antonio Villa-Navarro, Luis José García-Melo, Pamela Zúñiga-Upegui, Jorge Enrique García-Melo, Jhonatan Mauricio Quiñones-Montiel, Juan Gabriel Albornoz, Cristhian Camilo Conde-Saldaña, Gladys Reinoso-Flórez, Diana María Gualtero-Leal y Victor Julio Ángel-Rojas</i> .....	111
Dinámica espacial y temporal de los géneros ficoperifíticos de la cuenca del río La Miel (cuenca del río Magdalena), aguas abajo del embalse Amaní (Caldas, Colombia), entre 2006 y 2009. <i>Mónica Tatiana López-Muñoz y Clara María Pérez-Gallego</i> .....	127
Guía para autores .....	152