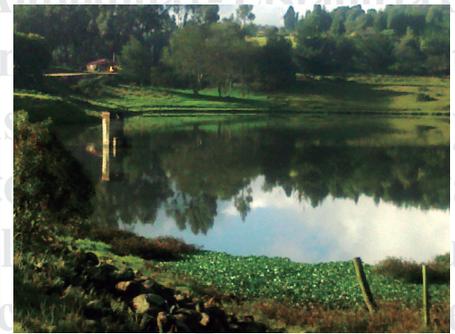


BIOTA COLOMBIANA

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
biotacol@humboldt.org.co
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 Mm³; 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 km², un volumen de agua embalsado de 11518 Mm³ 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

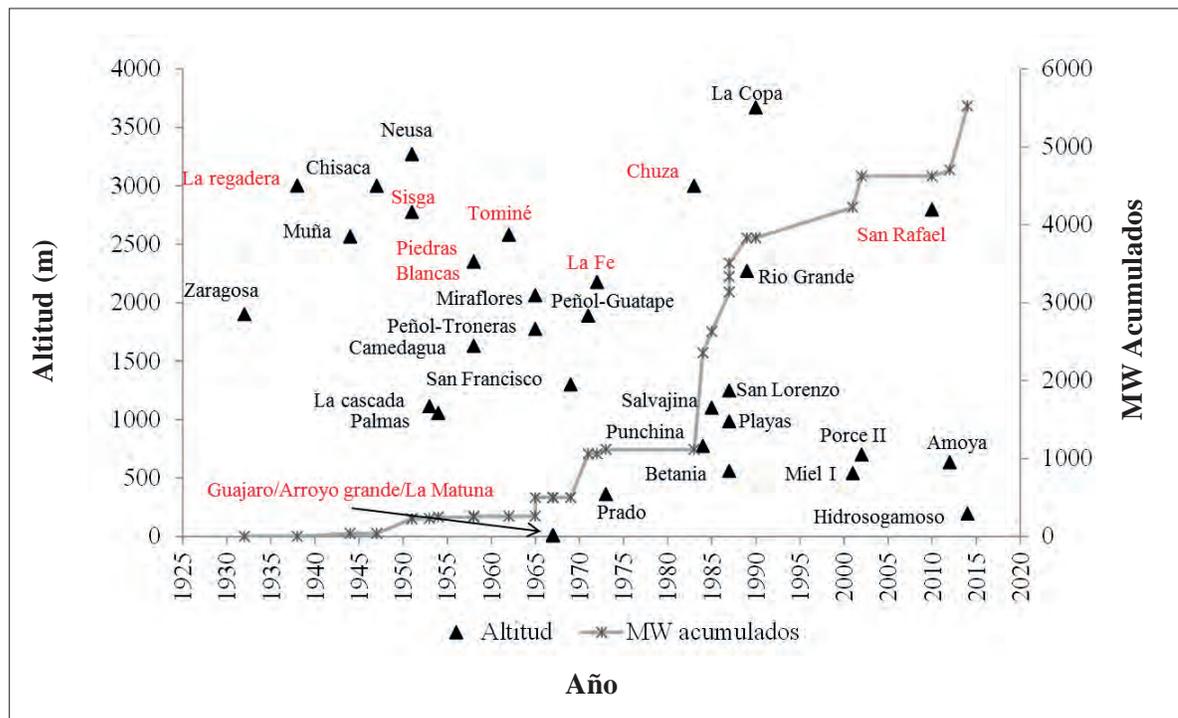


Figura 1. Cronología de la formación de embalses de acuerdo con su altitud (m) y la capacidad acumulada de generación (MW). En letras rojas, embalses que no generan energía.

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).

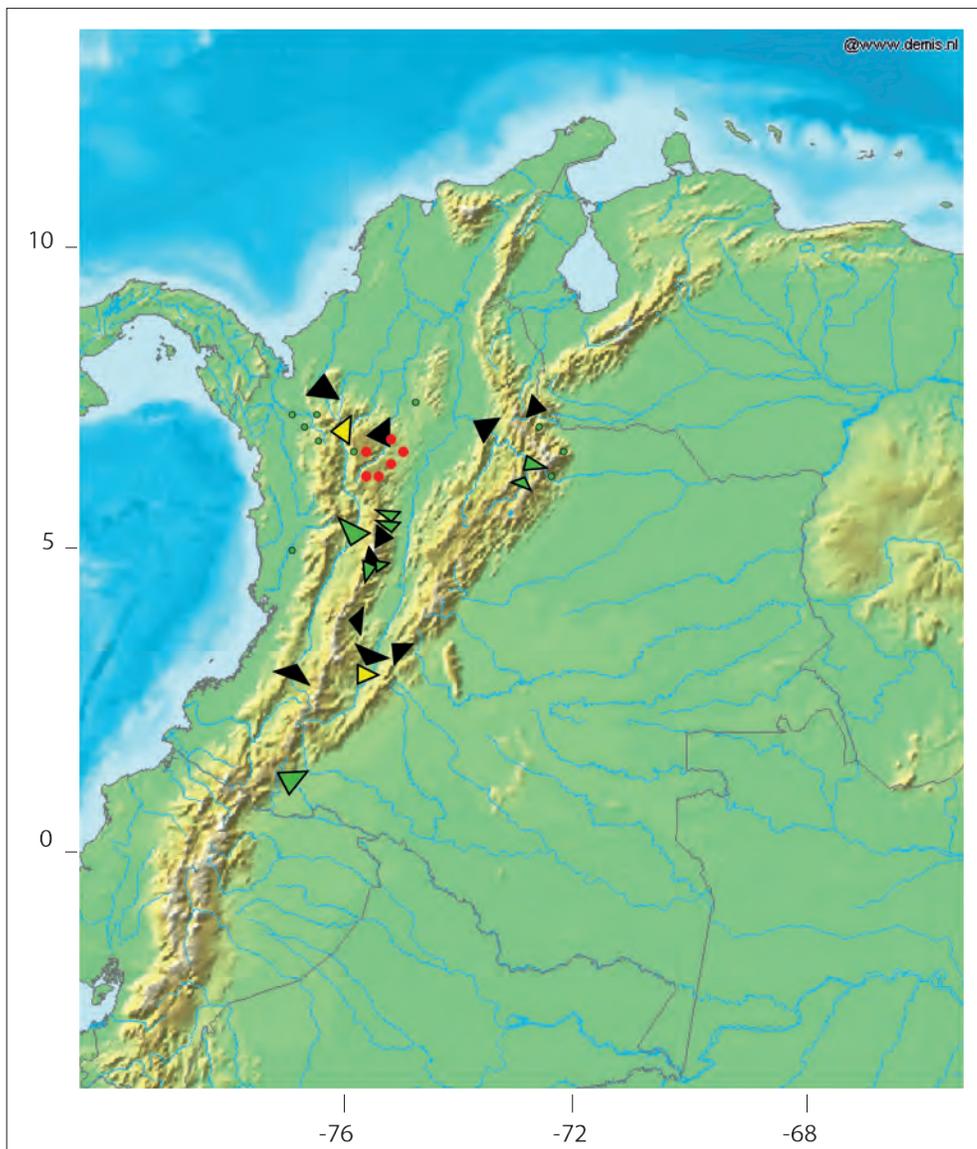


Figura 2. Localización geográfica de los embalses utilizados para generación de energía eléctrica en Colombia. Triángulos (capacidad de generación mayor a 100 MW), círculos (capacidad de generación menor a 100 MW); negro (embalses construidos), verde (embalses en estudio), amarillo (embalses en construcción).

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.

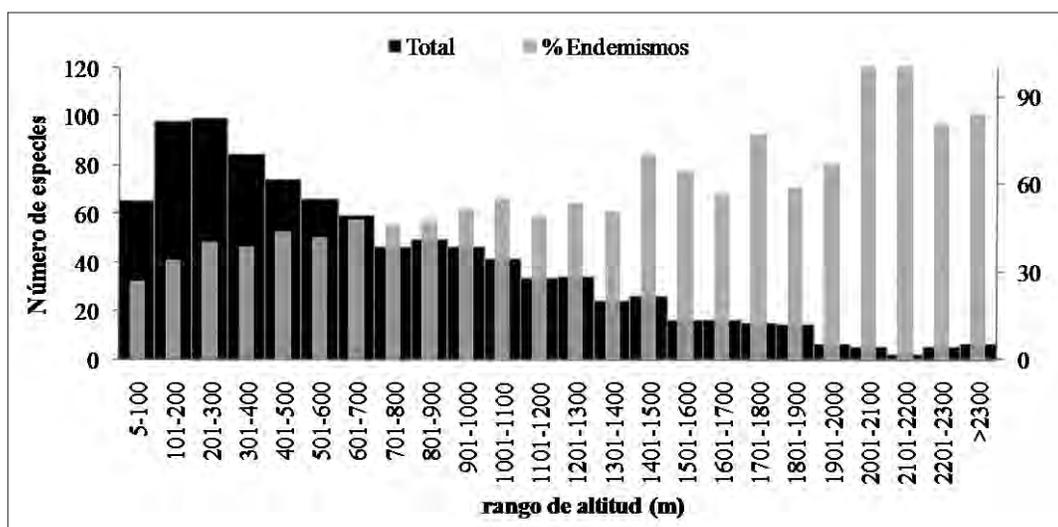


Figura 3. Distribución altitudinal del número de especies de peces y del porcentaje de endemismos. Tomada y modificada de Jiménez-Segura et al. (2013)

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.

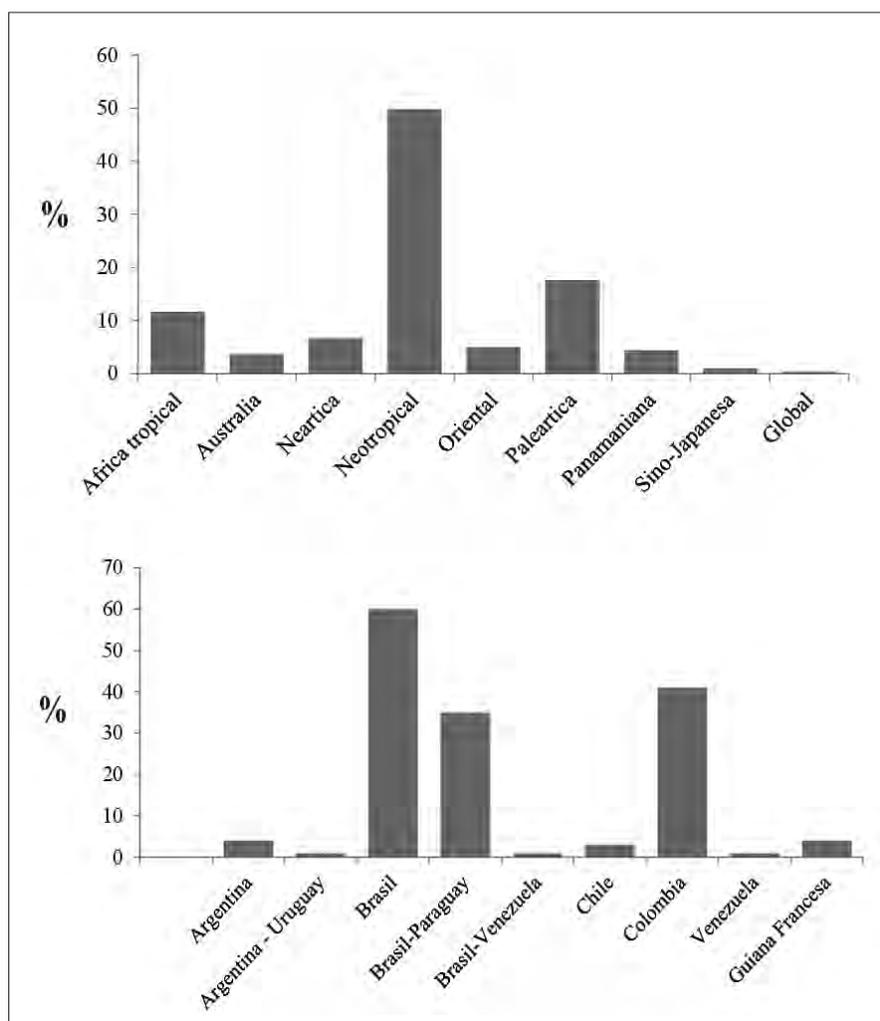


Figura 4. Número de trabajos encontrados (publicados y no publicados) por región biogeográfica, y dentro de la región neotropical, por país. Las regiones biogeográficas siguen a Holt et al. (2013).

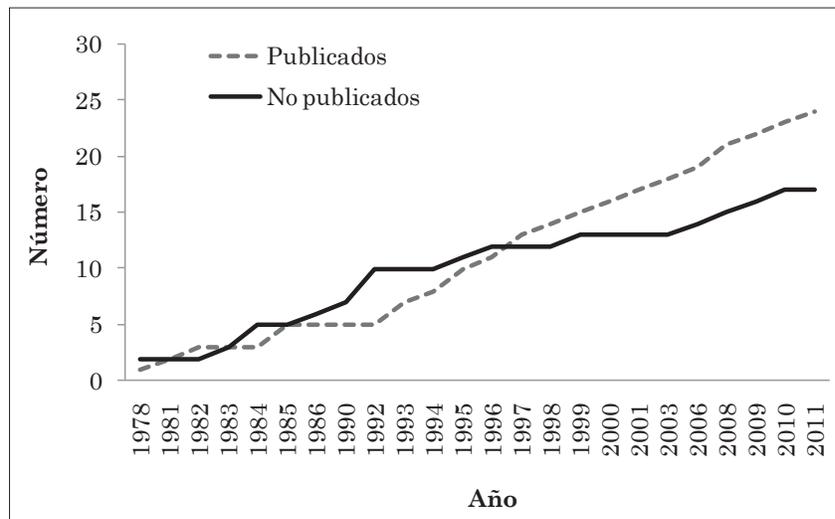


Figura 5. Distribución acumulada anualmente del número de estudios publicados y no publicados (literatura gris), en Colombia.

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
Cambio de la ruta de migración de peces	43	6
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
Cambio en el uso del hábitat por los peces dentro del embalse	15	2
Características de los embalses influyen en la distribución de las especies que los habitan	15	2
Cambio en la actividad pesquera de la cuenca	58	32
Cambio en la actividad pesquera y en la productividad pesquera de la cuenca	58	32
Cambio en la estructura del ensamblaje en embalse	128	16
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.

	Global	Colombia
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
Cambio en la estructura del ensamblaje en río aguas abajo del embalse	54	0
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
Cambio en la pesquería dentro del embalse	21	2
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
Incremento en el conocimiento científico de la ictiofauna	76	10
Conocimiento de la ictiofauna (reporte de nuevas especies, estudios de riqueza, diversidad, dieta, reproducción)	76	10
Mayor efectividad en la mitigación por afectación de la ictiofauna	21	10
Desarrollo de nuevas tecnologías para mitigar efecto de embalses	6	0
Recuperación de variabilidad genética de la población de una especie nativa	15	10
Modificación de las relaciones entre pescadores	6	2
Conflictos con pescadores deportivos en el uso de los recursos pesqueros	6	2
Modificación en el ciclo de nutrientes en la cuenca	3	0
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).

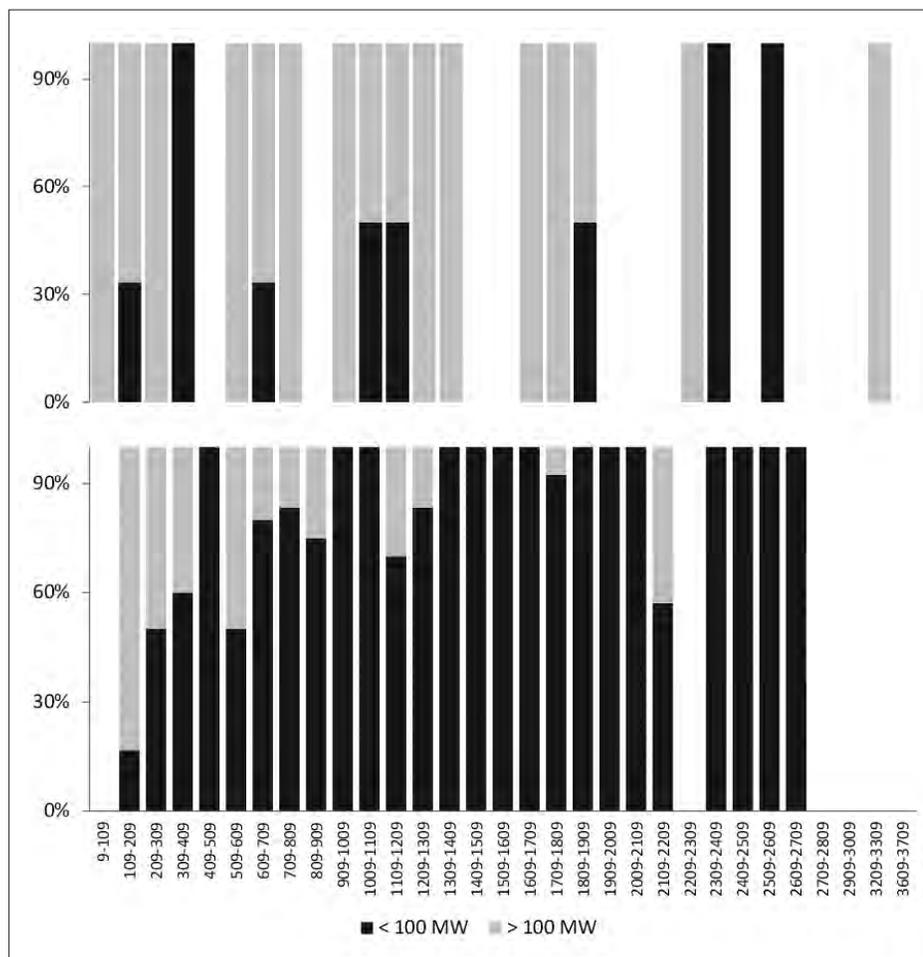


Figura 7. Distribución porcentual por intervalo de altitud (m) y capacidad instalada en embalses para generar energía eléctrica en la cuenca del río Magdalena-Cauca. Figura superior: construidos y en construcción, figura inferior: en estudio.

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

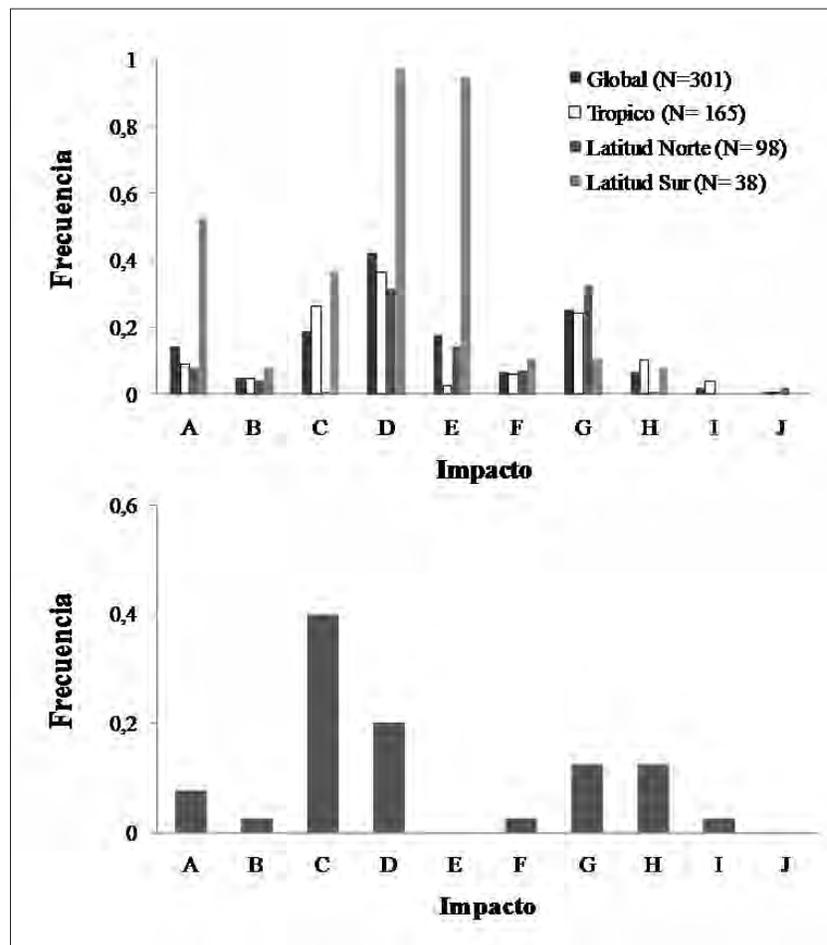


Figura 6. Frecuencia de reporte de los impactos que generan la formación de embalses para la generación de energía eléctrica a nivel global (superior) y en Colombia (inferior). **A.** Cambio de la ruta de migración de peces. **B.** Cambio en el uso del habitat por los peces dentro del embalse. **C.** 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

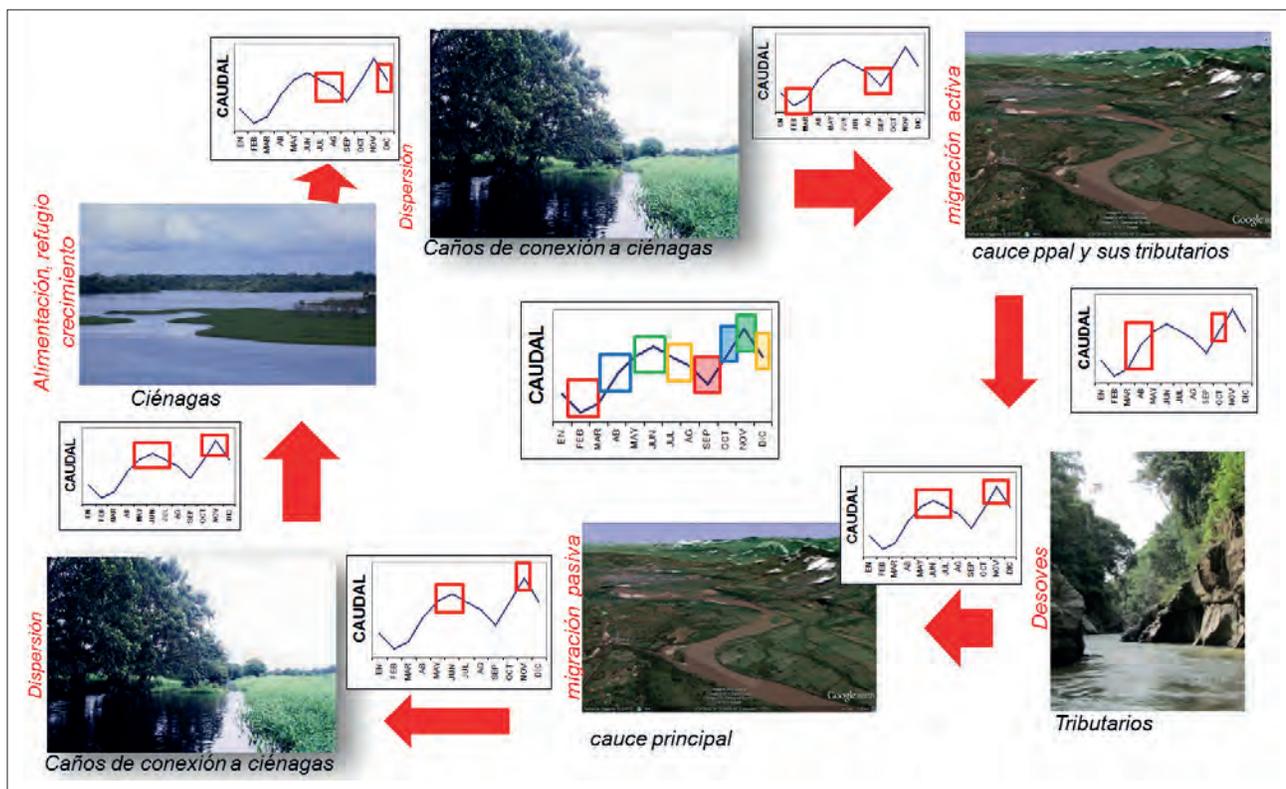


Figura 8. Ciclo de migración entre los diferentes sistemas acuáticos en la cuenca del río Magdalena-Cauca.

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. magdalena* 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⁻¹, 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. Villanar. 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 potádmicos 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

Peces migratorios al interior de una central hidroeléctrica: caso Miel I, cuenca del río Magdalena (Caldas-Antioquia), Colombia

Silvia López-Casas, Luz Fernanda Jiménez-Segura y Clara María Pérez-Gallego

Resumen

Uno de los impactos más evidentes del represamiento de un río es la interrupción de las rutas migratorias, sin embargo, las características de la presa, el río y su ictiofauna, hacen imposibles las generalizaciones sobre los posibles efectos. Desde el comienzo de la operación de la Central Hidroeléctrica Miel I, se detectó el ingreso de peces desde el río La Miel al interior de la central (hasta la caverna de oscilación). Para determinar la composición de los peces allí presentes y evaluar los posibles efectos en la migración, durante un año (abril 2010-abril 2011) se marcaron y liberaron individuos adultos, y se realizaron colectas de ictioplancton, tanto en la caverna de oscilación como en la salida del túnel de fuga. Se encontraron individuos de especies migratorias y no migratorias, principalmente piscívoros y detritívoros-raspadores. Los individuos que entraron a la caverna encontraron rápidamente la salida a través del orificio de restricción y retornaron al canal principal del río La Miel. Los peces no desovaron en las estructuras de la central. Se concluye que la caverna de oscilación no es una barrera definitiva a la migración, sino que se constituye como un hábitat de paso para los individuos migrantes.

Palabras clave. Caverna de oscilación. Peces potádromos. Rutas migratorias. Río Magdalena. Marcaje y recaptura. Ictioplancton.

Abstract

One of the most obvious impacts of damming a river is the disruption of migratory routes, however, the characteristics of the dam, the river and its fish fauna make impossible the generalizations about the possible effects. Since the beginning of the operation of La Miel I hydropower plant, it was detected the entrance of fish into the hydropower plant (through the surge chamber) from La Miel river. To determine the composition of the fish and evaluate the potential effects on migration, for one year (April 2010-April 2011) adult individuals were tagged and released and ichthyoplankton collections were made, both in the surge chamber and in the discharge channel. Individuals of migratory and non-migratory species, mainly piscivorous and detritus-scrapers were found. Individuals who entered the surge chamber were able to find quickly the exit through the restriction orifice and returned to the main channel of La Miel River. The fish did not spawn in the central structures. We conclude that the surge chamber is not an absolute barrier to migration, but it is a staging habitat for migrant individuals.

Key words. Hidropower plant. Potadromous fish. Migratory routes. Magdalena river. Tag and recapture. Ichthyoplankton.

Introducción

Entre los efectos ambientales negativos causados que el represamiento de ríos, se identifica la interrupción de las rutas migratorias de los peces, afectando el tránsito libre entre las áreas de desove, las de desarrollo inicial y alimentación (Larinier 2001, Ligon *et al.* 1995). Sin embargo, las características propias del diseño de la presa, del río y su ictiofauna, hacen imposible generalizar los posibles impactos en todos los embalses. Como un caso general, se encuentran reportadas las lesiones y mortalidades de los peces por el contacto de éstos con la estructura física de los componentes de la presa (vertedero y turbinas), al igual que de las condiciones hidrodinámicas creadas durante la operación de la central y la atracción y mortalidad de peces por asfixia en el ducto de succión (Agostinho *et al.* 2007). La pérdida de peces en proyectos hidroeléctricos ha sido poco estudiada en Suramérica, e incluso en Norteamérica donde se considera prioritaria, los reportes son escasos y controversiales (Agostinho *et al.* 2007). Adicionalmente, la información sobre estos eventos es tratada de forma “sigilosa”, lo que dificulta una discusión abierta que permita el entendimiento y la mitigación del problema.

En enero de 2003, luego del inicio de la operación de la central hidroeléctrica Miel I (diciembre 2002), se detectó la presencia de peces en la caverna de oscilación de la Central Hidroeléctrica Miel I (Figura 1).



Figura 1. Peces al interior de la caverna de oscilación durante la segunda temporada reproductiva del año (agosto 2010).

La primera vez que se observó esta situación coincidió con la llegada al río la Miel de los peces de la subienda provenientes del canal principal del río Magdalena. Bocachicos (*Prochilodus magdalenae*), picudas (*Salminus affinis*) y mohínos (*Leporinus muyscorum*), todos ellos de especies migratorias, ingresaron a través del túnel de descarga y tras recorrer 4,1 km llegaron hasta la caverna de oscilación en donde se acumularon (Ingetec S. A. 2004).

La entrada de peces al interior de las instalaciones de la Central no fue prevista en los estudios ictiológicos previos ni en el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto. Dentro de los estudios de línea base se tenía contemplado que los peces migratorios remontarían el río La Miel hasta la zona de La Palmera (11 km aguas abajo de la presa), lugar establecido como el límite natural de la subienda, y que eventualmente algunos individuos llegarían hasta la zona de descarga de la Central, sitio en el cual tenderían a aglomerarse (Figura 2). En ningún caso se contempló que penetrarían a través del túnel de descarga, ni que lograrían remontarlo en su totalidad, en razón de las condiciones de velocidad de las aguas y ausencia de luz en su interior, lo que sumado a las características físicas y químicas de las aguas, en especial por la baja concentración de oxígeno disuelto y presencia de H₂S, serían adversas para los peces (Mojica y Jiménez-Segura 2001).



Figura 2. Acumulación de peces en la entrada del túnel de fuga, lugar de descarga del agua turbinada de la central hidroeléctrica Miel I en el río La Miel.

El tránsito de peces a través del conducto de descarga de las aguas turbinadas no había sido reportado en ninguna otra de las hidroeléctricas del país (Ingetec S. A. 2004), así que en su momento se asumió que los peces que alcancen la caverna de oscilación no evacuarán este lugar espontáneamente, pues su instinto los induce a permanecer allí, y que en ningún caso, tenderían a devolverse al río La Miel, por lo que permanecerán al interior en la caverna hasta morir (Mojica y Galvis 2003). A continuación se presentan los resultados de varios experimentos de pesca experimental y marca-recaptura para probar las anteriores hipótesis, que buscan responder a las siguientes preguntas: ¿Cuál es la composición de especies en la caverna de oscilación en la central Miel I?, ¿hay individuos de especies migratorias?, ¿cómo está estructurado (tallas, pesos, bienestar) el ensamblaje de estas especies dentro de la caverna?, ¿los individuos migrantes que provienen del canal principal del río Magdalena y que entran por túnel de fuga hasta la caverna de oscilación de la central Miel I, permanecen “atrapados” en la estructura?, ¿cuánto tiempo permanecen dentro de la central?, ¿son capaces de salir de allí?, ¿se están reproduciendo estas especies dentro de la caverna de oscilación?, es decir, ¿se realizan desoves dentro de la estructura?

Material y métodos

Área de estudio

La cuenca del río La Miel está localizada en el flanco oriental de la cordillera Central y está circunscrita al sector central de la vertiente Magdalénica. La cuenca del río La Miel tiene una extensión de 1164 km² (Corpocaldas 2004) y el río es considerado como uno de los mayores tributarios de esta zona del Magdalena. El río tiene una longitud total de 104 km. Nace a los 3600 m.s.n.m. y descarga un caudal medio de 338,6 m³/s (media de los años 2010 y 2011) en el río Magdalena a los 146 m.s.n.m. Desde su nacimiento hasta el sitio de la presa el río tiene una longitud de 68 km (Universidad de Antioquia 2005).

La central hidroeléctrica está localizada en el municipio de Norcasia, al nororiente del departamento de Caldas sobre el río La Miel, aproximadamente a 05° 35' de latitud norte y 74° 52' de longitud, y a 47 km de la

confluencia con el río Magdalena (Universidad de Antioquia *op. cit.*).

La central hidroeléctrica es subterránea, se localiza en la margen izquierda del río La Miel y consta de tres cavernas: caverna de máquinas, caverna de transformadores y caverna de oscilación (Figura 3). Esta última tiene 52 m de longitud, 15 m de ancho y 44,5 m de altura, está localizada aguas abajo de la caverna de máquinas, allí se colectan las descargas de las turbinas para amortiguar los transientes de presión ocasionados por la operación normal de las máquinas. Desde allí, a través de un orificio de restricción situado en el fondo de la caverna a modo de sifón, sale el agua hacia el río a través del túnel de fuga. El túnel tiene una sección de 9,0 m por 9,05 m, se inicia a continuación de la caverna de oscilación y tiene una longitud total de 4,1 km, con solera y revestimiento de concreto (Isagen S. A. 2009).

Diseño del muestreo

Se realizaron muestreos mensuales de pesca, marca y recaptura desde abril de 2010 hasta abril de 2011, y de ictioplancton desde abril de 2010 a septiembre de 2011. Por motivos de seguridad, de octubre a diciembre del 2010 no pudieron realizarse actividades de pesca ni toma de datos.

Debido a las condiciones de seguridad de la central, el muestreo dentro de la caverna de oscilación se limitó a periodos de máximo tres horas, en los que la central turbinó bajo condiciones experimentales, con una sola turbina en funcionamiento en su mínima potencia. En algunas ocasiones, por orden del Centro Nacional de Despacho, el periodo fue menor, pues la central fue requerida para la operación. Durante dichos periodos se registraron las especies observadas dentro de la caverna.

Marcaje de individuos

En la central, durante la totalidad del tiempo que se tuvo acceso a la caverna de oscilación, se usaron diversos aparejos de pesca: atarrayas y redes de espera de diferentes aperturas de malla, red bolichera, anzuelos con carnada viva y muerta y electropesca. Adicionalmente se intentó maximizar la eficacia de los diferentes aparejos con atracción con láser. Para la

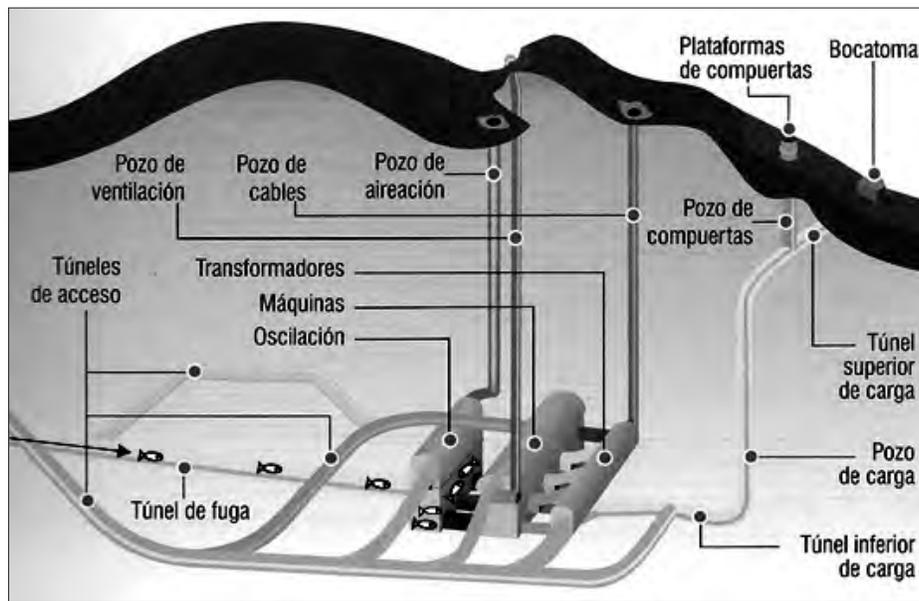


Figura 3. Esquema de la entrada de los peces provenientes del río La Miel a la central subterránea La Miel I. Fuente: Isagen S. A. (2009).

pesca en la descarga del túnel de fuga se utilizó sólo atarraya. Para cada aparejo y en ambos ambientes se realizaron el mayor número de lances que fueran posibles durante el tiempo dado por la central.

Los peces capturados se pasaron por una caneca con solución de clavo disuelta en agua (0,8 mL de Eugenol/L de agua), para anestesiarnos. Posteriormente, cada ejemplar fue pesado, medido en su longitud estándar, numerado (consecutivo de las marcas), marcado y liberado. La marca fue hecha de un pequeño tubo plástico que contenía un papel enrollado con el número de la marca y la información necesaria para proceder en caso de encontrarla. La marca se ató al pez por medio de cáñamo encerado entre los últimos dos pterigióforos de la aleta dorsal. Para prevenir infecciones se usó una solución de yodo en el lugar de la punción.

Debido a las condiciones de seguridad y disponibilidad de acceso a la caverna de oscilación, los peces marcados recibieron tres tratamientos: 1) Para determinar si los individuos que entran a la caverna de oscilación eran capaces de salir de ella y retornar al río La Miel, los peces capturados en caverna de oscilación fueron marcados y liberados dentro de la caverna (abril a septiembre de

2010). 2) Posteriormente, debido a los resultados poco significativos, de enero a abril de 2011, los individuos marcados en el túnel de fuga fueron transportados al interior de la central (caverna de oscilación) en bolsas plásticas con agua, solución de clavo y oxígeno. Una vez allí, los individuos se depositaron en el cuerpo de agua de la caverna, esperando a que se aclimataran y que cada uno saliera por sus propios medios. 3) Con el fin de verificar si los peces que se acumulaban en túnel de fuga ingresaban a la caverna de oscilación, después de marcados, los individuos capturados en túnel de fuga fueron liberados en túnel de fuga.

Adicional al número del individuo, las marcas tenían una leyenda de “recompensa por la información” y un número telefónico. A las personas que llamaron a reportar marcas se les pidió a los pescadores el número de la etiqueta, lugar y fecha de captura, talla, sexo, madurez y especie del pez, además de una dirección para enviar un premio como recompensa.

Con esta información, para cada individuo se calculó la distancia recorrida y el tiempo transcurrido desde el momento del marcaje hasta la recaptura. Se asumió como tiempo y distancia cero el correspondiente al momento de la liberación; las distancias negativas

corresponden a movimientos descendentes (aguas abajo) y las positivas a movimientos ascendentes (aguas arriba) desde el punto en el que los individuos fueron liberados.

Ictioplancton

Para la recolección de ictioplancton fue usada una red con flujómetro, malla de 4 micrómetros y 0,38 m de diámetro en su boca, filtrando a contraflujo durante un minuto en cada momento de muestreo, tanto dentro de caverna de oscilación como en túnel de fuga. La muestra se fijó con alcohol al 96 %.

Las muestras fueron revisadas en el estereoscopio con en el fin de detectar la presencia de huevos o larvas de peces.

Resultados

Especies de peces en caverna de oscilación

Se capturaron 943 individuos pertenecientes a ocho especies, cinco de ellas migratorias (Tabla 1). Del total, 13 individuos (cinco especies) fueron capturados y liberados en la caverna de oscilación; 808 individuos (tres especies) se capturaron y marcaron en túnel de

fuga para ser liberados en la caverna de oscilación y 122 individuos (seis especies) se marcaron y liberaron en túnel de fuga (Tabla 1).

Durante los seis meses en los que se pescó dentro de la caverna de oscilación se registraron cinco especies de peces, de las cuales sólo una (*Trichomycterus* sp.) es de pequeño porte. Las cuatro restantes: la mueluda (*Brycon rubricauda*), el pataló (*Ichthyoelephas longirostris*), la guabina (*Rhamdia quelen*), y la picuda (*Salminus affinis*) corresponden a especies de porte medio y grande, superando los 25 cm de longitud estándar y representaron 11 kg totales (para 12 individuos), lo que da una biomasa media de 9,474 g por individuo (Tabla 2).

A pesar de que no fueron capturados, dentro de la caverna de oscilación también se observó un gran número de individuos de bocachico (*P. magdalenae*). También durante los periodos de migración se observaron individuos de moíno (*L. muyscorum*) y ocasionalmente individuos de la familia Pimelodidae, que podrían corresponder a nicuros (*Pimelodus blochii*) o capaces (*Pimelodus grosskopfii*), por su morfología.

Tabla 1. Número de especies capturadas en caverna de oscilación (CO), en túnel de fuga (TF) y especies capturadas en túnel de fuga y liberadas en caverna de oscilación (TF/CO) durante los muestreos. + Especies migratorias.

Especie	Nombre común	CO	TF/CO	TF	Total
<i>Brycon rubricauda</i> Steindachner, 1879 +	Mueluda	2	1		3
<i>Ichthyoelephas longirostris</i> (Steindachner, 1879) +	Pataló	7	6	2	15
<i>Leporellus vittatus</i> (Valenciennes, 1850)	Filipino, Corunta		2		2
<i>Leporinus muyscorum</i> Steindachner, 1901 +	Moino		256	8	264
<i>Prochilodus magdalenae</i> Steindachner, 1879 +	Bocachico		542	112	654
<i>Rhamdia quelen</i> (Quoy y Gaimard, 1824)	Guabina	1			1
<i>Salminus affinis</i> Steindachner, 1880 +	Picuda	2	1		3
<i>Trichomycterus</i> sp		1			1
Total		13	808	122	943

Tabla 2. Abundancia en peso (g) de las especies capturadas en caverna de oscilación (CO), en túnel de fuga (TF) y especies capturadas en túnel de fuga y liberadas en caverna de oscilación (TF/CO) durante los muestreos.

Especie	Gremio trófico	CO	TF/CO	TF	Total
<i>Brycon rubricauda</i>	Piscívora, omnívora	2.250	230		2.480
<i>Ichthyoelephas longirostris</i>	Detritívora	7.110	460	410	7.980
<i>Leporellus vittatus</i>	Omnívora		265		265
<i>Leporinus muyscorum</i>	Omnívoro, herbívora		25.060	465	25.525
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Detritívora		72.367	27.186	9.553
<i>Rhamdia quelen</i>	Piscívora, omnívora	220			220
<i>Salminus affinis</i>	Piscívora	1.785	195		1.980
<i>Trichomycterus</i> sp.		4			4
Total		11.369	98.577	28.061	138.007

De todas las especies capturadas y observadas, se registró la presencia visual permanente de mueludas, picudas, patalós y bocachicos.

Movimientos y “tiempos de permanencia” de los peces

En total, de los 943 individuos capturados tanto en túnel de fuga como en la caverna de oscilación, se marcaron 839 individuos y se obtuvieron 24 reportes de recapturas, lo que corresponde a 2,8 % del total marcado. La mayoría de los reportes fueron de aguas abajo del túnel de fuga en el río La Miel y río Magdalena. No hubo ninguna recaptura en la caverna de oscilación (Figura 4, Tabla 3).

De los individuos recapturados, 18 (75 %) fueron bocachicos (*P. magdalenae*); cinco (20,8 %) moínos (*L. muyscorum*) y uno fue una corunta o filipino (*L. vittatus*) (Tabla 3). Todos los individuos liberados tanto en caverna de oscilación como en túnel de fuga fueron recapturados aguas abajo de su lugar de liberación, con la única excepción de un bocachico (con la marca 999), que tras salir de la caverna fue recapturado en Puente Hierro, aguas arriba del túnel de fuga.

La mayoría de las recapturas ocurrieron cercanas a túnel de fuga: 11 ocurrieron a menos de 3,5 km de la

descarga del túnel en el río La Miel; siete entre los 3,5 y 40 km aguas abajo del lugar de liberación y las otras cuatro a más de 40 km de distancia del lugar de liberación (Tabla 4).

En escala temporal, casi la mitad de los individuos (10 ind.) fueron recapturados el mismo día de su liberación tras haber recorrido una distancia inferior a 4,6 km (Tabla 4).

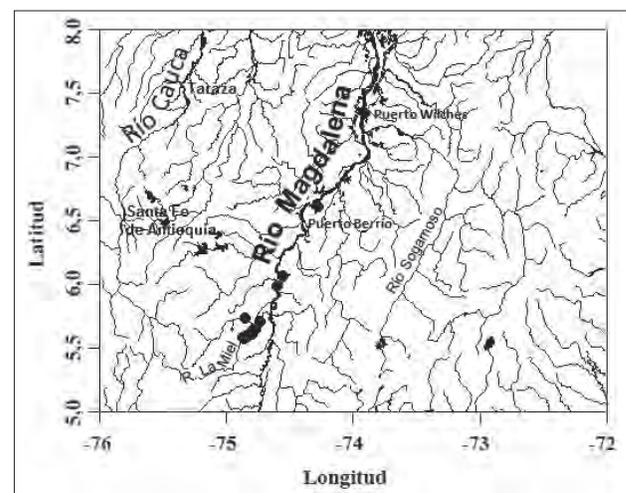


Figura 4. Lugares de recaptura de las especies liberadas en túnel de fuga o caverna de oscilación.

Tabla 3. Lugares de marcaje y recaptura de las especies liberadas en túnel de fuga o caverna de oscilación. **TF:** Túnel de fuga. **CO:** Caverna de oscilación. **CRLM:** Cuenca del río La Miel. **RM:** río Magdalena. **CCC:** Caño de conexión a ciénaga.

Especie	Marcaje		Recaptura	
	No.	Estación	Lugar	Estación
<i>L. muyscorum</i>	1179	TF/CO	Río La Miel, entre la presa y TF, aguas arriba de TF	CRLM
<i>P. magdalenae</i>	999	TF/CO	Río La Miel, entre la presa y TF, aguas arriba de TF	CRLM
<i>P. magdalenae</i>	1851	TF	Río La Miel, 2 km abajo de TF	TF
<i>P. magdalenae</i>	1875	TF	Río La Miel, 100 m abajo de TF	TF
<i>P. magdalenae</i>	3398	TF	Río La Miel, 1 km abajo de TF	TF
<i>P. magdalenae</i>	3238	TF	Río La Miel, 8 km abajo de TF	CRLM
<i>P. magdalenae</i>	3438	TF	Río La Miel, 2 km abajo de TF	TF
<i>P. magdalenae</i>	1762	TF	Río La Miel, 2 km abajo de TF	TF
<i>L. muyscorum</i>	4675	TF/CO	Río La miel en TF	TF
<i>P. magdalenae</i>	1016	TF/CO	Río La miel 41,2 km abajo de TF	CRLM
<i>P. magdalenae</i>	3203	TF	Río La Miel, 6km abajo de TF	CRLM
<i>P. magdalenae</i>	3429	TF	Río La Miel, 8 km abajo de TF	CRLM
<i>P. magdalenae</i>	3438	TF	Río La Miel, 2 km abajo de TF	TF
<i>L. muyscorum</i>	3173	TF	Río La Miel, 4 km abajo de TF	TF
<i>P. magdalenae</i>	3299	TF/CO	Río La Miel, 2 km abajo de TF	TF
<i>L. muyscorum</i>	3199	TF	Río La Miel, 100 m abajo de TF	TF
<i>P. magdalenae</i>	3242	TF	Quebrada La Pardo, desembocadura en el Río La Miel, 13 km abajo de TF	CRLM
<i>P. magdalenae</i>	3374	TF	Caño Vasconia, entra a la ciénaga de Palagua, en Puerto Boyacá (Boyacá)	CCC
<i>L. vittatus</i>	1343	TF	Río La Miel, 100 m abajo de TF	TF
<i>P. magdalenae</i>	3133	TF	Río La Miel, 2 km abajo de TF	CRLM
<i>P. magdalenae</i>	1848	TF	Caño de la Vuelta Acuña, que comunica a una ciénaga al Magdalena, Cimitarra (Santander).	CCC
<i>L. muyscorum</i>	4852	TF	Estación Pita, corregimiento de Puerto Triunfo, río Magdalena	RM
<i>P. magdalenae</i>	4772	TF/CO	Río La Miel, 2 km aguas abajo de TF	CRLM
<i>P. magdalenae</i>	4816	TF/CO	Río Magdalena, en Puerto Wilches	RM

Tabla 4. Distancia recorrida (en km) y tiempo (en días) transcurrido entre la liberación y la recaptura de los individuos de especies migratorias marcados y liberados en túnel de fuga o caverna de oscilación. El tiempo y distancia cero corresponde al momento de la liberación. Las distancias negativas corresponden a movimientos descendentes y las positivas a movimientos ascendentes tomando como punto de partida el lugar de liberación. **TF:** túnel de fuga. **CO:** caverna de oscilación. **TF/CO:** capturado en túnel de fuga y liberado en caverna de oscilación. + Especies migratorias.

Especie	Marcaje		Recaptura		
	No.	Estación	Estación	distancia	Tiempo
<i>L. muyscorum</i>	1179	TF/CO	CRLM	-3,5	0
<i>P. magdalenae</i>	999	TF/CO	CRLM	4,6	1
<i>P. magdalenae</i>	1851	TF	TF	-2	0
<i>P. magdalenae</i>	1875	TF	TF	-0,7	6
<i>P. magdalenae</i>	3398	TF	TF	-1	0
<i>P. magdalenae</i>	3238	TF	CRLM	-8	1
<i>P. magdalenae</i>	3438	TF	TF	-0,33	1
<i>P. magdalenae</i>	1762	TF	TF	-0,88	12
<i>L. muyscorum</i>	4675	TF/CO	TF	-4,1	0
<i>P. magdalenae</i>	1016	TF/CO	CRLM	-45,3	34
<i>P. magdalenae</i>	3203	TF	CRLM	-16,2	32
<i>P. magdalenae</i>	3429	TF	CRLM	-13,5	37
<i>P. magdalenae</i>	3438	TF	TF	-2	1
<i>L. muyscorum</i>	3173	TF	TF	-4	18
<i>P. magdalenae</i>	3299	TF/CO	TF	-1,5	0
<i>L. muyscorum</i>	3199	TF	TF	-0,33	26
<i>P. magdalenae</i>	3242	TF	CRLM	-13,5	32
<i>P. magdalenae</i>	3374	TF	CCC	-69,8	41
<i>Leporellus vittatus</i>	1343	TF	TF	-0,1	0
<i>P. magdalenae</i>	3133	TF	CRLM	-0,88	35
<i>P. magdalenae</i> +	1848	TF	CCC	-183,5	85
<i>L. muyscorum</i> +	4852	TF	RM	-60,9	70
<i>P. magdalenae</i>	4772	TF/CO	CRLM	-6,1	149
<i>P. magdalenae</i>	4816	TF/CO	RM	-283	805

El tiempo de residencia de los individuos liberados dentro de la caverna de oscilación estuvo entre cero y un día (Tabla 4), indicando que una vez allí, los peces migratorios encuentran rápidamente el orificio de restricción y avanzan rápidamente hasta la salida del túnel, en donde casi siempre inician un movimiento descendente (río abajo). De los individuos liberados en el Túnel de fuga, 11 permanecieron cerca al lugar de su liberación (por lo que se consideró que fue recapturado dentro de dicha estación, hasta 5 km) por periodos que van entre 0 y 35 (individuo 3133) días. Adicionalmente, hubo cuatro individuos que tras ser liberados se desplazaron aguas abajo, sin salir del río La Miel, por periodos de entre 13 y 37 días (individuos 3242, 3429, 3203 y 1016).

En abril y mayo de 2011 se recapturaron cuatro individuos en la parte baja de la cuenca media del río Magdalena, reportándose recapturas en caños de conexión a ciénagas y sobre el río Magdalena (No. 3374, No. 1848, No. 4852 y No 4816), siendo los individuos con mayores tiempos y distancias recorridas desde el momento de su liberación (69,8,

183, 60,9 y 283 km respectivamente); (Figura 4, Tabla 4), llegando hasta Puerto Wilches (Santander) 283 km aguas abajo de la caverna de oscilación.

En los muestreos de ictioplancton en la caverna de oscilación y en el túnel de fuga no se capturaron huevos ni larvas de peces, indicando que los peces allí presentes no usan la caverna de oscilación como hábitat de desove.

Discusión

Especies en la caverna de oscilación

Dentro de la caverna de oscilación los aparejos de pesca presentaron baja efectividad, esto se debe a las características propias de la estructura de la caverna. Presenta una altura de 44,5 m y una profundidad mínima de 28 m, cuando la Central opera con una turbina, por lo que las redes (atarrayas y trasmallos) no alcanzan el fondo, siendo ésta una condición necesaria para su correcto funcionamiento. Adicionalmente, se trata de un ambiente homogéneo, en el que el

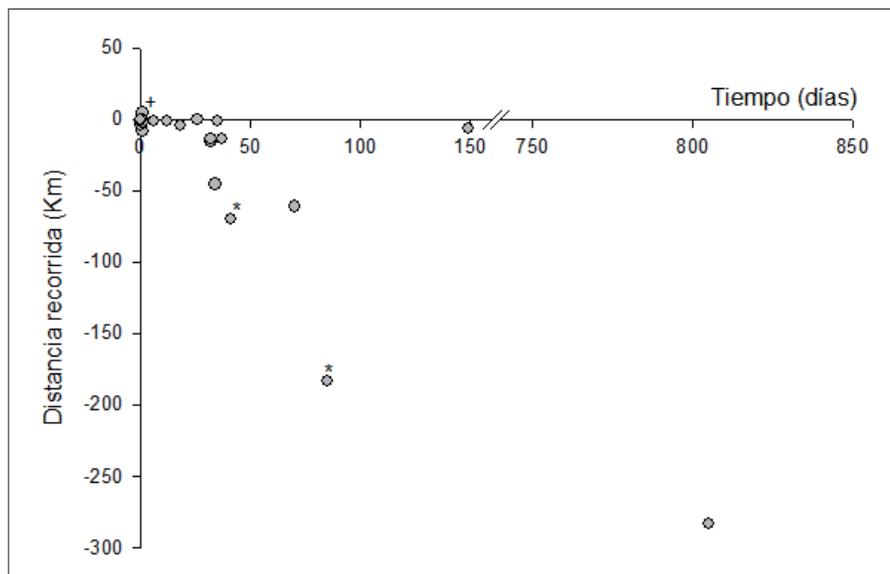


Figura 5. Distancia y tiempo entre la liberación y la recaptura de los individuos de especies migratorias marcados y liberados en túnel de fuga o caverna de oscilación. Nótese que + corresponde al individuo No 999 capturado en Puente Hierro; y * corresponden a individuos que, tras realizar un movimiento descendente en la cuenca del río La Miel y en el Magdalena, realizaron un movimiento lateral posterior, entrando por un caño de conexión a una ciénaga.

rango de acción de la electropesca y la red bolichera fue muy limitado, ya que estos dos aparejos basan su efectividad en “atraer” y rodear los peces de los lugares que ellos usen para refugiarse, por lo que ante la ausencia de heterogeneidad ambiental, resultaron poco efectivos.

Esta condición afectó los resultados obtenidos sobre la composición de especies. Así, el número de especies capturadas dentro de la caverna de oscilación es bajo comparado con el número total de especies reportadas para el ensamblaje del río La Miel (100 especies; Jiménez-Segura *et al.* (en prensa). Adicionalmente, no fue posible determinar la proporción de las poblaciones presentes en la caverna en relación a lo reportado para la cuenca, ni otros aspectos sobre su estructura (distribución de tallas, pesos).

Se capturaron ocho especies asociadas a las estructuras de la caverna de oscilación y el túnel de fuga de la central hidroeléctrica Miel I, cinco de ellas migratorias, todas ellas previamente reportadas en el ensamble de peces de la cuenca del río La Miel. Con excepción del individuo de *Trichomycterus* sp, las especies capturadas en la caverna de oscilación son especies de tamaño mediano y grande, todas ellas con algún tipo de importancia económica, siendo el pataló, el moíno y la picuda las especies de mayor importancia pesquera en la cuenca (Reinoso-Florez *et al.* 2010), y la guabina una especie para el autoconsumo. Llama la atención que las tallas de los individuos capturados en la CO fueron mayores a las tallas mínimas reglamentarias de captura, al igual que a las reportadas para la cuenca baja del río La Miel por Reinoso-Flórez *et al.* (2010), lo que indica que son individuos que ya han alcanzado la edad reproductiva, y que independientemente de su tamaño, en dicho ambiente, bien sea temporal o permanentemente, encuentran recursos que les permiten suplir sus requerimientos, que a su vez deben ser mayores que los de peces de menor tamaño.

Los peces que habitan de manera permanente la caverna de oscilación de la central hidroeléctrica Miel I pertenecen a especies piscívoras y detritívoras-raspadoras, por lo que pueden hacer uso de los limitados recursos disponibles de la estructura de la central (detritus -biofilm- de las paredes, insectos y peces). En general, según la literatura, las especies

de peces presentes en caverna de oscilación pueden categorizarse principalmente en dos gremios tróficos: i) detritívoros con estrategia raspadora, y ii) los piscívoros (Maldonado-Ocampo *et al.* 2005) (Tabla 2). En caverna de oscilación los recursos tróficos son poco diversos, restringiéndose, según lo observado, al bio-film (p. e. hongos, bacterias) que crece sobre las paredes y estructuras (compuertas) de la caverna, en las cuales era posible observar a los peces alimentándose, a larvas de dípteros y macroalgas (colectadas en los arrastres de ictioplacton) y a peces. La caverna de oscilación podría considerarse como un hábitat hostil, pues presenta bajos tenores de oxígeno (datos no publicados), alta variabilidad hidráulica, ausencia de radiación solar y alta homogeneidad ambiental (Mojica y Jiménez-Segura 2001). Por esta razón parece extraño que incluso ante estas condiciones los peces permanezcan en ella, y sea posible la observación permanente de individuos en altas densidades durante las migraciones reproductivas. Si bien ahora conocemos la composición de las especies dentro de esta, no sabemos cuál es el factor o factores que limitan la presencia de las especies dentro de la caverna, y quedan abiertas varias preguntas sobre las razones que llevan a los peces a entrar y a permanecer allí: ¿cuál es el principal limitante para la entrada de las especies a la estructura?, una vez adentro ¿por qué permanecen allí?, son los recursos alimenticios un limitante para su permanencia dentro de la caverna?, o en el caso de los piscívoros, ¿podría ser la alta densidad de presas un aliciente para permanecer allí?, y en el caso de los otros gremios tróficos? A pesar de que no realizamos análisis de contenidos estomacales a los peces capturados, creemos que los recursos alimenticios podrían limitar el tiempo de permanencia de las diferentes especies, por lo que a continuación se realizan algunos planteamientos que podrían guiar próximas investigaciones y explicar lo encontrado.

Agostinho *et al.* (2007) afirman que en estructuras asociadas a hidroeléctricas en las que se produce acumulación de peces migratorios, tales como escaleras, rampas y otras facilidades de transposición los individuos migrantes son vulnerables a depredación dada la alta homogeneidad ambiental y al estado de agotamiento de los individuos, lo que garantiza condiciones favorables para las especies piscívoras de los géneros *Salminus* y *Brycon* (Agostinho *et al.*

2007a, Agostinho *et al.* 2007b). Sin embargo, sería necesaria una inspección de contenidos estomacales de los peces que se encuentran dentro de la caverna para confirmar esta hipótesis.

La guabina (*R. quelen*) también había sido reportada asociada al túnel de fuga de la central en muestreos realizados durante el año 2008, cuando fue capturada desde la “ventana” de acceso al curso medio del túnel (Jiménez-Segura *et al.* 2008). La especie presenta hábitos nocturnos (Maldonado-Ocampo *et al.* 2005), ha sido categorizada como una especie omnívora con tendencia a la carnivoría (Rivas-Lara *et al.* 2010) destacándose por presentar una gran plasticidad en su dieta (Maldonado-Ocampo *et al.* 2005). Esta combinación de factores podría explicar la presencia de la especie en caverna de oscilación. Los insectos, las semillas de plantas, moluscos y crustáceos hacen parte de la dieta del moíno (*L. muyscorum*) y de los pimelódidos (*P. blochii* y *P. groskopffi*), por lo que han sido categorizados como omnívoros con tendencia a la herbivoría (Jiménez *et al.* 2010), y omnívoros oportunistas (López-Casas y Jiménez-Segura 2007, Villa-Navarro 2010), respectivamente. Estas preferencias alimenticias podrían estar limitando la presencia de estas especies, ya que dichos recursos no fueron observados en la estructura.

Movimientos y “tiempos de permanencia” de los peces

Aunque la tasa de recapturas reportada en este trabajo es baja, es similar a los reportadas por otros trabajos en intervalos mayores de tiempo. Así, en el río Paraná se han obtenido recapturas del 2,85 % de varias especies en un intervalo de cinco años (Antonio *et al.* 2007) y de 5,2 % para el armado, *Pterodoras granulosus* en un periodo de nueve años (Makrakis *et al.* 2007). Estas tasas de recapturas reflejan la alta intensidad de la pesca, que es probablemente mayor, pues estaría sesgada debido a errores asociados con pérdida de marcas, el no reportaje de la captura de individuos marcados y posiblemente mortalidad inducida por la manipulación.

Teniendo en cuenta la particularidad del diseño de la central hidroeléctrica Miel I, en dónde a diferencia de otras presas, no se produce acumulación de peces

bajo la presa, pues la salida de agua de las turbinas se encuentra 4,5 km aguas abajo de la presa, la caverna de oscilación se constituye como uno de los puntos finales de la migración ascendente de los peces potádromos de la cuenca magdalénica, a la que ingresan atraídos por el flujo de agua, y en dónde encuentran un obstáculo a la migración, sin embargo la estadía de los individuos migratorios dentro de la estructura de la central puede ser corta, pues la recaptura de individuos en la cuenca baja y en la descarga de túnel de fuga, de individuos marcados y liberados en CO, confirma que tanto los peces migratorios como los no migratorios que entran a la caverna encuentran rápidamente la salida a través del orificio de restricción y retornan al canal principal del río La Miel. Dado que la mayor afluencia de individuos dentro de caverna de oscilación se asocia a los dos periodos de migraciones potádromas registrados para la cuenca magdalénica, y que están asociados con los desoves de estas especies (Jiménez-Segura *et al.* 2010), creemos que: 1) los peces entran a la caverna de oscilación atraídos por el flujo del agua como sucede en otras estructuras de generación hidroeléctrica (Agostinho *et al.* 2007); 2) los individuos migrantes se acumulan en la caverna de oscilación ante la imposibilidad de continuar su movimiento ascendente (Ingetec S. A. 2004); 3) Durante los meses de aguas bajas en el río Magdalena, que corresponden al periodo de la migración reproductiva, es posible que los ejemplares observados dentro de la caverna estén utilizando este lugar por periodos cortos de tiempo haciendo una “pausa” en su migración en tanto retornan al cauce principal en búsqueda de los tributarios más cercanos (ríos Manso y Samaná), que han sido identificados como áreas de desove (Universidad de Antioquia-Isagen, 2012). En el ámbito de la migración reproductiva, la utilización de “zonas de parada” ó *staging areas* ha sido reportada en ambientes naturales (Godinho y Kinard 2006), en donde los individuos migrantes (*prespawning fish*) permanecen cerca de los posibles hábitats de desove. Aunque este comportamiento no se ha reportado para estructuras de hidroeléctricas, la caverna de oscilación podría estar cumpliendo con esta función, constituyéndose en un área de permanencia temporal durante el periodo reproductivo, con peces entrando y saliendo permanentemente de la estructura, sin embargo una investigación más profunda sería necesaria para probar estas hipótesis, por ejemplo esto

por medio de un seguimiento a la densidad de los peces dentro de la caverna, por ejemplo con un la utilización de equipos para el conteo de peces (“fish counters”), y con la utilización de marcas con GPS, que permitan tener datos de los movimientos exactos de los peces una vez se encuentren fuera de la estructura.

Adicional a lo anterior, estudios de ictioplancton realizados en la cuenca del río La Miel y sus tributarios, concluyen que el aguas abajo de la presa, en lecho seco (Puente Hierro), túnel de fuga y la cachasa no son hábitats de desove de las especies de peces potádromas provenientes del Magdalena, y por el contrario, se reporta que los tributarios, tanto el río Manso como el Samaná, se constituyen como las principales áreas de desove de la cuenca (Moreno *et al.* 2013), demostrando que tras el bloqueo de las rutas migratorias, los peces son capaces de encontrar rutas alternativas y con ello la importancia de los tributarios no regulados para el mantenimiento de las poblaciones (Antonio *et al.* 2007).

La recaptura de peces marcados en la caverna de oscilación fuera del periodo de la migración reproductiva ocurrieron circunscritas principalmente a dos zonas: dentro de la cuenca del río La Miel, y fuera de ésta, en los lagos del plano inundable o ciénagas y sus caños de conexión con el canal principal del río Magdalena. En general, se han identificado dos tipos de hábitats no relacionados con el desove (*non spawning grounds*) para los peces de ríos: hábitat de alimentación y hábitat de refugio (Lucas y Baras 2001). Las recapturas de individuos en caños de conexión a ciénagas y sobre el río Magdalena (en abril y mayo), corresponden al retorno tras la temporada reproductiva, es decir, la migración descendente o “bajanza”, de los individuos migrantes a las zonas bajas del río Magdalena, en dónde se encontrarían sus hábitats de refugio y alimentación (Kapestky 1978, Jiménez-Segura *et al.* 2010), por lo que son los individuos con mayores tiempos y distancias recorridas desde el momento de su liberación. Según el patrón reproductivo reportado para las especies potádromas de la cuenca del río Magdalena (Kapestky 1978, Jiménez-Segura *et al.* 2010, López-Casas *et al.* 2013), tras el desove, la mayoría de los individuos retornan a los lagos del plano inundable, sin embargo algunos permanecen en el canal del río La Miel, para

para quienes pasada el periodo reproductivo, podría considerarse un hábitat de alimentación, ya que dadas las características del río, con poco desarrollo de plano inundable, hacen poco probable que pueda ser considerado un hábitat de refugio similar al encontrado en las zonas bajas de la cuenca del Magdalena.

Jiménez-Segura *et al.* (2008) afirman haber observado actividades de los peces asociadas al cortejo y desove de Characiformes dentro de la estructura de la caverna de oscilación. Sin embargo, según los resultados del muestreo de ictioplancton, los peces no se están reproduciendo en las estructuras de caverna de oscilación ni en túnel de fuga.

En conclusión, asociados a las estructuras de la caverna de oscilación y el túnel de fuga de la central hidroeléctrica Miel I, se encontraron especies principalmente migratorias, tanto piscívoras como detritívoras-raspadoras, que pueden hacer uso de los limitados recursos disponibles de la estructura de la central (detritus -biofilm- de las paredes, insectos y peces), tal como se observó. Siendo la oferta de recursos alimenticios, al igual que la ausencia de hábitats de refugio, un limitante para las especies que hasta allí se desplazan. Los peces migratorios y no migratorios que entran a la caverna son capaces de encontrar rápidamente la salida a través del orificio de restricción y retornan al canal principal del río La Miel, por lo que la permanencia en dicha estructura no se constituye como un atrapamiento, es potencialmente corta y parece estar asociada a la duración de la estación reproductiva, así como a la espera de las señales para el desove y fertilización de los oocitos, a pesar de lo cual, los peces no se reproducen en la caverna de oscilación ni en túnel de fuga. Adicionalmente, se concluyó que los hábitat de refugio y alimentación de los individuos migrantes de *P. magdalenae* y *L. muyscorum* marcados en el río La Miel, se encuentran aguas abajo de Puerto Triunfo, al menos desde Puerto Boyacá (Boyacá) y hasta Puerto Wilches (Santander) 283 km aguas abajo de CO.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Isagen S. A. E.S.P. su apoyo a la financiación y divulgación del conocimiento científico. Los resultados de este artículo provienen

de la investigación “Dinámica de la asociación de especies de peces, bajo diferentes escenarios hidráulicos” (convenio de cooperación Universidad de Antioquia-Isagen S.A.E.S.P. No. 46/3296). Igualmente agradecemos a los evaluadores, quienes con su trabajo ayudaron a mejorar la calidad del manuscrito.

Literatura citada

- Agostinho, A. A., L. C. Gomes y F. M. Pelicice. 2007. Ecología e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil. EDUEM, Maringá. 501 pp.
- Agostinho, C. S., A. A. Agostinho, F. Pelicice, D. A. De Almeida y E. E. Marques. 2007a. Selectivity of fish ladders: a bottleneck in Neotropical fish movement. *Neotropical Ichthyology* 5 (2): 205-213.
- Agostinho, C. S., C. R. Pereira, R. J. de Oliveira, I. S. Freitas y E. E. Marques. 2007b. Movements through a fish ladder: temporal patterns and motivations to move upstream. *Neotropical Ichthyology* 5 (2): 161-167.
- 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.
- Corpocaldas. 2004. Convenio C043-2004, CORPOCALDAS – QUINAXI para la construcción participativa de los escenarios prospectivos del Plan de Ordenamiento Ambiental de la cuenca hidrográfica del río de la Miel. Informe técnico final. 92 pp.
- Godinho, A. L. y B. Kynard. 2006. Migration and Spawning of Radio-Tagged Zulega *Prochilodus argenteus* in a Dammed Brazilian River. *Transactions of the American Fisheries Society* 135: 811–824.
- Ingetec S. A. 2004. Estudio para evaluar alternativas que impidan el paso de peces a través del túnel de descarga a la central hidroeléctrica Miel I. Contrato No. 46/1145. Informe técnico final.
- Isagen S. A. 2009. Proyecto Manso. Descargado de: http://www.isagen.com.co/metaInst.jsp?rsc=infoIn_pr oyectoHidroelectricoManso&tituloPag=ISAGEN,%20 Proyecto%20Manso
- Jiménez-Segura, L. F., T. S. Rivas, C. E. Rincón, M. A. Morales-Betancourt, J. S. Usma e I. Galvis-Galindo. 2010. *Leporinus muyscorum*. Pp: 171-176. *En*: Lasso, C. A., E. Agudelo Córdoba, L. F. Jiménez-Segura, H. Ramírez-Gil, M. Morales-Betancourt, R. E. Ajiaco-Martínez, F. De Paula Gutiérrez, J. S. Usma Oviedo, S. E. Muñoz Torres y A. I. Sanabria Ochoa (Eds.). 2011. I. Catálogo de los recursos pesqueros continentales de Colombia. 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., S. López-Casas y H. Agudelo-Zamora. 2008. Evaluación del impacto provocado por la operación de la central hidroeléctrica Miel I sobre la actividad pesquera. Informe técnico final. Universidad de Antioquia. Isagen S.A. Medellín, 78 pp.
- 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.
- 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.
- Kapestky J. M., J. J. Escobar, P. Arias y M. Zárate. 1978. Algunos aspectos ecológicos de las ciénagas del plano inundable del Magdalena. Proyecto para el desarrollo de la pesca continental. Inderena-FAO. Bogotá. 22 pp.
- Larinier, M. 2001. Environmental issues, dams and fish migration. *FAO fisheries technical paper* (419): 45-89.
- Ligon, F. K., W. E. Dietrich y W. J. Trush. 1995. Downstream ecological effects of dams. *BioScience* 183-192.
- López-Casas, S., L. F. Jiménez-Segura, F. Villa-Navarro, C. Pérez, D. M. Gualtero-Leal y V. J. Angel-Rojas. Peces potádromos migratorios en la cuenca del río Magdalena. Pp. 52. *En*: Colombia. 2013. Programa y resúmenes del XII Congreso Colombiano de Ictiología y III Encuentro Suramericano de Ictiólogos. Pontificia Universidad Javeriana, ACICTIOS. < <http://acictios.org/congreso/imagenes/memo.pdf>>
- López-Casas, S. y L. F. Jiménez-Segura. 2007. Reproducción y hábitos alimenticios del nicuro *Pimelodus blochii* (Valenciennes, 1840) (Pisces: Pimelodidae), en la ciénaga de Cachimbero, río Magdalena, Colombia. *Actualidades Biológicas* 29 (87): 193-201.
- Lucas, M. C. y E. Baras. 2001. Migration of freshwater fishes. Blackwell Science Oxford. 420 pp.
- Makrakis, M. C., L. E. Miranda, S. Makrakis, D. R. Fernandez, J. O. Garcia y J. H. P. Dias. 2007. Movement patterns of armado, *Pterodoras granulosus*, in the Paraná River Basin. *Ecology of Freshwater Fish* 16: 410–416.
- Maldonado-Ocampo, J. A., A. Ortega-Lara, J. S. Usma, G. Galvis, F. A. Villa-Navarro, L. Vásquez, S. Prada-Pedrerros y C. Ardila. 2005. Peces de los Andes de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., Colombia. 346 pp.
- Mojica, J. I. y L. F. Jiménez-Segura. 2001. Revisión de la información hidrobiológica del proyectohidroeléctrico Miel I. Informe técnico. Bogotá, 117 pp.

- Mojica, J. I. y G. Galvis. 2003. Capítulo IV: Análisis de la contingencia presentada a comienzos del año 2003 en la caverna de oscilación de la central hidroeléctrica Miel I. *En: Estudio para evaluar alternativas que impidan el paso de peces a través del túnel de descarga a la central hidroeléctrica Miel I. Informe técnico. Contrato no. 46/1145. Medellín.*
- Moreno, C. L. F. Jiménez-Segura y C. Pérez. 2013. Reproducción de peces migratorios en un sistema regulado: el caso del río La Miel. Pp. 124. *En: Colombia. 2013. Programa y resúmenes del XII Congreso Colombiano de Ictiología y III Encuentro Suramericano de Ictiólogos. Pontificia Universidad Javeriana, ACICTIOS. < <http://acictios.org/congreso/imagenes/memo.pdf>>*
- Reinoso-Flórez, G., M. Vejarano-Delgado, J. García-Melo, G. Pardo-Pardo, C. Pérez-Gallego, L. García-Melo, Y. Parra-Trujillo, H. Bonhorques-Bonilla, L. Patiño, Y. López-Delgado y J. Vásquez-Ramos. 2010. Plan de ordenación pequera de la cuenca baja del río La Miel. Universidad del Tolima, Ibagué. 113 pp.
- Rivas-Lara, T. S., C. E. Rincón-López, L. F. Jiménez-Segura, C. A. Lasso, M. A. Morales-Betancourt y G. González-Canon. 2010. *Rhamdia* spp. Pp: 366-371. *En: Lasso, C. A., E. Agudelo-Córdoba, L. F. Jiménez-Segura, H. Ramírez-Gil, M. Morales-Betancourt, R. E. Ajiaco-Martínez, F. De Paula Gutiérrez, J. S. Usma-Oviedo, S. E. Muñoz-Torres y A. I. Sanabria Ochoa (Eds.). 2011. I. Catálogo de los recursos pesqueros continentales de Colombia. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C., Colombia. 715 pp.*
- Universidad de Antioquia. 2005. Evaluación de las comunidades hidrobiológicas presentes en el tramo de lecho seco en el río La Miel. Informe Técnico. Isagen S. A. Medellín. 250 pp.
- Universidad de Antioquia-Isagen S. A. 2012. Dinámica de la asociación de especies de peces, bajo diferentes escenarios hidráulicos". Informe técnico. Convenio de cooperación Universidad de Antioquia-Isagen S. A.E.S.P. No. 46/3296.

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

Luz Fernanda Jiménez-Segura
Universidad de Antioquia
Medellín, Colombia
luz.jimenez@udea.edu.co

Clara María Pérez-Gallego
Isagen S. A. ESP
Medellín, Colombia
cperez@isagen.com.co

Peces migratorios al interior de una central hidroeléctrica: caso Miel I, cuenca del río Magdalena (Caldas-Antioquia), Colombia

Cítese como: López-Casas, S., L. F. Jiménez-Segura y C. M. Pérez-Gallego. 2014. Peces migratorios al interior de una central hidroeléctrica: caso Miel I, cuenca del río Magdalena (Caldas-Antioquia), Colombia. *Biota Colombiana* 15 (2): 26-39.

Recibido: 28 de febrero de 2014
Aprobado: 9 de diciembre de 2014

Áreas de reproducción de peces migratorios en la cuenca alta del río Magdalena, Colombia

María Isabel Pareja-Carmona, Luz Fernanda Jiménez-Segura, Francisco Antonio Villanavarró, Gladys Reinoso-Flórez, Diana María Gualtero-Leal y Víctor-Julio Ángel-Rojas

Resumen

En la cuenca alta del río Magdalena se tomaron muestras semanales durante el ciclo hidrológico 2011-2012, para evaluar la reproducción de peces migratorios en el área de influencia del Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo. Para este análisis se consideraron la abundancia y la densidad de individuos en cada una de las muestras tomadas en el canal principal del río Magdalena, Páez y Suaza, a la altura de los municipios de Gigante y Garzón (Huila). Se colectaron en total 20 taxones; cuatro de ellos fueron identificados a nivel genérico específico (*Prochilodus magdalenae*, *Pseudopimelodus* spp, *Astyanax fasciatus* y *Pimelodus* spp), los 16 restantes se ajustaron a la descripción de diferentes morfotipos presentes en la clave utilizada. *Astyanax fasciatus* y *Pimelodus* spp fueron los más frecuentes y abundantes.

Palabras clave. Larvas de peces. Peces migratorios. Ictioplancton. Río Magdalena.

Abstract

During the 2011-2012 hydrological cycle, weekly samples were taken to evaluate the reproduction of migratory fishes in the area of influence of the El Quimbo hydroelectric project. This analysis considered the abundance and density of individuals in each of the samples taken in the Magdalena, Páez and Suaza rivers near Gigante and Garzón (Huila). Twenty taxa were captured. Four were confirmed taxonomically (*Prochilodus magdalenae*, *Pseudopimelodus* spp, *Astyanax fasciatus* and *Pimelodus* spp), the remaining 16 were classified according to the descriptions of different morphotypes present in the key used. *Astyanax fasciatus* and *Pimelodus* spp were the most frequent and abundant.

Key words. Larval fishes. Migratory fishes. Ichthyoplankton. Magdalena River.

Introducción

Los peces tropicales de agua dulce exhiben una gran diversidad de características morfológicas, fisiológicas, ecológicas y patrones del ciclo de vida (Vazzoler 1996). En relación con el período reproductivo, los peces presentan estrategias de vida únicas y por lo tanto adaptaciones biológicas específicas (Winemiller 1989, Nakatani *et al.* 2001), determinadas por las

variaciones en las condiciones ambientales, tanto bióticas como abióticas, las cuales varían ampliamente en el tiempo y en el espacio (Vazzoler 1996) y tienen gran influencia en las primeras etapas del ciclo de vida de los peces, ya que no actúan de forma aislada, sino en interacción con otros factores (Nakatani *et al.* 1993).

Según Agostinho *et al.* (1997), la reproducción de las especies de peces de los ríos de América del Sur, sin importar el tipo de estrategia utilizada, es muy cíclica, donde los patrones de periodicidad mantienen relaciones con las condiciones ambientales a las que están expuestos. Generalmente es temporal y existe una sincronización entre los procesos reproductivos y el incremento en el nivel de las aguas ocasionado por el régimen hidrológico (Montreuil *et al.* 2001); es así como el máximo nivel del agua actúa como indicador del final del periodo reproductivo (Vazzoler *et al.* 1997, Munro 1990). Otros factores ambientales críticos para la maduración gonadal y la reproducción son la temperatura y el fotoperíodo (Lowe-McConnell 1987).

Dentro de las principales estrategias adaptativas con fines reproductivos están los movimientos migratorios, que permiten a los organismos enfrentarse con la heterogeneidad ambiental tanto temporal como espacial de una manera previsible y que resulta en la presencia sucesiva de animales de una misma especie en diferentes hábitats (Usma *et al.* 2009). Muchas especies migran aguas arriba para desovar, lo cual favorece la deriva de huevos y larvas en los ríos, siendo vital para la dispersión en hábitats apropiados (Nikolsky 1978, Krebs 1994, Oliveira y Araujo-Lima 1998, Lucas y Baras 2001). Por lo tanto, la información sobre la comunidad de peces no se puede considerar adecuada sin un buen conocimiento de la historia natural y las primeras etapas del ciclo de vida.

El estudio del ictioplancton ha demostrado ser una herramienta muy importante para el seguimiento de las poblaciones de peces. La identificación precisa de las zonas de desove y reproducción natural de los peces es de importancia fundamental para la implementación de medidas de protección de estas áreas (Nakatani 1999). Además, la información sobre la ubicación, el tamaño y las características de los sitios de reproducción, es útil para definir acciones de manejo y conservación de los recursos pesqueros explotados (Oliveira y Araujo-Lima 1998, Nakatani 1999 y Jiménez-Segura 2007).

Por ello, en este trabajo se busca conocer las áreas de desove de los peces migratorios en el área de influencia del Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo, así como las características fisicoquímicas que pueden influir en la ocurrencia de dicho proceso.

Material y métodos

Área de estudio

El área de estudio se localiza en la cuenca alta del río Magdalena en el área de influencia del Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo, al sur del departamento del Huila entre las cordilleras Central y Oriental, a 69 km aproximadamente al sur de la ciudad de Neiva, en jurisdicción de los municipios de Gigante, El Agrado, Garzón, Tesalia, Paicol y Altamira (Figura 1).

Las muestras analizadas provienen de capturas realizadas semanalmente entre agosto de 2011 y julio de 2012, dentro del “Programa para manejo y protección del recurso íctico y pesquero de la cuenca alta del río Magdalena en el área de influencia del Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo”, realizado por Emgesa S. A. ESP. Las muestras se tomaron en cinco estaciones distribuidas a lo largo del cauce del río Magdalena y dos de sus principales afluentes, los ríos Páez y el Suaza. Dado que los huevos son boyantes y tienden a concentrarse por el lugar donde deriva la mayor cantidad de agua, el muestreo se realizó en el centro de la sección más profunda de cada estación, tomando dos muestras: una a 0,5 m de la superficie del agua y la otra al 50 % de la profundidad total observada.

Para la colecta del ictioplancton se utilizó una red con malla de 0,4 mm y 0,38 m de diámetro en su boca. El volumen de agua que se filtró fue medido con la ayuda de un flujómetro mecánico *General Oceanics*, instalado en el centro de la boca de la red. En cada muestreo, la red filtró contraflujo durante un minuto; el contenido filtrado se dispuso en un frasco de plástico de 1 L. Cada muestra fue fijada en formol al 5 %.

Simultáneo al muestreo se registró el valor de otras variables (velocidad del agua, nubosidad, cambio en la altura de la columna de agua, temperatura) y se tomaron muestras de agua para medir variables químicas como conductividad, oxígeno disuelto, pH, sólidos totales y sólidos suspendidos.

En el laboratorio, cada grupo de larvas fue separado según el avance en su desarrollo de acuerdo con lo propuesto por Kendall *et al.* (1984), con modificaciones de Nakatani *et al.* (2001) en: larval vitelino, pre-flexión, flexión y post-flexión. Para determinar de cada individuo, se utilizó la clave de

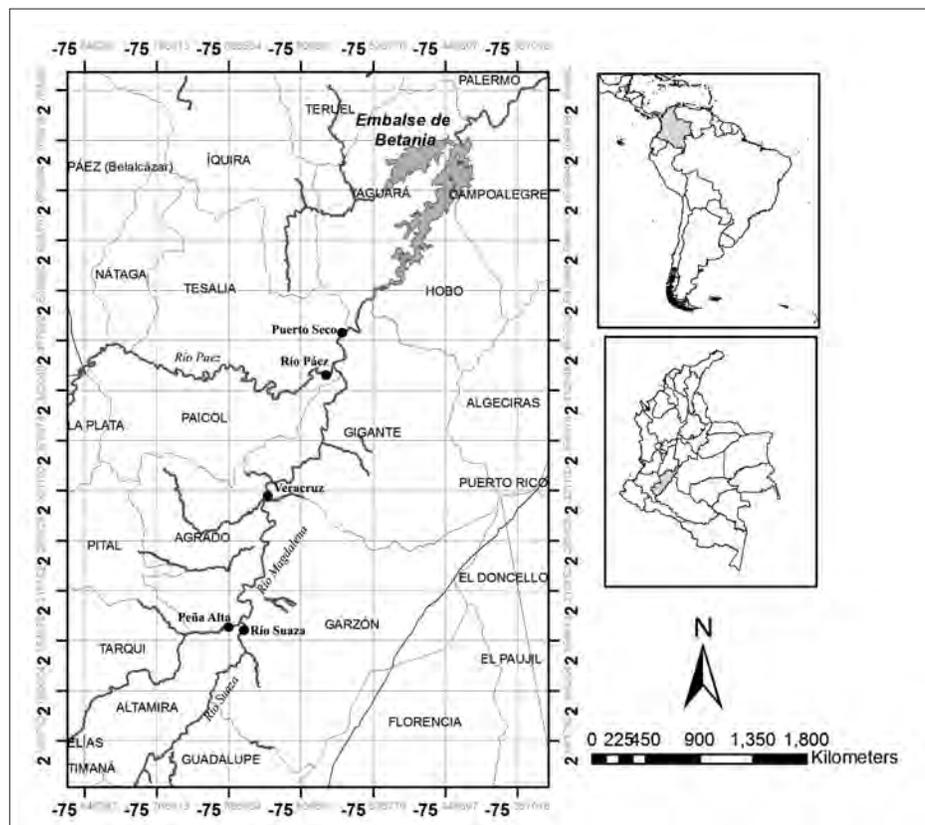


Figura 1. Área de estudio y localización de las estaciones evaluadas en el área de influencia del Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo (Huila, Colombia).

identificación propuesta por Jiménez-Segura (2007) para larvas del río Magdalena. Aunque esta clave es una herramienta en permanente construcción debido a la alta variabilidad de formas presentes en el ictioplancton, permite identificar ejemplares de especies migratorias contenidas y, en caso de no cumplir con la descripción, asignarle a cada individuo un morfotipo previamente descrito. Los ejemplares identificados fueron consignados en la Colección Zoológica de la Universidad del Tolima, sección Ictiología.

La densidad de ictioplancton (ind.m^{-3}) fue estimada de acuerdo con la abundancia encontrada en la muestra y el volumen de agua filtrado. La definición de la distribución espacial y temporal de los desoves se hace con base en análisis gráfico de distribución semanal de la densidad en cada estación de muestreo.

A partir del tiempo de incubación pos-fertilización de embriones y larvas encontrados, y teniendo en cuenta

la velocidad promedio del río (estimada a partir de tres puntos dentro de la sección donde se tomó la muestra) en el momento en que fue tomada la misma, se estimó la distancia de recorrido promedio de los individuos desde el lugar de fertilización hasta el sitio de captura. El tiempo de incubación para cada periodo y fase de desarrollo para especies migratorias, fueron obtenidos de la información disponible en trabajos de tesis, publicaciones e informes técnicos. En los casos que no se tuvo información para la especie se recurrió a la información disponible para otras especies del género. Para georreferenciar los sitios de desove, fueron utilizados las imágenes y herramientas disponibles en el programa *Google Earth*. Con ellas, se trazó desde la estación de captura y siguiendo la dirección río arriba, la distancia (mínima y máxima) desde donde los embriones derivaron.

Para identificar cuáles de las variables ambientales influyen sobre la densidad del ictioplancton, se utilizó la prueba de correlación de Spearman. Se consideraron

relaciones importantes aquellas significativas ($p < 0,05$) con valores de $r > 0,5$.

Para conocer si la variación en la estabilidad del cuerpo de agua influyó en la densidad de ictioplancton, se estimó la serie temporal del índice de fluctuación de Dubois (Guisande *et al.* 2006). Este índice se estima a partir de las variables fisicoquímicas en la masa de agua y ambientales en cada estación y día muestreado. Ésta relación permite cuantificar el grado de estabilidad del sistema a lo largo del tiempo en el conjunto de variables medidas en cada estación. Valores bajos indican un sistema estable, es decir, dónde no hay grandes variaciones en las características y el comportamiento se ajusta a una media, por el contrario, valores altos indican un cambio significativo en las variables estudiadas.

Resultados

Se colectaron en total 6557 individuos (densidad total = 2,5 ind. m⁻³), distribuidos en 20 taxones (Tabla 1), de los cuales cuatro de ellos fueron identificados hasta género y/o especie (*Prochilodus magdalenae*, *Pseudopimelodus* spp, *Astyanax fasciatus* y *Pimelodus* spp), los 16 restantes se ajustaron a la descripción de diferentes morfotipos presentes en la clave utilizada. *Astyanax fasciatus* y *Pimelodus* spp fueron los más frecuentes y abundantes. El 97% de los individuos capturados se encontraron en periodo de embrión (fase final) y en larva vitelínica, momentos del desarrollo ontogénico de difícil identificación debido a la ausencia de caracteres morfológicos discriminatorios.

Tabla 1. Lista de taxones encontrados en las muestras de ictioplancton entre agosto de 2011 y julio de 2012, distribución de su densidad por estación y total. **RM-PA:** río Magdalena-Peña Alta. **RS:** río Suaza. **RM-V:** río Magdalena Veracruz. **RP:** río Páez. **RM-PS:** río Magdalena-Puerto Seco.

Orden	Taxón	RM-PA	RS	RM-V	RP	RM-PS	Total
	<i>Astyanax fasciatus</i>	0,003	0,004	0,005	0,001	0,005	0,0034
	<i>Prochilodus magdalenae</i>	0,008			0,001		0,0015
Characiformes	Characidae		0,004				0,0008
			0,002	0,011	0,001	0,015	0,0057
				0,002			0,0004
			0,008	0,002	0,001	0,005	0,0034
			0,002				0,0004
			0,006			0,005	0,0023
				0,002		0,002	0,0008
			0,002			0,004	0,0011
						0,002	0,0004
						0,002	0,0004
			0,002				0,0004
			0,012				0,0023
				0,005	0,001	0,002	0,0015
			0,004				0,0008
					0,002		0,0004

Cont. **Tabla 1.** Lista de taxones encontrados en las muestras de ictioplancton entre agosto de 2011 y julio de 2012, distribución de su densidad por estación y total. **RM-PA:** río Magdalena-Peña Alta. **RS:** río Suaza. **RM-V:** río Magdalena Veracruz. **RP:** río Páez. **RM-PS:** río Magdalena-Puerto Seco.

Orden	Taxón	RM-PA	RS	RM-V	RP	RM-PS	Total
Siluriformes	<i>Pimelodus</i> spp			0,002		0,002	0,0008
	<i>Pseudopimelodus</i> spp		0,002				0,0004
	sil 17		0,002	0,005		0,002	0,0015
No definido	LV15	0,003		0,002			0,0008
	NN	2,831	2,927	2,79	1,483	2,844	2,469
	Total	2,844	2,976	2,829	1,49	2,889	2,498

La mayor densidad total se observó en las estaciones de muestreo sobre el cauce del río Magdalena y en todas se capturaron ejemplares en diferentes periodos de desarrollo (Figura 2). A pesar de que la densidad media en el río Suaza fue mayor que en las otras estaciones, se debe aclarar que la captura de 901 individuos en un único muestreo elevó el valor medio muestral (Figura 3).

Los individuos de *A. fasciatus* se encontraron en todas las estaciones de muestreo. Las especies del género *Pimelodus* se capturaron en el cauce principal del río Magdalena, en las estaciones de Veracruz y Puerto Seco. *Prochilodus magdalenae* se encontró en la estación de Peña Alta y en el río Páez, mientras

que *Pseudopimelodus* spp se presentó en la estación ubicada sobre el río Suaza (Figura 4). Las densidades encontradas para las especies mencionadas fueron muy bajas ($< 0,5 \text{ ind.m}^{-3}$).

Áreas de desove. En todas las estaciones de muestreo de los ríos Magdalena, Suaza y Páez se encontraron áreas de desove (Figura 4). Las distancias de deriva estimada sugieren que estas áreas se encuentran entre los 2 y los 80 km (Tabla 2), arriba de cada una de las estaciones evaluadas. La media de distancia derivada estuvo en 60 km; con una amplitud general entre 38 y 72 km. En todas las estimaciones, con excepción del río Suaza, la altitud media a la que llegaron los adultos a desovar estuvo cerca de los 840 m.

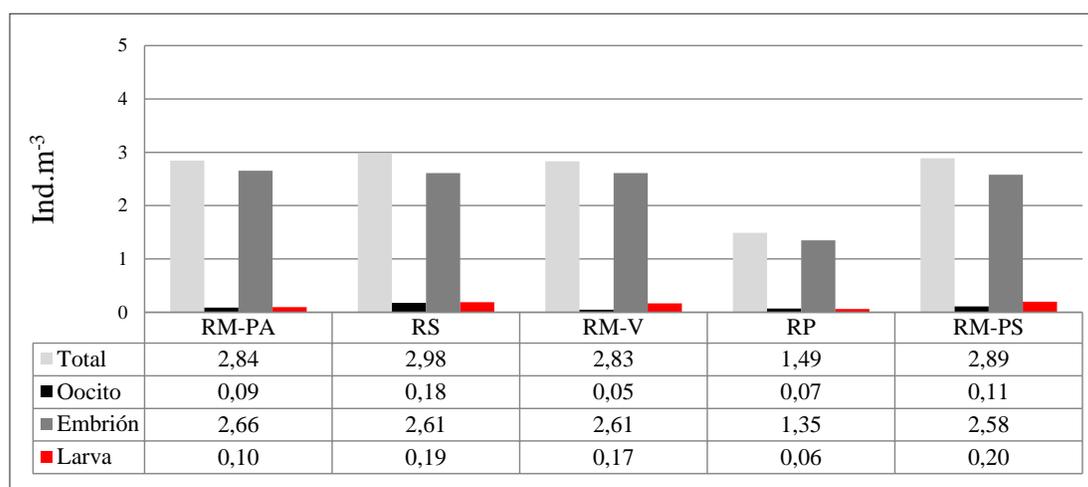


Figura 2. Distribución de la densidad total acumulada del ictioplancton (total y por periodo de desarrollo) en las diferentes estaciones de muestreo. **RM-PA:** río Magdalena-Peña Alta. **RS:** río Suaza. **RM-V:** río Magdalena Veracruz. **RP:** río Páez. **RM-PS:** río Magdalena-Puerto Seco.

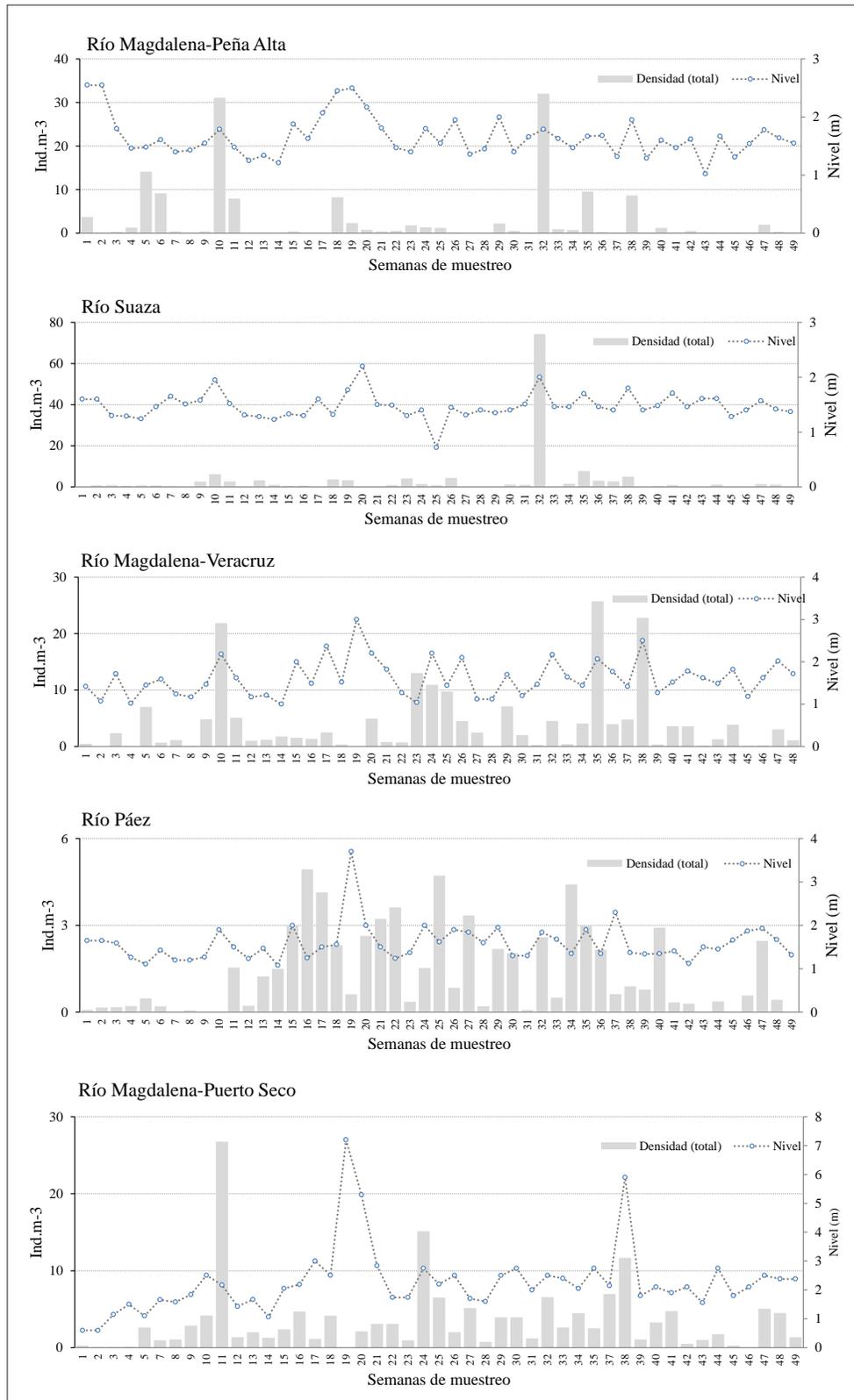


Figura 3. Distribución semanal de la densidad de ictioplancton en cada estación de muestreo y el cambio en el nivel del agua entre agosto de 2011 y julio de 2012.

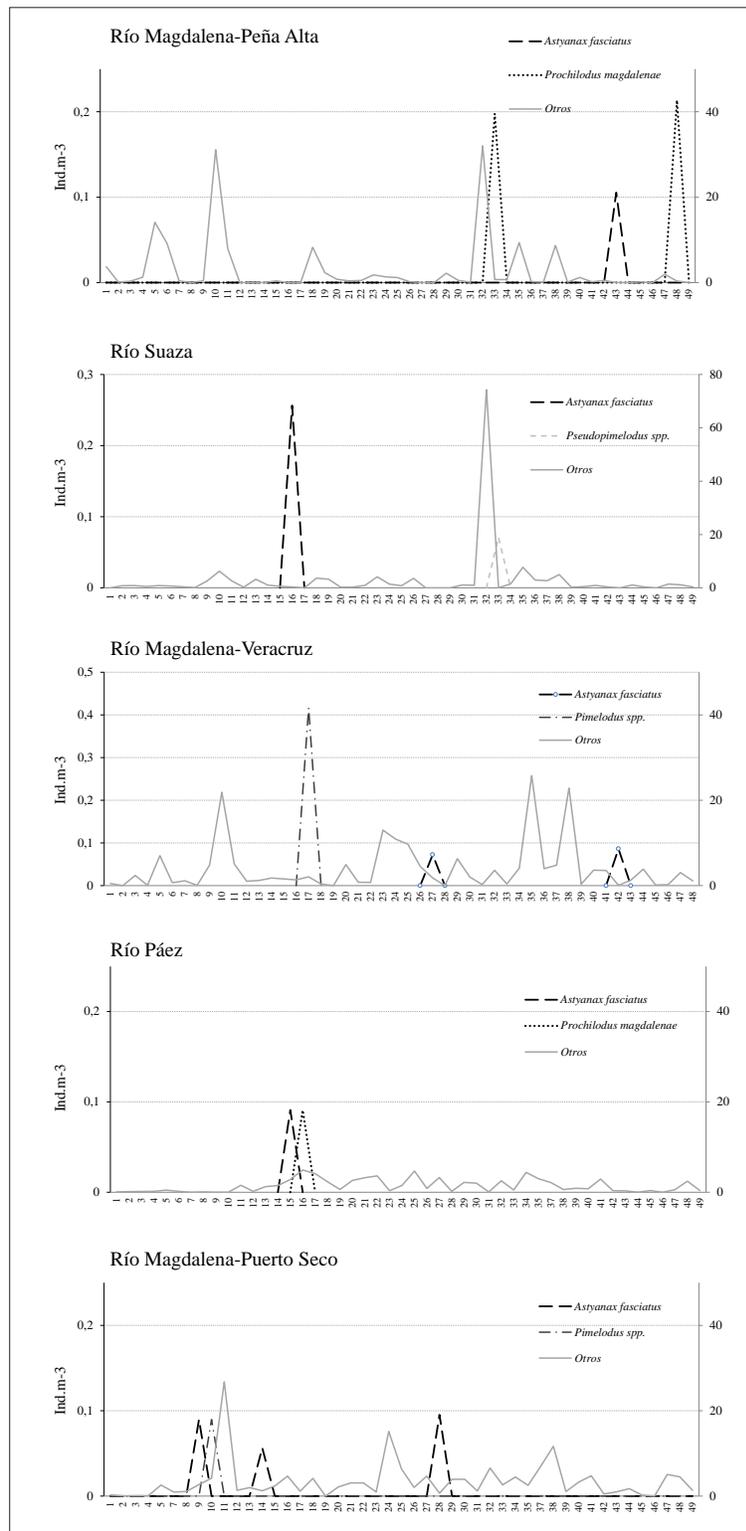


Figura 4. Distribución de la densidad de algunos taxones encontrados en los diferentes sectores muestreados arriba del embalse Betania entre agosto de 2011 y julio de 2012. Las especies y géneros identificados se grafican con el eje Y izquierdo, mientras que los demás taxones se grafican a partir del eje Y derecho.

Tabla 2. Distancia de deriva estimada a partir de los individuos en periodo embrionario capturados en cada una de las estaciones de muestreo. **RM-PA:** río Magdalena-Peña Alta. **RS:** río Suaza. **RM-V:** río Magdalena Veracruz. **RP:** río Páez. **RM-PS:** río Magdalena-Puerto Seco.

Estación	Amplitud (km)	Cauce	Distancia mínima			Distancia máxima		
			Coordenadas			Coordenadas		
			Latitud (N)	Longitud (O)	Altitud (m)	Latitud (N)	Longitud (O)	Altitud (m)
RM-PA	3,0-41	Magdalena	2° 9'53,85"	75°42'10,28"	734	2°2'43,95"	75°52'29,82"	849
RS	7,6-80	Suaza	2°7'17,95"	75°41'16,52"	786	1°46'43,37"	75°53'26,84"	1200
RM-V	2,3-57	Magdalena	2°19'08,14"	75°38'32,91"	659	2° 7'20,55"	75°46'49,02"	772
		Suaza				2° 2'54,35"	75°44'22,52"	879
RM-PSI	4,4-74	Magdalena	2°27'57,92"	75°33'34,92"	588	2°08'21,78"	75°44'29,19"	750
		Páez				2°29'5,47"	75°48'43,62"	890
		Suaza				2° 5'16,11"	75°42'32,04"	847
RP	2,0-68	Magdalena	2°26'44,54"	75°35'45,12"	627	2°29'5,47"	75°48'43,62"	890

Análisis univariado. En general, se observó relación de la densidad de ictioplancton con el cambio de aquellas características de la masa de agua que responden al periodo de lluvias, como la velocidad, temperatura, nivel, pH y conductividad (Tabla 3). La relación entre la abundancia de ictioplancton y las variables ambientales fue particular a cada estación de muestreo, para el sector de Peña Alta se observó una relación positiva en la abundancia de ictioplancton con el aumento de los sólidos totales y la reducción en la transparencia, y en el sector de Puerto Seco se observó una relación con el aumento en la velocidad del agua y la temperatura (Tabla 3).

Serie temporal. El valor del índice de estabilidad fue de $1,01 \pm 0,017$ y no presentó grandes variaciones a nivel temporal. Este comportamiento se mantuvo en todas las estaciones observadas donde la masa de agua no presentó grandes variaciones en el índice de fluctuación (Figura 6) y esto se soporta en los valores del coeficiente de variación, los cuales no superaron el 2%.

Por el contrario, la densidad de ictioplancton presentó fuertes variaciones en sus valores durante el ciclo de observación. Adicionalmente, el índice de estabilidad no presentó alguna relación con la ocurrencia de desoves en el área de análisis (Figuras 5 y 6).

Discusión

Los estudios de ictioplancton han tratado de identificar la presencia de algunas especies en determinadas zonas durante ciertos períodos de tiempo, y han permitido entender cómo esta distribución afecta el proceso de reclutamiento (Miller, 2002). Según Baumgartner *et al.* (2004), la identificación de áreas de desove y criaderos de peces naturales es de fundamental importancia para el diseño y la implementación de medidas de protección de estas áreas, con el objetivo de maximizar el reclutamiento y el mantenimiento de las poblaciones de peces (Gogola *et al.* 2010). No obstante, la identificación de las especies de peces en sus periodos de desarrollo inicial en la cuenca del río Magdalena, está apenas en sus comienzos. Jiménez-Segura (2007) construyó la primera clave dicotómica que se conoce para la cuenca con base en colectas realizadas en la cuenca media del río (sector en Puerto Berrío, Antioquia). En esta clave se asignan descripciones para cerca de 43 formas diferentes, de las cuales siete les fue posible determinar su especie. El estudio continuado en diferentes sistemas acuáticos del Magdalena ha permitido elevar a 84 el número de formas, cuya determinación taxonómica se encuentra aún en proceso.

Tabla 3. Valores de R (correlación de Spearman) entre las variables ambientales y la abundancia de embriones y larvas en las muestras obtenidas. Relaciones estadísticamente significativas ($p < 0,05$) resaltadas en negrita.

Variable	Río Magdalena-Peña Alta		Río Suaza		Río Magdalena-Veracruz		Río Páez		Río Magdalena Puerto Seco		Área total	
	embrión	larva	embrión	larva	embrión	larva	embrión	larva	embrión	larva	embrión	larva
Velocidad (cm.s-1)	0,16	0,2	0,26	0,2	0,2	-0,04	0,27	0,18	0,32	0,25	0,3	0,15
Temperatura agua (°C)	0,12	-0,15	-0,33	0,07	-0,2	0	0,17	0,29	-0,08	0,39	-0,08	0,13
pH	-0,18	0,2	0,11	0,13	0,15	0,1	0,34	0,24	0,16	-0,22	0,09	0,09
% SO	0,12	-0,2	-0,04	0,08	0,03	-0,05	-0,17	0,01	-0,24	0,14	-0,03	0
OD	0,11	-0,26	-0,14	0,03	-0,18	-0,09	-0,13	0,09	-0,15	0,18	-0,09	0
Conductividad	-0,02	-0,1	-0,28	0,16	-0,05	0,23	0,01	0,21	0,26	0,11	0,15	0,08
ST (mg/l)	0,33	-0,1	0,18	-0,08	0,03	-0,04	-0,05	-0,19	0,07	-0,24	0,2	-0,12
SS (mg/l)	0,29	0,03	0,19	-0,01	-0,07	0,1	-0,11	-0,18	0,16	-0,15	0,15	-0,05
Nivel (m)	0,15	-0,04	0,12	-0,2	0,13	-0,07	0,12	-0,18	0,29	-0,39	0,24	-0,17
Nubosidad (%)	0,22	0,19	0,22	-0,14	-0,09	0,15	0,05	-0,06	0,07	-0,08	0,11	0,03
Transparencia (cm)	-0,41	0,002	-0,29	0,271	0,02	-0,08	-0,17	0,17	-0,23	0,09	-0,26	0,09

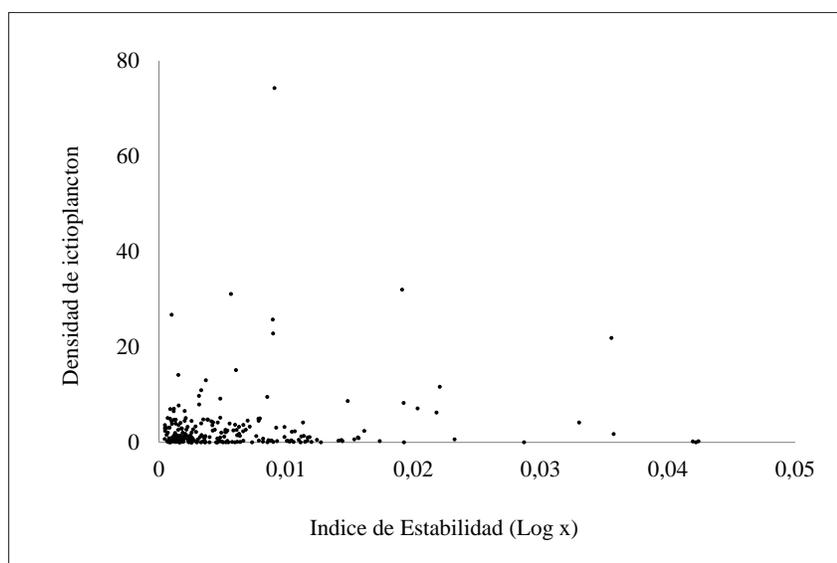


Figura 5. Relación entre el índice de estabilidad de la masa de agua y la densidad de ictioplancton.

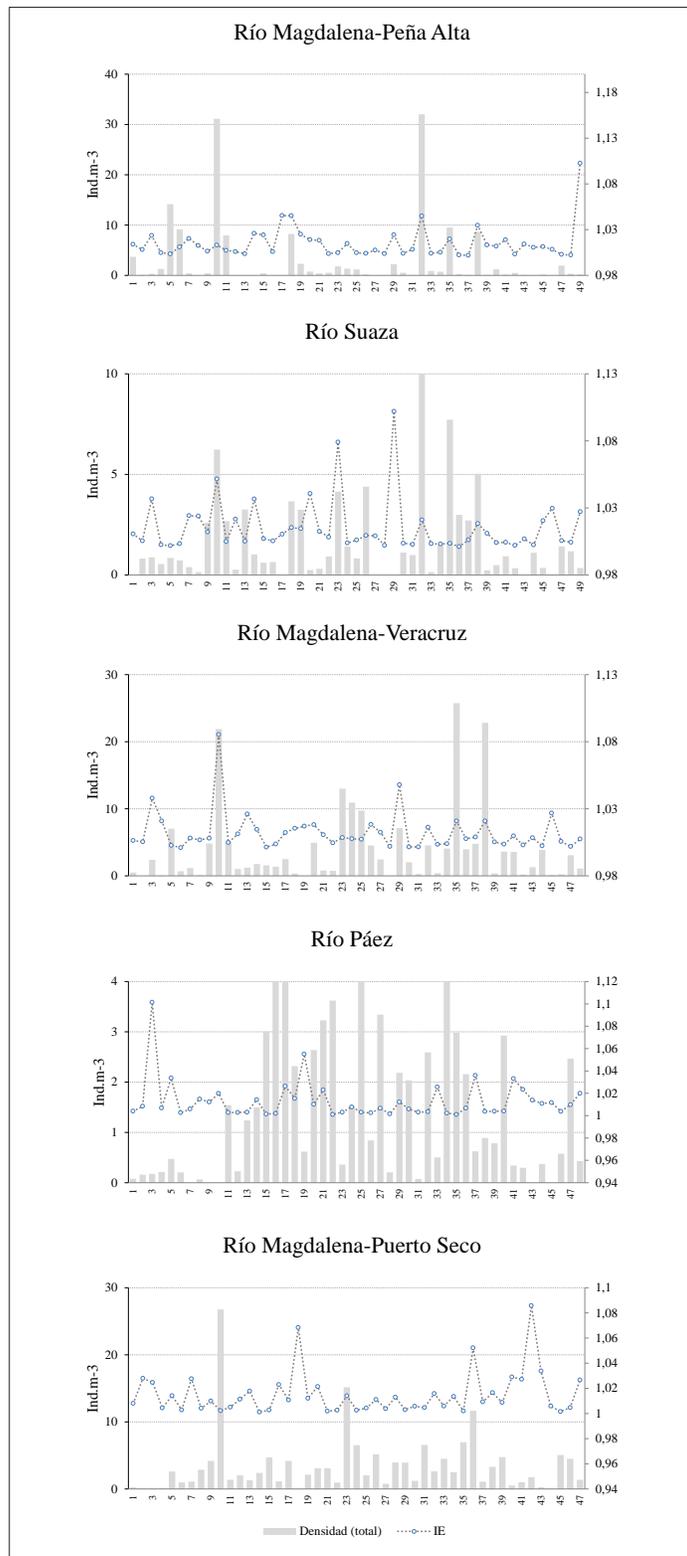


Figura 6. Distribución semanal de la densidad de ictioplancton y del índice de estabilidad de la masa de agua en las diferentes estaciones de muestreo. Índice de estabilidad en el eje secundario. C.V.= coeficiente de variación del índice de estabilidad.

Dentro del ictioplancton, las especies más abundantes y frecuentes son las especies de peces migratorios (Jiménez-Segura *et al.* 2010) (Figura 7): género *Pimelodus* (*P. blochii*, *P. grosskopfii*), del bocachico (*P. magdalenae*), blanquillo (*Sorubim cuspicaudus*), bagre rayado (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*), vizcaina (*Curimata mivartii*, moino *Leporinus muyscorum*) y tota (*Astyanax fasciatus*). De acuerdo con la clave de Jiménez-Segura (2007) se logró identificar 20 taxones en el sector de influencia del Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo, de las cuales tres de ellas se encuentran en este listado (*Pimelodus* spp, *P. magdalenae* y *A. fasciatus*). Los embalses constituyen obstáculos que interrumpen y alteran profundamente las rutas de migración (Agostinho *et al.* 2005) y en consecuencia, evitan que las especies lleguen a los lugares de desove, afectando negativamente el reclutamiento anual de la población (Antonio *et al.* 2007); por lo que la ausencia de buena parte de estas especies en las muestras obtenidas en el sector arriba del embalse de Betania durante el tiempo de observación, podría indicar que la formación de este nuevo sistema, posiblemente redujo de manera importante las poblaciones y sólo persisten las de estas cuatro especies.

La abundancia de individuos capturados fue alta ($n=6557$; densidad total = $2,5 \text{ ind. m}^{-3}$), si se tiene en consideración que durante un periodo de dos años y siguiendo el mismo diseño muestral, Jiménez-Segura (2007) en la cuenca media del río Magdalena capturó 5745 individuos (densidad total = $1,6 \pm \text{D.E. } 4,04 \text{ ind. m}^{-3}$), además en otros ríos como en el Cuiabá y el Paraná, Brazil, se han reportado densidades inferiores a 1 ind. m^{-3} (Tondato *et al.* 2010 y Gogola *et al.* 2010). La dominancia de individuos en periodo embrionario (96%) dentro de las muestras, permite afirmar que la zona de estudio es un área de desove importante a nivel de cuenca, si se toma en consideración que el 97% de los ejemplares obtenidos en la cuenca media del río Magdalena se encuentran en periodo de larva (Jiménez-Segura, 2007). Sin embargo, y a pesar de que el área arriba del embalse de Betania es un área importante de desove para algunas especies de peces migratorios con desoves pelágicos e incubación de sus embriones durante la deriva, la probabilidad de que un individuo en periodo embrionario sobreviva a las condiciones de flujo lento del embalse es baja. La reducción de turbulencia en éste sistema semi-léntico

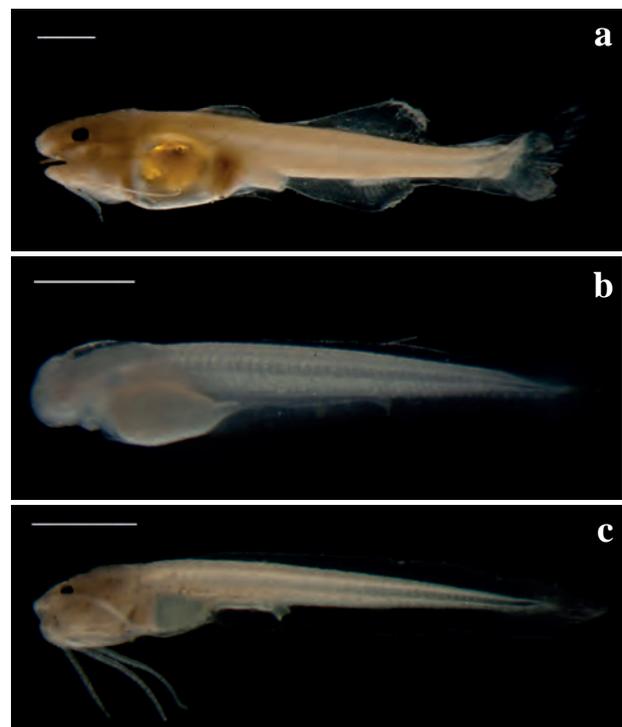


Figura 7. a) *Pimelodus* spp. b) *Prochilodus magdalenae*. c) *Pseudopimelodus* spp. Fotos: Jorge García.

reduce la flotabilidad de los individuos en la columna de agua y no alcanzan a desarrollar aletas que les permitan moverse con autonomía dentro del sistema.

Aunque los cambios en la densidad son muy altos entre semanas de muestreo, en general, las estaciones localizadas sobre el río Magdalena presentaron mayores valores de densidad a lo largo de la serie de tiempo debido a que estos sectores recogen los desoves que se suceden aguas arriba y en los tributarios; de esta manera el cauce principal del río facilita la deriva del ictioplancton aguas abajo donde continúan su desarrollo. En todas las estaciones (con excepción de la localizada en el río Páez), el incremento en la densidad estuvo acompañado de la elevación en el nivel del agua. Este comportamiento pulsante y asociado a la elevación en el nivel del agua, también se ha observado en los ríos tributarios al cauce del río La Miel (ríos Manso y Samaná), en donde cambios fuertes y ascendentes en el nivel del agua asociados con la elevación en la turbidez resultan de lluvias localizadas en sus cuencas altas y que elevan rápidamente el caudal en el cauce (Jiménez-Segura *et al.* 2012).

La presencia de embriones y larvas en fases de desarrollo inicial confirma que arriba de todas las estaciones de muestreo se encuentran áreas de desove. Especies como *A. fasciatus* utiliza toda el área de monitoreo como lugar de desove, sin embargo, las otras especies parecen preferir algunos sectores específicos. Las especies del género *Pimelodus* spp localizan sus áreas de desove en el cauce principal del río Magdalena, arriba de Puerto Seco y *P. magdalenae* desova arriba de Peña Alta y en el río Páez. Estos resultados son congruentes con lo reportado por Jiménez-Segura (2007), en un estudio en el cual, tanto *Pimelodus* spp como *P. magdalenae* realizan sus desoves en el cauce del río Magdalena, aunque *P. magdalenae* también presenta desoves importantes en uno de sus tributarios.

A pesar de que se encuentran áreas de desove, las densidades encontradas fueron muy bajas ($< 0,5$ ind.m⁻³), comparadas con las densidades reportadas para la cuenca media del río Magdalena (Jiménez-Segura 2007) (bocachico = $0,8$ ind. m⁻³; *Pimelodus* spp = 1 ind.m⁻³). Esto sugiere que aunque persisten los desoves, el tamaño de la población de estas especies es pequeño. Las características semi-lénticas (baja turbulencia, reducida velocidad del agua, presencia de depredadores) de éste embalse, hace que sean condiciones poco apropiadas para que los embriones que llegan, sobrevivan y con ello, se reduce el tamaño de la cohorte inicial.

Es bien conocido que algunas variables fisicoquímicas y ambientales pueden determinar el comportamiento reproductivo de los peces (Jobling 1995). Aunque el índice de estabilidad, presento alguna fluctuación debido a cambios en la carga de sólidos totales, en la conductividad y en el nivel del agua, esta variación no estuvo asociada con el incremento en la densidad de ictioplancton. Jiménez-Segura (2007) encontró que las densidades de ictioplancton en la cuenca media del río Magdalena se elevan durante las temporadas de crecientes y se asocian con las condiciones que resultan del incremento de las lluvias (p. e. reducción en el brillo solar, elevación en el nivel del agua, aumento en la turbidez, reducción en la temperatura). Aunque en los resultados no es clara esta asociación entre las condiciones climáticas e hidrológicas y los desoves, la presencia de ictioplancton durante la temporada de

lluvias en la cuenca alta del río Magdalena evidencia que en este sector se mantiene el patrón reportado para otras regiones de la cuenca.

De acuerdo con (Jiménez-Segura 2007) en el río Magdalena se observan tres procesos que parecen influir sobre la reproducción de los peces migratorios: la reducción en el nivel del agua durante cerca de tres meses (entre 2 y 3 m), la reducción progresiva en el brillo solar (cerca de dos horas de diferencia) y de la temperatura del agua (entre 4 y 5°C) entre los meses de menor y mayor precipitación. En esta zona del Alto Magdalena, la relación entre la abundancia de ictioplancton y las variables ambientales fue particular a cada estación de muestreo pero en general, aquellas variables que cambian positiva o negativamente con la densidad de ictioplancton, están asociadas con la variabilidad climática de las lluvias. El incremento en la densidad de ictioplancton asociado con el comienzo de la temporada de crecientes se ha reportado en varios sistemas suramericanos (Gogola 2010). Esta es una táctica reproductiva que presentan las especies migratorias de manera que, durante la deriva asociada a las crecientes, las larvas ingresan a los lagos en el plano lateral para continuar con su desarrollo.

En conclusión, en el área de influencia del Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo, se encuentran áreas de desove para especies migratorias. Este comportamiento reproductivo está relacionado con las variaciones en las precipitaciones y con las características fisicoquímicas asociadas a éstas.

Agradecimientos

Esta investigación fue realizada dentro del programa para manejo y protección del recurso íctico y pesquero de la cuenca alta del río Magdalena en el área de influencia del Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo contrato. CEQ-313. Universidad del Tolima - Emgesa S. A. ESP.

Literatura citada

Agostinho, A. A., S. N. Thomaz y L. C. Gomes. 2005. Conservation of the biodiversity of Brazil's inland waters. *Conservation Biology* 19: 646-652.

- Agostinho, A. A., H. F. Júlio-Júnior, L. C. Gomes, L. M. Bini y C. S. Agostinho. 1997. Composição, abundância e distribuição espaço-temporal da ictiofauna. Pp: 179-208. *En: Vazzoler, A. E. A. M., Agostinho A. A. y Hahn N. S. (Eds.). A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos.* Eduem. Maringá.
- Antonio, R. R., A. A. Agostinho, F. M. Pelicice, D. Bailly, E. K. Okada y J. H. P. Dias. 2007. Blockage of migration routes by dam construction: can migratory fish find alternative routes?. *Neotropical Ichthyology* 5 (2): 177-184.
- Baumgartner, G., K. Nakatani, L. C. Gomes, A. Bialecki, P. V. Sanches y M. C. Makrakis. 2004. Identification of spawning sites and natural nurseries of fishes in the upper Paraná River, Brazilian. *Environmental Biology of Fishes* 71 (2): 115-125.
- Gogola, T. M., V. S. Daga, R. L. da Silva Pedro, P. V. Sanches, É. A. Gubiani, G. Baumgartner y R. L. Delariva. 2010. Spatial and temporal distribution patterns of ichthyoplankton in a region affected by water regulation by dams. *Neotropical Ichthyology* 8 (2): 341-349.
- Guisande, C., A. Barreiro, I. Maneiro, I. Riveiro, A. Vergara y A. Vaamonde. 2006. Tratamiento de datos. Díaz de Santos. España. 351 pp.
- Jiménez-Segura, L. F. 2007. Períodos reproductivos de los peces migratorios en la cuenca del río Magdalena a la altura de Puerto Berrío (Antioquia, Colombia). Tesis de doctorado. Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Medellín, Instituto de Biología. 154 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.
- Jimenez-Segura, L. F., S. López-Casas, C. Moreno y V. Duque. 2012. Dinámica de la comunidad de peces en la cuenca baja del río La Miel bajo diferentes escenarios hidráulicos. Informe Técnico. Universidad de Antioquia. Medellín.
- Jobling, M. 1995. *Fish Bioenergetics*, Chapman & Hall, London. 309 pp.
- Kendall, Jr. A. W., E. H. Alhstrom y H. G. Moser. 1984. Early life history stages of fishes and their characters. Pp. 11-22. *En: H. G. Moser, W. J. Richards, D. M. Cohen, M. P. Fahay, A.W. Jr. Kendall y S. L. Richardson. (Eds). Ontogeny and systematics of fishes. Based on international symposium dedicated to the memory of Elbert Halvor Alhstrom. American Society of Ichthyologist and Herpetologists Special publication American Society of Ichthyologist and Herpetologist. United States.*
- Krebs, C. J. 1994. *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance.* 4th edition, Harper Collins, New York. 801 pp.
- Lowe-McConnell, R. H. 1987. *Ecological studies in tropical fish communities.* Cambridge University Press. Cambridge. 382 pp.
- Lucas, M. C. y E. Baras. 2001. *Migration of freshwater fishes.* Blackwell Science. Oxford. 420 pp.
- Miller, T. J. 2002. Physical and ecological process in ichthyoplankton assemblages. Pp. 183-205. *En: Fuiman, L. A. y R. G. Werner (Eds.). Fishery Science Concepts in fishery science: the unique contributions of early life stages.* Blackwell Sciences, New York.
- Montreuil, V., A. García y R. Rodríguez. 2001. Biología reproductiva de *Prochilodus nigricans* boquichico, en la Amazonía peruana. *Folia Amazónica* 12: 5-13.
- Murno, A. D. 1990. General introduction. Pp: 1-12. *En: A. D. Murno, A. P. Scott y T. J. Lam (Eds). Reproductive seasonality in teleosts: environmental influence.* CRC Press, Florida.
- Nakatani, K. 1999. Metodos de estudo em ecologia de ovos e larvas de peixes de agua doce (ictioplancton). Pp. 1-21. *En: Introdução a pesquisa em Biología Pesqueira.* Universidade Estadual de Maringá.
- Nakatani, K., J. L. Latini, G. Baumgartner y M. S. Baumgartner. 1993. Distribuição espacial e temporal de larvas de curvina *Plagioscion quamosissimus* (Heckel, 1840) (Osteichthyes, Sciaenidae) no Reservatório de Itaipu. *Revista Unimar* 15: 191-209.
- Nakatani, K., A. Agostinho, G. Baumgartner, A. Bialecki, P. Sanches, M. Makrakis y C. Pavanelli. 2001. Ovos e larvas de peixes de água doce, desenvolvimento e manual de identificação. Eduem Maringá. 378 pp.
- Nikolsky, G. V. 1978. *The ecology of fishes.* T.F.H. Publications. USA. 352 pp.
- Oliveira, E. C. y C. A. R. M. Araujo-Lima. 1998. Distribuição das larvas de *Mylossoma aureum* e *M. duriventre* (Pisces: Serrasalminae) nas margens do rio Solimões, AM. *Revista Brasileira de Biología* 58 (3): 349-358.
- Tondato, K. K., Mateus L A de Fátima y S. R. Ziober. 2010. Spatial and temporal distribution of fish larvae in marginal lagoons of Pantanal, Mato Grosso State, Brazil. *Neotropical Ichthyology* 8 (1): 123-134.
- Usma, J. S., M. Valderrama, M. D. Escobar, R. E. Ajiaco-Martínez, F. A. Villa-Navarro, F. Castro, H. Ramírez-Gil, A. I. Sanabria, A. Ortega-Lara, J. Maldonado-Ocampo, J. C. Alonso y C. Cipamocha. 2009. Peces dulceacuícolas migratorios en Colombia. Pp. 103-131. *En: Amaya, J. D. y L. G. Naranjo (Eds.). Plan Nacional de las Especies Migratorias: Diagnóstico e identificación de acciones para la conservación y el manejo sostenible*

de las especies migratorias de la biodiversidad en Colombia. MAVDT – WWF. Bogotá.

Vazzoler, A. 1996. *Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e pratica*. Eduem. Maringa. 169 pp.

Vazooler, A. M., M. de los A. Peres-Limazo y P. Inada. 1997. Influências ambientais sobre a sazonalidad reproductiva. Pp. 267-279. *En: Vazzoler, A. M.,*

A. Agostinho y N. Segatti. (Eds). *A planicie de inundacao do rio Parana. Aspectos físicos, biológicos e socioeconomicos*. Universidade Estadual De Maringá.

Winemiller, K.O. 1989. Patterns of variation in life history among South American fishes in seasonal environments. *Oecologia* 81: 225-241.

María Isabel Pareja-Carmona

Grupo de Ictiología
Universidad de Antioquia
Medellín, Colombia
isabel795@gmail.com

Luz Fernanda Jiménez-Segura

Grupo de Ictiología
Universidad de Antioquia
Medellín, Colombia
luz.jimenez@udea.edu.co

Francisco Antonio Villa-Navarro

Grupo de Investigación en Zoología
Universidad del Tolima
Ibagué, Colombia
franciscoantoniovilla@gmail.com

Gladys Reinoso-Flórez

Grupo de Investigación en Zoología
Universidad del Tolima
Ibagué, Colombia
greinoso@ut.edu.co

Diana María Gualtero-Leal

Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo
Emgesa S. A. E.S.P.
dgualtero@endesacolombia.com.co

Victor Julio Ángel-Rojas

Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo
Emgesa S. A. E.S.P.
vangelro@endesacolombia.com.co

Áreas de reproducción de peces migratorios en la cuenca alta del río Magdalena, Colombia

Cítese como: Pareja-Carmona, M. I., L. F. Jiménez-Segura, F. A. Villa-Navarro, G. Reinoso-Flórez, D. M. Gualtero-Leal y V. J. Ángel-Rojas. Áreas de reproducción de peces migratorios en la cuenca alta del río Magdalena, Colombia. *Biota Colombiana* 15 (2): 40-53.

Recibido: 7 de marzo de 2014

Aprobado: 27 de noviembre de 2014

Listado taxonómico de especies ícticas de importancia pesquera en tres embalses del Oriente antioqueño, cuenca del río Magdalena, Colombia

María Isabel Pareja-Carmona y Juan Guillermo Ospina-Pabón

Resumen

Los embalses del Oriente antioqueño (cuenca del río Magdalena, Colombia), representan un papel determinante en el desarrollo hidroeléctrico departamental y nacional. Además de la producción de energía, constituyen sectores importantes para la población local dedicados a la pesca artesanal, así como un atractivo turístico para la pesca deportiva en la región. De acuerdo con la literatura y datos de campo, se registraron 15 especies de interés pesquero, para tres embalses de esta zona (San Lorenzo, Playas y Punchiná). Los registros de campo, provienen del monitoreo pesquero que se realizó durante un año (diciembre 2012 - noviembre 2013), para el proceso de formulación e implementación del Plan de Ordenación Pesquera que se adelantan en estos cuerpos de agua, financiado por Isagen S. A. E.S.P. y Empresas Públicas de Medellín S. A. E.S.P. y ejecutado por la Asociación de Organizaciones Ambientalistas del Oriente Antioqueño (ADOA).

Palabras clave. Peces introducidos. San Lorenzo. Playas. Punchiná. Antioquia.

Abstract

Reservoirs of Eastern Antioquia, Magdalena River Basin (Colombia) represent a decisive role in the departmental and country hydropower development. In addition to energy production, are important areas for local people dedicated to artisanal fishing, as well as an attraction for sport fishing in the region. According to the literature and field data, 15 species of commercial interest were recorded for three reservoirs in this area (San Lorenzo, Playas and Punchiná). The results of this study come from the data generated for one year (December 2012 - November 2013) fisheries monitoring, which is done in the process of formulation and implementation of the Fisheries Management underway in these reservoirs, and funded by Isagen S. A. E.S.P., EPM S. A. E.S.P. and executed by ADOA.

Key words. Introduced fishes. San Lorenzo. Playas. Punchiná. Antioquia.

Introducción

La acumulación de agua producida por una obstrucción en el lecho de un río o quebrada que cierra parcial o totalmente su cauce, puede ocurrir por causas naturales o por obras construidas por el hombre, como son las represas (Jiménez-Segura *et*

al. 2011), que tienen como finalidad la generación de energía eléctrica, abastecimiento de agua y recreación (Roldan *et al.* 2000, Agostinho *et al.* 2008, Jiménez-Segura *et al.* 2011). Las represas generan una notable fragmentación del paisaje fluvial (Donald y Marmulla

2001, McCully 2001, Agostinho *et al.* 2003), alteran los pulsos de crecientes e inundaciones (Quiros 1990) y son consideradas la principal causa de la pérdida de integridad ecológica de los ríos (Agostinho 1994, Agostinho *et al.* 2000). De igual forma, presentan obstáculos para el desplazamiento de los peces (Larinier 2001), ocasionando mortandades, lesiones y estrés, así como sobreexplotación pesquera al pie de las mismas por acumulación de peces que no pueden desplazarse aguas arriba (Baigún *et al.* 2011).

La comunidad de peces presente en los embalses dependerá de la fauna preexistente, así como de las adaptaciones de cada especie para explorar nuevos hábitats. Muchas especies muestran una plasticidad en su comportamiento trófico y reproductivo que impiden que ocurran extinciones masivas, por lo que las modificaciones en la comunidad se manifiestan principalmente en la composición y estructura íctica (Agostinho *et al.* 2007). En la etapa inicial, algunas especies (reofílicas) tienden a desaparecer o disminuyen drásticamente sus poblaciones (Agostinho *et al.* 2008), mientras que otras proliferan rápidamente (Agostinho *et al.* 1999, 2007), ya que son capaces de explorar la región pelágica y los hábitats litorales de las aguas lenticas (Agostinho *et al.* 2007, 2008). De esta manera la ictiofauna en los embalses estará formada por peces sedentarios y de tallas medias (Agostinho *et al.* 2007).

En este estudio se presenta el listado de la ictiofauna con interés pesquero en tres embalses de la región del oriente de Antioquia, construido a partir de la información registrada en el proceso de monitoreo para la formulación del Plan de Ordenación Pesquera que adelanta la AUNAP (Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca), financiado por Isagen S. A. E.S.P. y Empresas Públicas de Medellín S. A. E.S.P. y ejecutado por la Asociación de Organizaciones Ambientalistas del Oriente Antioqueño (ADOA).

Materiales y métodos

Área de estudio

El Oriente antioqueño está ubicado sobre el flanco oriental de la cordillera Central y comprende un área de 7021 km² (Preti 2010), que representan el 11% del territorio departamental y el 0,6 % del país. Se

caracteriza por ser el epicentro del sistema eléctrico y energético nacional, dado que posee seis embalses y cinco centrales hidroeléctricas, que generan aproximadamente el 30 % de la energía nacional y un 73 % del total departamental (Bejarano 2009).

La región está organizada en cuatro zonas o subregiones: Páramo, Altiplano, Bosques y Embalses, esta última conformada por los municipios de El Peñol, Guatapé, San Rafael, San Carlos, San Vicente Ferrer, Concepción y Alejandría (Preti 2010). Los tres embalses evaluados, pertenecientes a esta subregión, forman parte del aprovechamiento hidroeléctrico de los ríos Nare y Guatapé. Sobre el río Nare, Guatapé (embalse El Peñol) y Jaguas (embalse San Lorenzo); y sobre el río Guatapé, Playas (embalse Playas) y San Carlos (embalse Punchiná) (Figura 1).

Registro de la información

Para elaborar el listado taxonómico de las especies de importancia pesquera en los tres embalses del Oriente antioqueño, se registraron las capturas de los pescadores por medio de recorridos diarios durante dos semanas por mes, entre diciembre de 2012 y noviembre de 2013. Los desplazamientos se realizaron en canoas a motor entre las 6:00 y 12:00 horas. Todo este proceso bajo la formulación e implementación del Plan de Ordenación Pesquera adelantando por las empresas S. A. E.S.P. y EPM S. A. E.S.P.

Adicionalmente se utilizó literatura disponible (Larrahondo, 1993, Jiménez-Segura *et al.* 2011) relacionada con las especies presentes en estos embalses, con el fin de complementar la información. El listado de especies sigue la clasificación taxonómica de Reis *et al.* (2003) en donde las familias siguen un orden sistemático, y las subfamilias, géneros y especies están ordenados alfabéticamente.

Resultados

Se registraron 15 especies de importancia pesquera (consumo local y comercialización), pertenecientes a cuatro órdenes y seis familias. Los órdenes con el mayor número de familias fueron Characiformes y Perciformes, siendo este último el que presentó el mayor número de especies, tres de ellas introducidas (Tabla 1).

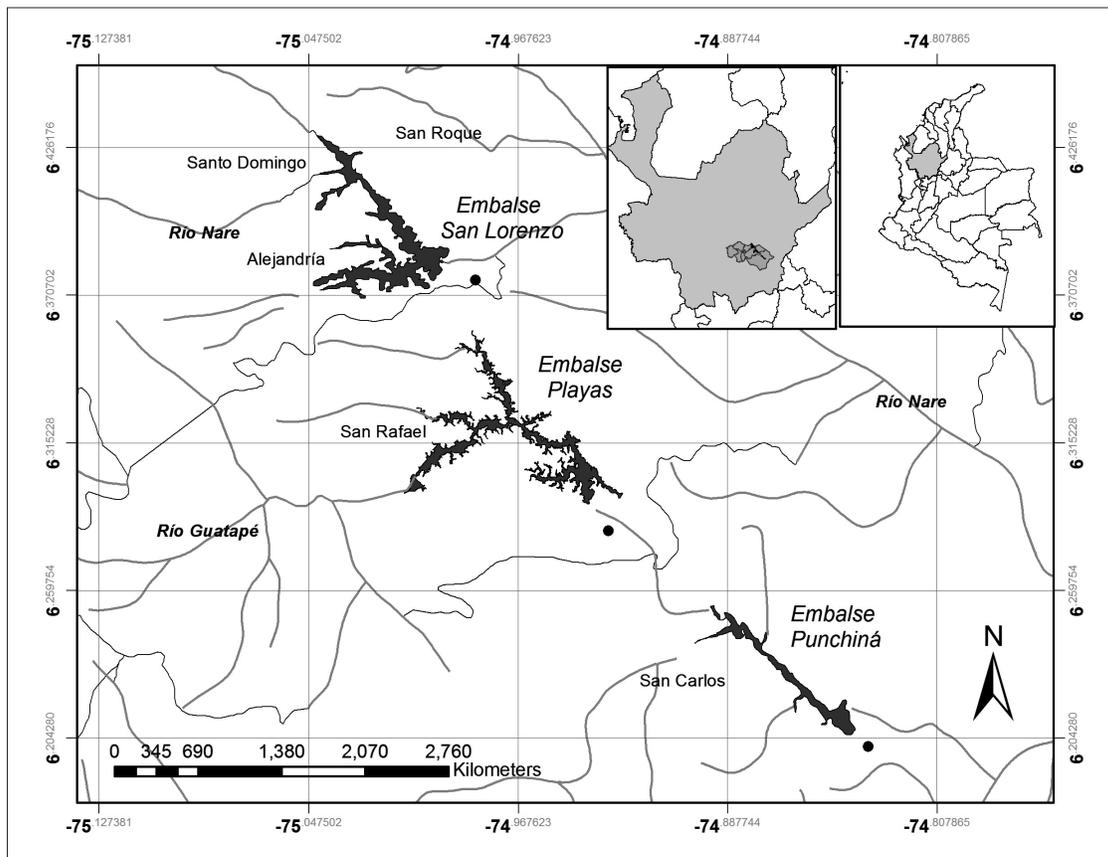


Figura 1. Embalses San Lorenzo, Playas y Punchiná en las cuencas de los ríos Nare y Guatapé, en el oriente de Antioquia.

Tabla 1. Órdenes, número de familias y especies registradas en los embalses San Lorenzo, Playas y Punchiná.

Orden	No. Familias	No. Especies
Cypriniformes	1	1
Characiformes	2	4
Siluriformes	1	4
Perciformes	2	6

El embalse con mayor número de especies fue Punchiná (14), seguido de Playas y San Lorenzo con nueve y ocho especies respectivamente. Del total de taxones, el 60 % corresponde a especies nativas, de las cuales tres (*Brycon henni*, *Hypostomus hondae* y *Caquetaia umbrifera*) estuvieron presentes en los tres cuerpos de agua. De las especies introducidas,

cuatro (*Cyprinus carpio*, *Micropterus salmoides*, *Oreochromis niloticus* y *Oreochromis mossambicus*), están presentes en todos los embalses, mientras que *Tilapia rendalli* sólo se reportó en Punchiná (Tabla 2).

Discusión

El conocimiento de la ictiofauna colombiana ha ido en aumento durante los últimos años, así como la consolidación de grupos de trabajo en peces y la formación de especialistas en taxonomía, lo que ha conducido a un aumento en los reportes ícticos de las diferentes regiones del país. De igual manera, el incremento de embalses principalmente con fines hidroeléctricos, ha generado que los entes gubernamentales vean necesario el desarrollo de planes de ordenamiento que integren estudios pesqueros en los que se involucran las comunidades locales.

De las 77 especies con interés pesquero reportadas para los embalses colombianos (Jiménez-Segura *et al.* 2011), cerca del 20 % se registraron en los embalses del Oriente antioqueño. La composición de las comunidades de peces en estos sistemas, inicialmente depende de especies preadaptadas evolutivamente a

ambientes lacustres (Fernando y Holcik 1991), ya que la pérdida de flujo unidireccional-horizontal es el factor limitante para los peces reofílicos cuando llegan a colonizar los embalses, como consecuencia de la pérdida de hábitats en comparación con el río (Granado-Lorencio 1996). Adicionalmente,

Tabla 2. Listado taxonómico de los peces de importancia pesquera en los embalses San Lorenzo, Playas y Punchiná.

Taxón	Embalses			Introducida	
	Punchin	San Lorenzo	Playas		
Cypriniformes					
Cyprinidae					
<i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1758 **		X	X	X	X
Characiformes					
Prochilodontidae					
<i>Prochilodus magdalenae</i> Steindachner, 1879					X
Characidae					
<i>Brycon henni</i> Eigenmann, 1913		X	X	X	
<i>Brycon moorei</i> Steindachner, 1878					X
<i>Piaractus brachypomus</i> (Cuvier, 1818) ***			X	X	X
Siluriformes					
Loricariidae					
<i>Chaetostoma fischeri</i> Steindachner, 1879 *					X
<i>Chaetostoma milesi</i> Fowler, 1941 *		X			
<i>Chaetostoma thomsoni</i> Regan, 1904 *					X
<i>Hypostomus hondae</i> (Regan, 1912)		X	X	X	
Perciformes					
Centrarchidae					
<i>Micropterus salmoides</i> (Lacepède, 1802) **		X	X	X	X
Cichlidae					
<i>Caquetaia umbrifera</i> (Meek & Hildebrand, 1913)		X	X	X	
<i>Geophagus steindachneri</i> Eigenmann & Hildebrand, 1922			X	X	
<i>Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus, 1758)		X	X	X	X
<i>Oreochromis mossambicus</i> (Peters, 1852)		X	X	X	X
<i>Tilapia rendalli</i> (Boulenger, 1897) *, **				X	X

(*)Especie reportadas en trabajos anteriores (Larrahondo, 1993, Jiménez-Segura *et al.* 2011) y que no se registran en el presente trabajo. (**) Especie introducida (exótica). (***) Especie introducida (transplantada).

con el propósito de la sostenibilidad alimentaria de la población humana, se introducen taxones que modifican totalmente la estructura original y construye una nueva asociación íctica (Jiménez-Segura *et al.* 2011).

Para 1933, Larrahondo reportó tres especies de importancia pesquera, siendo *B. henni* la más relevante. En el 2011 Jiménez-Segura y colaboradores, actualizaron el listado con la inclusión de seis especies, cuatro para San Lorenzo, una para Playas y seis para Punchiná. En este trabajo, se registraron siete especies para San Lorenzo, nueve para Playas y 11 para Punchiná. Aunque el registro de especies ha aumentado, *T. rendalli* y las especies del género *Chaetostoma* antes reportadas, no se registraron en el presente estudio.

Como sucede en la mayoría de los embalses del país, la pesca en el Oriente antioqueño depende de las especies foráneas, principalmente las Tilapias, género *Oreochromis*, las cuales se adaptan muy bien a las condiciones lenticas de estos ambientes, por lo que han sido utilizadas con fines acuícolas de repoblación, acuicultura y fomento pesquero (Gutiérrez y Lasso 2012). Otra especie de este orden y de importancia pesquera es *M. salmoides*, la cual fue introducida en 1970 en el embalse El Peñol, con fines de pesca deportiva y soporte a la pesquería para consumo, sin embargo actualmente está colonizando otras represas de esta zona (Gutiérrez y Díaz-Espinosa 2012). *Cyprinus carpio* y *O. niloticus* se registraron en los tres cuerpos de agua, y según Jiménez-Segura *et al.* (2011), están entre las especies más frecuentes en todos los embalses de Colombia.

De las especies nativas presentes, *C. umbrifera* y *H. hondae* se encuentran en estado de amenaza según el libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia (Mojica *et al.* 2012). *Caquetaia umbrifera* (mojarra negra o morrudo) está distribuida en Colombia en las cuencas Caribe y Magdalena, y aunque prefiere los ríos pequeños en zonas de remanso, se ha adaptado a las condiciones que presentan los embalses (Mojica *et al.* 2012). Esta especie también ha sido reportada en Betania y Prado, aunque la población de este último se ha visto reducida por la actividad pesquera (García-

Melo *et al.* 2010). Para la subfamilia Hypostominae, Jaramillo-Villa *et al.* (2008) reportaron *Squaliforma tenuicauda* para el Oriente antioqueño, por lo que *H. hondae* constituye el primer registro para esta zona. Además, se destaca la presencia de *B. henni* en los tres embalses, dado que es un nadador de potencia que prefiere las zonas de los ríos donde hay corrientes fuertes y turbulentas (Ortega-Lara *et al.* 2010).

Aunque estos embalses fueron construidos con fines hidroeléctricos, la presencia de éstas especies, ha fomentado la actividad pesquera en las poblaciones cercanas como San Roque, San Rafael y San Carlos, y se ha convertido en un atractivo turístico para el Oriente antioqueño.

Agradecimientos

Esta investigación fue realizada dentro del programa formulación e implementación del Plan de Ordenación Pesquera de los embalses Playas, Punchiná y San Lorenzo: Fase 2. Asociación de Organizaciones Ambientalistas de Antioquia ADOA, EPM S. A. E.S.P. e Isagen S. A. E.S.P.

Literatura citada

- Agostinho, A. A. 1994. Pesquisas, monitoramento e manejo da fauna aquática em empreendimentos hidrelétricos. Pp. 38-58. *En:* Comase; Eletrobrás. Seminário sobre Fauna Aquática e o Setor Elétrico Brasileiro. Río de Janeiro.
- Agostinho, A. A., S. M. Thomaz, C. V. Minte-Veray K. O. Winemiller. 2000. Biodiversity in the high Paraná River floodplain. Pp. 89-118. *En:* Gopal B., W. J. Junk y J. A. Davis (Eds.). Biodiversity in wetlands assessment function and conservation. Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands.
- Agostinho, A. A., L. C. Gomes, H. I. Suzuki y H. F. Jr Júlio. 2003. Migratory fishes of the Upper Paraná river basin, Brazil. Pp. 19-98. *En:* Carolsfeld J., B. Harvey, C. Rossy, A. Baer (Eds.). Migratory fishes of South America: biology, fisheries and conservation status. World Fisheries Trust, IDRC, World Bank. British Columbia, Canada.
- Agostinho, A. A., L. C. Gomes y F. M. Pelicice. (Eds). 2007. Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil. Universidad Estadual de Maringá, Maringá, Brasil. 501 pp.

- 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 Biological* 68 (4): 1119-1132.
- Baigún, C., N. Oldani y P. A. Van Damme. 2011. Represas hidroeléctricas en América Latina y su impacto sobre la ictiofauna: lecciones aprendidas. Pp. 391-400. *En: Van Damme P. A., F. Carvajal, J. Molina (Eds.). Los peces de la Amazonía boliviana: hábitats, potencialidades y amenazas.* Edit. INIA, Cochabamba, Bolivia.
- Bejarano, H., J. E. David, A. Roldan, S. M. Giraldo. 2009. II. Laboratorio de Paz Oriente antioqueño. Proyecto Turismo Para la Paz - Plan subregional de turismo del Oriente antioqueño 2009-2020. Documento ejecutivo. 123 pp.
- Donald, J y G. Marmulla. 2001. The influence of dams on river fisheries. Pp. 1-44. *En: Marmulla, G. (Ed.). Dams, fish and fisheries. Opportunities, challenges and conflict resolution.* FAO Fisheries Technical Paper, Roma, Italia.
- Fernando, C. H. y J. Holcik. 1991. Some impacts of fish introductions into tropical freshwaters. Pp. 103-129 *En: Ramakrishnan P. S. (Ed.). Ecology of biological invasion in the Tropics.* National Institute of Ecology by International Scientific Publications, New Delhi, India.
- García-Melo, L. J., G. Pardo, F. A. Villa-Navarro, G. Reinoso-Flórez y G. N. Briñez-Vásquez. 2010. Aspectos Pesqueros. Pp. 218-321. Capítulo III. *En: Capacidad de Carga, Caracterización y Evaluación de la actividad pesquera y acuícola en el embalse de Prado.* Grupo de Investigación en Zoología, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.
- Granado-Lorencio, C. (Ed.). 1996. Ecología de peces. Publicaciones de la Universidad de Sevilla, Sevilla, España. 317 pp.
- Gutiérrez F. de P. y A. M. Díaz-Espinosa. 2012. *Micropterus salmoides*. Capítulo 5. Pp. 148-152. *En: Gutiérrez, F. de P., C. A. Lasso, M. P. Baptiste, P. Sánchez-Duarte y A. M. Díaz. (Eds). 2012. VI. Catálogo de la biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves.* Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia.
- Gutiérrez, F. de P. y C. A. Lasso. 2012. *Oreochromis niloticus*. Capítulo 5. Pp. 159-166. *En: Gutiérrez, F. de P., C. A. Lasso, M. P. Baptiste, P. Sánchez-Duarte y A. M. Díaz. (Eds). 2012. VI. Catálogo de la biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves.* Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia.
- Jaramillo-Villa, Ú., J. A. Maldonado-Ocampo y J. D. Bogotá-Gregory. 2008. Peces del Oriente de Antioquia, Colombia. *Biota Colombiana* 9 (2): 279-293.
- Jiménez-Segura, L. F., R. Álvarez-León, F. Gutiérrez-Bonilla, S. Hernández, M. Valderrama-Barco y F. Villa-Navarro. 2011. La pesca y los recursos pesqueros en los embalses colombianos. Capítulo 7.2. Pp. 233-281. *En: Lasso C. A., F. Gutiérrez, M. A. Morales-Betancour, E. Agudelo, H. Ramírez-Gil, 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.
- Larinier, M. 2001. Environmental issues, dams and fish migrations. Pp. 45-90. *En: Marmulla, G. (Ed.). Dams, fish and fisheries. Opportunities, challenges and conflict resolution.* FAO Fisheries Technical Paper, Roma, Italia.
- Larrahondo, M. 1993. Aprovechamiento acuícola de embalses en Colombia. Pp. 51-106. *En: Juárez R., y E. Varsi (Eds.). Avances en el manejo y aprovechamiento acuícola de embalses en América Latina y el Caribe.* FAO, Roma, Italia.
- McCully, P. 2001. *Silenced Rivers: The ecology and politics of large dams.* Zen Books. London. 416 pp.
- Mojica, J. I., J. S. Usma, R. Álvarez-León y C. A. Lasso (Eds). 2012. Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales - Universidad Nacional de Colombia, WWF Colombia y Universidad de Manizales. Bogotá, D. C., Colombia. 320 pp.
- Ortega-Lara, A., G. C. Sánchez-Garcés, L. F. Jiménez-Segura, N. J. Mancera-Rodríguez, R. Álvarez-León y M. A. Morales-Betancourt. 2010. *Brycon henni* (Characiformes, Characidae). Capítulo 7. Pp. 198-200. *En: Lasso, C. A., E. Agudelo Córdoba, L. F. Jiménez-Segura, H. Ramírez-Gil, M. Morales-Betancourt, R. E. Ajiaco-Martínez, F. de Paula Gutiérrez, J. S. Usma, S. E. Muñoz Torres y A. I. Sanabria Ochoa (Eds.). I. Catálogo de los recursos pesqueros continentales de Colombia.* Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia.

Preti, A. 2010. Oriente antioqueño: Análisis de la conflictividad. ASDI/PNUD. 56 pp.

Quirós, R. 1990. Factors related to variance of residuals in chlorophyll total phosphorus regressions in lake sand reservoirs of Argentina. *Hydrobiologia* 200 (201): 343-355.

Reis R. E., S. O. Kullander y C. J. Jr. Ferraris. 2003. Check list of the freshwater fishes of South and Central America. EDIPUCRS. Porto Alegre, Brasil. 742 pp.

María Isabel Pareja-Carmona
Asociación de Organizaciones Ambientalistas del Oriente
Antioqueño
isabel795@gmail.com

Juan Guillermo Ospina-Pabón
Asociación de Organizaciones Ambientalistas del Oriente
Antioqueño
juanguio@gmail.com

Listado taxonómico de especies ícticas de importancia
pesquera en tres embalses del Oriente antioqueño, cuenca
del río Magdalena, Colombia

Cítese como: Pareja-Carmona, M. I. y J. G. Ospina-Pabón.
2014. Listado taxonómico de especies ícticas de importancia
pesquera en tres embalses del Oriente antioqueño, cuenca del
río Magdalena, Colombia. *Biota Colombiana* 15 (2): 54-60.

Recibido: 3 de marzo de 2014
Aprobado: 22 de noviembre de 2014

Gradiente de recuperación longitudinal en la estructura de la ictiofauna en un río andino regulado

Luz Fernanda Jiménez-Segura, Javier A. Maldonado-Ocampo y Clara María Pérez-Gallego

Resumen

Los cambios que tiene la biota que habita los cauces aguas abajo de las presas han sido objeto de numerosos estudios pero pocos se han focalizado a conocer los gradientes de recuperación aguas abajo de la presa e incluso la influencia de la estacionalidad en el pulso de caudal en este proceso. Desde el año 2000 la empresa de generación de energía Isagen S.A. E.S.P. ha venido monitoreando algunas características emergentes de la comunidad de especies de peces en la cuenca baja del río La Miel (cuenca del río Magdalena), aguas abajo de la presa para conocer la respuesta de la ictiofauna ante las nuevas condiciones ambientales. Con base en estos monitoreos se verificaron las hipótesis de que existe un gradiente de recuperación en las características del ensamblaje a lo largo del eje longitudinal, en dirección descarga de turbinas – desembocadura al río Magdalena, y que elevados valores en la dominancia estuvieron determinados por la llegada de especies migratorias al sitio de la descarga durante el periodo hidrológico de aguas bajas. Finalmente, se plantea la necesidad de considerar la ubicación de una presa teniendo en cuenta la posibilidad de que afluentes próximos aguas abajo amortigüen la influencia de la presa y de la operación de la central hidroeléctrica.

Palabras clave. Río represado. Energía eléctrica. Concepto de Discontinuidad Serial. Andes colombianos. Cuenca del río Magdalena.

Abstract

Changes in the biota inhabiting the streams downstream of dams have been the subject of numerous studies but few have focused on recovery gradients downstream of the dam or the influence of seasonality on the pulse of the flow in regulated streams. Since 2000 the hydro-power company Isagen SA E.S.P. has been monitoring some emerging characteristics of the fish community in the lower basin of La Miel River (Magdalena River Basin) downstream of the dam to document the response of the fish fauna to new environmental conditions. Based on this monitoring, we tested the hypothesis that there would be a gradient of recovery in the fish assemblage characteristics along the longitudinal axis, downstream from the turbine's output to its mouth in the Magdalena River. The highest values observed in the dominance index were a result of the arrival of migratory species to the site of the water discharge from the dam during low water period. Finally there is a need to weigh alternative locations of a dam taking into consideration the possibility that downstream tributaries can diminish the impact of the dam and hydropower plant operation.

Key words. Dammed river. Hydropower. Serial Discontinuity Concept. Colombian Andes. Magdalena River Basin.

Introducción

El concepto del Río Continuo (CRC) define que las variables físicas en un sistema ribereño, desde las cabeceras hasta la desembocadura, presentan un gradiente continuo. A este gradiente físico a lo largo del río, la biota acuática responde presentando patrones típicos asociados con el almacenamiento, transporte y uso de la materia orgánica (Vannote *et al.* 1980). La inclusión de barreras en este continuo conlleva cambios en la geomorfología, en la calidad del agua, en el régimen de la temperatura, en el pulso de caudal y por lo tanto en la respuesta de la biota a este cambio (Callow y Petts 1992).

La dinámica que impone una barrera dentro de este continuo ribereño es claramente expuesta en el concepto de Discontinuidad Serial CDS (Ward y Stanford 1983). El CDS afirma que aguas abajo de la presa se da inicio a un nuevo continuo a lo largo del cual la estructura de la biota acuática sufre un proceso de recuperación pero que, este dependerá a su vez, de la localización de la barrera dentro de la cuenca.

El uso del agua para generar energía eléctrica es común a nivel mundial y el efecto que tiene la construcción de embalses sobre la biota acuática es uno de los tópicos de mayor citación en las investigaciones dentro del tema ambiental (Ellis y Jones 2013). Estos efectos pueden ser fuertemente influenciados por las características mismas del embalse (p. e. localización dentro de la cuenca, altitud, tiempo de retención), de la cuenca (p. e. estacionalidad hidrológica, pendiente, presencia de otros afluentes a lo largo del cauce), así como por las reglas de operación de la central de generación.

En este trabajo, con base en la información recopilada por la empresa Isagen S. A. E.S.P. durante monitoreos en los años 2002-2009, se pretende responder las siguientes preguntas: a) ¿las características emergentes del ensamblaje de peces aguas abajo de la Central Miel I siguen un gradiente de recuperación asociado con la distancia desde el sitio de descarga y la presencia de tributarios al cauce principal del río? b) ¿la temporalidad hidrológica influye en la estructura de la ictiofauna a lo largo del cauce del río La Miel?

Material y métodos

Área de estudio

El río La Miel está localizado en la vertiente oriental del ramal central de los Andes del norte en Colombia. Su cuenca tiene 2367 km², nace a los 3600 m s.n.m. y luego de 104 km de recorrido desemboca en el río Magdalena a los 146 m s.n.m. en su margen izquierda. En la hidrografía de la zona del valle del río La Miel (cuenca baja), se destacan el río Manso y el río Samaná. Después de la confluencia del río Samaná con el río La Miel el caudal medio anual se duplica, pasando de 137 m³.s⁻¹ a un valor cercano a los 330 m³.s⁻¹ (Universidad de Antioquia-Isagen S. A. 2012).

En el río la Miel se pueden definir cuatro sectores teniendo en cuenta algunos rasgos físicos como la estructura del sustrato aguas abajo de la presa, la transparencia del agua y su velocidad, y el cambio en el nivel del agua como resultado del pulso de caudal que genera la turbinación de la central Miel I:

- 1) Cauce del río arriba de la descarga de turbinas (sitio Puente Hierro). En este sector, el río presenta sustrato arenoso con rocas de diferente tamaño, transparencia alta y velocidades intermedias; igualmente pequeños cambios en el nivel del agua como resultado de la turbinación.
- 2) Sector del río donde llega la descarga de turbinas. El cauce tiene sustrato predominantemente rocoso, con velocidad alta en el flujo del agua, al igual que alta transparencia; se presentan grandes cambios diarios en el nivel del agua.
- 3) cauce del río con influencia del río Manso (sitios La Palmera, La Cachaza y desembocadura del río Manso). En este sector la velocidad del agua se reduce, no obstante la transparencia se mantiene así como la estructura rocosa del sustrato. La influencia del caudal aportado por el río Manso amortigua el cambio diario en el nivel del agua.
- 4) Cauce del río donde desemboca el río Samaná-Sur y tiene influencia el río Magdalena (sitios San Miguel y desembocadura del río Samaná-Sur). En este sector el río reduce significativamente su transparencia, en el sustrato domina la arena sobre la roca y la velocidad del agua es menor. El cambio en el nivel del agua se amortigua con el pulso de caudal natural del río Samaná-Sur (Universidad de Antioquia-Isagen S. A. E.S.P. 2012). Para mayor detalle de las características de cada sector, ver tabla 1.

Diseño del muestreo

Para conocer la estructura del ensamblaje en el gradiente físico en el río La Miel, los peces fueron capturados en siete sitios aguas abajo de la presa de la Central Hidroeléctrica Miel I: cinco sobre el cauce principal del río La Miel y dos en sus tributarios, los ríos Manso y Samaná Sur (Figura 1). Los muestreos se realizaron entre los años 2002 y 2009. En el año 2002, 2004 y 2005 solo se tomaron muestras en las aguas altas del segundo semestre del año y en las aguas bajas del primer semestre y no se hicieron capturas en el sitio inmediatamente arriba del túnel de descarga. En los años 2006, 2007, 2008 y 2009 se tomaron muestras en seis periodos hidrológicos de la cuenca del río Magdalena: aguas bajas, aguas subiendo y aguas altas, del primero y del segundo semestre del año.

Captura de los peces

Los peces fueron capturados con métodos de pesca activos. Fueron usadas redes de caída (atarrayas de 3, 1, y 0,5 cm de abertura de malla y 2,5 m de alto), redes de arrastre (chinchorros y barrederas) y jamas. El esfuerzo de muestreo se mantuvo entre los años 2006 y 2009 entre los muestreos y sitios. Una vez colectados los peces fueron fijados en solución

de formol al 10 % y llevados al laboratorio para su análisis. Cada ejemplar fue identificado a especie con la ayuda de literatura especializada y su estatus taxonómico fue verificado en Eschmeyer y Fong (2014). Fueron depositados al menos 10 ejemplares por especie en las colecciones de peces de la Universidad Católica de Oriente (CP-UCO) y de la Universidad de Antioquia (CIUA).

Composición y descripción del ensamblaje

El listado de especies sigue la clasificación taxonómica de Eschmeyer y Fong (2014) en donde las familias siguen un orden sistemático, y las subfamilias, géneros y especies están ordenados alfabéticamente. Para complementar el listado de especies fue incorporado el trabajo de García-Melo y Bogotá-Gregory (2006). Los especímenes identificados a nivel de género que no estaban en la lista de composición, fueron incluidos como representantes del género. Para cada especie se estableció a que categoría de amenaza pertenece según Mojica *et al.* (2012), tipo de uso (Lasso *et al.* 2011), estatus de migración (Usma *et al.* 2013) y categoría (dominante, común, ocasional, rara), según su abundancia relativa y su frecuencia en los muestreos (Magurran 2004).

Tabla 1. Algunas características del hábitat en cada uno de los sectores en el río La Miel (Valores medios y desviación estándar D. E.). Fuente: Universidad de Antioquia-Isagen S. A. E.S.P. (2012). * Intervalo.

Sector	Sitio	Caudal (m ³ .s ⁻¹)	Velocidad (cm.s ⁻¹)	Transparencia (m)	Sustrato dominante
A	Puente Hierro	0,6-1,3*	0,4 ± D.E. 0,12	0,9 ± D.E. 0,16	Arena
B	Túnel de Fuga	88 ± D.E. 72,1	2,3 ± D.E. 0,9	3,4 ± D.E. 1,4	Rocas
C	La Palmera	98,65 ± D.E. 73,23	1,4 ± D.E. 0,8	2,2 ± D.E. 0,9	Gujarros
	Río Manso	19,6 ± D.E. 16,5	1,6 ± D.E. 0,5	0,5 ± 0,32	Gravas
	La Cachaza	140,1 ± D.E. 84,32	1,6 ± D.E. 0,7	0,9 ± 0,7	Gravas
D	Río Samaná Sur	165,6 ± 130,9	1,6 ± D.E. 0,5	0,2 ± D.E. 0,15	Arena
	San Miguel	328,84 ± D.E. 181,98	2 ± D.E. 0,6	0,9 ± D.E. 3	Gravas

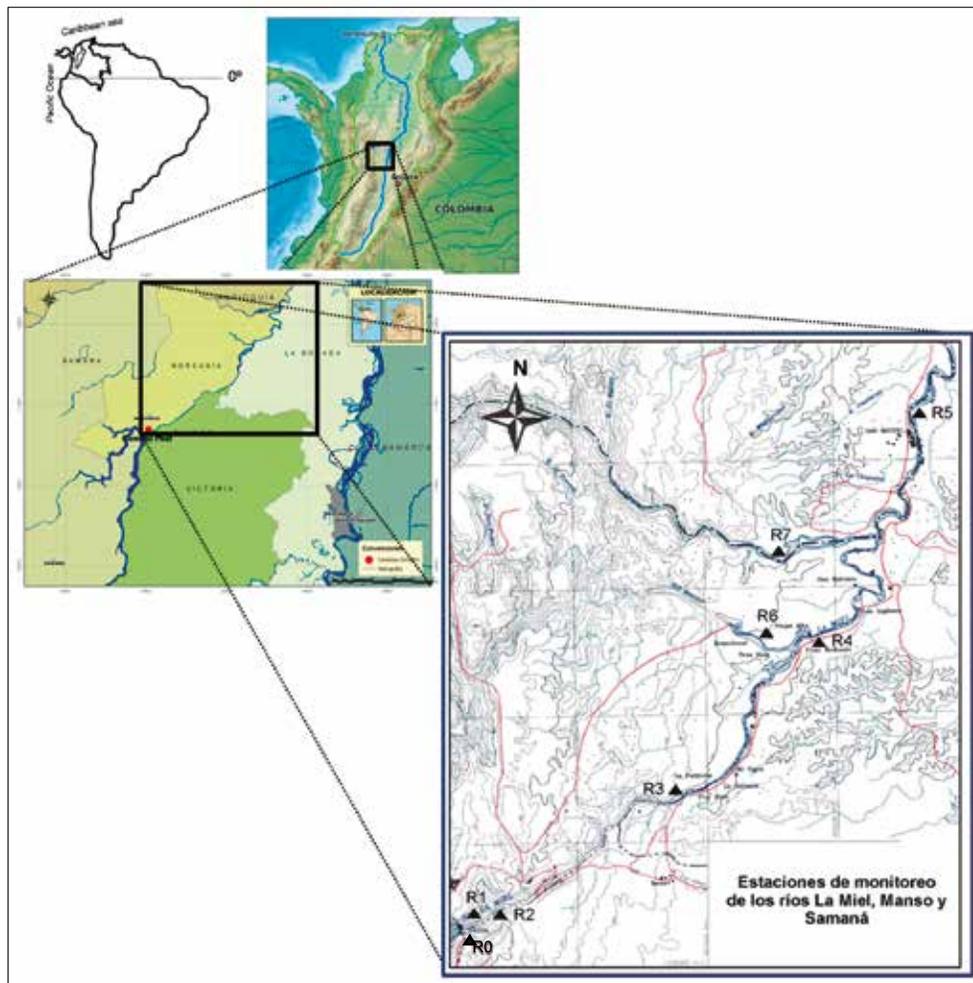


Figura 1. Localización del río La Miel. Sitios de muestreo: **R0:** Entre presa y Puente Hierro. **R1:** Puente Hierro. **R2:** Túnel de Fuga. **R3:** La Palmera. **R4:** La Cachaza. **R5:** San Miguel. **R6:** río Manso. **R7:** río Samaná. Fuente: Isagen S. A. E.S.P. 2007.

Análisis de datos

La información de los muestreos realizados en los años 2002, 2004 y 2005 solo se incluyó para definir la composición de la comunidad de peces debido a que tuvieron diferentes tiempos y esfuerzos de muestreo. La información de los años 2006, 2007, 2008 y 2009 se utilizó para el análisis de la estructura de la comunidad. Los datos de abundancia por especie se usaron en términos de su porcentaje con relación al total de la muestra para reducir el efecto del método de muestreo.

Para definir si la composición del ensamblaje es particular al sitio dentro de la cuenca, se realizó un análisis de escalamiento multidimensional no métrico

NMDS, usando el índice de Jaccard para valores de presencia-ausencia; el análisis se consideró robusto cuando el valor de estrés fue menor a 0,2. En este análisis solo fueron incluidos los taxa identificados a especie, y aquellos ejemplares que representaron algún género no incluido dentro del listado; fueron excluidas aquellas especies comunes a todos los sitios de monitoreo. Para conocer la estructura de la ictiofauna en los sitios de los sectores del río y periodo hidrológico analizado, fue utilizado el estimador de la diversidad Alfa de Fischer, así como la Dominancia D, la abundancia total y el número de especies. Para verificar si existieron diferencias significativas en estas características de acuerdo con el sitio, periodo

y año de muestreo se usaron análisis de varianza no paramétricos. El criterio de significancia estadística fue cuando $p < 0,05$.

Resultados

En total se registraron 105 taxa (95 especies confirmadas y diez identificada a nivel de género), representantes de 66 géneros, 23 familias y seis órdenes (Anexo 1). Los órdenes con mayor número de especies fueron Characiformes y Siluriformes (89 % del total). Las familias Characidae (30 especies, 16 géneros) y Loricariidae (18 especies, 13 géneros), representaron el 55 % del total de especies. Del total de especies registradas, 17 están incluidas con alguna categoría de amenaza en el libro rojo de peces de agua dulce de Colombia (Mojica *et al.* 2012); 18 especies tienen importancia pesquera y son migratorias; dos especies son introducidas desde África (*Oreochromis niloticus* y *Coptodon rendalli*) y una especie trasplantada desde la cuenca del Amazonas y Orinoco (*Colossoma macropomum*). Seis de las especies registradas por García-Melo y Bogotá-Gregory (2006), no fueron reportadas en los monitoreos de Isagen (2002-2009).

En el 2002 el número de especies fue de 35, y en el 2006 el número de especies reportadas se duplicó; en

los siguientes años el incremento no superó el 10 %, y en el año 2009 se alcanzaron las 95 especies (Figura 2). Dieciséis especies se reportaron en todos los años de monitoreo, 14 en cinco de los años, 17 en cuatro, 13 en tres y 34 en solo uno de los años. Del total de especies, 28 % fueron dominantes, 16 % ocasionales y 56 % raras. Dentro de las especies dominantes se destacaron por su importancia para los pescadores de la región *Prochilodus magdalenae*, *Ichthyoelephas longirostris*, *Leporinus muyscorum*, *Cyphocharax magdalenae* y *Salminus affinis* (Tabla 1).

La composición del ensamblaje fue particular a cada sitio dentro del área monitoreada (estrés= 0,1) (Figura 3). El ensamblaje de peces en el sector del río representado por los sitios más próximos a la presa (Puente Hierro y La Cachaza) y a la descarga del túnel de fuga estuvo conformado principalmente por especies de pequeño porte como las de los géneros *Argopleura*, *Astyanax*, *Creagrutus*, *Geophagus*, *Characidium*, *Astroblepus*, *Bryconamericus*, *Hemibrycon*, *Saccodon* y *Lasiancistrus*. En el sector del río La Miel próximo a la influencia del río Manso, fueron comunes especies como *Argopleura magdalenensis*, *Gephyrocharax melanocheir*, *Oreochromis niloticus*, *Saccoderma hastatus*, y *Sturisoma panamense*. La presencia de especies como *Panaque cochliodon*,

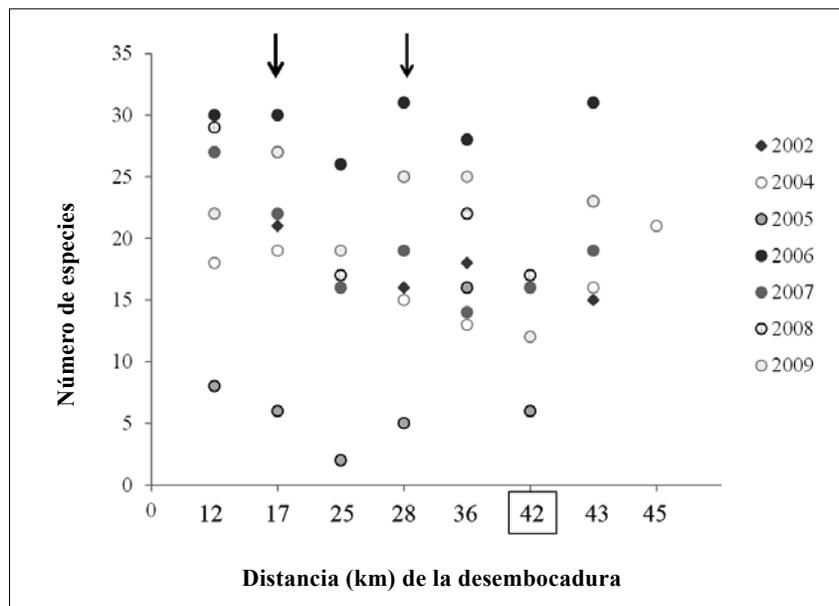


Figura 2. Distribución del número de especies en cada sitio de muestreo y año de monitoreo. Sitio resaltado en cuadro: lugar de descarga de la central Miel I, flechas: ríos tributarios al río La Miel.

Pseudoplatystoma magdaleniatum, *Colossoma macropomum*, *Cetopsis othonops*, *Prochilodus magdalenae*, *Curimata mivartii*, *Ancistrus centrolepis* y *Cynodonichthys* spp., caracterizó el ensamblaje de especies del río Samaná Sur y el río La Miel, próximo a su desembocadura al río Magdalena.

Con excepción de la abundancia y la dominancia, las otras características del ensamblaje presentaron una tendencia a incrementarse hacia aguas arriba o aguas abajo de la descarga de turbinación de la Central Miel I (Tabla 2, Figura 4). La dominancia y la abundancia fueron mayores durante los periodos hidrológicos de aguas bajas, sin embargo, estos indicadores fueron particulares al sector del río. Durante este periodo hidrológico el incremento en la abundancia relativa de especies migratorias como *Prochilodus magdalenae* y *Salminus affinis*, elevó la dominancia en los sitios próximos a la descarga de la central (Figura 5a y 5b). La variación en las características que describen la estructura del ensamblaje (diversidad, riqueza, dominancia) entre los años de monitoreo

fue importante (CV = 30-90 %) y se observó que esta variación tiende a reducirse con el incremento en la distancia desde la descarga de turbinas (Figura 6). Aunque no es clara si esta relación es particular al periodo hidrológico, los menores coeficientes de variación fueron observados durante los periodos de aguas altas.

Discusión

Aunque la cuenca del Magdalena no es la más rica en especies de la región neotropical (Albert y Reis 2011, Maldonado *et al.* 2011), si presenta altos endemismos, ya que entre el 37 y el 50 % de las especies sólo se reportan en los ríos transandinos al nor-occidente de Suramérica (Albert *et al.* 2011, Maldonado *et al.* 2011). La riqueza de la ictiofauna en el río La Miel representa un poco más del 50 % del número de especies reportado para la cuenca del río Magdalena-Cauca y del 7 % de la riqueza del país (Maldonado-Ocampo *et al.* 2008).

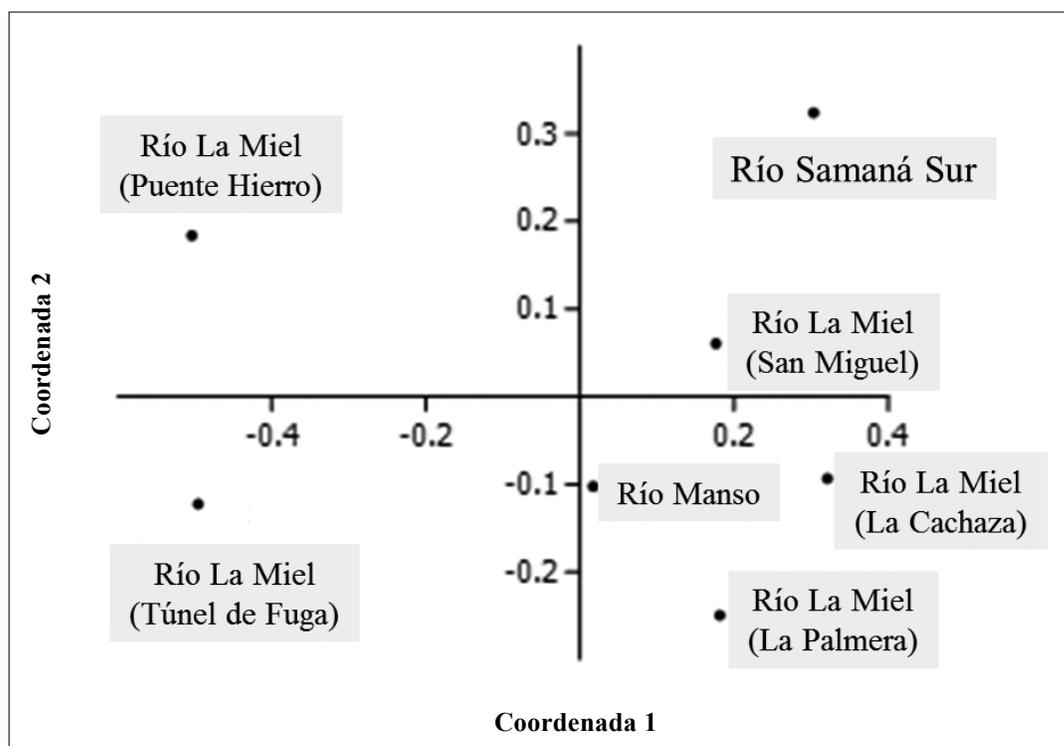


Figura 3. Ordenación de las muestras con base en la composición de especies del ensamblaje en los diferentes sitios de muestreo a lo largo del río La Miel.

Tabla 2. Medidas de tendencia central y dispersión de las características del ensamblaje de peces en el río La Miel. **I:** primer semestre. **II:** segundo semestre. **AB:** aguas bajas. **AS:** aguas subiendo. **AA:** aguas altas. **C.v.:** Coeficiente de variación (%). **Alfa:** valor de diversidad de Fischer. **S:** número de especies. **D:** dominancia. **Abund:** abundancia.

		Distancia (km)															
		General		0,5		0		6		14		17		25		30	
		media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.	media	c.v.
AB-I	Alfa	3,4	59,17	6,7	36,85	2,1	60,16	2,7	61,86	2,2	36,82	2,7	47,91	3,5	18,19	3,6	44,98
	S	9	47,20	14	19,32	6	78,26	8	53,03	8	31,88	8	36,80	11	19,83	10	70,25
	D	0,4	51,9	0,2	42,9	0,6	37,3	0,4	28,2	0,4	59,8	0,4	70,1	0,3	22,6	0,3	30,0
	Abund	72,7	76,1	86,3	90,1	33,3	102,9	102,0	54,3	82,0	93,4	82,0	93,4	72,3	40,4	71,8	109,5
AS-I	Alfa	3,1	50,2	2,9	16,3	1,9	72,5	3,2	24,6	4,5	61,1	2,0	59,6	3,9	30,0	3,2	39,4
	S	8	38,92	8	35,36	4	63,01	9	22,53	10	20,11	8	53,64	10	14,14	11	32,53
	D	0,4	53,4	0,3	7,0	0,6	34,9	0,4	42,4	0,2	33,2	0,5	45,6	0,2	55,9	0,5	59,3
	Abund	70,0	95,1	53,0	77,1	25,5	145,1	60,8	66,5	146,8	87,4	146,8	87,4	50,5	30,3	100,3	62,3
AA-I	Alfa	3,9	57,9	3,8	43,5	2,6	84,7	7,2	34,8	3,9	50,4	3,8	74,5	2,6	32,9	3,6	27,8
	S	8	40,17	10	39,16	4	61,24	8	24,43	11	41,86	8	31,74	8	22,82	9	20,38
	D	0,3	45,4	0,2	34,5	0,5	42,4	0,2	36,8	0,3	63,8	0,3	37,7	0,4	27,2	0,2	11,1
	Abund	43,8	64,4	51,0	42,1	17,3	112,3	67,8	42,9	55,0	61,2	55,0	61,2	61,0	39,0	39,5	40,2
AB-II	Alfa	3,2	50,1	3,3	37,1	2,7	51,3	4,1	81,8	2,9	30,0	1,8	9,8	4,3	28,2	3,1	17,4
	S	8	40,79	9	57,05	5	42,24	8	53,03	8	31,88	7	28,57	10	36,86	9	28,57
	D	0,3	39,3	0,3	15,8	0,4	48,3	0,3	71,0	0,3	21,2	0,3	19,8	0,3	20,6	0,2	5,4
	Abund	57,1	124,0	92,0	151,5	16,8	28,6	58,0	59,8	111,0	107,8	111,0	107,8	39,3	54,9	50,3	48,6
AS-II	Alfa	4,4	56,4	3,5	44,6	2,9	66,7	4,3	81,3	5,9	37,4	2,9	35,2	5,5	55,5	6,0	45,1
	S	10	42,84	9	29,61	6	41,09	10	58,25	11	41,93	10	42,18	13	33,63	13	32,89
	D	0,2	35,5	0,3	26,9	0,3	10,3	0,3	50,8	0,2	26,6	0,3	15,9	0,2	33,5	0,2	68,0
	Abund	62,8	136,8	133,8	162,7	15,5	96,3	50,3	95,0	89,3	71,9	89,3	71,9	53,0	23,3	52,3	28,7
AA-II	Alfa	3,7	57,3	4,3	25,7	2,4	43,4	3,2	87,3	4,4	54,8	2,0	49,9	5,5	28,4	4,4	64,9
	S	8	50,60	9	65,42	5	47,62	6	62,63	8	15,25	8	54,11	13	28,78	9	40,18
	D	0,3	55,7	0,3	38,7	0,3	33,0	0,4	72,3	0,3	49,8	0,4	46,0	0,2	50,9	0,2	50,1
	Abund	54,3	101,8	60,0	128,4	22,3	80,5	72,8	123,6	94,3	66,7	94,3	66,7	66,3	80,3	38,5	47,4

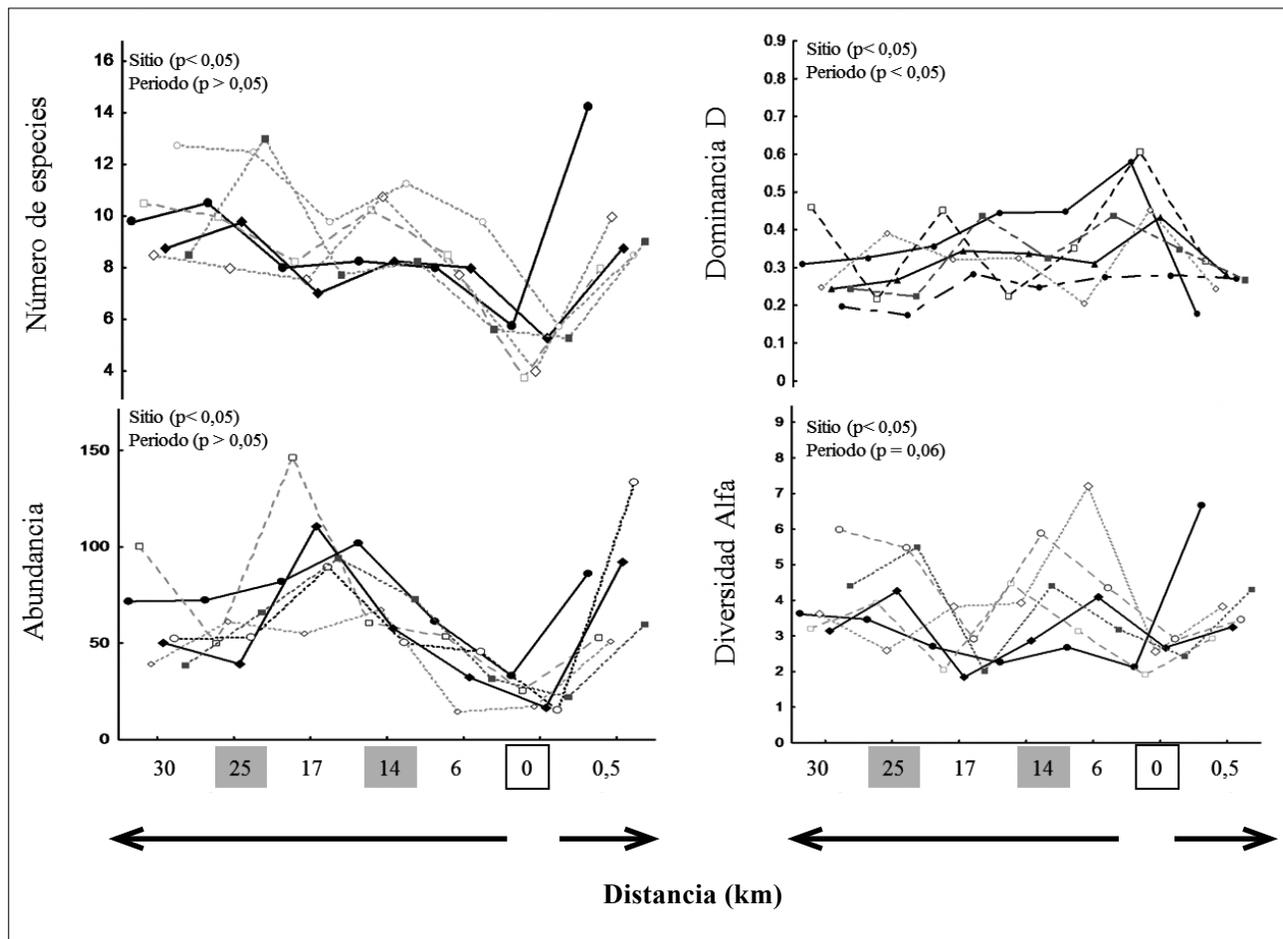


Figura 4. Características del ensamblaje de peces en el gradiente longitudinal del río La Miel (distancia desde el sitio de descarga) entre los años 2006, 2007, 2008 y 2009. Aguas bajas primer semestre: círculo negro, aguas bajas del segundo semestre: rombo negro, aguas subiendo del primer semestre: cuadro sin relleno, aguas subiendo del segundo semestre: círculo sin relleno, aguas altas del primer semestre: rombo sin relleno, y aguas altas del segundo semestre: cuadro gris. Distancia de valor cero: ubicación de la descarga de turbinación, distancia resaltada en gris: ubicación de los ríos Manso y Samaná Sur. Flecha hacia la derecha: distancia aguas arriba de la descarga de turbinación, flecha hacia la izquierda: distancia aguas abajo de la descarga de turbinación.

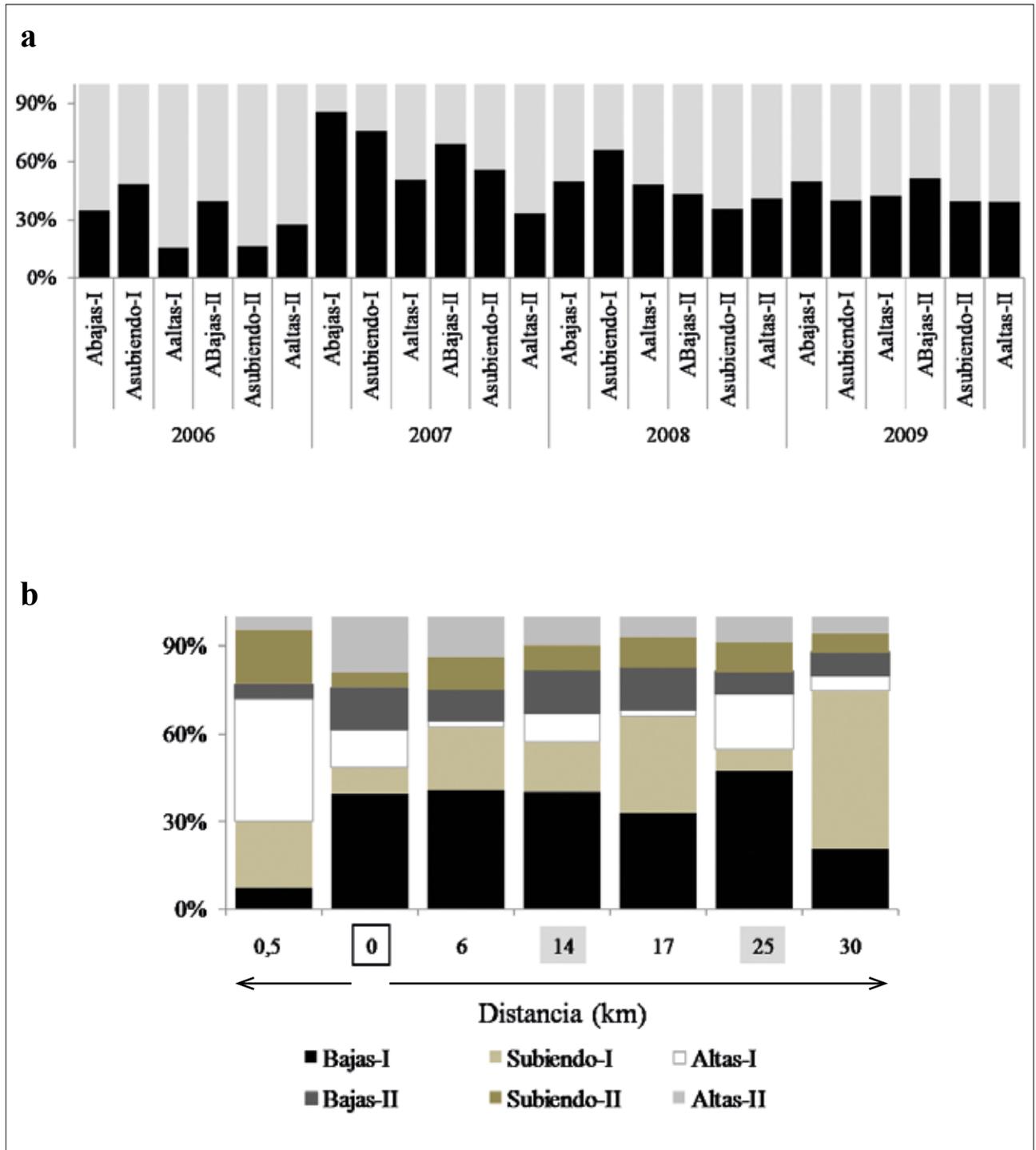


Figura 5. a) Abundancia numérica relativa de las especies migratorias respecto al total obtenido durante cada periodo hidrológico en los años 2006, 2007, 2008 y 2009. **b)** Distribución de la abundancia relativa de *Prochilodus magdalenae* en cada uno de los periodos hidrológicos monitoreados en los años 2006, 2007, 2008 y 2009; flecha hacia la derecha: distancia aguas abajo de la descarga de turbinación, flecha hacia la izquierda: distancia aguas arriba de la descarga de turbinación.

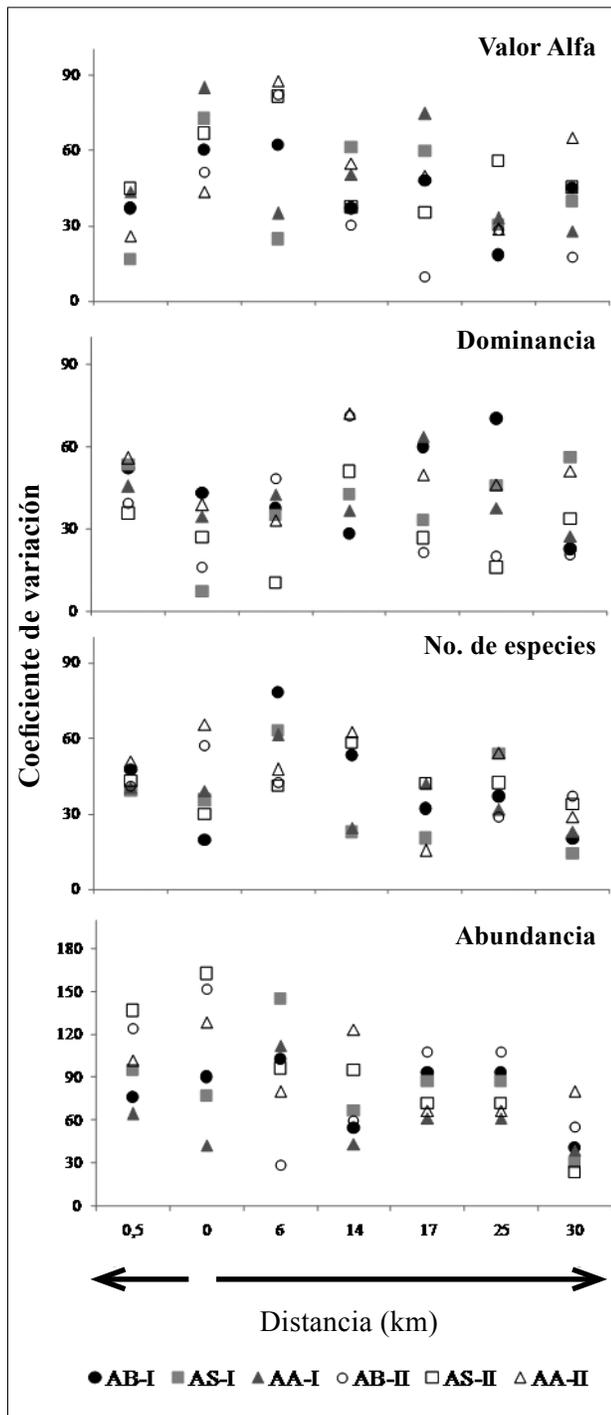


Figura 6. Variabilidad interanual (años 2006, 2007, 2008 y 2009) de las características del ensamblaje de peces en el cauce del río La Miel aguas abajo de la presa. **I:** primer semestre. **II:** segundo semestre. **AB:** aguas bajas. **AS:** aguas subiendo. **AA:** aguas altas. Flecha hacia la derecha: aguas abajo de la descarga de turbinas, flecha hacia la izquierda: aguas arriba de la descarga de turbinas.

Aunque los valores de conductividad del río La Miel son menores (media: 59 $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$) a los reportados por Crampton (2011) para ríos andinos, la composición de especies del ensamblaje de peces en el río La Miel se ajusta a aquella definida por éste autor para ríos de piedemonte de aguas claras y sustrato rocoso, con aguas bien oxigenadas, con pH neutros y conductividades entre 100 y 200 $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ donde se observan especies de loricáridos, pimelódidos, cetópsidos y pequeños Characiformes. La comunidad de peces del río La Miel está dominada por especies de pequeño porte ($LE < 100$ mm) y con menos del 10 % del total de especies con tallas mayores ($200 > x < 800$ mm de LE), algunas de ellas con comportamiento migratorio estacional, asociado con el pulso de caudal de la cuenca del río Magdalena.

La composición y riqueza de especies del ensamblaje cambio a lo largo de su eje longitudinal entre el sitio de presa y su desembocadura en el río Magdalena. Las mayores diferencias se observaron en el recambio de especies entre la descarga de turbinas y el sector próximo a la influencia de los ríos Samaná-Sur y Magdalena, y la riqueza de especies fue mayor a medida que se aumentaba la distancia desde la descarga de turbinas. Este gradiente en la ictiofauna obedece a la conformación del cauce así como a la influencia del caudal que resulta de la operación de la central Miel I y, se mantiene aun a pesar del año de monitoreo. En el sector arriba de la descarga, predominan especies de peces de pequeño tamaño como las del género *Saccodon*, *Parodon*, *Astroblepus* y *Chaetostoma* que aprovechan los ambientes que ofrece este sector del río. En este sector hay pozas de diferentes profundidades, conectadas entre sí, con fondo arenoso-rocoso, bosque ripario que cubre buena parte del cauce y amplia oferta de biofilm asociado a las rocas (Isagen S. A. 2004). En el sector de la descarga de turbinas, la alta velocidad del agua conlleva a que solo ciertas especies puedan estar presentes de manera permanente (*Andinoacara latifrons*, *Geophagus steindachneri*, *Chaetostoma* spp.) o estacionalmente (*Prochilodus magdalenae*, *Salminus affinis*), dependiendo del periodo hidrológico. Los sectores abajo de la descarga de turbinas, en particular aquellas con influencia de los ríos Manso y Samaná-Sur presentaron una ictiofauna rica en especies y típica de las zonas abajo de los 200 m s.n.m. de la cuenca, muchas de ellas migrantes

estacionales (*P. magdalenae*, *S. affinis*, *Brycon moorei*, *Potamotrygon magdalenae*, *Curimata mivartii*, *Cyphocharax magdalenae*, *Creagrutus magdalenae*, *Leporinus muyscorum*).

Este patrón de recuperación en las características del ensamblaje de la biota en ríos regulados ha sido descrito por Ellis y Jones (2013) quienes reconocen dos distancias de recuperación. La más larga, supera los cientos de kilómetros y la más corta, se encuentra entre el primer y cuarto kilómetro desde el sitio de descarga. Dadas las características del río La Miel y la amortiguación que hacen sus tributarios a la influencia de la operación de la central Miel I, se propone una tercera distancia que podría estar entre los 17 y 25 km. Teniendo en cuenta esto, además de la distancia, a la hora de la planificación sobre donde se debe ubicar una presa, deben considerarse otros factores y características que aumenten la amortiguación de los efectos de la presa sobre las comunidades de peces, tales como la magnitud del caudal, un pulso de caudal que mantenga el patrón natural de la cuenca y la carga de sedimentos.

Las temporadas de migración de algunas de las especies de peces en las regiones tropicales están asociadas con el menor nivel del agua en los ríos (Lowe-McConnell 1995, Welcomme 1979, Lucas y Baras 2001) así como sus periodos reproductivos con el incremento pulsante y positivo en el caudal (Jiménez-Segura 2010). El ensamblaje de especies en el río La Miel durante el periodo de aguas bajas, en particular en la descarga de las turbinas -el sitio más distante de la desembocadura al río Magdalena-, presentó mayores valores de dominancia debido al incremento en la abundancia de especies migratorias como *P. magdalenae* y *S. affinis*. Esto confirma que el estímulo a la migración hacia aguas arriba se mantiene y los individuos migratorios usan el río La Miel como ruta de migración, aun a pesar que no puedan sobrepasar la presa, de hecho, muchos de ellos ingresan a los túneles de descarga permanecen allí unos días y retornan nuevamente al río La Miel (López-Casas *et al.* 2014; Universidad de Antioquia-Isagen S.A. 2012). Esta tendencia (mayor dominancia y abundancia de especies migrantes durante las aguas bajas), no se observó en los ríos Manso y Samaná-Sur. Esto es resultado de la ausencia de barreras dentro de sus cauces que impiden la

migración, lo que permite que los peces continúen su viaje aguas arriba de estos cauces, y se registren desoves en estos ríos (Universidad de Antioquia-Isagen S.A. 2012). La presencia de una barrera (como sucede en el sector entre la descarga de turbinas y la presa), hace que los peces se acumulen allí y por lo tanto sean más vulnerables a los aparejos de pesca.

Diecisiete de las especies del ensamblaje en el río La Miel tienen algún riesgo a su conservación. Estas especies se distribuyen en toda la cuenca del río Magdalena-Cauca y su inclusión en alguna de las categorías obedece a la situación ambiental negativa actual de esta (Mojica *et al.* 2012). La causa principal es la modificación del hábitat, las prácticas inapropiadas en la pesca artesanal y recientemente, la reducción en la conectividad entre los sistemas acuáticos que son utilizados por los peces. El cambio en el hábitat y la afectación de la conectividad resultan de la interacción de diversas causas que actúan de manera sinérgica y repercuten en la reducción de sus poblaciones (p. e. minería de metales y piedras preciosas en los cauces de los ríos y ciénagas, avance de la frontera agropecuaria sobre las áreas cenagosas, aislamiento de las ciénagas, formación de embalses, generación de energía hidroeléctrica, introducción de especies foráneas) (Maldonado *et al.* 2011, Barletta *et al.* 2010, Galvis y Mojica 2008).

Como parte de la gran cuenca Magdalena, el río La Miel y sus tributarios no son la excepción ya que además de la presencia del embalse y de la generación de la central Miel I, se reportan especies foráneas como *Coptodon* spp. y *C. macropomum*, actividades de minería artesanal para extracción de oro del río, prácticas inadecuadas en la pesca artesanal, cultivos agrícolas llegando hasta el borde del río, construcción de un dique que limita la conexión entre el río y la ciénaga Palo Grande, y un pequeño lago del plano lateral del río (Jiménez-Segura *et al.* 2011).

En conclusión, se observó un gradiente de recuperación en las características del ensamblaje de peces del río La Miel desde el sitio de descarga de turbinas y en dirección hacia la desembocadura al río Magdalena, donde los tributarios hacen sus aportes y amortiguan el efecto que produce la oscilación en el nivel del agua ocasionado por la operación de la central Miel I.

Este patrón se conservó en los periodos hidrológicos monitoreados, aunque es importante resaltar que las migraciones de peces desde las áreas cenagosas durante los periodos de aguas bajas pueden influir en la dominancia y diversidad del ensamblaje. Estos resultados brindan elementos importantes para definir, dentro de las cuencas de ríos que puedan ser de interés para la generación de energía eléctrica, la localización de los embalses utilizando como criterio la presencia de ríos tributarios que mantengan el patrón de pulso de caudal natural y un caudal de igual o mayor magnitud al que río que será regulado.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la empresa Isagen S.A. E.S.P. por permitir el uso y publicación de los datos. El análisis de la información se desarrolló bajo el convenio de cooperación No. 46/3246 entre la Universidad de Antioquia e Isagen S. A. E.S.P.

Literatura citada

- Albert J. y R. Reis. 2011 (Eds.). Historical biogeography of Neotropical freshwater fishes. University of California Press, Ltda. London, England. 388 pp.
- Albert J., Petri P. 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, Ltda. London, England.
- Anderson E. P., M. C. Freeman y C. M. Pringle. 2006. Ecological consequences of hydropower development in Central America: Impacts of small dams and water diversion on Neotropical stream fish assemblages. *River Research and Applications* 22: 397-411.
- Barletta, M., A. J. Jaureguizar, C. Baigun, N. F. Fontoura, A. A. Agostinho, V. M. F. Almeida-Val, A. L. Val, R. A. Torres, L. F. Jiménez-Segura, T. Giarizzo, N. N. Fabré, V. S. Batista, C. A. Lasso, D. C. Taphorn, M. F. Costa, P. T. Chaves, J. P. Vieira y M. F. M. Correa. 2010. Fish and aquatic habitat conservation in South America: a continental overview with emphasis on Neotropical systems. *Journal of Fish Biology* 76: 2118-2176.
- Calow, P. y G.E. Petts. 1992. The rivers handbook. Backwell Scientific Publications. 536 pp.
- Crampton, W. 2011. An Ecological perspective on diversity and distributions. Pp. 165-184. *En*: Albert J. y R. Reis (Eds.). Historical biogeography of Neotropical freshwater fishes. University of California Press, Ltda. London, England.
- Ellis, L. y N. E. Jones. 2013. Longitudinal trends in regulated rivers: a review and synthesis within the context of the serial discontinuity concept. *Environmental Reviews* 21:136-148.
- Eschmeyer, W. y Fong. 2013. Catalog of fishes. <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp> (fecha de consulta: 23 de enero de 2014).
- Ferraris Jr., C. J. 2007. Checklist of catfishes, recent and fossil (Osteichthyes: Siluriformes) and catalogue of Siluriform primary types. *Zootaxa* 1418:1-628.
- Galvis, G. y J. I. Mojica. 2007. The Magdalena River freshwater fishes and fisheries. *Aquatic ecosystem health and management* 10: 127-139.
- García-Melo, L. J. y J. D. Bogotá-Gregory. 2006. Caracterización de la fauna íctica en la cuenca del río La Miel, oriente de Caldas. Informe técnico presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Caldas. 40 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., C. Granado-Lorencio, A. Gulfo, J. D. Carvajal, A. Hernández, F. Álvarez, J. P. Echeverry, A. Martínez y J. Palacio. 2011. Uso tradicional de los recursos naturales pesqueros y conservación de la biodiversidad en regiones tropicales subdesarrolladas: hacia un modelo de ecología de la reconciliación. Informe final. Universidad de Antioquia, Universidad de Sevilla, Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo, Cormagdalena. 230 pp.
- Lierman, R., C. Nilsson, J. Robertson y R.Y. Ng. 2012. Implications of dam obstruction for global freshwater fish diversity. *BioScience* 62 (6): 539-548.
- López-Casas, S., L. F. Jiménez-Segura y C. Pérez. 2014. Peces migratorios en la caverna de oscilación: Central Miel I (Caldas-Antioquia). *Biota Colombiana* 15: (Especial Embalses y ríos regulados): 28-41.
- Lowe-McConnell, R. H. 1995. Ecological studies in tropical fish communities. Cambridge University Press. U. K. 382 pp.
- Lucas, M. C. y E. Baras (Eds.). 2001. Migration of freshwater fishes. Oxford: Blackwell Science. 420 pp.
- Maldonado, M., J. A. Maldonado-Ocampo, H. Ortega, A. Encalada, F. Carvajal-Vallejos, J. F. Rivadeneira, F. Acosta, D. Jacobsen, A. Crespo y C. A. Rivera-Rondón. 2011. Biodiversity in aquatic system of the tropical Andes. Pp. 276-294. *En*: Herzog, S. K., R. Martínez, P. M. Jørgensen y H. Tiessen (Eds.). Climate Change and Biodiversity in the tropical Andes. Inter-American Institute of Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), São José dos Campos/Paris.

- Maldonado-Ocampo, J., R. Vari y J. S. Usma. 2008. Checklist of the freshwater fishes in Colombia. *Biota Colombiana* 9: 143-237.
- Maldonado-Ocampo, J. A., A. Ortega-Lara, J. S. Usma, G. Galvis, F. A. Villa-Navarro, L. Vásquez, S. Prada-Pedreras y C. A. Rodríguez. 2005. Peces de los Andes de Colombia: guía de campo. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C. Colombia. 346 pp.
- Reis R. E., S. O. Kullander y C. J. Ferraris Jr. 2003. Checklist of the fresh water fishes of South and Central America. EDIPUCRS. Porto Alegre, Brasil. 742 pp.
- Universidad de Antioquia-Isagen S.A. E.S.P. 2012. Dinámica de la asociación de peces en la Cuenca baja del río La Miel. Informe final. Convenio de cooperación No. 46/3648. 275 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. Suárez. 2013. Peces dulceacuicolas 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.
- Vannote, R. L., G. W. Minshall, K. W. Cummins, J. R. Sedell y C. E. Cushing. 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37: 130-137.
- Ward, J.V. y J. A. Stanford. 1983. The serial discontinuity concept of lotic ecosystems. Pp. 29-42. *En*: T. D. Fontaine and S. M. Bartell (Eds.). Dynamics of Lotic Ecosystems. Ann Arbor Scientific Publishers, Ann Arbor, MI.
- Welcomme, R. L. 1979. Fishery management in large rivers. FAO Fisheries Technical Paper 194. Rome, Italy. 60 pp.

Anexo 1. Listado de especies reportadas en el río La Miel abajo de la presa de la Central Hidroeléctrica Miel I durante el monitoreo ISAGEN 2002-2009 y el trabajo de García-Melo y Bogotá-Gregory (2006). Las especies sombreadas son de interés para la pesca. Categoría de amenaza a su conservación: **NT**: Casi amenazada. **LC**: preocupación menor. **VU**: vulnerable. **CR**: En peligro crítico. **C**: consumo. Año de monitoreo de Isagen S. A. E.S.P.: 2002 (1), 2004-2005 (2), 2006 (3), 2007 (4), 2008 (5), 2009 (6), y García-Melo y Bogotá-Gregory (2006) (3').

Taxón	Monitoreos ISAGEN						3'	Categoría
	1	2	3	4	5	6		
MYLIOBATIFORMES								
Potamotrygonidae								
<i>Potamotrygon magdalenae</i> (Duméril, 1865) (NT)			+	+		+		Rara
CHARACIFORMES								
Parodontidae								
<i>Parodon magdalenensis</i> Londoño-Burbano, Román-Valencia & Taphorn 2011	+	+	+	+	+	+	+	Dominante
<i>Saccodon dariensis</i> (Meek & Hildebrand, 1913) (NT)		+	+	+	+	+	+	Rara
Curimatidae								
<i>Curimata mivartii</i> (Steindachner, 1878) (V, C)		+	+		+	+		Ocasional

Cont. **Anexo 1.** Listado de especies reportadas en el río La Miel abajo de la presa de la Central Hidroeléctrica Miel I durante el monitoreo ISAGEN 2002-2009 y el trabajo de García-Melo y Bogotá-Gregory (2006). Las especies sombreadas son de interés para la pesca. Categoría de amenaza a su conservación: **NT**: Casi amenazada. **LC**: preocupación menor. **VU**: vulnerable. **CR**: En peligro crítico. **C**: consumo. Año de monitoreo de Isagen S. A. E.S.P.: 2002 (1), 2004-2005 (2), 2006 (3), 2007 (4), 2008 (5), 2009 (6), y García-Melo y Bogotá-Gregory (2006) (3').

Taxón	Monitoreos ISAGEN						3'	Categoría
	1	2	3	4	5	6		
<i>Cyphocharax magdalenae</i> (Steindachner, 1878) (C)	+		+	+	+	+		Dominante
Prochilodontidae								
<i>Ichthyoelephas longirostris</i> (Steindachner, 1879) (CR, C)	+	+	+	+	+	+	+	Dominante
<i>Prochilodus magdalenae</i> Steindachner, 1879 (VU, C)	+	+	+	+	+	+	+	Dominante
Anostomidae								
<i>Leporellus vittatus</i> (Valenciennes, 1850)			+	+	+	+		Rara
<i>Leporinus muyscorum</i> Steindachner, 1900 (VU, C)		+	+	+	+	+	+	Dominante
Erythrinidae								
<i>Hoplias malabaricus</i> (Bloch, 1794)	+	+	+				+	Común
Gasteropelecidae								
<i>Gasteropelecus maculatus</i> Steindachner, 1879		+	+	+			+	Ocasional
Serrasalmidae								
<i>Colossoma macropomum</i> (Cuvier, 1816) (NT, C)			+					Rara
Characidae								
Characinae								
<i>Roeboides dayi</i> (Steindachner, 1878)	+	+	+	+	+	+	+	Dominante
<i>Acestrocephalus anomalus</i> (Steindachner, 1880) (NT)			+	+				Rara
<i>Cynopotamus magdalenae</i> (Steindachner, 1879) (NT)			+				+	Rara
Clado Astyanax								
<i>Astyanax caucanus</i> (Steindachner, 1879)	+	+	+	+	+	+	+	Dominante
<i>Astyanax fasciatus</i> (Cuvier, 1819)	+	+	+	+	+	+	+	Dominante
<i>Astyanax filiferus</i> (Eigenmann, 1913)		+	+		+	+		Ocasional
<i>Astyanax</i> cf. <i>gisleni</i> Dahl, 1943							+	
<i>Astyanax magdalenae</i> Eigenmann & Henn, 1916		+	+	+	+	+	+	Dominante
<i>Astyanax</i> spp.					+	+		Ocasional

Cont. **Anexo 1.** Listado de especies reportadas en el río La Miel abajo de la presa de la Central Hidroeléctrica Miel I durante el monitoreo ISAGEN 2002-2009 y el trabajo de García-Melo y Bogotá-Gregory (2006). Las especies sombreadas son de interés para la pesca. Categoría de amenaza a su conservación: **NT**: Casi amenazada. **LC**: preocupación menor. **VU**: vulnerable. **CR**: En peligro crítico. **C**: consumo. Año de monitoreo de Isagen S. A. E.S.P.: 2002 (1), 2004-2005 (2), 2006 (3), 2007 (4), 2008 (5), 2009 (6), y García-Melo y Bogotá-Gregory (2006) (3').

Taxón	Monitoreos ISAGEN						3'	Categoría
	1	2	3	4	5	6		
Stevardiinae								
<i>Bryconamericus caucanus</i> Eigenmann, 1913	+	+	+					Rara
<i>Bryconamericus huilae</i> Román-Valencia, 2003			+		+	+		Rara
<i>Bryconamericus tolimae</i> Eigenmann, 1913			+	+				Rara
<i>Bryconamericus</i> spp.	+		+			+		Rara
<i>Creagrutus affinis</i> Steindachner, 1880	+	+	+	+	+	+	+	Dominante
<i>Creagrutus brevipinnis</i> Eigenmann, 1913		+			+	+		Ocasional
<i>Creagrutus caucanus</i> Eigenmann, 1913				+				Ocasional
<i>Creagrutus magdalenae</i> Eigenmann, 1913	+	+			+	+		Dominante
<i>Hemibrycon boquiae</i> (Eigenmann, 1913)		+	+	+				Rara
<i>Hemibrycon colombianus</i> Eigenmann, 1914				+				Rara
<i>Hemibrycon decurrens</i> (Eigenmann, 1913)	+	+	+				+	Ocasional
<i>Hemibrycon dentatus</i> (Eigenmann, 1913)		+	+	+	+	+		Rara
<i>Hemibrycon</i> spp.					+	+		Rara
<i>Microgenys minuta</i> (Eigenmann, 1913) NT		+	+		+	+		Dominante
<i>Argopleura diquensis</i> (Eigenmann, 1913)	+				+			Rara
<i>Argopleura magdalenensis</i> (Eigenmann, 1913)	+	+	+	+	+	+		Dominante
<i>Gephyrocharax melanocheir</i> Eigenmann, 1912		+	+		+	+		Dominante
<i>Saccoderma hastatus</i> (Eigenmann, 1913)		+	+		+	+	+	Dominante
<i>Saccoderma robusta</i> Dahl, 1955					+			Rara
Clado Hyphessobrycon								
<i>Hyphessobrycon</i> sp.	+							Dominante
Bryconidae								
Salmininae								
<i>Salminus affinis</i> Steindachner, 1880 (VU, C)	+	+	+	+	+	+	+	Rara
Bryconinae								
<i>Brycon fowleri</i> Dahl, 1955 (C)				+				Ocasional

Cont. **Anexo 1.** Listado de especies reportadas en el río La Miel abajo de la presa de la Central Hidroeléctrica Miel I durante el monitoreo ISAGEN 2002-2009 y el trabajo de García-Melo y Bogotá-Gregory (2006). Las especies sombreadas son de interés para la pesca. Categoría de amenaza a su conservación: **NT:** Casi amenazada. **LC:** preocupación menor. **VU:** vulnerable. **CR:** En peligro crítico. **C:** consumo. Año de monitoreo de Isagen S. A. E.S.P.: 2002 (1), 2004-2005 (2), 2006 (3), 2007 (4), 2008 (5), 2009 (6), y García-Melo y Bogotá-Gregory (2006) (3').

Taxón	Monitoreos ISAGEN						3'	Categoría
	1	2	3	4	5	6		
<i>Brycon moorei</i> Steindachner, 1878 (VU, C)		+	+		+	+		Rara
<i>Brycon rubricauda</i> Steindachner, 1879 (NT, C)	+	+	+	+	+			Rara
Triporthidae								
Triporthinae								
<i>Triporthus magdalenae</i> (Steindachner, 1878) (C)			+	+				Ocasional
Crenuchidae								
Characidiinae								
<i>Characidium caucanum</i> Eigenmann, 1912 (NT)		+	+					Rara
<i>Characidium phoxocephalum</i> Eigenmann, 1912 (VU)			+		+	+		Rara
<i>Characidium</i> spp.			+			+	+	Rara
Ctenoluciidae								
<i>Ctenolucius hujeta</i> (Valenciennes, 1850)	+		+	+	+	+		Común
SILURIFORMES								
Pimelodidae								
<i>Pimelodus blochii</i> Valenciennes, 1840 (C)	+		+	+	+	+		Ocasional
<i>Pimelodus grosskopfii</i> Steindachner, 1879 (C)			+	+	+	+		Dominante
<i>Sorubim cuspicaudus</i> Littmann, Burr & Nass 2000 (VU, C)	+				+			Rara
<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i> Buitrago-Suárez & Burr, 2007 (CR, C)						+		Rara
Pseudopimelodidae								
<i>Pseudopimelodus bufonius</i> (Valenciennes, 1840) (C)			+	+				Rara
Heptapteridae								
<i>Cetopsorhamdia boquillae</i> Eigenmann, 1922				+				Rara
<i>Cetopsorhamdia nasus</i> Eigenmann & Fisher, 1916	+							Rara
<i>Imparfinis nemacheir</i> (Eigenmann & Fisher, 1916)							+	
<i>Pimelodella chagresi</i> (Steindachner, 1876)			+	+	+		+	Ocasional

Cont. **Anexo 1.** Listado de especies reportadas en el río La Miel abajo de la presa de la Central Hidroeléctrica Miel I durante el monitoreo ISAGEN 2002-2009 y el trabajo de García-Melo y Bogotá-Gregory (2006). Las especies sombreadas son de interés para la pesca. Categoría de amenaza a su conservación: **NT:** Casi amenazada. **LC:** preocupación menor. **VU:** vulnerable. **CR:** En peligro crítico. **C:** consumo. Año de monitoreo de Isagen S. A. E.S.P.: 2002 (1), 2004-2005 (2), 2006 (3), 2007 (4), 2008 (5), 2009 (6), y García-Melo y Bogotá-Gregory (2006) (3').

Taxón	Monitoreos ISAGEN						3'	Categoría
	1	2	3	4	5	6		
<i>Pimelodella eutaenia</i> Regan, 1913	+							Rara
<i>Rhamdia quelen</i> (Quoy & Gaimard, 1824) (C)			+				+	Rara
Cetopsidae								
<i>Cetopsis othonops</i> (Eigenmann, 1912)	+			+	+			Rara
Aspredinidae								
<i>Dupouyichthys sapito</i> Schultz, 1944	+	+	+	+	+			Común
<i>Xiliphius magdalenae</i> Eigenmann, 1912			+					Rara
Trichomycteridae								
Trichomycterinae								
<i>Trichomycterus banneau</i> (Eigenmann, 1912)			+		+		+	Rara
<i>Trichomycterus chapmani</i> (Eigenmann, 1912)			+					Rara
<i>Trichomycterus cf. knerii</i> Steindachner, 1882							+	Rara
<i>Trichomycterus retropinnis</i> Regan, 1903			+					Rara
<i>Trichomycterus cf. stellatus</i> (Eigenmann, 1918)							+	
<i>Trichomycterus striatus</i> (Meek & Hildebrand, 1913)			+					Rara
<i>Paravandellia phaneronema</i> (Miles, 1943)							+	Rara
Loricariidae								
<i>Crossoloricaria cephalaspis</i> Isbrücker, 1979	+							Rara
<i>Crossoloricaria variegata</i> (Steindachner, 1879)	+	+	+	+	+	+		Común
<i>Dasylicaria filamentosa</i> (Steindachner, 1878)			+	+	+	+		Común
<i>Dasylicaria seminuda</i> (Eigenmann & Vance, 1912)					+			Rara
<i>Rineloricaria</i> spp.		+	+					Rara
<i>Spatuloricaria gymnogaster</i> (Eigenmann & Vance, 1912)	+	+	+		+	+	+	Dominante
<i>Sturisoma aureum</i> (Steindachner, 1900)	+				+			Rara
<i>Sturisoma panamense</i> (Eigenmann & Eigenmann, 1889)			+		+	+		Común

Cont. **Anexo 1.** Listado de especies reportadas en el río La Miel abajo de la presa de la Central Hidroeléctrica Miel I durante el monitoreo ISAGEN 2002-2009 y el trabajo de García-Melo y Bogotá-Gregory (2006). Las especies sombreadas son de interés para la pesca. Categoría de amenaza a su conservación: **NT**: Casi amenazada. **LC**: preocupación menor. **VU**: vulnerable. **CR**: En peligro crítico. **C**: consumo. Año de monitoreo de Isagen S. A. E.S.P.: 2002 (1), 2004-2005 (2), 2006 (3), 2007 (4), 2008 (5), 2009 (6), y García-Melo y Bogotá-Gregory (2006) (3').

Taxón	Monitoreos ISAGEN						3'	Categoría
	1	2	3	4	5	6		
<i>Sturisomatichtys leightoni</i> (Regan, 1912)		+	+				+	Común
<i>Hypostomus hondae</i> (Regan, 1912) (NT, C)	+	+	+	+	+	+	+	Dominante
<i>Pterygoplichthys undecimalis</i> (Steindachner, 1878) (C)				+				Rara
<i>Ancistrus caucanus</i> Fowler, 1943				+				Ocasional
<i>Ancistrus centrolepis</i> Regan, 1913				+				Rara
<i>Chaetostoma fischeri</i> Steindachner, 1879	+	+	+	+	+	+	+	Dominante
<i>Chaetostoma leucomelas</i> Eigenmann, 1918		+	+	+	+	+	+	Dominante
<i>Chaetostoma milesi</i> Fowler, 1941		+	+	+	+	+	+	Dominante
<i>Chaetostoma thomsoni</i> Regan, 1904	+	+	+	+	+	+		Dominante
<i>Chaetostoma</i> spp.			+	+	+	+		Dominante
<i>Cordylancistrus</i> sp.					+	+		Rara
<i>Lasiancistrus caucanus</i> Eigenmann, 1912			+	+	+	+	+	Dominante
<i>Panaque cochliodon</i> (Steindachner, 1879) (VU)			+					Rara
Astroblepidae								
<i>Astroblepus chapmani</i> (Eigenmann, 1912)							+	
<i>Astroblepus chotae</i> (Regan, 1904)							+	
<i>Astroblepus guentheri</i> (Boulenger, 1887)							+	Rara
<i>Astroblepus homodon</i> (Regan, 1904)			+				+	Rara
<i>Astroblepus micrescens</i> Eigenmann, 1918							+	
<i>Astroblepus nicefori</i> Myers, 1932							+	
<i>Astroblepus trifasciatus</i> (Eigenmann, 1912)							+	
Gymnotiformes								
Sternopygidae								
<i>Eigenmannia cf. virescens</i> (Valenciennes, 1836)	+		+		+	+		Ocasional
<i>Sternopygus aequilabiatus</i> (Humboldt, 1805)	+	+	+		+			Rara

Cont. Anexo 1. Listado de especies reportadas en el río La Miel abajo de la presa de la Central Hidroeléctrica Miel I durante el monitoreo ISAGEN 2002-2009 y el trabajo de García-Melo y Bogotá-Gregory (2006). Las especies sombreadas son de interés para la pesca. Categoría de amenaza a su conservación: **NT**: Casi amenazada. **LC**: preocupación menor. **VU**: vulnerable. **CR**: En peligro crítico. **C**: consumo. Año de monitoreo de Isagen S. A. E.S.P.: 2002 (1), 2004-2005 (2), 2006 (3), 2007 (4), 2008 (5), 2009 (6), y García-Melo y Bogotá-Gregory (2006) (3').

Taxón	Monitoreos ISAGEN						3'	Categoría
	1	2	3	4	5	6		
Apteronotidae								
<i>Apteronotus mariae</i> (Eigenmann & Fisher, 1914)			+				+	Rara
Cyprinodontiformes								
Rivulidae								
<i>Cynodonichthys</i> sp.			+					Rara
Poeciliidae								
Poeciliinae								
<i>Poecilia caucana</i> (Steindachner, 1880)	+		+		+			Rara
Perciformes								
Cichlidae								
<i>Andinoacara latifrons</i> (Steindachner, 1878)	+		+	+	+	+	+	Ocasional
<i>Caquetaia kraussii</i> (Steindachner, 1878) (C)		+	+	+	+	+	+	Dominante
<i>Caquetaia umbrifera</i> (Meek & Hildebrand, 1913) (C)	+	+	+	+	+	+		Dominante
<i>Geophagus steindachneri</i> Eigenmann & Hildebrand, 1910	+	+	+	+	+	+	+	Dominante
<i>Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus, 1758) (C)			+	+	+	+	+	Rara
<i>Tilapia rendalli</i> (Boulenger, 1897) (C)							+	Rara
No. de especies	35	33	69	49	55	54	34	
No. de especies nuevas en la lista	35	11	31	7	3	2	6	
No. de especies acumuladas	35	46	77	84	87	89	95	

Luz Fernanda Jiménez-Segura
Universidad de Antioquia
Medellín (Antioquia), Colombia
luz.jimenez@udea.edu.co

Javier A. Maldonado-Ocampo
Unidad de Ecología y Sistemática (UNESIS)
Departamento de Biología- Facultad de Ciencias
Pontificia Universidad Javeriana
Bogotá D.C., Colombia.
maldonadoj@javeriana.edu.co

Clara María Pérez-Gallego
Isagen S. A. E.S.P.
cperez@isagen.com.co

Gradiente de recuperación longitudinal en la estructura de la ictiofauna en un río andino regulado

Cítese como: Jiménez-Segura, L. F., J. A. Maldonado-Ocampo y C. M. Pérez-Gallego. 2014. Gradiente de recuperación longitudinal en la estructura de la ictiofauna en un río andino regulado. *Biota Colombiana* 15 (2): 61-80.

Recibido: 7 de abril de 2014
Aprobado: 27 de octubre de 2014

Aspectos ecológicos de *Chaetostoma* sp. (Siluriformes: Loricariidae) en el alto río Magdalena, Colombia

Pamela Tatiana Zúñiga-Upegui, Francisco Antonio Villa-Navarro, Luis José García-Melo, Jorge Enrique García-Melo, Gladys Reinoso-Flórez, Diana María Gualtero-Leal y Víctor Julio Ángel-Rojas

Resumen

Se determinaron los hábitos alimenticios y reproductivos de *Chaetostoma* sp. en el alto río Magdalena, Colombia. Los muestreos fueron mensuales entre agosto de 2011 y julio de 2012. Se colectaron 1853 individuos, distribuidos en 11 clases de tallas entre 34 – 114 mm LE, con una longitud media de 43,5 mm LE. Se observó un reclutamiento frecuente durante todo el año del muestreo, sin embargo el mayor aporte de individuos juveniles se presentó entre enero y marzo 2012. *Chaetostoma* sp. se categorizó como un herbívoro con preferencia por las diatomeas, donde *Navicula* fue el ítem principal, mientras que *Synedra*, *Gomphonema*, *Cymbella*, *Oscillatoria* y *Fragilaria* fueron ítems secundarios. La proporción sexual fue de 1:1, su fecundidad promedio fue de 124 oocitos y el diámetro de 1,54 mm, relacionado con estrategia reproductiva *k*. Proyecto financiado por Emgesa S. A. E.S.P.

Palabras clave. Historia de vida. Trofodinámica. Estrategia reproductiva.

Abstract

We determined food and reproductive habits of *Chaetostoma* sp. in the Upper Magdalena basin, Colombia. The samplings were monthly between August 2001 and July 2012. We collected 1853 individuals in 11 size classes, between 34 – 114 mm SL, with an average length of 43.5 mm SL. The frequent recruitment was observed throughout the year, however the greater contribution of young individuals occurred between January and March 2012. Overall, *Chaetostoma* sp. was categorized as an herbivore with preference for diatoms. *Navicula* was the main food item, while *Synedra*, *Gomphonema*, *Cymbella*, *Oscillatoria* and *Fragilaria* were secondary food items. The sex ratio was 1:1. The average fecundity was 124 oocytes and average diameter of 1.54 mm, possibly related to a reproductive strategy *K*. Project funded by Emgesa S. A. E.S.P.

Key words. Life history. Trophodynamics. Reproductive strategy.

Introducción

Colombia posee una de las ictiofaunas dulceacuícolas con mayor diversidad en el mundo, muchas de estas especies tienen gran importancia económica y de consumo. Paradójicamente constituye un grupo de vertebrados muy descuidado en términos de investi-

gación básica y, por tanto, menos conocidos del país (Valderrama 2002). Los loricáridos están distribuidos en gran parte del neotrópico, desde Costa Rica hasta Argentina, y la gran mayoría de especies se encuentra en el flanco oriental de los Andes (Ferraris 2003).

La especie aquí estudiada es cercana a *Chaetostoma* sp. Steindachner 1879, especie que de acuerdo a estudios recientes, solo estaría restringida a Panamá y la especie colombiana sería nueva para la ciencia (Taphorn com. pers.). En nuestro país se encuentra en las cuencas de los ríos Magdalena, Cauca, San Jorge y Sinú (López y Román-Valencia 1996, Maldonado-Ocampo *et al.* 2005, Villa-Navarro *et al.* 2006), asociada a los sustratos rocosos de las zonas rápidas de los ríos y quebradas de los valles interandinos (Galvis *et al.* 1997, Zúñiga-Upegui *et al.* 2005, López-Delgado 2013).

En la cuenca alta del río Magdalena, tras la construcción del embalse Betania y operación de la central hidroeléctrica en 1987, y ante la ausencia de facilidades de transposición para especies migratorias, se interrumpió la ruta utilizada por aquellas especies que migran por los cauces principales durante las dos épocas de estiaje anuales. Dado el efecto de obras de infraestructura, como la construcción de embalses, el presente trabajo tiene por objetivo dar conocer aspectos sobre la biología de *Chaetostoma* sp., tales como distribución de clases de tallas, dieta

alimenticia y estrategia reproductiva, en el área de influencia directa del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, estableciendo una línea base para futuros monitoreos que permitan detectar posibles variaciones en estos caracteres, una vez se establezca el proyecto hidroeléctrico.

Material y métodos

El Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo se encuentra localizado en el departamento del Huila, entre las cordilleras Central y Oriental, a 69 km aproximadamente al sur de Neiva. La presa se ubicará a 1.300 m aproximadamente, aguas arriba de la confluencia del río Páez con el río Magdalena, en jurisdicción de los municipios de Gigante, El Agrado, Garzón, Tesalia, Paicol y Altamira. Este sector comprende desde el nacimiento del río Magdalena en el Macizo Colombiano hasta la desembocadura del río Páez (Figura 1), con una longitud aproximada de 180 km. Su área de drenaje es de 6.832 km², siendo los más importantes afluentes el río Guarapas (860 km²), la quebrada Negra (285 km²), el río Bordonés



Figura 1. Río Magdalena, sector de Puerto Seco, 200 m aguas abajo de la desembocadura del río Páez.

(719 km²), el río Timaná (211 km²) y el río Suaza (1.453 km²).

El área de influencia directa del embalse El Quimbo es la zona comprendida entre la desembocadura del río Suaza hasta la confluencia con el río Páez, donde se ubicaron ocho estaciones de muestreo empleando cartografía 1:10000, el área de trabajo fue ajustada en campo con base en su facilidad de acceso, tipos de hábitats presentes y cota máxima de inundación calculada, esto último para permitir las comparaciones una vez se culmine el llenado del embalse.

De acuerdo con lo anterior, las estaciones se ubicaron en las quebradas Garzón a 842 m (2° 12' 01,2" – 75° 37' 32,7"), Rioloro a 755 m (2° 19' 06,5" – 75° 36' 54,7"), Yaguilga a 750 m (2° 14' 08,8" – 75° 44' 05,8")

y Guandinoso a 852 m (2° 23' 40,1" – 75° 32' 47,3") afluentes del río Magdalena, y en los ríos Suaza a 736 m (2° 10' 29,2" – 75° 40' 22,4") y Páez a 586 m (2° 27' 11,1" – 75° 35' 03,2"). Adicionalmente, se fijaron dos estaciones en el cauce principal del río Magdalena, la primera de ellas 500 m aguas abajo de la confluencia entre el río Páez y el río Magdalena (sector Puerto Seco) a 585 m (2° 30' 03,5" – 75° 32' 39,1") y la segunda en Peña Alta a 578 m (2° 10' 19,3" – 75° 41' 38,1"), aguas arriba de la cota máxima de inundación (Figura 2).

Los muestreos fueron mensuales, entre junio de 2011 y julio de 2012, cubriendo el régimen bimodal de lluvias que caracteriza el área de estudio (Figura 3). Las capturas se realizaron empleando un equipo portátil

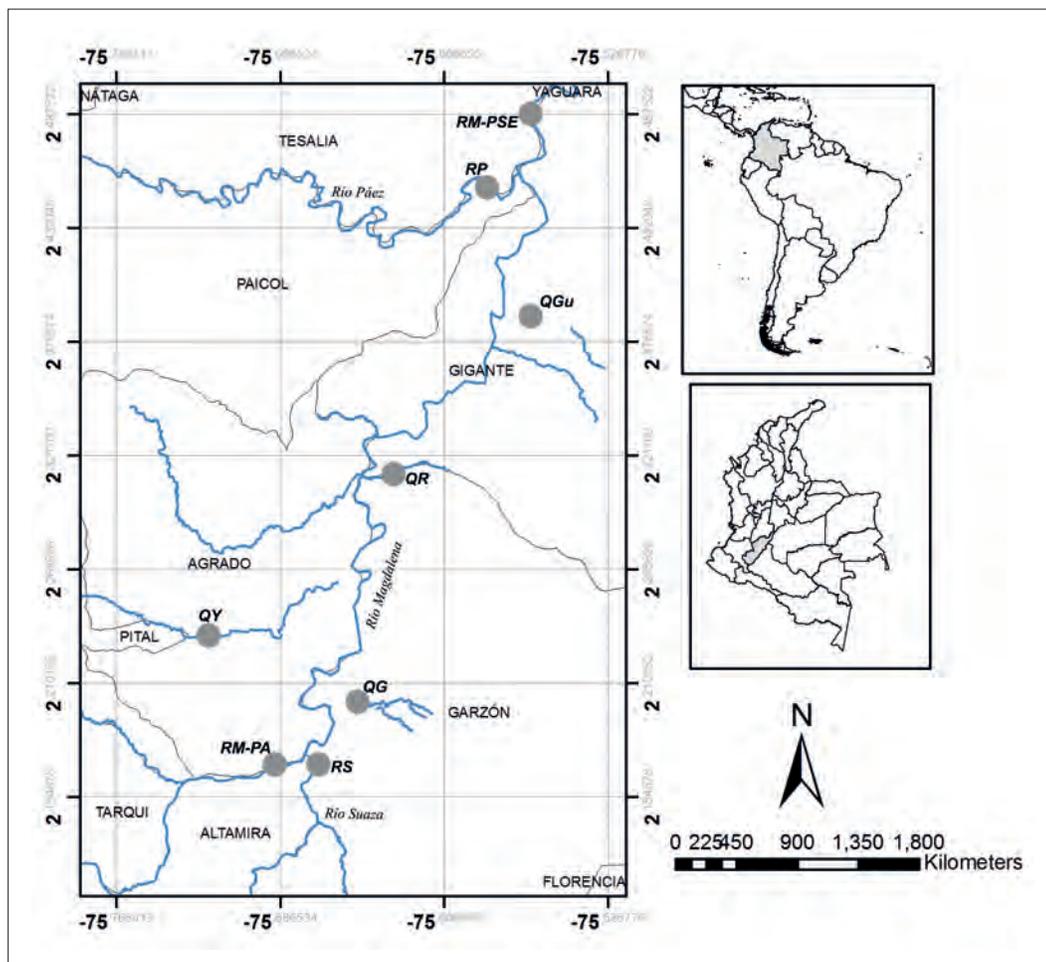


Figura 2. Localización de las estaciones de muestreo en el área de influencia directa del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, alto Magdalena, Colombia.

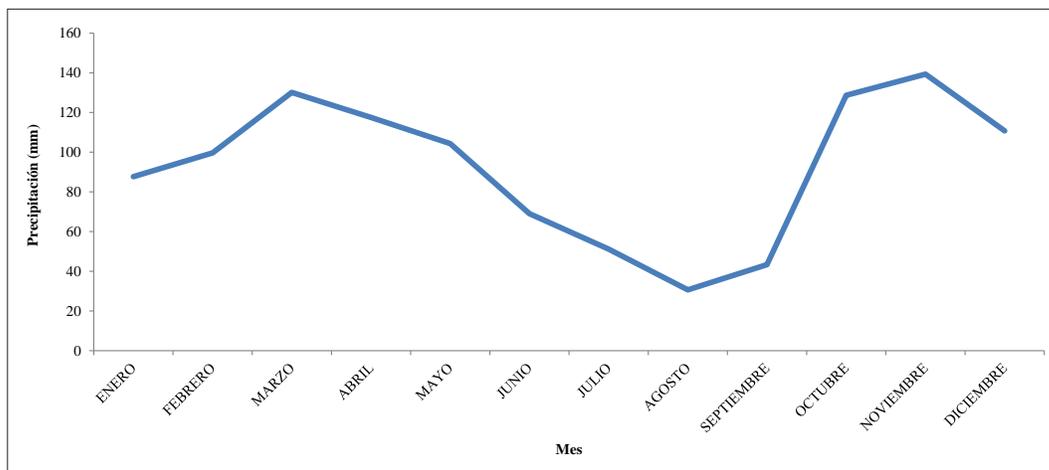


Figura 3. Régimen de lluvias en el área de influencia directa del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, Alto Magdalena, Colombia.

de electropesca (340 v, 1- 2 A), en un transecto de 100 m de largo y de ancho variable. Para mitigar el efecto de las colectas mensuales sobre las comunidades de peces, se destinó el 10% de los organismos colectados para los análisis de ecología trófica y reproductiva, los demás ejemplares fueron liberados una vez medidos y pesados. Los individuos se fijaron en una solución de formol al 10%. Los peces con tallas mayores de 10 cm se inyectaron con formol en la cavidad abdominal y en la musculatura de los costados. Posteriormente, se depositaron en bolsas plásticas de sello hermético con la correspondiente etiqueta de campo para su transporte al laboratorio de Investigación en Zoología de la Facultad de Ciencias – Universidad del Tolima.

Paralelamente, se tomaron *in situ* datos de temperatura del agua y conductividad eléctrica, usando una sonda multiparámetros SCHOTT. También se colectaron muestras de agua, en frascos plásticos con capacidad de 1 l, superficialmente y en contra corriente, para evaluar otros parámetros *ex situ*, tales como pH (unidades de pH), conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{CM}$), oxígeno disuelto (mgO_2/L), porcentaje de saturación de oxígeno (% SAT. O_2), turbiedad (NTU), alcalinidad total y dureza (mgCaCO_3/L), cloruros ($\text{mg Cl}/\text{L}$), nitratos (mgNO_3/L), fosfatos ($\text{mg PO}_4/\text{L}$), fósforo total (mgP/L), sólidos suspendidos y sólidos totales (mg/L), DBO_5 y DQO (mgO_2/L). Las muestras debidamente rotuladas y preservadas se transportaron para su análisis al Laboratorio de servicios de extensión

en análisis químico LASEREX, Universidad del Tolima, Ibagué.

En el Laboratorio de Investigación en Zoología de la Universidad del Tolima, los ejemplares de *Chaetostoma* sp. se pasaron a etanol al 70% para su determinación taxonómica y posterior ingreso a la Colección Zoológica de la Universidad del Tolima, sección Ictiología (CZUT-IC). Para su determinación taxonómica se siguieron las claves y descripciones de Dahl (1971), Eigenmann (1922), Ferraris (2003), Fisch-Müller (2003), Isbrücker (1981), Maldonado-Ocampo *et al.* (2005), Provenzano-Rizzi (2004), Taphorn (1992) y Zúñiga-Upegui (2005).

Los datos de abundancia relativa, clases de tallas, contenidos estomacales y datos reproductivos fueron analizados mensualmente. Para cada uno de los individuos colectados se tomaron datos de longitud estándar (LE) y peso total (g), empleando calibradores digitales de 0,01 mm de precisión y una balanza digital de 0,1 g de precisión. La distribución de frecuencias de tallas permite conocer la estructura de la población en cuanto al número de individuos juveniles y adultos, así como el desplazamiento de modas de clases de tallas a partir de los histogramas de frecuencias de tallas por mes (García-Melo 2005). Para establecer la bondad de ajuste de las frecuencias de tallas establecidas, se utilizó la prueba no paramétrica de Kolmogórov-Smirnov (Kilmogórov 1983).

La relación longitud-peso permite determinar la velocidad de incremento de peso con relación a la longitud y viceversa, se puede utilizar como una manera indirecta para ver el ritmo de crecimiento (González *et al.* 1996). La relación se establece por medio de la ecuación de la curva $W = aL^b$, donde W es el peso total, en gramos, y L la longitud estándar, en centímetros, a y b son constantes (Bazigos 1976, Granado-Lorencio 1996, Yáñez-Arancibia *et al.* 1985). Con el fin de establecer si el valor de isometría (3) difiere significativamente, se realizó una prueba con límites de confianza al 95% (Sparre y Venema 1997).

La condición del pez es un reflejo de su estado fisiológico, resultado de la influencia de factores externos e internos independientemente de la longitud. El factor de condición (K), $K = (W / L^3) \times 100$, se basa en la idea de estimar las variaciones temporales (Granado-Lorenzo 1996) y de esta manera, estimar el grado de nutrición del pez en un determinado momento de su desarrollo (González *et al.* 1996).

Con el fin de determinar los hábitos alimenticios, se examinaron los contenidos estomacales del 129 individuos, siguiendo la metodología propuesta por Yáñez-Arancibia *et al.* (1985). En loricáridos se observa la ausencia de estómago unida a una gran longitud del tracto digestivo (Prejs y Colomine 1981), por lo cual la preparación y análisis de este tipo de material se realiza de acuerdo a los parámetros establecidos para el material planctónico, removiendo el tubo digestivo realizando un corte desde el ano y continuando a través de la parte abdominal del cuerpo hacia la boca (Zúñiga-Upegui 2005).

Por tal razón, se midió la longitud del tracto digestivo extendiéndolo sobre papel milimetrado y su contenido se maceró en una caja de Petri con alcohol al 70 %, la mezcla fue vertida en un tubo de ensayo del cual se analizaron 10 submuestras de 0,1 ml hasta completar 1 ml, cada una de ellas fue observada en todos los campos con un microscopio Olympus CH30 en 40X. En cada submuestra se realizaron conteos directos por unidad de células, la determinación taxonómica del material planctónico encontrado fue llevada a cabo utilizando las claves de Prescott (1970), Streble y Krauter (1987), Tracanna (1982) y Ramírez (2000).

La categoría trófica fue determinada combinando los métodos de abundancia relativa, frecuencia relativa (% F), $F = [ne / Ne] \times 100$, donde F = frecuencia (%) de aparición de un tipo de alimento, ne = número de estómagos con un tipo de alimento y Ne = número de estómagos llenos examinados, y el índice de importancia relativa (IIR) (Yáñez-Arancibia *et al.* 1985).

El índice de importancia relativa (IIR), $IIR = [F \times A] / 100$, donde IIR = índice de importancia relativa, F = frecuencia relativa y A = abundancia relativa, consiste en las relaciones obtenidas por la abundancia y frecuencia relativas, ya que por sí solos no aportan mucho en la evaluación del contenido estomacal y las relaciones tróficas de la especie. El IIR permite cuantificar la importancia de determinado grupo trófico dentro de la alimentación de una especie (Yáñez-Arancibia *et al.* 1985).

El espectro trófico queda delimitado por el porcentaje de abundancia relativa, el porcentaje de frecuencia y el índice de importancia relativa en relación a tres cuadrantes, el cuadrante I corresponde a grupos tróficos ocasionales o circunstanciales, el II a grupos tróficos secundarios y el III a grupos preferenciales o principales.

Para determinar si la proporción hallada de machos y hembras difería estadísticamente del valor esperado 1:1, se realizó una prueba de Chi-cuadrado de Pearson (Guisande *et al.* 2006). El estado de madurez sexual de machos y hembras se determinó de acuerdo a la forma, tamaño, consistencia y coloración de las gónadas, mediante observación macroscópica según la escala propuesta por Vazzoler (1982) y ajustándola a cuatro estados: I (inmaduro), II (en maduración), III (maduro) y IV (desovado o reabsorción).

Adicionalmente, se calculó el índice gonadosomático (IGS), $IGS = [Wg / Wtc] \times 100$, donde Wg = peso total de las gónadas y Wtc = peso total corporal. Este expresa el porcentaje que las gónadas representan en el peso corporal y señala el desarrollo estacional de la gónada (madurez gonadal) con respecto al peso del ejemplar (Granado-Lorencio 1996).

Para estimar la fecundidad, se determinó el número total de oocitos y el diámetro de los mismos en una puesta

potencial. Para el conteo de los oocitos y la medición de su diámetro, se utilizó la metodología propuesta por Lavaestu (1977), con la previa disociación de los oocitos en solución de Gilson (Vazzoler, 1982).

Resultados

Se colectaron 1853 individuos, de los cuales el 45 % se capturó en la quebrada Yaguilga, el 20,4 % se colectó en el río Suaza y el 17,7 % en el río Magdalena, combinando las dos estaciones. La especie se distribuyó en 11 clases de tallas, entre 34 mm y 114 mm de longitud estándar (LE), con una longitud media de 43,52 mm LE, siendo el intervalo más abundante 29,06-30,59 mm LE. La prueba de Kolmogórov-Smirnov indica que la distribución de los datos es normal ($p=0.02$) (Tabla 1, Figura 4).

Al comparar los datos mensuales, las clases de tallas predominantes fueron la clase III (25-36 mm), la

clase IV (36-47 mm) y la clase V (47-58 mm), de las cuales la clase III predominó en los meses de diciembre y mayo, la clase IV durante los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre y abril, y la clase V durante el mes de julio. La distribución normal de los datos se presentó para el mes de mayo ($p=0,02$), mientras que para los demás meses de estudio la distribución de los datos no fue normal ($p=0,1$, $p= 0,2 - p>0,2$).

La curva de correlación entre la longitud y el peso de la población general, $P = 2,91 \cdot 10^{-5} L^{3,013}$ ($r=0,02$), con límites 2,964 – 3,063, que de acuerdo a los intervalos de confianza indican un crecimiento isométrico. El análisis mensual muestra que para el mes de octubre se presentó crecimiento alométrico positivo ($b=3,364$) (Figura 5). El valor más alto del factor de condición (K) se presentó para los meses de agosto, diciembre y enero, siendo estos últimos los que evidencian una mejor condición (Figura 6), lo que coincide con la transición del periodo de altas a bajas lluvias.

Tabla 1. Resultados de las pruebas Kolmogórov-Smirnov, distribución de frecuencia de tallas, y *t*, relación longitud – peso, por trimestre y general, para *Chaetostoma* sp., entre de agosto de 2011 y julio de 2012, en el área de influencia directa del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, alto Magdalena, Colombia. **L:** longitud estándar. **P:** peso. **p:** probabilidad. **r²:** = coeficiente de determinación.

Mes	Promedio L	p	Promedio P	Ecuación	L.Sup-L.Inf	r ²
Agosto	47,37 (±15,39)	>0,200	4,28 (±3,84)	$P = 3,62E - 05 * LE^{2,948}$	3,341 - 2,555	0,88
Septiembre	39,59 (±12,11)	>0,200	2,63 (±2,34)	$P = 2,78E - 05 * LE^{3,047}$	3,199 - 2,895	0,97
Octubre	41,65 (±15,48)	0,1	3,23 (±3,85)	$P = 6,96E - 06 * LE^{3,364}$	3,499 - 3,228	0,95
Noviembre	47,57 (±16,05)	0,2	4,55 (±5,94)	$P = 2,46E - 05 * LE^{3,027}$	3,236 - 2,817	0,84
Diciembre	40,54 (±16,23)	0,1	3,63 (±4,18)	$P = 4,34E - 05 * LE^{2,931}$	3,044 - 2,819	0,94
Enero	45,94 (±16,38)	>0,200	4,27 (±4,76)	$P = 4,33E - 05 * LE^{2,906}$	3,029 - 2,783	0,92
Febrero	43,46 (±19,55)	>0,200	4,4 (±5,3)	$P = 1,33E - 05 * LE^{3,202}$	3,474 - 2,931	0,93
Marzo	41,71 (±14,33)	0,2	3,01 (±3,74)	$P = 2,52E - 05 * LE^{3,038}$	3,192 --2,884	0,95
Abril	44,36 (±12,81)	0,2	3,5 (±3,45)	$P = 3,43E - 05 * LE^{2,983}$	3,059 - 2,906	0,96
Mayo	44,82 (±14,44)	0,02	3,54 (±3,85)	$P = 3,56E - 05 * LE^{2,961}$	3,161 - 2,76	0,88
Junio	40,63 (±17,94)	>0,200	4,09 (±4,57)	$P = 3,31E - 05 * LE^{2,994}$	3,173 - 2,814	0,96
Julio	40,52 (±10,11)	>0,200	2,77 (±1,84)	$P = 3,70E - 05 * LE^{2,977}$	3,111 - 2,843	0,95
General	43,53 (±15,21)	0,02	3,68 (±4,22)	$P = 2,91E - 05 * LE^{3,013}$	3,063 - 2,964	0,92

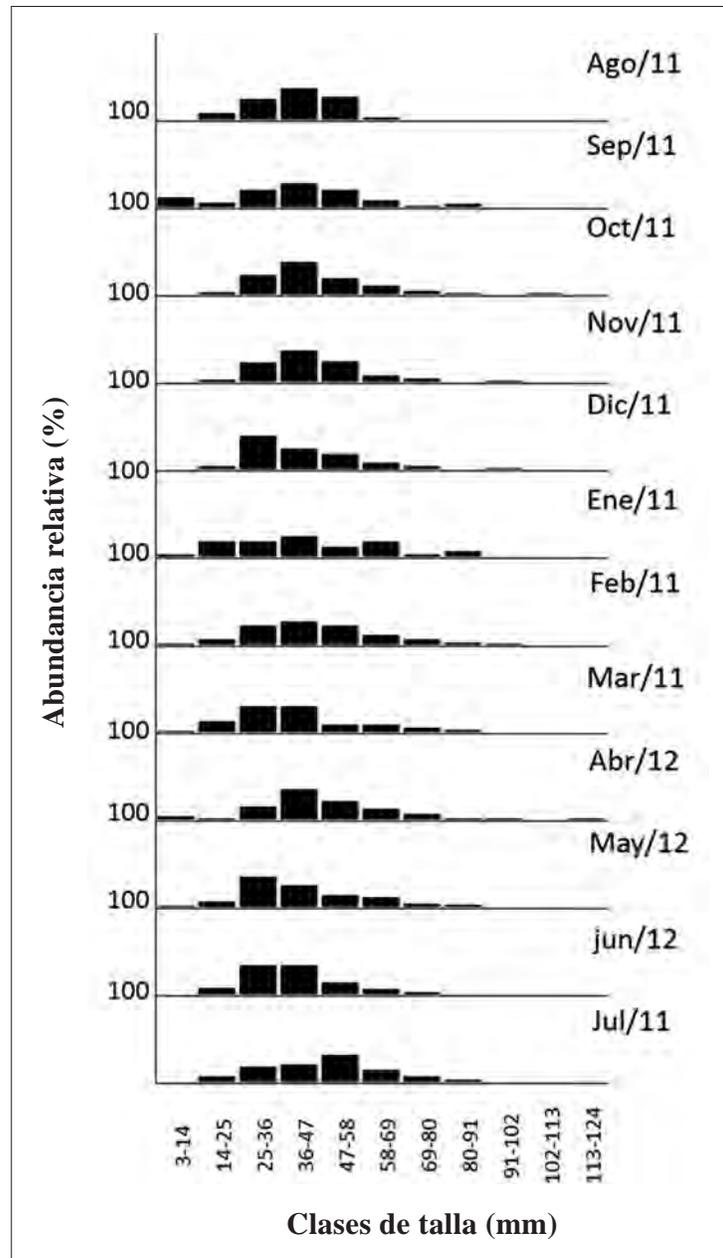


Figura 4. Distribución de tallas de *Chaetostoma* sp., entre de agosto de 2011 y julio de 2012, en el área de influencia directa del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, alto Magdalena, Colombia.

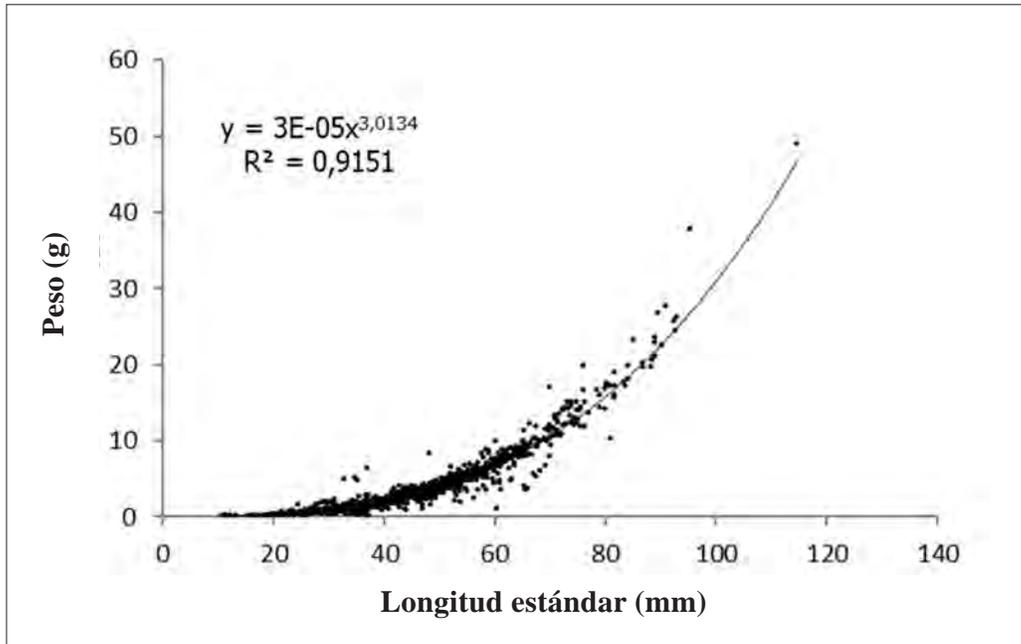


Figura 5. Relación longitud-peso de *Chaetostoma* sp., entre de agosto de 2011 y julio de 2012, en el área de influencia directa del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, alto Magdalena, Colombia.

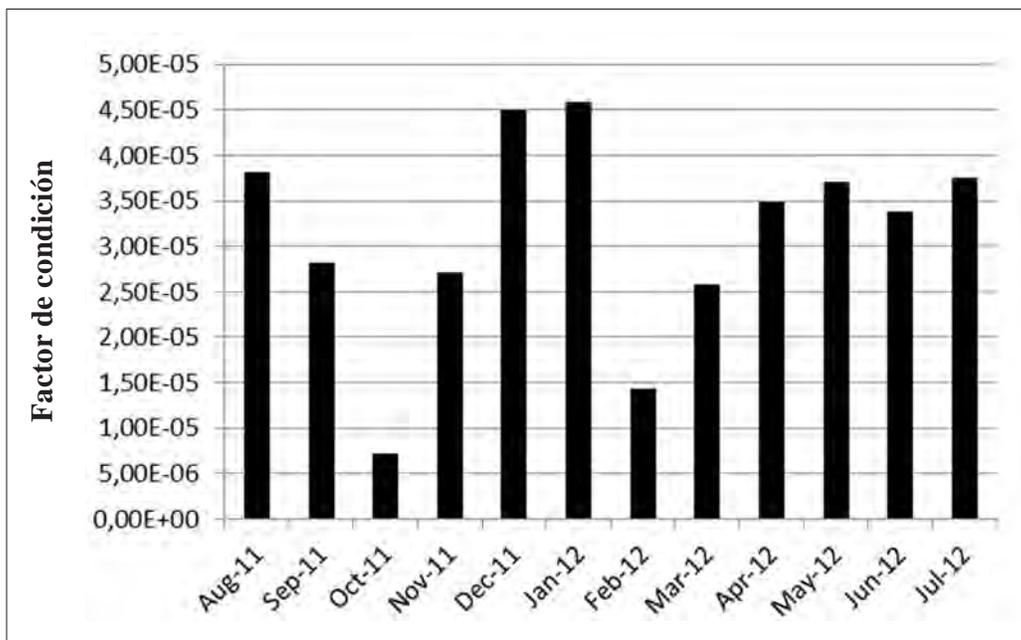


Figura 6. Factor de condición de *Chaetostoma* sp., entre de agosto de 2011 y julio de 2012, en el área de influencia directa del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, alto Magdalena, Colombia.

Chaetostoma sp. se categorizó como herbívoro con preferencia por las diatomeas, logrando determinar 42 ítems alimenticios. Los meses de mayor número de ítems que componen la dieta fueron agosto y septiembre (20), seguidos por octubre (14); los meses de menor número de ítems fueron marzo (6), junio (8), julio, mayo y abril (9). El género *Navicula* constituyó la dieta principal (% F= 75,19), mientras que *Fragilaria* (% F=35,66), *Cymbella* (% F=34,11), *Gomphonema* (% F=32,56), *Synedra* (% F=30,23), *Oscillatoria* (% F=26,36%) y *Ulothrix* (% F=22,48), fueron ítems secundarios (Tabla 2, Figura 7).

De acuerdo al análisis mensual de la dieta, para *Navicula* los meses de mayor valor del IIR fueron abril (54,48), mayo (62,26) y junio (67,19), lo que coincide con el periodo de altas lluvias; para *Fragilaria* los valores se obtuvieron para los meses de marzo (11,56), abril (8,29) y julio (34,58), lo que corresponde a los periodos de bajas lluvias-altas lluvias y bajas lluvias nuevamente y para *Cymbella* los mayores valores se obtuvieron para los meses de mayo (3,17), septiembre (3,30) y junio (5,12), lo que corresponde al periodo de altas lluvias-bajas lluvias y altas lluvias nuevamente.

Tabla 2. Ítems observados en los contenidos estomacales de *Chaetostoma* sp., entre de agosto de 2011 y julio de 2012. %F: porcentaje de frecuencia. AR: abundancia relativa. IIR: índice de importancia relativa.

ÍTEMS	%F	AR	IIR	ÍTEMS	%F	AR	IIR
<i>Netrium</i>	0,78	0,02	0,00	<i>Spirogyra</i>	3,88	0,15	0,01
<i>Cylindrocistis</i>	0,78	0,02	0,00	<i>Ankistrodesmus</i>	1,55	0,47	0,01
<i>Chlamydomonas</i>	0,78	0,02	0,00	<i>Microcystis</i>	2,33	0,41	0,01
<i>Achnanthes</i>	0,78	0,02	0,00	<i>Cosmarium</i>	6,20	0,43	0,03
<i>Microspora</i>	0,78	0,02	0,00	<i>Tabellaria</i>	4,65	0,73	0,03
<i>Scenedesmus</i>	0,78	0,02	0,00	<i>Pinnularia</i>	9,30	0,75	0,07
<i>Phacus</i>	0,78	0,02	0,00	<i>Cocconeis</i>	10,85	0,90	0,10
<i>Xanthidium</i>	0,78	0,04	0,00	<i>Gyrosigma</i>	8,53	1,22	0,10
<i>Frustulia</i>	0,78	0,04	0,00	<i>Chroococcus</i>	4,65	2,66	0,12
<i>Diploneis</i>	0,78	0,04	0,00	<i>Ulothrix</i>	22,48	1,24	0,28
<i>Asterionella</i>	0,78	0,07	0,00	<i>Spirulina</i>	10,08	6,50	0,65
<i>Rhopalodia</i>	0,78	0,09	0,00	<i>Nitzschia</i>	14,73	4,68	0,69
<i>Closterium</i>	2,33	0,06	0,00	<i>Monoraphidium</i>	12,40	5,96	0,74
<i>Surirella</i>	1,55	0,09	0,00	<i>Oscillatoria</i>	26,36	3,63	0,96
<i>Cylindrocapsa</i>	0,78	0,21	0,00	<i>Gomphonema</i>	32,56	3,48	1,13
<i>Lyngbya</i>	1,55	0,13	0,00	<i>Cymbella</i>	34,11	3,76	1,28
<i>Stigeoclonium</i>	2,33	0,13	0,00	<i>Synedra</i>	30,23	7,66	2,32
<i>Zygnema</i>	1,55	0,21	0,00	<i>Fragilaria</i>	35,66	15,94	5,68
<i>Rhoicosphaenia</i>	1,55	0,21	0,00	<i>Navicula</i>	75,19	35,06	26,36
<i>Arthrodesmus</i>	1,55	0,32	0,00				
<i>Pediastrum</i>	3,10	0,17	0,01				

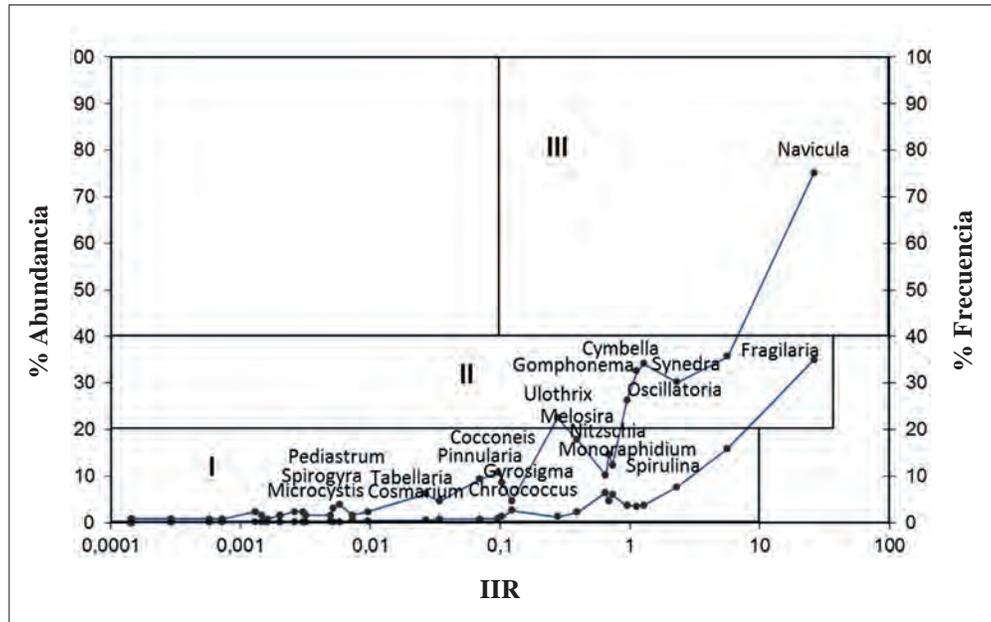


Figura 7. Espectro trófico general de *Chaetostoma* sp., para el periodo comprendido entre de agosto de 2011 y julio de 2012, en el área de influencia directa del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, alto Magdalena, Colombia.

La proporción de sexos fue de 1:1, la prueba de contraste de hipótesis revela que este valor no difiere estadísticamente ($X^2=5,2$; $p=0,02$). De acuerdo al análisis mensual para el periodo comprendido entre los meses de septiembre a diciembre la proporción de sexos fue de 1:3 ($x^2=8$, $p=0$), para los demás meses no se presentan diferencias significativas. En todos los meses evaluados se registraron individuos maduros, sin embargo entre abril y junio 2012 se presentó el valor del IGS más elevado (Figura 8), lo que indica un posible evento reproductivo durante estos meses, sincronizado con el aumento de las lluvias. En promedio esta especie presentó una fecundidad de 124 oocitos por hembra en estado de predesove y un diámetro de 1,54 mm.

Discusión

De acuerdo con Fish-Muller (2003), *Chaetostoma* sp. puede alcanzar hasta los 300 mm de longitud total; sin embargo, las tallas encontradas no superan los 120 mm LE, con una media de 43 mm LE, tal como lo reportado para la especie en los ríos La Vieja, cuenca Cauca (López y Román-Valencia 1996) y

Coello, cuenca Magdalena (Zúñiga-Upegui 2005). La presencia de clases de tallas predominantes durante todo el año, puede evidenciar que no existe una correlación entre las épocas climáticas y las tallas de los peces de esta especie, indicando principalmente la presencia de individuos juveniles, lo que puede suponer un reclutamiento constante durante todo el año, o una sobreexplotación para consumo y comercio de peces ornamentales (Zúñiga-Upegui *et al.* 2005).

En términos generales, se determinó un crecimiento isométrico que corresponde al crecimiento normal de una población de peces debido a que se presenta una alta correlación entre la longitud y el peso de los peces, y en los hábitat donde estos se encuentran existen los recursos específicos que favorecen tasas de crecimiento semejantes (Cala y Bernal 1997, Sánchez y Rueda 1999). El coeficiente *b* está fuertemente influenciado por el sexo, el estado de bienestar del pez y la actividad reproductiva (Granado-Lorencio 1996), por lo que la isometría hallada entre abril y junio puede ser reflejo de la presencia de individuos maduros, lo que incrementa el peso total respecto a la talla del individuo, debido al mayor tamaño de la gónada, este

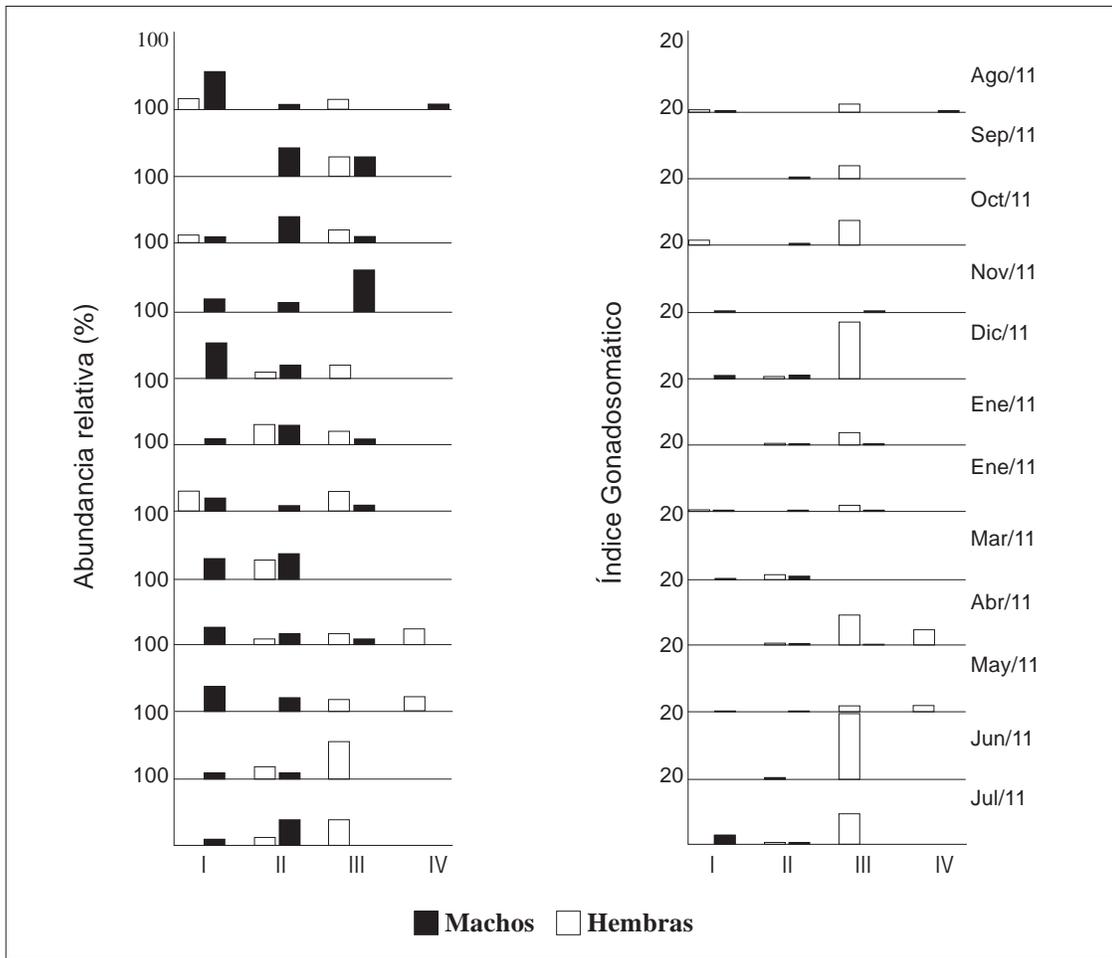


Figura 8. Frecuencia relativa de los estados de madurez sexual de *Chaetostoma* sp. , entre de agosto de 2011 y julio de 2012, en el área de influencia directa del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, Alto Magdalena, Colombia.

tipo de comportamiento también fue reportado por Zúñiga-Upegui, *et al.* (2005), para *Chaetostoma* sp. en la cuenca del río Coello.

Para el mes de octubre se presentó un crecimiento alométrico positivo ($b = 3,364$), lo que podría evidenciar un incremento ligeramente mayor en peso que en longitud a través del tiempo, aunque es posible encontrar variaciones en la pendiente debido a factores, como el peso total del pez que incluye el peso de las gónadas y en menor medida del estómago, que pueden variar en los distintos meses del año (Nikolski 1963).

El factor de condición expresa la condición de un pez, ya sea el grado de bienestar, la robustez relativa y la

grasa, en términos numéricos (Froese 2006, Mortuza y Rahman, 2006). Los resultados de k parecen relacionarse con periodos pre-reproductivos donde los organismos dedican su energía al crecimiento somático y al almacenamiento de grasa para prepararse para el periodo de reproducción, ya que durante esta época se ven expuestos a presiones fisiológicas que conllevan a que este factor se vea reducido (Ferrer 1988) o debido a los factores de los periodos de transición lluvia – sequía que traen posiblemente como consecuencia condiciones favorables para el hábitat junto con una utilización eficiente del hábitat por parte de las especies (Sánchez y Rueda 1999).

Chaetostoma sp. es una especie herbívora de hábitos bentónicos y su principal fuente de alimento es el

perifiton (López y Román-Valencia, 1997, Ortega-Lara *et al.* 1999, 2000, Zúñiga-Upegui y Villa-Navarro 2005), lo que confirma los hábitos alimenticios reportados para la familia, la cual se alimenta principalmente del raspado de algas y de sustrato, gracias a la especialización en las varias formas de dientes utilizados para este fin (Nelson 1999).

Se encontró aquí preferencia por los géneros *Navicula*, *Fragilaria*, *Cymbella*, *Gomphonema*, *Synedra*, *Oscillatoria* y *Ulothrix*, relacionado con la abundancia de estas algas en los cuerpos de agua, ya que la mayoría de ellas posee estructuras que les permite adherirse al sustrato aún cuando las condiciones hídricas no son favorables (Villa-Navarro *et al.* 2012).

Con excepción de *Oscillatoria*, estas especies de perifiton también fueron determinadas como preferenciales por Zúñiga-Upegui (2005) en la población de *Chaetostoma* sp. del río Coello, así como en otras especies de Loricariidae como *Chaetostoma leucomelas*, *Chaetostoma thomsoni*, *Chaetostoma milesi*, *Hypostomus hondae* y *Lasciancistrus caucanus* (Zúñiga-Upegui 2005, López y Román-Valencia 1996, García-Alzate 2012). Lo anterior podría indicar que el estado físico-químico de estas cuencas es similar y, por lo tanto, la oferta de alimento es la misma, al menos en lo que se refiere a riqueza y abundancia de especies perifíticas.

Aunque *Navicula* siempre se presenta como una especie preferencial a lo largo del año, la presencia de otras especies en este sector del espectro trófico también podría estar asociado a variaciones estacionales de las condiciones físico-químicas del agua, indican la disponibilidad del recurso fue más variada durante el segundo trimestre.

Winemiller (1989) describió, con base en diferentes rasgos reproductivos de las especies, tres grandes estrategias reproductivas en los peces dulceacuícolas suramericanos: equilibrio, estacionales y oportunistas. Las especies de la familia Loricariidae principalmente presentan estrategias en equilibrio (*k*), relacionada con la alta tasa de supervivencia de individuos juveniles asociadas al cuidado parental, baja fecundidad y oocitos de gran tamaño. De acuerdo con los resultados de fecundidad y diámetro promedio de los oocitos,

Chaetostoma sp. podría presentar este tipo de estrategia, tal como lo reporta Zúñiga-Upegui (2005).

Al parecer las poblaciones de *Chaetostoma* sp. en distintas cuencas que drenan al alto Magdalena difieren no sólo en sus épocas reproductivas, sino también en la relación de los eventos reproductivos con el periodo climático, dado que contrario de este estudio, los datos de Zúñiga-Upegui (2005) en la cuenca del río Coello relacionan los eventos reproductivos con el periodo de bajas lluvias, con una proporción de sexos 1 hembra: 2,35 machos (1 hembra: 1,5 machos, en este estudio) y fecundidad de 141 oocitos Huila (124 oocitos, en este estudio). Lo anterior sugiere que, aunque las dos poblaciones parecen estar relacionadas con una estrategia reproductiva *k*, presiones de selección diferenciales permiten que cada población establezca variaciones en su historia de vida (Stearns 1983).

Literatura citada

- Bazigos, G. P. 1976. Applied fishery statistics. Fisheries Technical Paper No. 135, FAO Pesca. Roma. 191 pp.
- Cala, P. y G. Bernal. 1997. Ecología y adaptaciones de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) en ambientes naturales – caso embalse de Betania y Ciénaga de Chilloa, sistema del río Magdalena, Colombia. *Dahlia* 2: 3-29.
- Dahl, G. 1971. Los peces del Norte de Colombia. Inderena, Bogotá. 391 pp.
- Eigenmann, C. 1922. The fishes of the Northwestern south America, part I. The fresh-water fishes of Northwestern South America, including Colombia, Panamá and Pacific slopes of Ecuador y Perú, together with an appendix upon the fishes of the río Meta in Colombia. *En: Holland, W. J. (Ed.) Memoirs of the Carnegie Museum* 9 (1): 1-436.
- Ferraris Jr., C. J. 2003. Family Loricariidae. Pp. 330-350. *En: Reis, R. E., S. O. Kullander y C. J. Ferraris Jr. (Eds.) Check list of freshwater fishes of the South and Central America. Porto Alegre RS. Brasil.*
- Fisch-Müller, S. 2003. Subfamily Ancistrinidae (Armored catfishes). Pp 373-400. *En: Reis, R. Kullander, O. and Ferraris, Jr. Check list of the freshwater fishes of the South and Central America. Porto Alegre RS, Brasil.*
- Froese R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: History, meta-analysis and recommendations. *Journal Applied Ichthyology* 22 (4): 241-253.
- Galvis, G., Mojica J. I. y M. Camargo. 1997. Peces del Catatumbo. Santafé de Bogotá: Asociación Cravo Norte. 118 pp.

- García-Alzate, C. A., C. Román-Valencia y A. M. Barrero. 2012. Biología alimentaria y reproductiva de *Farlowella vittata* (Siluriformes: Loricariidae) en la cuenca del río Güejar, Orinoquía, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 60 (4): 1873 - 1888.
- García-Melo, L. J. 2005. Distribución, diversidad y ecología de la familia Trichomycteridae (Ostariophysi: Siluriformes), en la cuenca del río Coello, departamento del Tolima. Trabajo de Grado, programa de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia. 149 pp.
- González, E., M. P. Varona y P. Cala. 1996. Datos bioecológicos del Oscar, *Astronus ocellatus* (Pisces: Cichlidae), en los alrededores de Leticia (Amazonas). *Dahlia* 1 (1): 51-62.
- Granado-Lorencio, C. 1996. Ecología de Peces. Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones, Serie.Ciencias.No. 45, Sevilla, España. 353 pp.
- Gutiérrez, F. 1997. Fauna íctica y recursos hidrobiológicos. Pp: 366 – 368. *En*: Instituto de Investigaciones Biológicas Alexander von Humboldt (Ed.). Informe Nacional sobre el estado de la biodiversidad en Colombia: causas de pérdida de biodiversidad. Bogotá.
- Isbrücker, I. J. H. 1981. Revision of *Loricaria* Linnaeus, 1758 (Pisces, Siluriformes, Loricariidae). *Beaufortia*. Institute of Taxonomic Zoology (Zoological Museum), University of Amsterdam. Volumen 31, No. 3.
- López-Delgado, E. O. 2013. Composición y estructura de la comunidad de peces y sus relaciones con la calidad de la vegetación riparia y algunas variables ambientales en dos ríos de bosque seco tropical (Bs-T), Tolima (Colombia). Trabajo de Grado, programa de Maestría en Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima. Ibagué. 154 pp.
- López, J. y C. Román-Valencia. 1996. Sobre la biología del corroncho *Chaetostoma fischeri* (Steindachner, 1879) (Pisces: Loricariidae) en el río La Vieja, Alto Cauca, Colombia. *Boletín Ecotrópica: Ecosistemas Tropicales* 30: 37-57.
- Maldonado-Ocampo, J. A., A. Ortega-Lara, J. S. Usma O., G. Galvis V., F. A. Villa-Navarro, L. Vasquez G., S. Prada-Pedreras y C. Ardila R. 2005. Peces de los Andes de Colombia. Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos “Alexander von Humboldt”. Bogotá, D. C., Colombia. 346 pp.
- Maldonado-Ocampo, J. A. 2006. Prefacio. Peces dulceacuícolas colombianos. *Biota Colombiana* 7 (1): 1-2.
- Mortuza, M. G. y T. Rahman. 2006. Length-weight relationship, condition factor and sex-ratio of freshwater fish, *Rhinomugil corsula* (Hamilton) (Mugiliformes: Mugilidae) from Rajshahi, Bangladesh. *Journal Biological Science* 14: 139-141.
- Nelson, J. 1999. Comparision of methabolims in two species of *Panaque* (Loricariidae). Chapter 16. Pp. 207-216. *En*: Val, A. y V. Almeida-Val. Biology of Tropical Fishes. Manaus: INPA. 460 pp.
- Nikolsky, G. 1963. The ecology of fishes. New York: Academic Press. 352 pp.
- Prejs, A. y G. Colomine. 1981. Métodos para el estudio de los alimentos y las relaciones tróficas de los peces. Universidad Central de Venezuela, Instituto de Zoología Tropical, y la Universidad de Varsovia, Departamento de Hidrobiología. Caracas. 123 pp.
- Prescott, G. W. The freshwater algae: How to know. W. M. C. Brown Company Publishers. Montana University, Dubuque, Iowa. 348 pp.
- Provenzano-Rizzi, F. 2004. Familia Loricariidae: Subfamilias y géneros nominales presentes en Venezuela. I Reunión de expertos en Biodiversidad acuática de la cuenca del río Orinoco. Bogotá.
- Ramírez, J. J. 2000. Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios. Universidad de Antioquia, Medellín. 207 pp.
- Reis, E., S. Kullander y C. Ferraris, Jr. 2003. Check list of the freshwater fishes of the South and Central America. Porto Alegre RS, Brasil. 742 pp.
- Román-Valencia C. y H. Samudio. 2007. Dieta y reproducción de *Lasiancistrus caucanus* (Pisces: Loricariidae) en la cuenca del río La Vieja, Alto Cauca, Colombia. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales* 9 (2): 95 – 101.
- Sánchez, C. y Rueda, M. 1999. Variación de la diversidad y abundancia de especies ícticas dominantes en el delta del río Magdalena, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 47 (4): 1067 - 1079.
- Streble, H. y Krauter, D. 1987. Atlas de los microorganismos de agua dulce: la vida en una gota de agua. Ediciones Omega, Barcelona, España. 336 pp.
- Tracanna, B. 1982. Estudio taxonómico de las Chlorophyta de Tucuman: incluidas algunas consideraciones ecológicas. Ministerio de Cultura y Educación Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina. 91 pp.
- Valderrama, M. 2002. Prologó. *En*: Mojica, J.I., Castellanos, C., Usma, S. y R. Álavrez. Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales – Universidad Nacional de Colombia, Ministerio de Medio Ambiente. Bogotá. 288 pp.
- Vazzoler, A. E. A. 1996. Manual de métodos para estudios biológicos de populações de peixes reprodução e crescimento. CNPq. Programa Nacional de Zoología, Brasilia. 107 pp.
- Villa-Navarro, F. A., P. T. Zúñiga-Upegui, D. Castro-Roa, J. E. García-Melo, L. J. García-Melo y M. E. Herrada-Yara. 2006. Peces del alto Magdalena, cuenca del río Magdalena, Colombia. *Biota Colombiana* 7 (1): 3-22.

- Villa-Navarro, F. A., P. T. Zúñiga-Upegui, D. Castro-Roa, J. E. García-Melo, L. J. García-Melo y M. E. Herrada-Yara. 2006. Peces del alto Magdalena, cuenca del río Magdalena, Colombia. *Biota Colombiana* 7 (1): 3-22.
- Villa-Navarro, F. A., G. Reinoso-Florez, S. Losada-Prado y J. E. García-Melo. 2012. Programa para Manejo y protección del recurso íctico y pesquero de la cuenca alta del río Magdalena, en el área de influencia del proyecto hidroeléctrico El Quimbo. Informe Final. Contrato CEQ-313, Suministro de Servicios celebrado entre EMGESA S.A. ESP y la Universidad del Tolima. Ibagué, Tolima. 540 pp.
- Winemiller, K.O. 1989. Patterns of variation in life history among South American fishes in seasonal environments. *Oecologia* 81: 225-241.
- Yáñez-Arancibia, A., A. L. Lara-Dominguez, A. Aguirre-León, S. Díaz Ruiz, F. Amezcua-Linares, D. Florez-Hernández y P. Chavance. 1985. Ecología de poblaciones de peces dominantes en estuarios tropicales: factores ambientales que regulan las estrategias biológicas y la producción. Pp. 311-366. *En*: A. Yáñez-Arancibia (Ed.) Fish community ecology in estuaries and coastal lagoons: Towards an ecosystem integration. UNAM, Mexico, D.F.
- Zúñiga-Upegui, P. T. 2005. Diversidad, distribución y algunos aspectos ecológicos de la familia Loricariidae (Ostariophysi: Siluriformes), en la cuenca del río Coello. Trabajo de grado, programa de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia. 179 pp.
- Zúñiga-Upegui, P. T. y F. A. Villa-Navarro. 2005. Competencia trófica en especies de la familia Loricariidae (Ostariophysi: Siluriformes) en la cuenca del río Coello – Tolima (Colombia). *En*: Memorias VIII Simposio Colombiano de Ictiología, Quibdó, Chocó.
- Zúñiga-Upegui, P. T., F. Villa-Navarro, G. Reinoso-Flórez y A. Ortega-Lara. 2005. Relación longitud- peso y frecuencia de talla para los peces del género *Chaetostoma* (Siluriformes: Loricariidae) de la cuenca del río Coello, Colombia. *Dahlia* 8: 47-52.
- Pamela Tatiana Zúñiga-Upegui
Grupo de Investigación en Zoología Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima
pamela_tatiana@msn.com
- Francisco Antonio Villa-Navarro
Grupo de Investigación en Zoología Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima
favilla@ut.edu.co
- Luis José García-Melo
Grupo de Investigación en Zoología Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima
luchojgm@gmail.com
- Jorge Enrique García-Melo
Grupo de Investigación en Zoología Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima
jegarcia@ut.edu.co
- Gladys Reinoso-Flórez
Grupo de Investigación en Zoología Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima
greinoso@ut.edu.co
- Diana María Gualtero-Leal
Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo, Emgesa S.A. E.S.P.
dgualtero@endesacolombia.com.co
- Victor Julio Ángel-Rojas
Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo, Emgesa S.A. E.S.P.
vangelro@endesacolombia.com.co
- Aspectos ecológicos de *Chaetostoma* sp. (Siluriformes: Loricariidae) en el alto río Magdalena, Colombia
- Cítese como:** Zúñiga-Upegui, P. T., F. A. Villa-Navarro, L. J. García-Melo, J. E. García-Melo, G. Reinoso-Flórez, D. M. Gualtero-Leal y V. J. Ángel-Rojas. 2014. Aspectos ecológicos de *Chaetostoma* sp. (Siluriformes: Loricariidae) en el alto río Magdalena, Colombia. *Biota Colombiana* 15 (2): 81-94.
- Recibido: 1 de abril de 2014
Aprobado: 22 de noviembre de 2014

Comunidad planctónica de un embalse con alta tensión ambiental: La Playa, cuenca alta del río Chicamocha (Tuta, Boyacá), Colombia

Andrea Paola Rodríguez-Zambrano y Nelson Javier Aranguren-Riaño

Resumen

El embalse La Playa (cuenca alto del río Chicamocha, Boyacá), es receptor de aguas residuales y funciona como regulador de caudal con fines de optimizar un distrito de riego. A pesar de ser un sistema estratégico no hay información de su estado de calidad. Se evaluó la estructura del plancton y la relación con algunas variables físicas y químicas en dos épocas hidro-climáticas contrastantes (octubre 2011, febrero 2012) y en tres estaciones (zona riverina, zona transición y zona lacustre). Según el análisis de componentes principales, en lluvias se registró mayor concentración de oxígeno y baja transparencia; en tiempo seco, conductividades altas y baja concentración de fósforo. Se identificaron 21 especies de algas planctónicas y 10 especies de zooplancton. La mayor abundancia fue para *Coelastrum microporum* (74 %), *Euglena* sp. (21 %), *Keratella tropica* (79 %) y *Metacyclops mendocinus* (32 %). A nivel temporal, no se presentó un reemplazamiento en el dominio de estas especies, por tanto se consideran indicadoras de elevado nivel trófico y de tolerancia a variaciones de oxígeno disuelto, pH y conductividad eléctrica. A pesar que el sistema expresa alta tensión ambiental (fluctuación física y química y a la concentración de carga orgánica), estas especies tienen la capacidad de adaptarse a estos cambios.

Palabras clave. Zooplancton. Fitoplancton. Estrés ambiental. Eutroficación. Embalse La Playa.

Abstract

The water reservoir La Playa (upper basin of the Chicamocha River) is a receptor system of residual water and works as a flow regulator to optimize an irrigation district. Although, it is a strategic system, there is no information about water quality. The plankton structure and relationship with physical and chemical variables was evaluated for two contrasting hydro-climatic periods (October 2011 and February 2012) and three stations (lacustrine, transition and riverine). According to principal component analysis during high rainfall oxygen concentration increased and lower transparency was recorded; during the dry season, conductivity was higher but phosphorus concentration was lower. Twenty-one species of planktonic algae and ten species of zooplankton were identified. The highest abundance was for *Coelastrum microporum* (74 %), *Euglena* sp. (21 %), *Keratella tropica* (79 %) and *Metacyclops mendocinus* (32 %). On the temporal scale, no replacement of dominant species was found. This is considered indicative of their high trophic level and tolerance to variations in dissolved oxygen, pH and electrical conductivity. Despite the observed high environmental stress (physical and chemical fluctuations and concentration of organic load), these species are able to adapt to these changes.

Key words. Zooplankton. Phytoplankton. Environmental stress. Eutrophication. La Playa Reservoir.

Introducción

Los embalses cumplen funciones de alta importancia, fueron construidos por el hombre para suplir ciertas necesidades, sirven como reservorios de agua, prestan servicios de tipo recreativo y agrícola (uso de riego), control de inundaciones y energía eléctrica, entre otros.

Estos sistemas han sido afectados de manera negativa por la extensiva actividad antropogénica, relacionado con el aumento de la población humana y el uso de fertilizantes químicos en la agricultura, en donde el arrastre de sedimentos y nutrientes provenientes de los afluentes de cultivos y de aguas residuales de municipios aledaños, alteran las condiciones de la dinámica de acuerdo al diseño y a la proyección de uso del sistema, observando cambios físicos y químicos en el agua, lo que evidencia el deterioro de la calidad ecológica del mismo (Margalef *et al.* 1976).

Los cuerpos de agua eutróficos son considerados ecosistemas forzados ya que reciben una fracción importante de materia orgánica (Margalef 1983), presentan inestabilidad física y química con grandes fluctuaciones en periodos cortos, lo cual genera una modificación en su funcionamiento (Márquez y Guillot 2001), siendo determinante en la diversidad de especies.

De acuerdo con Connell y Orias (1964), el grado de estabilidad del entorno físico cumple un papel determinante sobre los organismos del cuerpo de agua. Beisner (2001) afirma que la heterogeneidad temporal en la disponibilidad de recursos y el nivel de fluctuación del entorno, tienen un efecto en la diversidad del plancton.

El componente biológico se ve afectado con cambios en la composición de especies, regulación de la diversidad y dinámica de las poblaciones que allí habitan (ciclo de vida, crecimiento y condición reproductiva) (Bartram y Ballance 1996). Los cambios del estado trófico tienen gran influencia en factores como la riqueza y diversidad del plancton de aguas continentales (Pinto-Coelho 1987, Nogueira 2001), donde el fitoplancton responde a los cambios en la concentración de nutrientes (Coelho *et al.* 2007). Por su parte, el zooplancton también se ve afectado, ya

que se ha observado la relación entre el estado trófico y cambios en abundancia de los principales grupos de zooplancton (Pinto-Coelho *et al.* 2005).

Los sistemas son el producto del comportamiento de las poblaciones que lo habitan (Reynolds 2002) por lo que su estado se manifiesta en la representación de estas especies, las cuales sirven como indicadoras o claves al momento de comprender su dinámica, de allí la importancia en este tipo de estudios, ya que integran información biológica y físico química que ayuda a comprender el funcionamiento del cuerpo de agua, lo que ayudaría a pensar en posibles alternativas para el manejo de la cuenca.

El embalse La Playa presta el servicio como subcuenca de la parte alta de caudal del río Chicamocha, es sistema de riego de cultivos aledaños y es fuente hídrica de ganado bovino y ovino. Este reservorio es receptor de aguas residuales (desechos domésticos y de cultivos) provenientes de los municipios de Tunja, Tuta y Combita (Corpoboyacá 2005), problemática que ha generado la eutrofización, acidificación y proliferación descontrolada de la vegetación acuática (Informe Técnico de Tuta 1997). A pesar de ser un sistema estratégico para la población local, no hay información de su estado de calidad. Por esta razón se evaluó la estructura del plancton y la relación con algunas variables físicas y químicas en dos épocas hidro-climáticas contrastantes.

Material y métodos

Área de estudio

El embalse La Playa se localiza en el municipio de Tuta (Boyacá) (Figura 1), a 5°41'05" N - 73°25'26" O (Figura 2). Fue construido por el Incora en 1966 con el fin de regular las crecientes del río Jordán y controlar inundaciones que aguas abajo se presentaban. Está ubicado a 2588 m s.n.m., tiene un área de 128 hectáreas. Presenta una precipitación anual promedio de 1205 mm, régimen de lluvias bimodal con dos épocas húmedas (marzo-mayo; septiembre-octubre) y dos épocas secas (junio-agosto; diciembre-marzo) (Corpoboyacá 2005). Es abastecido por los ríos Jordán y Chicamocha y controla un área de drenaje de 31.600



Figura 1. Embalse La Playa, municipio de Tuta (Boyacá).

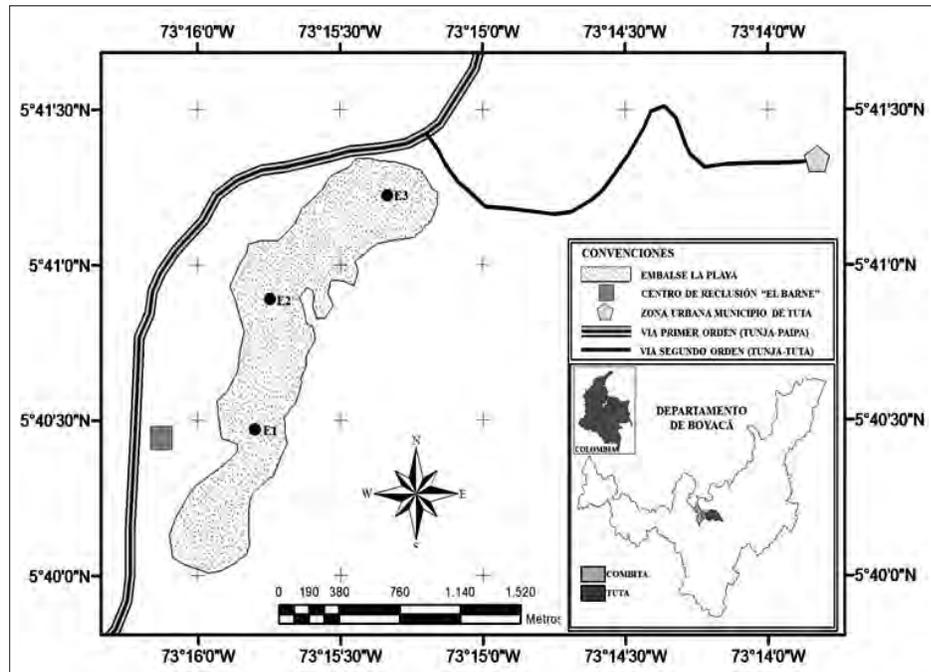


Figura 2. Embalse La Playa, municipio de Tuta (Boyacá). E1. Estación zona riverina. E2. Estación zona media. E3. Estación represa salida de aguas.

hectáreas, que corresponden a la cuenca hidrográfica del río Jordán. La Playa recoge los vertimientos de aguas residuales de los municipios aledaños como Tunja, Combita, Chivatá y el centro penitenciario El Barne.

Fase de campo

El muestreo se realizó en dos épocas climáticas contrastantes: octubre de 2011 (alta precipitación) y febrero de 2012 (baja precipitación) (Corpoboyacá 2005). Se tomaron tres puntos sobre el eje mayor del cuerpo de agua: estación uno (E1): zona riverina, 5°40'16"N-73°15'91"O; estación dos (E2): zona de transición, 5°40'46"N-73°15'65"W; estación tres (E3): zona lacustre, 5°41'05"N-73°25'26"O (Figura 2). En subsuperficie y en el límite inferior de la zona fótica de cada estación, se registraron valores de transparencia (disco Secchi), temperatura y conductividad eléctrica (conductímetro Shott CG 858), oxígeno disuelto (oxímetro Sonda YSI modelo 55) y pH (pHmetro Orión modelo 210). A su vez, se tomaron muestras integradas de agua (1 L) para el análisis de nutrientes (nitrógeno total, fósforo total, DBO₅ y DQO). Se preservaron con ácido sulfúrico (1 mL por cada litro de agua) y se mantuvieron a baja temperatura hasta llegar al laboratorio para su posterior análisis.

Las muestras cualitativas de fitoplancton y zooplancton se obtuvieron mediante arrastres oblicuos con redes de 17 y 45 µm de diámetro de poro, respectivamente. Las muestras cuantitativas se obtuvieron con la botella Schindler tipo Patalas, se filtraron 80 L de subsuperficie (40 L) y zona profunda (2 m) (40 L) (Boltoskoy 1995). Las muestras cualitativas y cuantitativas de zooplancton se fijaron con solución Transeau en proporción 1:1, al igual que las muestras cualitativas de fitoplancton, mientras que las cuantitativas se fijaron con lugol (1 mL por cada 100 mL de muestra).

Fase de laboratorio

El sistema de clasificación usado para el fitoplancton fue con base en Bicudo y Menezes (2006). Mientras que para zooplancton fue con Boxshall (2004) para copépoda, Dumont y Negrea (2002) para cladóceros y Koste (1978) para Rotífera. En la determinación taxonómica del fitoplancton se usaron claves y listados publicados de especies como: Bourrelly

(1970, 1972, 1981), Parra *et al.* (1982 a, b, c, 1983), Tell y Mosto (1982), Sant'Anna (1984), Komárek y Fott (1983), Komárek y Anagnostidis (1999, 2005) y Comas (1996). Para el zooplancton Ruttner-Kolisko (1974), Koste (1978), e Pennak (1989), Einsle (1993), Reid (1995), Lieder (1996), Elmoor-Loureiro (1997) y Gaviria y Aranguren (2003).

El análisis cuantitativo de zooplancton se realizó mediante fraccionamiento en alícuotas de 50 mL de la muestra previa homogenización por burbujeo y revisión de campos en cámara de sedimentación bajo observación en microscopio invertido (Lopretto y Tell 1995). Para el fitoplancton se estableció el conteo mínimo de 300 individuos de la especie más abundante por campos al azar en el microscopio invertido (Vicente *et al.* 2005).

El análisis de nutrientes se realizó en el laboratorio certificado de química de la Universidad de Boyacá, para nitrógeno mediante el método titulométrico y para fósforo se usó el método de fotometría.

Tratamiento de datos

Se realizaron análisis exploratorios y descriptivos a nivel espacial y temporal con las variables físicas y químicas, tales como la media, varianza. Se elaboraron perfiles verticales de oxígeno y temperatura. Se realizó un análisis de componentes principales tipo correlacional (ACP), para saber si existe un ordenamiento de las variables físicas y químicas en función del tiempo y el espacio con el programa estadístico PAST (versión 2,17). Se determinó el estado trófico del embalse mediante el índice de Carlson (IET) modificado (Kratzer y Bresnik 1981, citado por Henao 1987). Se obtiene a través de la transparencia secchi y las concentraciones de nitrógeno y fósforo total.

Para el componente biológico se calculó el índice de diversidad de Shannon- Wiener (H'). Para indagar si existieron diferencias en la proporcionalidad de las abundancias de especies entre épocas, se usó el programa estadístico PAST (versión 2,17). También se realizó un análisis discriminante para identificar las variables que permitieran diferenciar grupos (épocas contrastantes) mediante el paquete R.x 64 2.15.2 (R Development Core Team 2008).

Luego se determinó mediante análisis de rangos de abundancia, el modelo de distribución al que se ajustó cada comunidad (Magurran 1989). La verificación de los modelos de distribución se realizó con el paquete “Vegan” paquete R.x 64 2.15.2 (R Development Core Team 2008), donde se tomó la selección de menor desviación como criterio de mayor ajuste. Este análisis permite observar patrones en el reparto de recursos disponibles, donde la abundancia de una especie equivale a la porción de nicho que prefiere u ocupa (Whittaker 1972).

Para identificar asociaciones entre el componente biológico y las variables ambientales, se realizaron correlaciones de Spearman con las abundancias de aquellas especies constantes a nivel temporal y los valores de conductividad eléctrica, oxígeno, DBO₅ y DQO mediante el programa PAST (versión 2,17).

Resultados

Caracterización física y química

Según el análisis de componentes principales, la mayor variabilidad fue por parte de la transparencia y la conductividad eléctrica para el componente uno (76% de la varianza), mientras que la temperatura

y el pH lo fueron para el componente dos (16% de la varianza) (Figura 3). En la época de lluvias se registraron mayores valores de oxígeno, DBO₅, DQO, y menor transparencia. En contraste la época seca se caracterizó por presentar mayor conductividad, y menor concentración de fosforo (Tabla 1).

Para el periodo de lluvias el sistema hídrico registró estratificación química basada en el porcentaje de saturación de oxígeno, sin embargo en época seca estuvo mezclado (Figura 4).

De acuerdo al índice de Carlson modificado IETM, el embalse se encontraba en estado eutrófico por parte de los índices de fósforo total (118 >55 para lluvias y 79 >55 para época seca), y de transparencia (63 >55 para época lluvias), sin embargo indicó un estado mesotrófico en época seca con IET transparencia (49, entre 45 y 55)

Comunidad planctónica

Para la comunidad de fitoplancton se registraron 21 especies, distribuidas en 15 géneros y diez familias. La mayor riqueza de géneros y especies se determinó para Scenedesmaceae y Euglenaceae. Los géneros con mayor número de especies fueron *Desmodesmus* y *Trachelomonas* (Tabla 2).

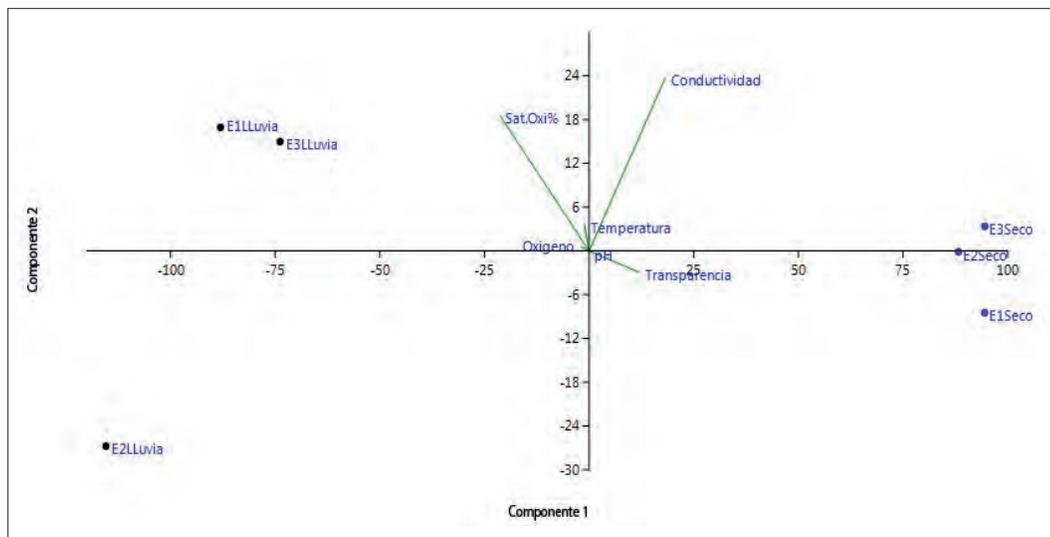


Figura 3. Análisis de componentes principales de las dos épocas contrastantes del embalse La Playa. E1: época de lluvias. E2: época seca. P1, P2, P3: puntos de muestreo.

Tabla 1. Variables físicas y químicas por estación - época y nutrientes integral. Promedio a nivel espacial y temporal. **E1.** Estación 1. **E2.** Estación 2. **E3.** Estación 3.

	Lluvias		Seco		Lluvias		Seco		Lluvias		Seco		\bar{X} Temporal	
<i>Superficie</i>	E1	E1	\bar{X}	E2	E2	\bar{X}	E3	E3	\bar{X}	LI	Se			
Profundidad (m)	5	5	5	6	6,2	6,1	7	7	7	6,0	6,1			
Transparencia (cm)	50	110	80	40	110	75	40	130	85	43,3	116,7			
Temperatura (°C)	20,5	1,1	10,8	20,1	19,2	19,6	19,3	19,8	19,5	19,9	13,4			
Conductividad (µs/cm)	210	302,6	256,3	160	303,6	231,8	220	306,7	263,4	196,7	304,3			
Oxígeno (mg/L)	13,8	3,16	8,4	14,8	2,2	8,51	13,7	2,7	8,1	14,1	2,7			
% de Saturación	162,2	15,1	88,6	152,9	24,1	88,5	144,8	28,9	86,9	153,3	22,7			
pH	4,9	4,8	4,85	5,2	4,7	4,95	4,9	5,1	5	5,0	4,9			
Fondo														
Temperatura	16,6	17,8	17,2	16,6	18,1	17,35	16,6	18,1	17,4	16,6	18,0			
Conductividad	210	305,2	257,6	240	309,5	274,8	250	308,5	279,3	233,3	307,7			
Oxígeno (mg/L)	0,7	0,5	0,6	0,7	0,8	0,7	1,3	0,9	1,1	0,9	0,7			
% de Saturación	10,3	5	7,7	73	8,4	40,7	30,5	8,5	19,5	37,9	7,3			
pH	4,9	4,9	4,9	5,5	5	5,3	6,3	6,3	6,3	5,57	5,4			
Integral														
Fósforo total (mg/L)	3,4	0,3	1,9	5,4	0,3	2,8	4,6	0,3	2,4	4,5	0,3			
Nitrógeno T. (mg/L)	< 1	< 1	< 1	2	< 1	2	< 1	< 1	1	2,0	< 1,0			
DBO ₅ (mg/L)	277	42	159,5	329	19	174	256	22	139	287,3	27,7			
DQO (mg/L)	441,6	68,3	255	481,3	36,9	259,1	395,3	44,5	219,9	439,4	49,9			

En cada una de las tres estaciones de muestreo se registró la presencia de 13 especies. A nivel cuantitativo fue diferente en las dos épocas; en lluvias la distribución vertical de algas fue homogénea, dominando *Coelastrum microporum*. En el periodo seco la dominancia en aguas subsuperficiales fue por parte de *Mallomonas caudata* y *C. microporum*, mientras que a dos metros fue el género *Euglena* el más abundante.

Para los dos épocas muestreadas las clases con mayor abundancia relativa fueron Chlorophyceae (72,1 %) y Euglenophyceae (20,2 %), seguidas de Coscinodiscophyceae (3,14 %) y Zygnematophyceae (0,08 %), sin embargo, Crysophyceae (4,34 %) fue representativa en la época seca.

En lluvias *C. microporum* aportó el 74% en la abundancia, seguida de *T. hispida* (10 %) y *Pediastrum dúplex* (6 %). *Coelastrum microporum* también fue más abundante (39 %) en época seca, seguida de *Euglena* sp. (21%) y *M. caudata* (12 %), como principales representantes de las clases encontradas (Figura 5 a y b).

Para el zooplancton se identificaron diez especies distribuidas en ocho géneros y seis familias. Los rotíferos presentaron la mayor riqueza (cinco especies), seguido de los cladóceros y los copépodos (tres y dos especies respectivamente). Los géneros con mayor aporte de riqueza de especies fueron *Metacyclops* y *Keratella* (Tabla 3).

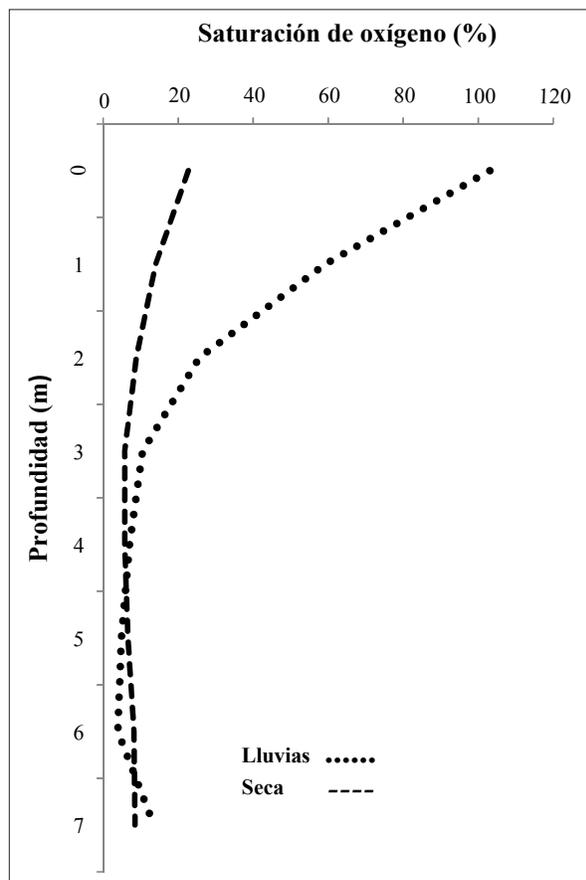


Figura 4. Perfil de oxígeno a nivel temporal.

A nivel espacial se registraron diferencias cualitativas en esta comunidad. La estación cerca de la presa (E3) registró la menor riqueza de zooplancton con cinco especies mientras que la estación alejada a la zona riverina (E1), registró la mayor con nueve. Esto se mantuvo en las dos épocas. A nivel cuantitativo se registraron diferencias en los periodos muestreados, en lluvias dominó un ciclopoide y en época seca un rotífero.

La mayor proporción en abundancias en el zooplancton fue de los rotíferos (63,12 %), seguido de los copépodos (28,57 %) y los cladóceros (8,30 %). En lluvias la expresión más alta fue de *Metacyclops mendocinus* (32 %), la gran representatividad de este grupo se atribuye a la presencia de estadios larvales, juveniles y adultos, seguida de *Brachionus cf. rubens* (9 %) y *Daphnia pulex* (8 %); en contraste, en época seca fueron *Keratella tropica* (79 %), *M. mendocinus* (5 %) y *Polyarthra vulgaris* (4 %) (Figura 5 c y d).

En la época de lluvias, no se hallaron diferencias a nivel espacial, mientras que en la época seca, la estación tres registró la mayor abundancia de zooplancton y la estación uno la menor.

Se registró una mayor diversidad planctónica en época de lluvias ($H' = 1,63$ nits para fitoplancton y

Tabla 2. Información taxonómica de la comunidad fitoplanctónica del embalse la Playa. M1. Época de lluvias. M2. Época seca.

CLASE	ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	M1	M2
Chlorophyceae	Chlorococcales	Scenedesmaceae	<i>Coelastrum microporum</i> (Nägeli)1855	x	x
			<i>Desmodesmus quadricauda</i> (Turp.) Bréb.	x	x
			<i>Desmodesmus cf. bicaudatus</i> (Dedusenko) P.M. Tsarenko 2000	x	
			<i>Desmodesmus var. quadrispina</i> (Chodat)1913	x	
			<i>Desmodesmus cf. intermedius</i> (Chodat) Hegewald 2000	x	x
			<i>Scenedesmus ecornis</i> (Chodat)1926	x	
			<i>Actinastrum sp.</i>	x	
		Hydrodictyaceae	<i>Pediastrum duplex</i> (Meyen) 1829	x	x

Cont. **Tabla 2.** Información taxonómica de la comunidad fitoplanctónica del embalse la Playa. **M1.** Época de lluvias. **M2.** Época seca.

CLASE	ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	M1	M2
Chlorophyceae	Chlorococcales	Oocystaceae	<i>Oocystis cf. parva</i> (West)1898	x	x
		Chlorococcaceae	<i>Ankyra</i> sp.	x	x
		Chlorophyceae	<i>Dictyococcus chlorella</i>	x	x
	Tetrasporales	Palmellaceae	<i>Sphaerocystis</i> sp.	x	x
Coscinodiscophyceae	Aulacosirales	Aulacoseiraceae	<i>Aulacoseira</i> sp.		x
Zygnematophyceae	Zygnematales	Desmidiaceae	<i>Staurastrum</i> sp.		x
			<i>Trachelomonas volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg 1849	x	x
			<i>Trachelomonas hispida</i> (Perty) F. Stein 1878	x	x
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Trachelomonas cf. planctónica</i> (Svirenko) 1914		x
			<i>Trachelomonas punctata</i> (Kufferath & Conrad)1952		x
			<i>Euglena</i> sp.	x	x
			<i>Strombomonas verrucosa</i> (E. Daday) Deflandre 1930	x	
Crysophyceae	Chrysomonadales	Mallomonadaceae	<i>Mallomona caudata</i> Iwanoff (Ivanov)1899	x	x

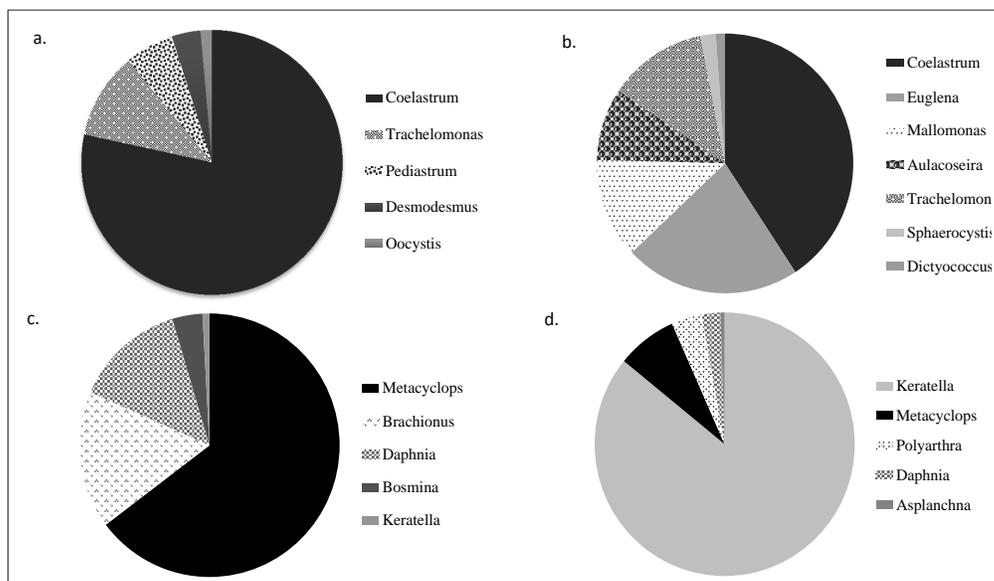


Figura 5. Proporción de abundancia de la comunidad planctónica del embalse La Playa en dos periodos hidroclimáticos. Fitoplancton periodo lluvias (a) y seco (b); zooplancton periodo lluvias (c) y seco (d).

Tabla 3. Información taxonómica de la comunidad zooplanctónica del embalse la Playa. **M1:** época de lluvias. **M2:** época seca.

CLASE	ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	M1	M2
Maxillopoda	Cyclopoida	Cyclopidae	<i>Metacyclops mendocinus</i> (Wierzejski)1892	x	x
			<i>Metacyclops</i> sp.	x	x
Branquiopoda	Anomopoda	Daphniidae	<i>Daphnia pulex</i> (Leydig)1860	x	x
			<i>Ceriodaphnia</i> sp.		x
		Bosminidae	<i>Bosmina freyi</i> (De Melo and Hebert)1994	x	x
Monogononta	Ploima	Brachionidae	<i>Keratella tropica</i> (Apstein) 1910	x	x
			<i>Keratella americana</i> (Carlin)1943	x	x
			<i>Brachionus</i> cf. <i>rubens</i> (Ehrenberg) 1838	x	
		Synchaetidae	<i>Polyarthra vulgaris</i> (Carlin)1943		x
		Asplanchnidae	<i>Asplanchna girodi</i> (De Geurne)1888		x

$H' = 1,06$ nits para zooplancton) en comparación con la época seca $H' = 1,24$ y $H' = 0,66$ respectivamente.

De acuerdo con el análisis discriminante en las dos comunidades planctónicas se distinguen la separación de la dos épocas (100% de validación). Para el fitoplancton, el primer grupo está conformado por las clorofíceas, asociado con altos valores de pH y fósforo total, para la época de lluvias. El segundo por las euglenales y zygnetales, asociado con alta transparencia y alta conductividad eléctrica, para la época seca (Figura 6a).

En el caso del zooplancton, un grupo está integrado por *M. mendocinus* asociado a altos valores de porcentaje de saturación de oxígeno y pH, para época de lluvias; el otro por *D. pulex* y *K. tropica*, asociado a alta transparencia y conductividad (Figura 6b).

Se registraron correlaciones significativas entre algunas variables ambientales (conductividad, % de saturación, oxígeno, DBO₅ y DQO) y las especies constantes de fitoplancton, mientras que por parte del zooplancton solo *K. tropica* presentó una correlación significativa con el porcentaje de saturación (Tabla 4).

En el análisis de rangos de abundancia, las dos comunidades presentaron una tendencia diferente. El fitoplancton registró un patrón de serie geométrica,

con un 2 % de desviación en la época seca, con pocas especies muy abundantes y las restantes raras; el taxón más abundante ocupa cierta cantidad de nicho y toma una porción de recursos, proceso secuencialmente igual con las demás especies hasta la ocupación total del nicho en intervalos uniformes de tiempo (Figura 7a). Sin embargo, el comportamiento de la comunidad en lluvias fue diferente, ajustándose a un modelo log normal (desviación 2 %), en donde existen unas pocas especies dominantes y un grupo de especies raras.

En cuanto al zooplancton este se ajustó a una serie normal en las dos épocas (seca 13 % y lluvias 8 %), resultado que refleja pocas especies dominantes, un porcentaje menor de especies raras y abundancias medias (Figura 7b).

Discusión

El arrastre de productos agrícolas orgánicos y los provenientes de los vertimientos de municipios aledaños, conllevan al aumento en la concentración de carga orgánica, así como de los valores de DBO₅ y DQO, los cuales se consideran altos en comparación con otros embalses colombianos (Márquez y Guillot 2001), estos valores pueden deberse a procesos de respiración de los organismos y a la oxidación de la materia orgánica.

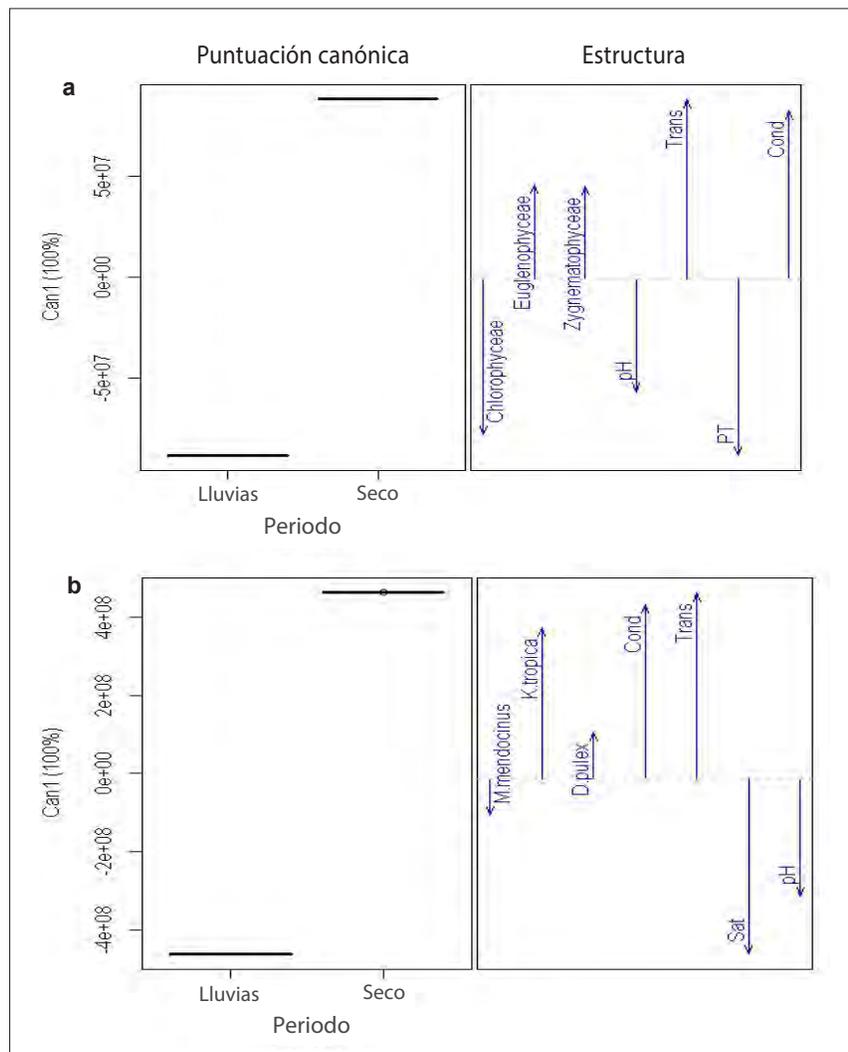


Figura 6. Análisis Discriminante de las comunidades planctónicas en los dos periodos hidroclimáticos. **a)** fitoplancton y **b)** zooplancton.

Tabla 4. Correlaciones de Spearman entre las variables ambientales y las especies planctónicas constantes, $p < 0,05$.

	<i>C. Microporum</i>		<i>Euglena sp.</i>		<i>M. Caudata</i>		<i>K. Tropica</i>	
Conductividad	$r = -0,94$	$p = 0,004$	$r = 0,82$	$p = 0,04$	$r = 1$	$p = 0,001$		
% de Saturación					$r = -0,94$	$p = 0,004$	$r = -0,94$	$p = 0,004$
Oxígeno	$r = 0,88$	$p = 0,01$						
DBO	$r = 0,88$	$p = 0,01$						
DQO	$r = 0,88$	$p = 0,01$						

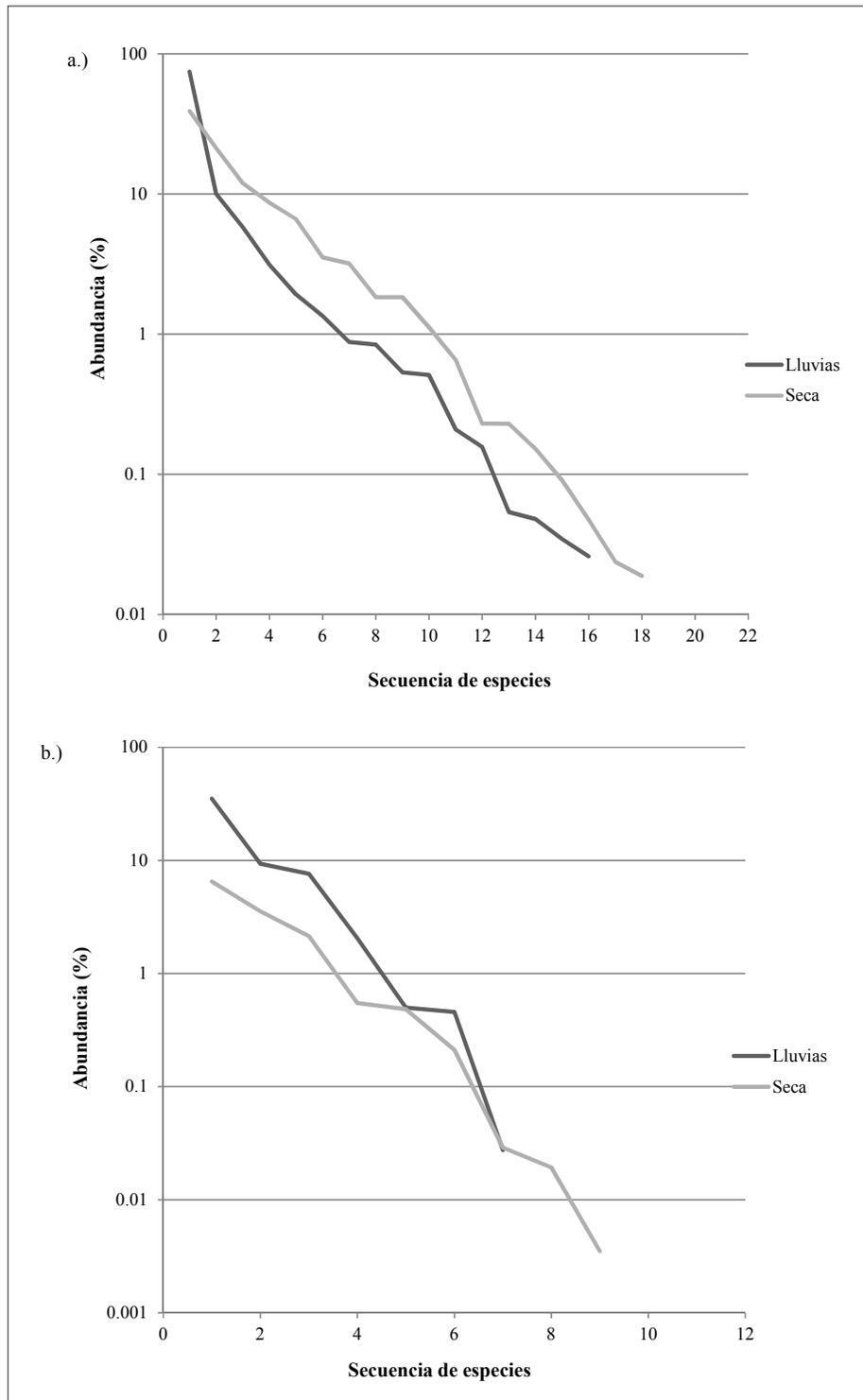


Figura 7. Rangos de abundancia de la comunidad fitoplanctónica **(a)** y zooplanctónica **(b)** del embalse La Playa.

El embalse La Playa registra un gran efecto de los vientos, los cuales se acentúan al medio día, esto se atribuye a la forma alargada que presenta y al poco relieve montañoso que lo rodea, característica observada en otros sistemas de acuerdo a lo reportado por Márquez y Guillot (2001).

En época de lluvias se evidenció estratificación química, condición típica de sistemas con alta demanda de oxígeno por oxidación de materia orgánica. Según Roldán y Ramírez (2008), la composición física y química de un embalse varía drásticamente de superficie a fondo, lo que puede producir este tipo de estratificaciones, caso particular de La Playa. El contenido de fósforo en época de lluvias (4 mg/L), pudo ser proporcionado por material alóctono que entró al sistema (aguas residuales).

El sistema en periodo seco estuvo mezclado. Este resultado está de acuerdo con lo evidenciado por Merayo y González (2010), en un sistema oligomesotrófico. La alta conductividad registrada en esta época sería producto de la resuspensión de iones del fondo hacia la superficie, causado por la mezcla. De acuerdo con lo anterior, el embalse La Playa presentaría condiciones equivalentes a un sistema de oxidación muy inestable, con déficit de oxígeno en el fondo, malos olores y alta carga de sedimentos. Por tratarse de una cuenca artificial, se ve sometido a condiciones tensionantes, las cuales van influir sobre la productividad biológica y sobre los aspectos tróficos del cuerpo de agua (Márquez y Guillot 2001).

La gran abundancia de *C. microporum* para las dos épocas muestreadas está relacionada con lo expuesto por Reynolds *et al.* (2002) y Kruk *et al.* (2010), al definirla como típica de sistemas acuáticos con gran disponibilidad de nutrientes, condición que favorece su establecimiento. Por su parte, la abundancia de *Euglena* sp. en la época seca se asocia con ambientes ricos en materia orgánica y zonas de baja luminosidad (Reynolds y Irish 1997, Reynolds *et al.* 2002). Esta especie registró una dominancia importante en la zona profunda (dos metros). Da Silva- y Torres (2004) y Esteves (2011), afirman que algunas especies de este género son cosmopolitas y abundantes en el hipolimnio. En este periodo el sistema estuvo mezclado, lo cual pudo permitir a las

algas conseguir nutrientes y luz necesarios para su desarrollo (Dokulil 1984).

La mayoría de las especies de algas planctónicas encontradas en el embalse La Playa son típicas de sistemas eutróficos, y están estrechamente relacionadas con la carga orgánica, el pH y la disponibilidad de oxígeno (Gómez 2007). De igual manera, el alto nivel de eutrofización permite que haya crecimientos poblacionales de algas de menores tamaños y en colonias (*Trachelomonas*, *C. microporum*), dada la alta oferta de nutrientes.

El zooplancton encontrado para el sistema ha sido reportado en otros estudios realizados en embalses de Colombia (Márquez y Guillot 2001). La mayoría de estas especies son comunes en sistemas con alta materia orgánica. La comunidad zooplanctónica presenta semejanzas estructurales con otros embalses del país (Herrera y Guillot 1999), con una riqueza mayor de rotíferos, luego de cladóceros y por último de copépodos.

A nivel temporal los rotíferos registraron la mayor riqueza, resultado que coincide con lo reportado por Esteves (2011), donde afirma la gran contribución de ellos dentro de la comunidad zooplanctónica. La composición de rotíferos de La Playa fue similar a la reportada por Rodríguez y Aranguren (2010) en el lago Sochagota, con un número importante de taxones. Este resultado era de esperar ya que son dos sistemas con un alto estado de eutrofización y hacen parte de la cuenca alta del río Chicamocha.

En época seca, la mayor abundancia fue por parte de *K. tropica*, esta es una especie euplanctónica y es comúnmente encontrada en este tipo de ambientes eutróficos. Según Sendacz *et al.* (2006), esta especie tienen rápidas tasas de crecimiento y logran producir densas poblaciones de acuerdo con las fluctuaciones ambientales (Esparcia *et al.* 2001). Además tienen gran capacidad de colonizar diferentes hábitats, son organismos oportunistas, y se ajustan a fluctuaciones ambientales (Rodríguez y Matsumura Tundisi 2000).

Dentro de los cladóceros, se destaca la permanencia a nivel temporal de *D. pulex* y *B. freyi*; La primera especie es común en Colombia (Gaviria y Aranguren

2007) y constante en cuerpos de agua de la región Andina (Gaviria 2000, Monroy *et al.* 2004). Su amplia distribución se podría explicar por la poca selectividad filtradora que posee (Scholten 2005). La segunda es una especie de hábito planctónico (Margalef 1983). El género *Ceriodaphnia* sp, solo se encontró en época seca. Este género habita principalmente cuerpos de agua pequeños y poco profundos. Según Dumont (1994), los cladóceros a nivel cualitativo tienen una representación importante en los sistemas del trópico, sin embargo sus densidades poblacionales son bajas en comparación con otros grupos. Este fue el caso de La Playa, donde los taxones reportados presentaron una baja abundancia. A nivel temporal las dos especies de ciclopoideos fueron constantes, este orden tiende a tener una alta representatividad en cuerpos con características eutróficas (Horne y Goldman 1994), condiciones que favorecieron su establecimiento y su abundancia (Coelho 2003). Se resalta la mayor abundancia de *M. mendocinus* en el periodo de lluvias, la cual es una especie de amplia distribución (Reid *et al.* 1990), habita cuerpos de agua ricos en vegetación y materia orgánica, además es tolerante a condiciones de altas temperaturas y salinidad (Defaye 1992). Según Aranguren *et al.* 2011, la variabilidad del ambiente a nivel temporal es considerada como factor regulador de especies de zooplancton (Copépodos y cladóceros), a esto podría atribuirse la presencia de *Ceriodaphnia* sp, solo en la época seca.

En cuanto a la distribución de abundancia, la comunidad fitoplanctónica en época de lluvias se ajustó a un modelo log normal, en donde existen unas pocas especies dominantes y un grupo de especies raras. Mientras que en época seca, se ajustó a una serie geométrica, con una baja uniformidad (47 %). Esta condición es característica de ambientes con estadios tempranos de sucesión y poca cantidad de especies (Whittaker 1972).

Respecto al zooplancton, se ajustó a una serie normal en las dos épocas, con una uniformidad pequeña (37 %), lo que indicaría una comunidad de poca complejidad, en etapa de colonización, característica de un sistema forzado.

La estructura de los sistemas acuáticos, comprende consorcios complejos de organismos con actividades

estrechamente relacionadas (Reynolds 2002), formando vínculos tróficos de la cadena, en donde una gran perturbación podría afectar a todas las poblaciones que residen allí. Sin embargo, estos ambientes presentan una propiedad importante, la resiliencia, que les permite amortiguar variaciones altas de tipo climático, físico y químico, entre otros, con el fin de minimizar el efecto en el componente biológico.

Finalmente, en este estudio se resalta la riqueza planctónica encontrada en el embalse La Playa, a pesar de las condiciones de perturbación registradas. Se destaca la dominancia de especies de fitoplancton como *C. microporum* y *Euglena* sp., y *M. Mendocinus*, *K. tropica* y *D. pulex*, en zooplancton, indicadoras de elevado nivel trófico. A pesar que el sistema expresa alta tensión ambiental referida a la fluctuación física y química y a la concentración de carga orgánica, estas especies tienen la capacidad de adaptarse a estos cambios. Por su parte, el análisis de distribución temporal en la comunidad planctónica estudiada, permite una mayor comprensión sobre este ambiente y su patrón de variación.

Agradecimientos

Al Programa Jóvenes Investigadores e Innovadores “Virginia Gutiérrez de Pineda” Colciencias, a la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia por el apoyo económico. Al Biólogo Pablo Andrés Gil Leguizamón por sus aportes al artículo.

También a las biólogas Nidia Gil, Adriana Pedroza y Erika Triana por su apoyo en campo, de igual forma al biólogo Luis Antonio Gonzales por la asesoría en manejo de R y en la realización de test de validación de modelos de rangos de abundancia.

Literatura citada

- Aranguren, N. J., C. Guisande y R. Ospina. 2011. Factors controlling crustacean zooplankton species richness in Neotropical lakes. *Journal of Plankton Research* 33 (8):1295-1303.
- Bartram, J. y R. Ballance. 1996. Water quality monitoring: a practical guide to the design and implementation of

- freshwater quality studies and monitoring programmes. Gran Bretaña. 383 pp.
- Beisner, B. E. 2001. Plankton community structure in fluctuating environments and the role of productivity. *Oikos* 95: 496-510.
- Bicudo, C. y M. Menezes. 2006. Géneros de algas continentais do Brasil (chave para identificação e descrições). Segunda edição. São Carlos. 502 pp.
- Boltoskoy, D. 1995. Colección de plancton. Pp. 271-296. En: Lopretto E. C y G. Tell. (Eds.). Ecosistemas de aguas continentales. Metodología para su estudio. Ediciones Sur. La Plata, Argentina.
- Bourelly, P. 1970. Les algues d'eau douce: initiation à la systématique. Tomo III: les algues bleues et rouges. Les eugleniens, Peridiniens et Cryptomonadines. Editions N. Boubéeos y Cie. 512 pp.
- Bourelly, P. 1972. Les algues d'eau douce: initiation à la systématique. Tomo I. Les algues. V. Editions N. Boubéeos y Cie. 572 pp.
- Bourelly, P. 1981. Les algues d'eau douce: initiation à la systématique. Tome II. Les algues jaunes et brunes. Les Chrysophycees, Pheophycees, Xanthophycees et Diatomees. Societe Nouvelle des Editions N. Boubéeos y Cie. 606 pp.
- Boxshall, G. 2004. An Introduction to Copepod Diversity. London. 421 pp.
- Coelho, S., S. Gamito y A. Pérez-Ruzafa. 2007. Trophic state of Foz de Almagem coastal lagoon (Algarve, South Portugal) based on the water quality and the phytoplankton community. *Estuarine coastal and Shelf Science* 71 (1-2): 218-231.
- Coelho, M. 2003. Dinâmica da comunidade zooplanctônica e sua relação com o grau de trofia em reservatórios. IV Simpósio e IV Reunião de Avaliação do programa. Agua de lindóia.
- Comas, G. A. 1996. Las Chlorococcales dulceacuólicas de Cuba. *Bibliotheca Phycologica* Band 99. J. Cramer, Berlin. 192 pp.
- Connell, J. y E. Orias. 1964. The ecological regulation of species diversity. *American Naturalist* 98: 399-414.
- Corporación Autónoma Regional de Boyacá. 2005. Plan de ordenación y manejo ambiental de la cuenca alta del río Chicamocha. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Centro de Estudios Económicos Universidad Nacional. Tunja. 59 pp.
- Da Silva, S. y A. Torres. 2004. Study os Euglenophyta in the jacuí Delta state park, Rio Grande do sul. Brazil. 1. *Euglena* Ehr., *Lepocinclis* Perty. *Acta Botanica Brasileira* 18 (1): 123-140.
- Defaye, D. 1992. *Metacyclops hannensis* sp. (Crustacea, Copepoda, Cyclopoidea), un cyclopiode nouveau du Sénégal. *Revue d'Hydrobiologie Tropicale* 25 (2): 145-151.
- Dokulil, M. 1984. Mezcla y tamaño de las células y su relación con la productividad primaria. Pp. 127-134. En: Bahamonde, N. y S. Cabrera (Eds.). Embalses, fotosíntesis y productividad primaria. Unesco. Santiago de Chile.
- Dumont, H. J. 1994. On the diversity of the Cladocera in the tropics. *Hydrobiologia* 272: 29-38.
- Esparcia, A., X. Armengol y M. R. Miracle. 2001. Relación de la distribución de los rotíferos con la de los principales factores físicos y químicos en la laguna de La Cruz. Burjassot (Valencia), Spain. *Limnetica* 20 (2): 305-320.
- Dumont, H. y S. Negrea. 2002. Introduction to the class Branchiopoda. Guides o the identification of the microcrustaceans of the continentals waters of the world 19, Backhuys Publ., Leiden. 398 pp.
- Einsle, U. 1993. Crustacea, Copepoda: Calanoida and Cyclopoida. Gustav Fisher Verlag. Stuttgart. 208 pp.
- Elmoor-Loureiro, L. M. 1997. Manual de identificação de cladóceros límnicos do Brasil. Editora Universal, Brasilia. 155 pp.
- Esteves, F. A. 2011. Fundamentos de Limnología. Segunda edición. Editora Interciencia. Río de Janeiro, Brasil. 790 pp.
- Gaviria, S. 2000. Estado actual del conocimiento de la biodiversidad y biogeografía de los cladóceros y copéodos de las aguas epicontinentales de Colombia. Conferencia magistral. Memorias Primer Congreso Colombiano de Zoología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Gaviria, S y N. Aranguren. 2003. Guía de laboratorio para identificación de cladóceros (Anomopoda y Ctenopoda) y copéodos (Calanoida y Cyclopoida). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. 47 pp.
- Gaviria, S. y N. J. Aranguren. 2007. Especies de vida libre de la subclase Copepoda (Arthropoda, Crustacea) en aguas continentales de Colombia. *Biota Colombiana* 8: 53-68 pp.
- Gómez, L. 2007. Microalgas: aspectos ecológicos y biotecnológicos. Universidad de Oriente. *Revista Cubana de Química* 19 (2): 3-20.
- Henao, A. 1987. El disco Secchi y el estado trófico. *Asociacion de Ingenieros Sanitarios de Antioquia* 72: 67-79.
- Herrera. Y. y G. Guillot. 1999. Composición taxonómica del zooplancton del embalse de Betania, departamento del Huila, Colombia. *Acta Biológica Colombiana* 4 (1): 5-19.
- Horne, A. y C. Goldman. 1994. Limnology. II edition. McGraw-Hill. New York. 576 pp.
- Kratzer y Bresonik 1981. A Carlson-type trophic state index for nitrogen in Florida lakes. En: Henao, A.

1987. El disco Secchi y el estado trófico. *Asociación de Ingenieros Sanitarios de Antioquia* 72: 67-79.
- Komárek, J y B. Fott. 1983. Chlorophyceae (Grünalgen) Ordnung: Chlorococcales. Das phytoplankton des süßwassers. *En: Die Binnengewässer*. Gustav Fischer. 1044 pp.
- Komárek, J y K. Anagnostidis. 1999. Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales. *En: H. Ettl, G. Gärtner, H. Heynig and D. Mollenhauer (Eds.). Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1*, Gustav Fischer Verlag, Jena-Stuttgart-Lübeck-Ulm, Germany. 548 pp.
- Komárek, J y K. Anagnostidis. 2005. Cyanoprokaryota 2. Teil: Oscillatoriales. *En: B. Büdel, L. Krienitz, G. Gärtner and M. Schagerl (Eds.). Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/2*, Elsevier/Spektrum, Heidelberg, Germany. 759 pp.
- Koste, W. 1978. Rotatoria - Die Rädertiere Mitteleuropas. I-II Textband. Gebrüder Borntraeger. Berlin. 234 pp.
- Kruk, C., L. Vera, M. Huszar, M. Peeters, S. Bonilla y L. Costa. 2010. Morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. *Freshwater Biology. Acta Botanica Brasílica* 55: 614-627.
- Lampert, W. 1987. Feeding and nutrition in *Daphnia*. *Memories of Italian Institute of Hydrobiology* 45: 143-192.
- Lieder, U. 1996. Crustacea, Cladocera, Bosminidae. Gustav Fischer, Stuttgart. 81 pp.
- Lopretto, E. y G. Tell. (Eds.). 1995. Ecosistemas de aguas continentales. Metodologías para su estudio. Edición Sur. La Plata, Argentina. 1401 pp.
- Margalef, R., A. Planas, J. Armengol, A. Prat, N. A. Guiset, J. Tija y M. Estrada. 1976. Limnología de los embalses españoles. Dirección Gral. de Obras Públicas Nº 123 Ministerio de Obras Públicas, Madrid. 422 pp.
- Margalef, R. 1982. Ecología. Ediciones Omega. Barcelona. 951 pp.
- Márquez, G. y G. Guillot. 2001. Ecología y efecto ambiental de embalses - Aproximación a casos colombianos. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas. Instituto de Estudios Ambientales y Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Bogotá Colombia. 218 pp.
- Magurran, A. 1989. Diversidad ecológica y su medición. Ediciones Vedral. Barcelona, España. 197 pp.
- Merayo, S. y E. Gonzalez 2010. Variaciones de abundancia y biomasa del zooplancton en un embalse tropical oligomesotrófico del norte de Venezuela. *Revista de Biología Tropical* 58 (2): 603-619.
- Monroy, D., N. Aranguren y S. Gaviria. 2004. Los crustáceos planctónicos del Lago de Tota (Boyacá, Colombia). *Ciencia en Desarrollo* 1: 64-81.
- Nogueira, M. G. 2001. Zooplankton composition, dominance and abundance as indicators of environmental compartmentalization in Jurumirim reservoir (Parapanema River), São Paulo, Brazil. *Hydrobiologia* 455: 1-18.
- Parra, O., M. González, V. Dellarrosa, P. Rivera y M. Orellana. 1982a. Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. Vol. I. Cyanophyceae. Universidad de Concepción, Concepción, Chile. 70 pp.
- Parra, O., M. González, V. Dellarrosa, P. Rivera y M. Orellana. 1982b. Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. Vol. II. Chlorophyceae - Xanthophyceae. Universidad de Concepción, Concepción, Chile. 82 pp.
- Parra, O., M. González, V. Dellarrosa, P. Rivera y M. Orellana. 1982c. Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. Vol. III. Cryptophyceae - Dinophyceae - Euglenophyceae. Universidad de Concepción, Concepción, Chile. 99 pp.
- Parra, O., M. González y V. Dellarrosa. 1983. Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. Vol. V. Chlorophyceae. Universidad de Concepción, Concepción, Chile. 353 pp.
- Past. Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Paleontología Electrónica* 4 (1): 9.
- Pennak, R. 1989. Fresh water invertebrates of the United States - Protozoa to Mollusca. John Wiley & Sons, Inc. USA. 803 pp.
- Pinto-Coelho, R. Pinel-Alloul, B., Me'thot, G. y K.E. Havens. 2005. Crustacean zooplankton in lakes and reservoirs of temperate and tropical regions: variation with trophic status. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 62: 348-361.
- Pinto-Coelho, R. 1987. Fluctuações sazonais e de curta duração na comunidade zooplancônica do lago Paranoá, Brasília, D. F., Brasil. *Revista Brasileira de Biologia* 47 (1-2): 17-29.
- Reid, J., J. Molina y M. Fukuschima. 1990. *Metacyclops leptopus totensis*, new sub-species (Crustacea, Copepoda) from Lago de Tota, Colombia. *Proceedings of the Biological Society of Washington*. 103: 674-680.
- Reid, J. 1995. Chave de identificação e lista de referências bibliográficas para espécies continentais suramericanas de vida livre da ordem cyclopoida (Crustacea, Copepoda). Univ. S. Paulo Bolm. *Zoology* 9: 17-143.
- Reynolds, C. y A. Irish. 1997. Modelling phytoplankton dynamics in lakes and reservoirs: the problem of in-situ growth rates. *Hydrobiologia* 349: 5-17.
- Reynolds, C., V. Huszar, C. Kruk, C. Nasseli, L. Melo. 2002. Towards a functional classification of the

- freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research* 2 (5): 417-428.
- Reynolds C. F. 2002. Resilience in aquatic ecosystems hysteresis, homeostasis and health. *Aquatic Ecosystem Health and Management* 5: 3-17.
- Rodríguez, A. y N. Aranguren. 2010. Estructura del zooplancton del lago Sochagota (Paipa, Boyacá): análisis en dos épocas climáticas contrastantes. *Ciencia en Desarrollo* 3 (1): 135-148.
- Rodríguez, M. y T. Matsumura - Tundisi. 2000. Variation of density, species composition and dominance of rotifers at a shallow tropical reservoir (Broa Reservoir, SP, Brazil) in a Short Scale Time. *Brasil. Biology* 60 (1): 1-9.
- Roldán, G. y J. Ramírez. 2008. Fundamentos de limnología neotropical. 2da. Ed. Editorial Universidad de Antioquia, Universidad Católica de Oriente y Academia Colombiana de Ciencias. Medellín (Colombia). 440 pp.
- R Development Core Team. 2013. R: A Language and environment for statistical computing. R foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Package 'vegan'. September 25 Title. Community Ecology Package.
- Ruttner-Kolisko, A. 1974. Planktonic rotifers. Biology and taxonomy. *Die Binnengewasser*. Dr. H-J. Elster & Dr. W. Ohle. Stuttgart. Germany. 146 pp.
- Sant' Anna, C., 1984. Chlorococcales (Chlorophyceae) do Estado de Sao Paulo. *Bibliotheca Phycologica* 67: 1-348.
- Sendacz, S., S. Caleff y J. Santos-Soares. 2006. Zooplankton biomass of reservoirs in different trophic condition in the state of Sao Paulo, Brazil. *Brazil. Journal. Biology* 66: 337- 350.
- Scholten, M., C. Foekema, E. M. Van Dokkum, H. P. Kaag, N y R.G. Jak. 2005. Eutrophication Management and Ecotoxicology. Springer. Berlin, Germany. 113 pp.
- Tell, G. y P. Mosto. 1982. Chlorococcales (Chlorophyceae). Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Buenos Aires, Argentina. 147 pp.
- Vicente, E., C. De Hoyos, P. Sanchez y J. Cambra. 2005. Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la Directiva Marco del Agua. Protocolo de muestreo y análisis para fitoplancton. Confederación Hidrográfica del Ebro, Ministerio del Medio Ambiente. Zaragoza. 36 pp.
- Whittaker, R. 1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon* 21: 213-251.

Andrea Paola Rodríguez-Zambrano
Unidad de Ecología en Sistemas Acuáticos (UDESAs)
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC)
Tunja, Boyacá, Colombia
anparo24@yahoo.es

Nelson Javier Aranguren-Riaño
Unidad de Ecología en Sistemas Acuáticos (UDESAs)
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC)
Tunja, Boyacá, Colombia
nelson.aranguren@uptc.edu.co

Comunidad planctónica de un embalse con alta tensión ambiental: La Playa, cuenca alta del río Chicamocha (Tuta, Boyacá), Colombia

Cítese como: Rodríguez Zambrano, A. P. y N. J. Aranguren-Riaño. 2014. Comunidad planctónica de un embalse con alta tensión ambiental: La Playa, cuenca alta del río Chicamocha (Tuta, Boyacá), Colombia. *Biota Colombiana* 15 (2): 95-110.

Recibido: 3 de marzo de 2014
Aprobado: 14 de diciembre de 2014

Historia de vida del bagre *Imparfinis usmai* (Heptapteridae: Siluriformes) en el área de influencia del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, alto río Magdalena, Colombia

Francisco Antonio Villa-Navarro, Luis José García-Melo, Pamela Tatiana Zúñiga-Upegui, Jorge Enrique García-Melo, Jhonatan Mauricio Quiñones-Montiel, Juan Gabriel Albornoz-Garzón, Cristhian Camilo Conde-Saldaña, Gladys Reinoso-Flórez, Diana María Gualtero-Leal y Víctor Julio Ángel-Rojas

Resumen

En Colombia se ha construido el embalse de Betania en el cauce principal del río Magdalena y el proyecto hidroeléctrico El Quimbo, localizado aguas arriba de este, se encuentra bajo construcción. Los embalses no solo generan procesos de fragmentación en los ecosistemas acuáticos, sino también crean sistemas artificiales híbridos que impactan las poblaciones de diferentes especies de peces que los habitan. El presente estudio tiene como meta conocer la historia de vida de *Imparfinis usmai*, así como establecer su patrón alimenticio, en el área de influencia del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, embalse en fase de construcción en el cauce del río Magdalena. Para esto se efectuaron muestreos mensuales entre agosto de 2011 y julio de 2012, en las quebradas Garzón, Rioloro, Yaguilga y Guandinosa, y los ríos Páez, Suaza y Magdalena. Se colectaron 278 ejemplares, los cuales se distribuyeron en nueve clases de tallas. En general, la población presentó un crecimiento alométrico positivo, aunque con variaciones a lo largo del año. La especie se catalogó como invertívora - insectívora, con preferencia de Simuliidae. La proporción sexual fue de 1:1,8, con predominio de las hembras. Su fecundidad promedio fue de 2846 oocitos, con un periodo reproductivo extenso. Proyecto financiado por Emgesa S. A. E.S.P.

Palabras clave. Trofodinámica. Estrategia reproductiva. Heptapteridae. Alto Magdalena. Embalses.

Abstract

In Colombia a dam, Betania Reservoir, has been constructed on the main channel of the Magdalena River, and another, the El Quimbo Hydroelectric Project which is located upstream of the first, is under construction. The dams not only generate fragmentation processes in the aquatic ecosystems, but also create artificial hybrid systems that impact the populations of different species of fish that inhabit them. This study aims to determine the life history of *Imparfinis usmai* and establish its trophodynamics in the area of influence of the El Quimbo Hydroelectric Project. Monthly samples were made from August 2011 to July 2012 in Garzón, Rioloro, Guandinosa and Yaguilga streams, and Páez, Suaza and Magdalena rivers. A total of 278 specimens, distributed in nine size classes were collected. In general, the population has a positive allometric growth, although variations occur throughout the year. The species was categorized as an Invertivore - Insectivore, and preferably consumed Simuliidae. The sex ratio was 1: 1.8, with predominance of females. Average fecundity was 2846 oocytes, with an extensive reproductive period. Project funded by Emgesa S. A. E.S.P.

Key words. Trophodynamics. Reproductive strategy. Heptapteridae. Upper Magdalena basin.

Introducción

En Colombia se han construido 33 embalses, 84 % de ellos en la cuenca Magdalena-Cauca, destinados principalmente a generación de energía (Jiménez-Segura *et al.* 2011). En la cuenca del Alto Magdalena se han construido dos embalses: el primero de ellos es el embalse de Prado, el cual fue construido en 1973 en la cuenca del río Prado, con un área de 3900 ha. El segundo es el embalse de Betania, construido en 1987, con un área de 7424 ha, que regula el cauce principal del río Magdalena. La construcción del embalse de Betania separó la ictiofauna de la parte alta del río Magdalena, generando la desaparición de varias especies como *Prochilodus magdalenae*, *Brycon moorei*, *Salminus affinis* e *Ichthyoelephas longirostris* (Mancera-Rodríguez y Cala 1997).

En la actualidad se encuentra en construcción el proyecto hidroeléctrico El Quimbo, al sur del embalse de Betania, el cual aprovechará la captación de la cuenca del río Magdalena desde el Macizo Colombiano hasta la desembocadura del río Páez en el río Magdalena. Se generará un embalse de 8250 ha, con un volumen útil de 2601 hm³, para generar 2216 GWh/año (Ingetec 2008).

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial otorgó la licencia de construcción con las más estrictas medidas ambientales y sociales, para que se pudiera desarrollar el proyecto hidroeléctrico El Quimbo, con requerimientos necesarios que propenden velar por el recurso íctico.

El estudio sobre la estructura, composición y distribución de la ictiofauna en el área de influencia directa del proyecto hidroeléctrico El Quimbo mostró la presencia de 41 especies (Villa-Navarro *et al.* 2012), las cuales representan cerca del 32 % del total reportado por Villa-Navarro *et al.* (2006) para el Alto Magdalena. Los Siluriformes representaron el 68 % de las especies y, de ellos, la familia Heptapteridae representa el 10 %, donde *Imparfinis usmai* e *Imparfinis timana* representaron el 3,8 % y 0,4 % de las colectas.

El género *Imparfinis* Eigenmann y Norris, 1900 (Heptapteridae: Siluriformes) incluye 21 especies, distribuidas desde Costa Rica hasta Argentina, con

16 especies de distribución cisandina y sólo cinco de ellas son transandinas (Ortega-Lara *et al.* 2011). De esta últimas, *Imparfinis lineatus* Borodin, 1927 se encuentra en ríos costeros de la vertiente Pacífico en Costa Rica, *Imparfinis nemacheir* (Eigenmann y Fisher 1916) distribuida en las cuencas de los ríos Atrato y Magdalena, así como del Lago de Maracaibo, *Imparfinis spurrelli* (Regan 1913) restringida a la cuenca del río San Juan, *Imparfinis timana* Ortega-Lara, Milani, Donascimento, Villa-Navarro y Maldonado-Ocampo (2011) restringida al río Guarapas, en la cuenca del Alto Magdalena, e *Imparfinis usmai* Ortega-Lara, Milani, Donascimento, Villa-Navarro y Maldonado-Ocampo, 2011 con una distribución que abarca el Alto Cauca y toda la cuenca del río Magdalena y el Bajo Patía, en la vertiente del Pacífico colombiano.

El presente estudio pretende establecer los hábitos alimenticios y la estrategia reproductiva de *Imparfinis usmai*, en el área de influencia del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, de tal forma que con estudios posteriores en la misma área, sea posible determinar el efecto que sobre su historia de vida tenga la operación del embalse El Quimbo.

Material y métodos

Área de estudio

En el área de estudio se localizó en la zona de influencia directa del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, en el sur del departamento de Huila, entre las cordilleras Central y Oriental. Esta zona inicia 1300 m aguas arriba de la desembocadura del río Páez en el río Magdalena e inundará áreas de los municipios de Gigante, El Agrado, Garzón, Tesalia, Paicol y Altamira. Su área de drenaje es de 6832 km², en la cual se reconocen como tributarios principales a los ríos Guarapas (860 km²), Bordonos (719 km²), Timaná (211 km²) y Suaza (1453 km²), así como la quebrada Negra (285 km²).

El área de influencia directa del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, zona comprendida entre la desembocadura

del río Suaza hasta la confluencia con el río Páez, se ubicaron ocho estaciones de muestreo empleando cartografía 1:10000, el área de trabajo fue ajustada en campo con base en su facilidad de acceso, tipos de hábitats presentes y cota máxima de inundación calculada, esto último para permitir las comparaciones una vez se culmine el llenado del embalse.

De acuerdo con lo anterior, se ubicaron estaciones en las quebradas Garzón (QG) a 842 m s.n.m., Rioloro (QR) a 755 m s.n.m., Yaguilga (QY) a 750 m s.n.m. y Guandinosa (QG) 852 m s.n.m., y en los ríos Suaza a 736 m s.n.m. y Páez a 586 m s.n.m.. Adicionalmente, se fijaron dos estaciones en el cauce principal del río Magdalena, la primera de ellas 500 m aguas abajo de la confluencia entre el río Páez y el río Magdalena a 585 m s.n.m., sector Puerto Seco (RM-PSE), y la segunda a 758 m s.n.m. en Peña Alta (RM-PA), aguas arriba de la cota máxima de inundación (Tabla 1, Figura 1).

Muestreos y análisis

Los muestreos fueron mensuales, entre agosto de 2011 y julio de 2012, abarcando el régimen bimodal de lluvias característico del área de estudio. Para esto se empleó un equipo portátil de electropesca (340 v, 1 – 2 A), en transectos de 100 m de largo y de ancho variable, en cada una de las estaciones de muestreo. Este método es el que más se ajusta a las condiciones que presentan los cuerpos de agua andinos, siendo el más utilizado para estimar la abundancia y composición en ecosistemas dulceacuícolas (Maldonado-Ocampo *et al.* 2005). Su limitación está en la baja conductividad y que su alcance sólo permite emplearlo en las orillas de los ríos (Mojica y Galvis 2002).

Todos los ejemplares colectados fueron determinados taxonómicamente, medidos, longitud estándar (LE en mm), y pesados, peso total (g), en campo, para lo cual se emplearon calibradores digitales de 0,01 mm de

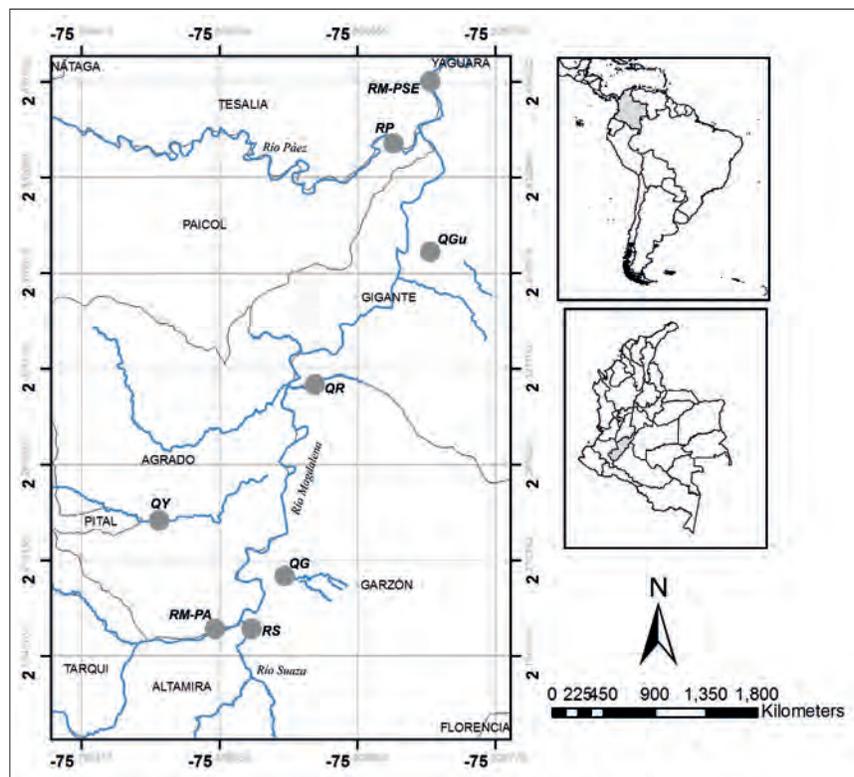


Figura 1. Localización de las estaciones de muestreo en el área de influencia directa del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, Alto Magdalena, Colombia. **RM-PA:** río Magdalena Peña Alta. **RS:** río Suaza. **RM-PSE:** río Magdalena sector Puerto Seco. **QG:** quebrada Garzón. **QY:** quebrada Yaguilga. **QR:** quebrada Rioloro. **QGu:** quebrada Guandinosa.

Tabla 1. Localización de las estaciones de muestreo en el área de influencia directa del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, Alto Magdalena, Colombia.

Estación	Sigla	m s.n.m.	Norte	Oeste
Río Páez	RP	586	2°27'11,1"	75°35'03,2"
Río Magdalena Puerto Seco	RM-PSE	585	2°30'03,5"	75°32'39,1"
Quebrada Rioloro	QR	755	2°19'06,5"	75°36'54,7"
Quebrada Yaguilga	QY	750	2°14'08,8"	75°44'05,8"
Río Suaza	RS	736	2°10'29,2"	75°40'22,4"
Río Magdalena Peña Alta	RM-PA	758	2°10'19,3"	75°41'38,1"
Quebrada Garzón	QG	842	2°12'01,2"	75°37'32,7"
Quebrada Guandinosa	QGu	852	2°23'40,1"	75°32'47,3"

precisión y una balanza digital de 0,1 g de precisión. Con el fin de mitigar el efecto de las colectas mensuales sobre las comunidades de peces, se destinó el 30 % de los organismos colectados para los análisis de ecología trófica y reproductiva, los demás ejemplares fueron liberados una vez medidos y pesados.

Los ejemplares destinados a los análisis trófico y reproductivo se fijaron en una solución de formol al 10 %. Los peces con tallas superiores a 100 mm LE se inyectaron con formol en la cavidad abdominal y en la musculatura de los costados. Posteriormente, se depositaron en bolsas plásticas de sello hermético con la correspondiente etiqueta de campo para su transporte al Laboratorio de Investigación en Zoología de la Universidad del Tolima. Los ejemplares se pasaron a etanol al 70 % para su ingreso a la Colección Zoológica de la Universidad del Tolima, sección Ictiología (CZUT-IC).

Adicionalmente, *in situ* fueron tomados los datos de temperatura del agua y conductividad eléctrica, usando una sonda multiparámetros SCHOTT. También se colectaron muestras, en frascos plásticos con capacidad de 1 l, superficialmente y en contra corriente, para evaluar el pH (unidades de pH), conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{CM}$), oxígeno disuelto (mgO_2/L), porcentaje de saturación de oxígeno (% SAT.O_2), turbiedad (NTU), alcalinidad total y dureza (mgCaCO_3/L), cloruros ($\text{mg Cl}/\text{L}$), nitratos (mgNO_3/L), fosfatos ($\text{mg PO}_4/\text{L}$), fósforo total (mgP/L), sólidos suspendidos y sólidos totales (mg/L),

DBO_5 y DQO (mgO_2/L). Las muestras debidamente rotuladas y preservadas se transportaron para su análisis al Laboratorio de Servicios de Extensión en Análisis Químico LASEREX de la Universidad del Tolima.

Los datos, tanto biológicos como físico-químicos, fueron analizados por trimestres, los cuales se definieron de acuerdo a los periodos de bajas y altas lluvias. El primer trimestre comprende julio, agosto y septiembre (bajas lluvias); el segundo octubre, noviembre y diciembre (altas lluvias); el tercero enero, febrero y marzo (bajas lluvias); y el cuarto abril, mayo y junio (altas lluvias).

Como la distribución de frecuencias de tallas permite conocer la estructura de una población, en cuanto al número de individuos juveniles y adultos, así como el desplazamiento de modas de clases de tallas a partir de los histogramas de frecuencias de tallas en las épocas climáticas (García-Melo 2005), fueron calculadas las frecuencia de tallas tomando los datos de longitud estándar (LE) de cada uno de los individuos colectados. Para determinar la bondad de ajuste de las distribuciones de frecuencias de tallas se utilizó la prueba no paramétrica Kolmogórov-Smirnov (Kolmogórov 1983).

La relación fue establecida por la ecuación $P = a L^b$, donde P es el peso total y L la longitud estándar, a y b son constantes (Bazigos 1976, Granado-Lorencio 1996, Yáñez-Arancibia *et al.* 1985). Para determinar

si el valor hallado de b difiere significativamente de 3 (= isométrico), se realizó una prueba estableciendo límites de confianza al 95 % (Sparre y Venema 1997).

Se calculó el factor de condición (K), $K = (W / Lb) \times 100$, con el fin de estimar las variaciones temporales (Granado-Lorencio 1996) y de esta manera, estimar el grado de nutrición del pez en un determinado momento de su desarrollo (González *et al.* 1996).

Para establecer los hábitos alimenticios se siguió la metodología propuesta por Yáñez-Arancibia *et al.* (1985). Con el fin de determinar posibles variaciones temporales y espaciales en la dieta, así como establecer si el número de muestras permite obtener una información real sobre los hábitos alimenticios, fueron determinados el coeficiente de vacuidad (V) y coeficiente de repleción (R_p).

El primero se calculó mediante la fórmula $V = E_v/E_t$, donde E_v = número de estómagos vacíos encontrados y E_t = número total de estómagos analizados; y el segundo, se halló mediante la fórmula $R_p = E_a/E_t$, donde, E_a = es el número de estómagos con alimento.

Con el fin de estimar el incremento gravimétrico del alimento consumido con respecto al incremento del peso total de la especie, se estimó el peso del contenido estomacal (P_{ce}) de acuerdo con la fórmula $P_{ce} = P_{te} - P_{pe}$, donde P_{te} = peso total del estómago y P_{pe} = el peso de la pared estomacal (Yáñez-Arancibia *et al.* 1985).

Para determinar los ítems alimenticios se siguió la metodología propuesta por Laevastu (1977), empleando para ello esteroscopios y microscopios. La identificación de los contenidos estomacales se llevó hasta el mínimo nivel taxonómico posible, para lo cual se emplearon las claves y descripciones de Domínguez *et al.* (2006), Machado (1989), Merrit *et al.* (2008), Posada-García y Roldán-Pérez (2003), Roldán (1988) y Wiggins (1996, 2004).

El cálculo del peso seco de cada ítem alimenticio se obtuvo mediante el secado a 60° C durante 24 hr, las muestras se colocaron en papel filtro previamente secado y pesado. Posteriormente, siguiendo la metodología propuesta por Hyslop (1980), se dejaron enfriar por 4 hr y se pesaron en una balanza analítica de precisión 0,0001 g.

Para establecer la categoría trófica, se combinaron los métodos gravimétrico (% G), $G = [pe/Pe] \times 100$, donde pe = es la suma del peso de este grupo en todos los estómagos y Pe = es la suma del peso del contenido estomacal de todos los estómagos, de frecuencia relativa (% F), $F = [ne/Ne] \times 100$, donde ne = número de estómagos con un tipo de alimento y Ne = número de estómagos llenos examinados, e índice de importancia relativa (IIR) (Yáñez-Arancibia *et al.* 1985).

El índice de importancia relativa (IIR), $IIR = [F \times G] / 100$, donde F = frecuencia relativa y G = porcentaje gravimétrico, es muy útil para interpretar la importancia relativa de un recurso alimenticio específico, así como la importancia de determinado grupo trófico dentro de la alimentación de una especie. El espectro trófico queda delimitado por % G, % F e IIR en relación a tres cuadrantes, el cuadrante I corresponde a grupos tróficos ocasionales o circunstanciales, el II a grupos tróficos secundarios y el III a grupos preferenciales o principales (Yáñez-Arancibia *et al.* 1985).

Una vez hallada la proporción macho: hembra, se realizó la prueba de chi-cuadrado de Pearson con el fin de determinar si la proporción hallada difiere estadísticamente del valor esperado de 1: 1 (Guisande *et al.* 2006).

El estado de madurez sexual de machos y hembras se determinó de acuerdo a la forma, tamaño, consistencia y coloración de las gónadas, mediante observación macroscópica siguiendo la escala propuesta por Vazzoler (1982) y ajustándola a cuatro estados, estado i (inmaduro), ii (en maduración), iii (maduro) y iv (desovado o reabsorción).

Adicionalmente, se calculó el Índice Gonadosomático (IGS), $IGS = [W_g / W_{tc}] \times 100$, donde W_g = peso total de las gónadas y W_{tc} = peso total corporal, que expresa el porcentaje que las gónadas representan en el peso corporal del individuo y señala el desarrollo estacional de la gónada (madurez gonadal) con respecto al peso del ejemplar (Granado-Lorencio 1996).

Para estimar la fecundidad, se determinó el número total de oocitos y el diámetro promedio de una puesta potencial. Para el conteo de los oocitos y la medición

de su diámetro se utilizó la metodología propuesta por Lavaestu (1977), con la previa disociación de los oocitos mediante la solución de Gilson (Vazzoler 1982).

Resultados

Se recolectaron un total de 278 individuos, el 77,3 % de ellos provenientes de la quebrada Yaguilga, mientras que en la quebrada Guandinosa no se recolectaron ejemplares (Figura 2). Los ejemplares recolectados fueron distribuidos en nueve clases de tallas, 23,99 mm LE - 114,81 mm LE, y una longitud media de 64,05 mm LE. De acuerdo con la prueba de normalidad, los datos presentaron una distribución normal con una mayor abundancia de individuos en la clase VI (80 mm LE) (Figura 3).

En el trimestre julio-septiembre (bajas lluvias) se observa que las clases IV (73 mm LE) y V (87 mm LE) fueron los más abundantes, mientras que en el

semestre octubre-diciembre (altas lluvias) la clase VI (94 mm LE) fue la más abundante. Lo anterior contrasta con los trimestres enero-marzo (bajas lluvias) y abril-junio (altas lluvias) donde las clases II (37 mm LE) y III (56 mm LE), respectivamente, son las más abundantes, los datos de este último trimestre no presentan una distribución normal (Tabla 2, Figura 3).

La curva de relación longitud – peso para la población en general, $P = 7,15 \cdot 10^{-6} L^{3,117}$ ($r^2 = 0,94$), indica un crecimiento alométrico positivo. Sin embargo, el análisis trimestral muestra variaciones en los valores de la constante b ; en el trimestre julio-septiembre ($b = 3,018$) la población presentó un crecimiento isométrico, octubre-diciembre ($b = 3,62$) y enero-marzo ($b = 3,3815$) el crecimiento es alométrico positivo, mientras que en abril-junio ($b = 2,925$) el crecimiento fue alométrico negativo (Tabla 2, Figura 4).

El valor más elevado del factor de condición (K) se presentó en el trimestre abril-junio (altas lluvias)

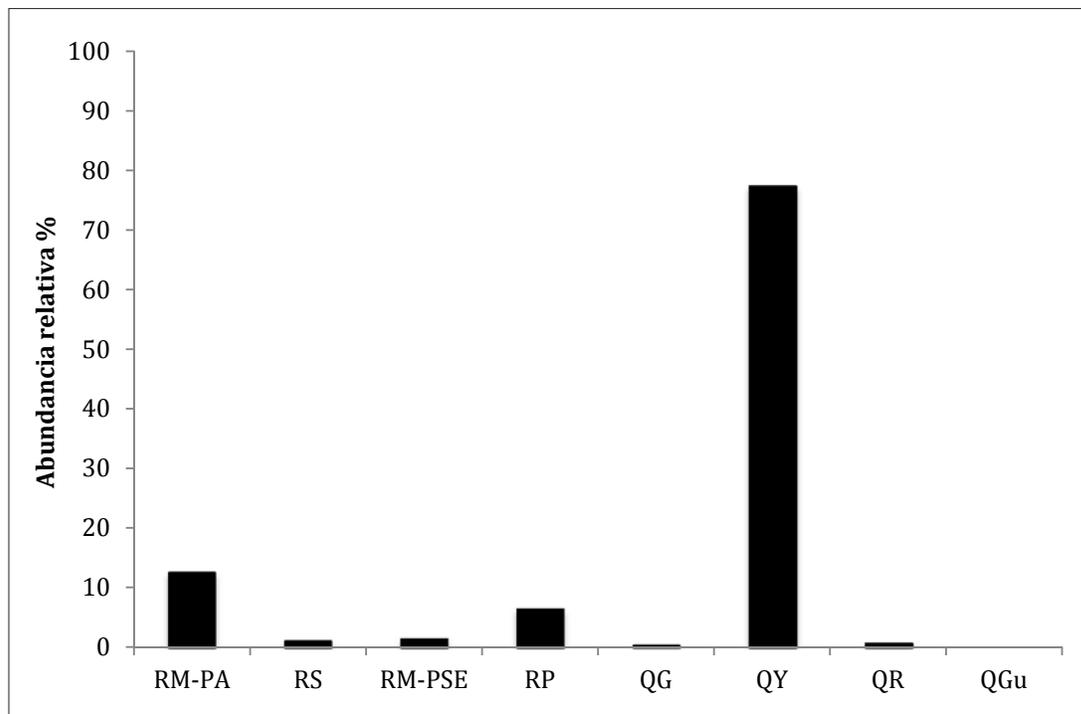


Figura 2. Abundancia relativa de las capturas de *Imparfinis usmai* en las distintas estaciones de muestreo, área de influencia directa del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, Alto Magdalena, Colombia. **RM-PA:** río Magdalena Peña Alta. **RS:** río Suaza. **RM-PSE:** río Magdalena sector Puerto Seco. **QG:** quebrada Garzón. **QY:** quebrada Yaguilga. **QR:** quebrada Rioloro. **QGu:** quebrada Guandinosa.

Tabla 2. Resultados de las pruebas Kolmogórov-Smirnov, distribución de frecuencia de tallas, y *t*, relación longitud-peso, por trimestre y general, para *Imparfinis usmai*, entre de agosto de 2011 y julio de 2012, en el área de influencia directa del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, Alto Magdalena, Colombia. **L** = Longitud Estándar. **P** = Peso; *p* = probabilidad. **r**² = coeficiente de determinación.

Periodo	Prom. L (DE)	<i>p</i>	Prom. P (DE)	Ecuación L - P	Lim. Sup-Lim. Inf	<i>r</i> ²
Jul. - sept.	68,84 (±15,26)	>0,200	4,72 (±2,7)	$P = 1,14E-05 * L^{3,018}$	3,175 - 2,861	0,95
Oct. - dic.	78,36 (±11,4)	>0,200	6,1 (±3,25)	$P = 7,47E-07 * L^{3,62}$	4,254 - 2,986	0,78
Ene. - mar.	51,13 (±22,21)	0,200	2,53 (±2,88)	$P = 2,37E-06 * L^{3,382}$	3,744 - 3,019	0,93
Abr. - jun.	57,61 (±18,66)	0,001	3,09 (±3,06)	$P = 1,57E-05 * L^{2,925}$	3,076 - 2,773	0,94
General	64,05 (±19,12)	0,100	4,04 (±3,19)	$P = 7,15E-06 * L^{3,117}$	3,22 - 3,015	0,94

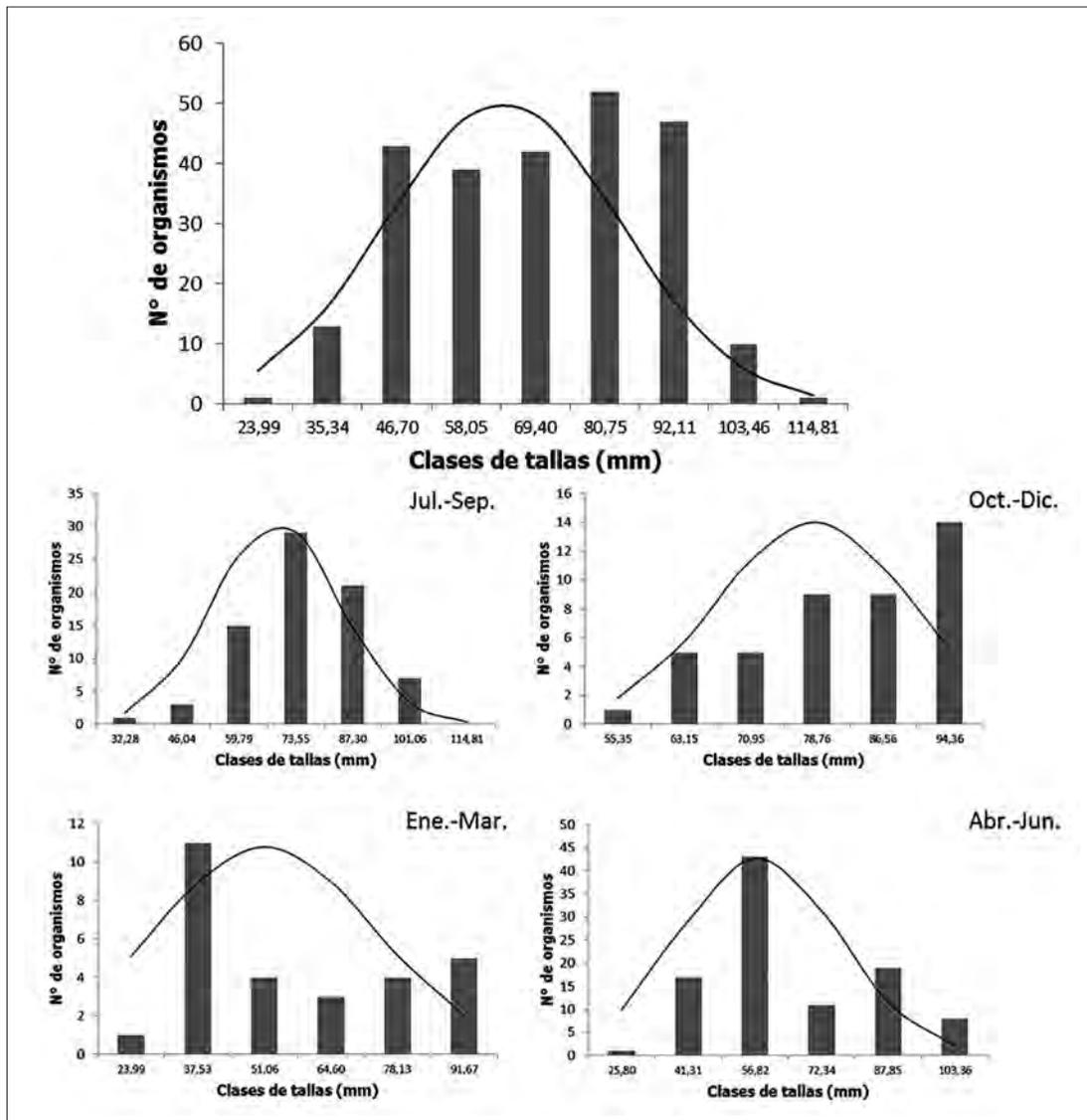


Figura 3. Distribución de frecuencia de tallas de *Imparfinis usmai*, entre de agosto de 2011 y julio de 2012, en el área de influencia directa del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, Alto Magdalena, Colombia.

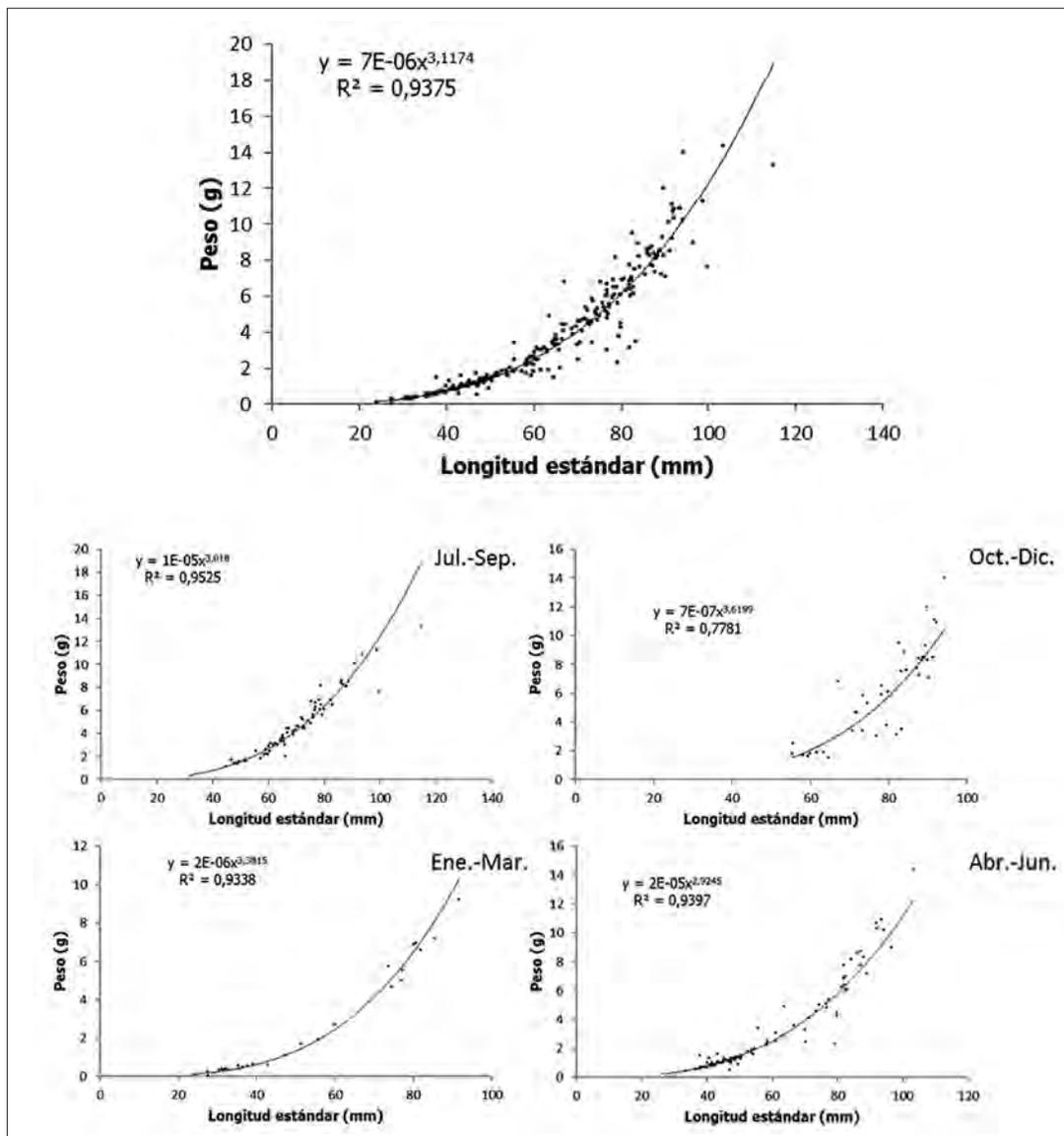


Figura 4. Relación longitud-peso de *Imparfinis usmai*, entre de agosto de 2011 y julio de 2012, en el área de influencia directa del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, Alto Magdalena, Colombia.

(Figura 5), coincidiendo con un crecimiento alométrico negativo y mayor abundancia de las clases II y III. Los valores más bajos de K se observan en los trimestres octubre – diciembre (altas lluvias) y enero – marzo (bajas lluvias), en este último trimestre predominan los ejemplares de las clases II y III, y el crecimiento es alométrico positivo.

De un total de 76 estómagos, los valores de los coeficientes de repleción y vacuidad fueron 0,6 y 0,4, respectivamente. En el análisis de la dieta de la

población en general, se hallaron 24 ítems con alguna preferencia alimenticia (Tabla 3). Los Simuliidae se presentan como un ítem preferencial (IIR = 10,72), explicable porque representaron el 67,93 % del peso del alimento consumido, aunque su % F = 15,79 fue menor al del ítem Insectos, % F = 31,58. Lo anterior sugiere que la especie se puede categorizar como Invertívora - Insectívora (Figura 6), ya que los ítem de preferencia secundaria y ocasional son principalmente macroinvertebrados acuáticos e insectos alóctonos (Formicidae y Vespidae).

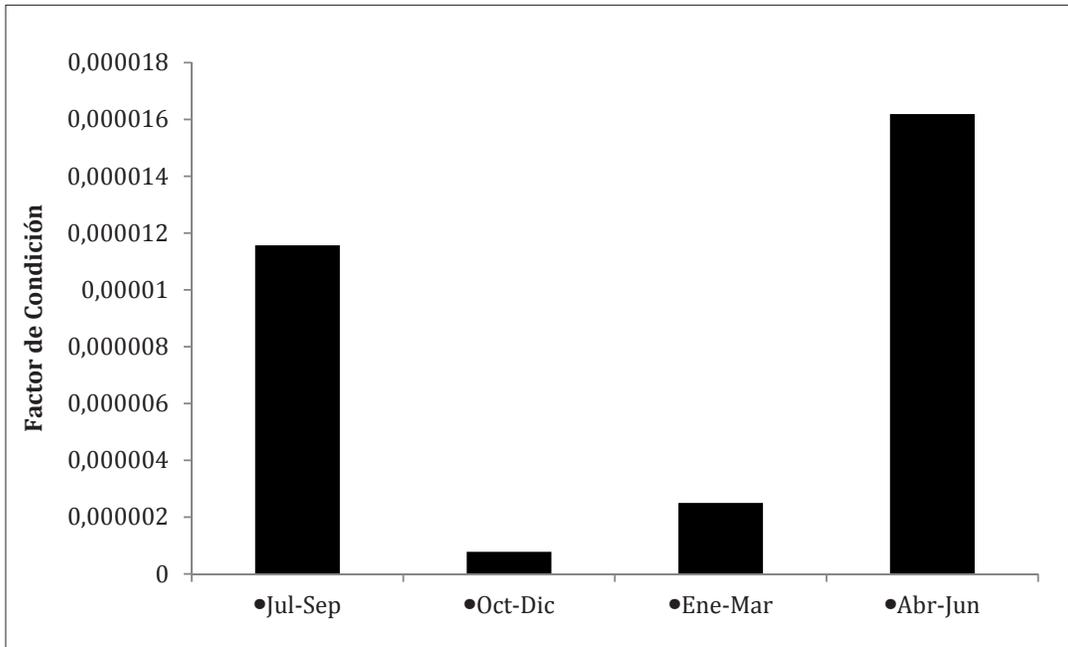


Figura 5. Factor de condición de *Imparfinis usmai*, entre de agosto de 2011 y julio de 2012, en el área de influencia directa del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, Alto Magdalena, Colombia.

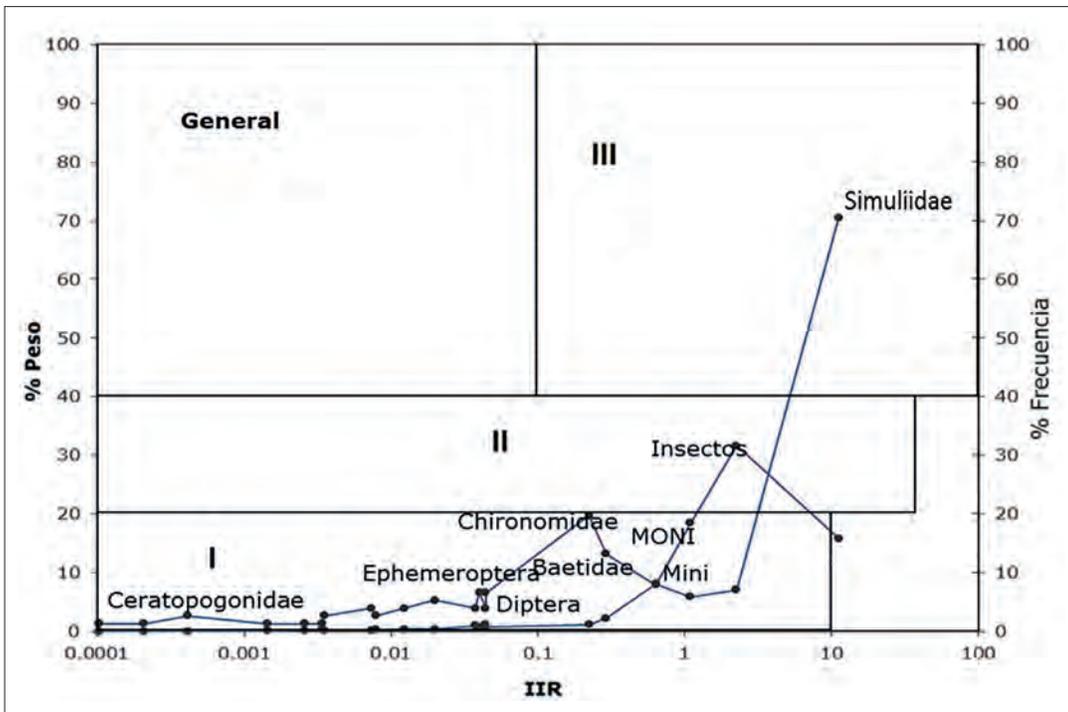


Figura 6. Espectro trófico general de *Imparfinis usmai*, para el periodo comprendido entre de agosto de 2011 y julio de 2012, en el área de influencia directa del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, Alto Magdalena, Colombia.

Tabla 3. Ítems observados en los contenidos estomacales de *Imparfinis usmai*, entre de agosto de 2011 y julio de 2012, en el área de influencia directa del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, alto Magdalena, Colombia. % F: porcentaje de frecuencia, % P: porcentaje en peso. IIR: índice de importancia relativa.

Ítems	% F	% P	IIR
Simuliidae	15,78947368	67,93134598	10,726002
Insectos	31,57894737	6,827762722	2,156135596
MONI	18,42105263	5,691056911	1,048352589
MINI	7,894736842	7,746160795	0,61154
Baetidae	13,15789474	2,137910268	0,281303983
Ptilodactylidae	6,578947368	3,507979524	0,230788127
Chironomidae	19,73684211	1,08401084	0,213949508
Hydroptilidae	6,578947368	0,647395363	0,0425918
Diptera	3,947368421	1,076482987	0,042492749
Ephemeroptera	6,578947368	0,587172538	0,038629772
Coleoptera	3,947368421	0,91087022	0,035955403
Hydropsychidae	5,263157895	0,361336947	0,019017734
Semillas	3,947368421	0,301114122	0,011886084
Trichoptera	2,631578947	0,286058416	0,007527853
Tipulidae	3,947368421	0,180668473	0,00713165
R. vegetales	2,631578947	0,127973502	0,003367724
Hemiptera	1,315789474	0,248419151	0,003268673
Stratiomyidae	1,315789474	0,188196326	0,002476267
Formicidae	1,315789474	0,105389943	0,00138671
Muscidae	2,631578947	0,015055706	0,000396203
Peces	1,315789474	0,015055706	0,000198101
Vespidae	1,315789474	0,007527853	9,90507 ⁻⁰⁵
Leptophlebiidae	1,315789474	0,007527853	9,90507 ⁻⁰⁵
Ceratopogonidae	1,315789474	0,007527853	9,90507 ⁻⁰⁵

La evaluación temporal de los espectros tróficos muestra variación en los ítem preferenciales y secundarios (Figura 7). En el trimestre julio-septiembre (bajas lluvias) no se observan ítem preferenciales, mientras que como secundario sólo aparece materia orgánica no identificada (MONI), siendo insectos, Baetidae, Simuliidae, Tipulidae, materia inorgánica no identificada

(MINI) y semillas ítem ocasionales. Sin embargo, en el segundo trimestre de bajas lluvias (enero-marzo), se observa que Simuliidae es un ítem preferencial, mientras los Insectos, MONI y Chironomidae son ítem secundarios, y Vespidae, junto con otros ítem alimenticios, es ocasional (Tabla 4).

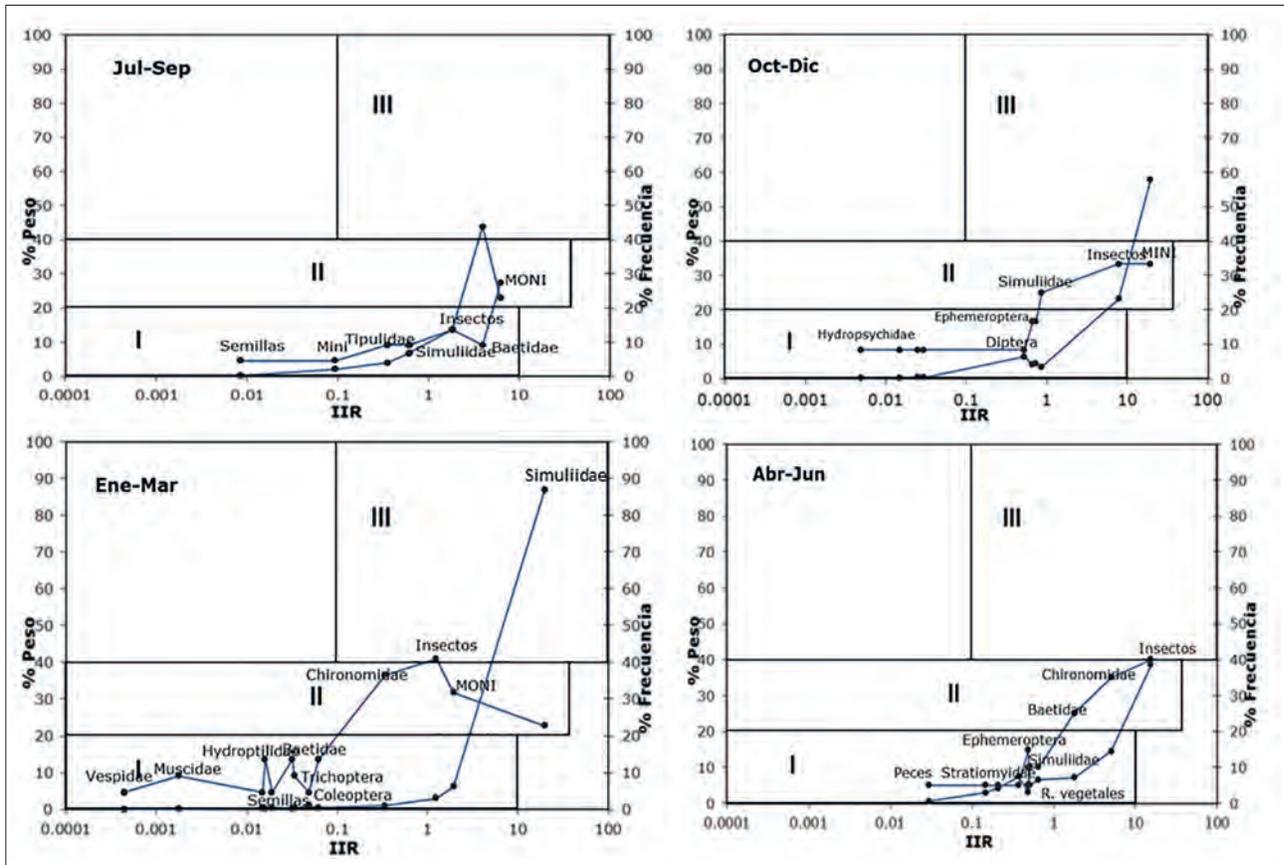


Figura 7. Variación de la dieta de *Imparfinis usmai*, entre de agosto de 2011 y julio de 2012, en el área de influencia directa del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, Alto Magdalena, Colombia. % A: abundancia relativa. % P: porcentaje en peso. IIR: índice de importancia relativa.

Tabla 4. Valores del índice de importancia relativa, general y por trimestre, para *Imparfinis usmai*, entre de agosto de 2011 y julio de 2012, en el área de influencia directa del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, Alto Magdalena, Colombia.

Items	General	jul-sep	oct-dic	ene-mar	abr-jun
Simuliidae	10,726002	0,607185023	0,674732434	19,73433526	0,652818991
Insectos	2,156135596	1,846854444	6,064836358	1,248128029	15,43026706
MONI	1,048352589	6,223646483	0,023266636	1,94463398	
MINI	0,61154	0,092764378	15,12331317	0,019052008	
Baetidae	0,281303983	3,980435149		0,031901036	1,78041543
Ptilodactylidae	0,230788127		3,590817434	3,99E-03	
Chironomidae	0,213949508			0,336733157	5,089020772
Hydroptilidae	0,0425918		0,573910346	0,015950518	
Diptera	0,042492749	0,624051273	0,411043896		

Cont. **Tabla 4.** Valores del índice de importancia relativa, general y por trimestre, para *Imparfinis usmai*, entre de agosto de 2011 y julio de 2012, en el área de influencia directa del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, Alto Magdalena, Colombia.

Items	General	jul-sep	oct-dic	ene-mar	abr-jun
Ephemeroptera	0,038629772		0,519621529		0,489614243
Coleoptera	0,035955403	0,008433125		0,048737694	0,148367953
Hydropsychidae	0,019017734		0,003877773	0,062472862	
Semillas	0,011886084	0,008433125	0,019388863	0,015064378	
Trichoptera	0,007527853			0,033673316	
Tipulidae	0,00713165	0,354191263	0,011633318		
R. vegetales	0,003367724				0,504451039
Hemiptera	0,003268673				0,489614243
Stratiomyidae	0,002476267				0,370919881
Formicidae	0,00138671				0,207715134
Muscidae	0,000396203			1,77 ⁻⁰³	
Peces	0,000198101				0,029673591
Vespidae	9,90507 ⁻⁰⁵			4,43 ⁻⁰⁴	
Leptophlebiidae	9,90507 ⁻⁰⁵			4,43 ⁻⁰⁴	
Ceratopogonidae	9,90507 ⁻⁰⁵			4,43 ⁻⁰⁴	

En el trimestre octubre-diciembre (altas lluvias) se observa que MINI sería el ítem preferencial, mientras los Insectos y Simuliidae son los ítem secundarios, otros macroinvertebrados acuáticos son ítem ocasionales. De igual forma, en el trimestre abril-junio (altas lluvias) no se presentan ítem preferenciales, siendo los Chironomidae y Baetidae los ítems secundarios; como información adicional a tener en cuenta aparecen Peces y Restos Vegetales como ítem ocasionales (Tabla 4).

La proporción sexual macho: hembra fue de 1: 1,8; la prueba de contraste de hipótesis revela que este valor difiere estadísticamente de la proporción esperada 1: 1. El análisis trimestral muestra que sólo la proporción hallada para el trimestre julio-septiembre (1: 3,4) difiere significativamente de la proporción esperada (Tabla 5).

En el trimestre enero-marzo (bajas lluvias), los machos inmaduros (Estado I) fueron los más abundantes;

en contraste durante los trimestres julio-septiembre (bajas lluvias) y octubre-diciembre (altas lluvias), sólo se observaron machos en maduración (Estado II) y maduros (Estado III). Para el caso de las hembras, la mayor abundancia de ejemplares maduros se presentó en el trimestre octubre – diciembre. Sin embargo, los resultados del IGS muestran que para las hembras los valores más altos se presentan en los trimestres octubre-diciembre, enero-marzo y abril- junio, igual que para los machos (Figura 8).

En promedio, la especie presentó una fecundidad de 2846 oocitos (253-8760), con un diámetro promedio de 0,958 mm (0,69 mm - 1,36 mm). La menor fecundidad se presentó en los trimestres julio-septiembre (253 oocitos) y octubre-diciembre (556 oocitos), la fecundidad más alta se presentó en los trimestres enero-marzo (4289 oocitos) y abril-junio (8427 oocitos). Lo anterior sugiere que el periodo reproductivo de la especie abarca todo el primer semestre del año.

Tabla 5. Valores de la prueba de *chi*-cuadrado (X^2) para la proporción sexual general y por trimestre, fecundidad promedio y diámetro promedio de los oocitos para *Imparfinis usmai*, entre de agosto de 2011 y julio de 2012, en el área de influencia directa del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, Alto Magdalena, Colombia.

Periodo	H:M	X^2	Fecundidad	Diámetro promedio
julio-septiembre	1:3,4	6,55 (p =0,01)	253	0,72 (0,72 - 0,72)
octubre-diciembre	1:1,4	0,33 (p =0,56)	556 (410 - 780)	1,13 (0,9 - 1,36)
enero-marzo	1:1,8	1,64 (p =0,2)	4289 (2760 - 5818)	0,81 (0,69 - 0,93)
abril-junio	1:1,2	0,2 (p =0,65)	8427 (8093 - 8760)	0,8 (0,77 - 0,83)
General	1:1,8	6,37 (p =0,01)	2846 (253 - 8760)	0,96 (0,69 - 1,36)

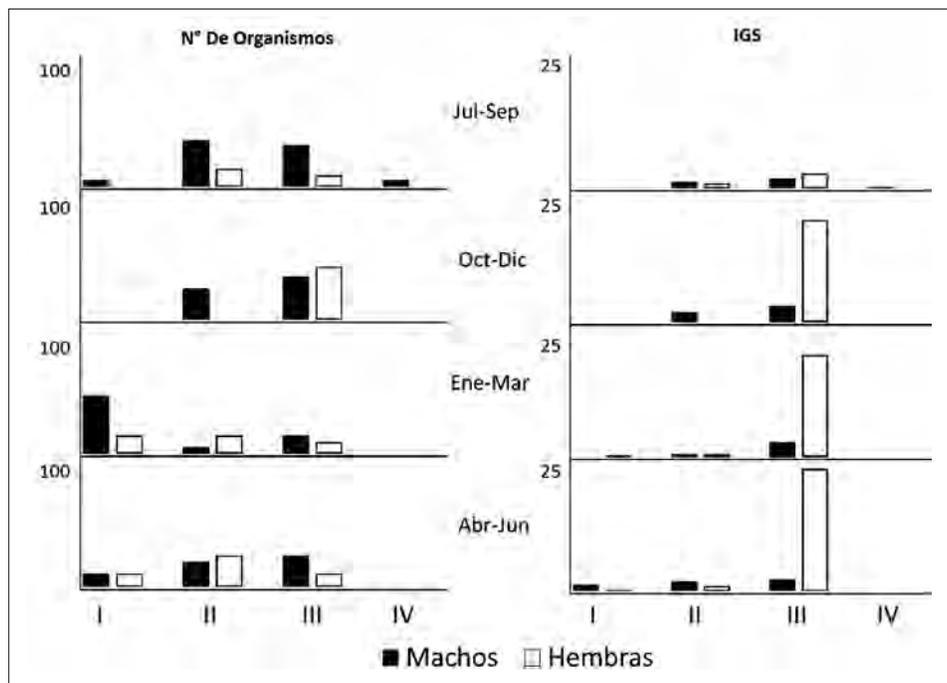


Figura 8. Abundancia relativa e índice gonadosomático de los estados de madurez sexual de *Imparfinis usmai*, entre de agosto de 2011 y julio de 2012, en el área de influencia directa del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, Alto Magdalena, Colombia.

Discusión

La distribución normal que en términos generales presenta la población estudiada de *Imparfinis usmai*, podría ser consecuencia de una mayor abundancia de individuos juveniles y adultos, similar al patrón común para la mayoría de las poblaciones de peces (Bazigos 1976).

Por otra parte, al mayor número de individuos adultos durante el primer y segundo trimestres, que incluye el periodo de transición de lluvias bajas a altas, sigue un aumento en el número de ejemplares juveniles en el tercer y cuarto trimestres, lo que podría indicar la ocurrencia de al menos un evento reproductivo.

Lo anterior parece soportarse en el crecimiento alométrico positivo observado en los trimestres, octubre-diciembre y enero-marzo, sugiriendo que este mayor aumento en el peso es debido a la presencia de individuos maduros sexualmente, donde su peso aumenta por el mayor desarrollo gonadal, y a un evento reproductivo extendido.

El crecimiento isométrico de la población, observado en el trimestre julio – septiembre, estaría indicando un estado de equilibrio ya que se mantiene la proporcionalidad entre el peso y la longitud (Ricker 1971). El crecimiento alométrico negativo del trimestre abril – junio podría deberse al aumento de las clases de tallas donde predominan los juveniles, ya que en ellos la tasa de crecimiento es mayor en longitud (Froese 2006).

El factor de condición (*K*) puede variar dependiendo del periodo climático, sexo, tamaño y grado de desarrollo gonadal (Cala *et al.* 1996, Froese 2006, Mir y Mir 2012), lo cual podría explicar los bajos valores hallados en octubre-diciembre y enero-marzo, donde dedicarían su energía al crecimiento somático y al almacenamiento de grasa para hacer frente a las presiones fisiológicas que conllevan estos eventos (Ferrer 1988).

Imparfinis usmai fue catalogada como invertívora-insectívora, con preferencia de Simuliidae, y como ítems secundarios y ocasionales macroinvertebrados acuáticos (principalmente Baetidae, Ptilofactylidae y Chironomidae) e insectos alóctonos (Formicidae, Vespidae). Lo anterior concuerda con lo descrito en *I. nemacheir* por Román-Valencia y Hernández (2006) en el río La Vieja, Alto Cauca, donde la especie consume preferencialmente Chironomidae, Baetidae e Hydroptilidae. Igualmente, para *Cetopsorhamdia boquillae* y *Coregonus nasus*, Ruíz y Román-Valencia (2006) reportan un consumo preferencial de macroinvertebrados acuáticos.

Así mismo, las variaciones en el espectro trófico pueden ser causadas por la temporalidad que influye sobre las características fisicoquímicas del hábitat y, por lo tanto, sobre la oferta de recursos que depende de esta dinámica (Winemiller y Jepsen 1998, Galacatos *et al.* 2004, Cotner 2006). Esto podría explicar que la presencia de Coleoptera, Vespidae y Semillas en el tercer trimestre, el cual corresponde al periodo de

lluvias altas moderadas, se deba probablemente al arrastre por escorrentía o al aumento del nivel del agua.

A pesar de la controversia que enmarca la designación teórica de algún tipo de estrategia reproductiva, (equilibrio – *K*, oportunista – *r* y estacional – *r*²) (Winemiller 1989, Winemiller y Taphorn 1989), *I. usmai* mostró una fecundidad relativamente alta, oocitos pequeños, fluctuaciones en la densidad poblacional y un periodo reproductivo relativamente largo entre el último y primer trimestre del año (octubre- diciembre y enero - marzo), lo cual podría sugerir una estrategia reproductiva estacional.

Literatura citada

- Bazigos, G. P. 1976. Applied fishery statistics. *Fisheries Technical Paper* No. 135, FAO Pesca. Roma. 191 pp.
- Cala, P., E. Gonzalez y M. P. Varona. 1996. Aspectos biológicos y taxonómicos del tucunare, *Cichla monoculus* (Pisces: Cichlidae). *Dahlia* 1: 23 - 37.
- Cotner, J. B., J. V. Montoya, D. L. Roelke y K. O. Winemiller. 2006. Seasonally variable riverine production in the Venezuelan llanos. *Journal of the North American Benthological Society* 25 (1): 171-184.
- Domínguez, E., C. Molineri y C. Nieto. 2006. Ephemeroptera. Pp: 55-93. *En: Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos*. E. Domínguez y H. Fernandez (Eds.). Fundación Miguel Lillo. Tucumán, Argentina.
- Ferrer, O. J. 1988. Madurez sexual, diámetro de huevos, fecundidad y factores relacionados de lisa (*Mugil curema Valenciennes, 1836*) del Lago de Maracaibo. *Zootecnia Tropical* 6: 81-112.
- Froese, R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology* 22 (4): 241- 253.
- Galacatos, K., R. Barriga-Salazar y D. J. Stewart. 2004. Seasonal and habitat influences on fish communities within the lower Yasuní River basin of the Ecuadorian Amazon. *Environmental Biology of Fishes* 71: 33-51.
- García-Melo, L. J. 2005. Distribución, diversidad y ecología de la familia Trichomycteridae (Ostariophysi: Siluriformes), en la cuenca del río Coello, departamento del Tolima. Trabajo de Grado, Programa de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia. 149 pp.
- González, E., M. P. Varona y P. Cala. 1996. Datos bioecológicos del Oscar, *Astronotus ocellatus* (Pisces: Cichlidae), en los alrededores de Leticia, Amazonía. *Dahlia* 1 (1): 51-62.

- García-Melo, L. J. 2005. Distribución, diversidad y ecología de la familia Trichomycteridae (Ostariophysi: Siluriformes), en la cuenca del río Coello, departamento del Tolima. Trabajo de Grado, Programa de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia. 149 pp.
- Granado-Lorencio, C. 1996. Ecología de Peces. Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones, Serie: Ciencias, No. 45, Sevilla, España. 353 pp.
- Guisande-G., C., A. Barreiro-F., I. Maneiro-E., I. Riveiro-A., A. R. Vergara-C. y A. Vaamonde-L. 2006. Tratamiento de Datos. Ediciones Díaz de Santos. España. 356 pp.
- Hyslop, E. J. 1980. Stomach contents a review of methods and their application. *Journal fish biology* 17: 411-429.
- Ingetec. 2008. Estudio de Impacto Ambiental del proyecto Hidroeléctrico El Quimbo. Vol. 1: 66.
- Jiménez-Segura, L. F., R. Álvarez-León, F. de P. Gutierrez-Bonilla, S. Hernández, M. Valderrama B. y F. Villa-Navarro. 2011. La pesca y los recursos pesqueros en los Embalses Colombianos. Capítulo 7. 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 (Editores). 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.*
- Kolmogórov, A. 1983. Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione. *Giornale dell'Istituto Italiano degli Attuari* 4: 83-91.
- Lavaestu, T. 1977. Manual de métodos de biología pesquera. Editorial Acribia, Zaragoza, España. 243 .
- Machado, T. 1989. Distribución ecológica e identificación de los coleópteros acuáticos en diferentes pisos altitudinales del departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia. Medellín, Antioquia. 324 pp.
- Maldonado-Ocampo, J. A., A. Ortega-Lara, J. S. Usma-O., G. Galvis-V., F. A. Villa-Navarro, L. Vasquez-G., S. Prada-Pedrerros y C. Ardila-R. 2005. Peces de los Andes de Colombia. Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 346 pp.
- Mancera-Rodríguez, N. J. y P. Cala. 1997. Aspectos bioecológicos de la comunidad íctica asociada a un cultivo de tilapia roja en jaulas flotantes en el embalse de Betania, Colombia. *Dahlia* 2: 31-53.
- Merritt, R. W., K. W. Cummis y M. B. Berg. 2008. An introduction to the aquatic insects of North America. United States of America. Kendall/Hunt Publishing Company. Dubuque, IA. 1214 p.
- Mir, J. I. y F. A. Mir. 2012. Length - Weight relationship and condition factor of Rosy Barb, *Puntius conchonius* (Hamilton 1822) from River Jhelum in Kashmir Valley, India. *Advances in Biological Research* 6 (5): 186 - 190.
- Mojica, J. I. y G. Galvis-V. 2002. Métodos para el estudio de los peces continentales. *En: Guillermo Rueda-Delgado (Ed.). Manual de Métodos de Limnología. Bogotá, D. C. 76 pp.*
- Ortega-Lara, A., N. Milani, C. DoNascimento, F. Villa-Navarro y J. A. Maldonado-Ocampo. 2011. Two new trans-Andean species of *Imparfinis* Eigenmann & Norris 1900 (Siluriformes: Heptapteridae) from Colombia. *Neotropical Ichthyology* 9 (4): 777-793.
- Posada-García, J., y G. Roldán-Pérez. 2003. Clave ilustrada y diversidad de las larvas de Trichoptera en el Nor-Occidente de Colombia. *Caldasia* 25: 169-192.
- Ricker, W. 1971. Methods for assessment of fish production in freshwaters. 2 ed. Blackwell Scientific, Oxford. No 3. 348 pp.
- Roldán-Pérez, G. 1988. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Fondo FEN Colombia, COLCIENCIAS y Universidad de Antioquia. Bogotá. 217 pp.
- Román-Valencia, C. y J. Hernández. 2006. Ecología trófica y reproducción de *Imparfinis nemacheir* (Siluriformes: Heptapteridae) de la cuenca del río La Vieja, Alto río Cauca, Colombia. *Dahlia* 9: 25-32.
- Ruiz, R. I. y C. Román-Valencia. 2006. Aspectos taxonómicos de *Cetopsorhamdia boquillae* y *C. nasus* (Pisces, Heptapteridae), con anotaciones sobre su ecología en la cuenca alta de los ríos Magdalena y Cauca, Colombia. *Animal Biodiversity and Conservation* 29 (2): 123-131.
- Sparre, P. y S. C. Venema. 1997. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1: Manual. *FAO Fisheries Technical Paper*. No. 306.1, Rev. 2. Roma. 420 pp.
- Vazzoler, A. E. A. 1996. Manual de métodos para estudios biológicos de populações de peixes reprodução e crescimento. CNPq. Programa Nacional de Zoología, Brasilia. 107 pp.
- Villa-Navarro, F. A., P. T. Zúñiga-Upegui, D. Castro-Roa, J. E. García-Melo, L. J. García-Melo y M. E. Herrada-Yara. 2006. Peces del alto Magdalena, cuenca del río Magdalena, Colombia. *Biota Colombiana* 7 (1): 3-22.
- Villa-Navarro, F. A., G. Reinoso-Florez, S. Losada-Prado y J. E. García-Melo. 2012. Programa para Manejo y Protección del recurso íctico y pesquero de la cuenca alta del río Magdalena, en el área de influencia del proyecto hidroeléctrico El Quimbo. Informe Final. Contrato CEQ-313, Suministro de Servicios celebrado entre EMGESA S. A. E.S.P. y la Universidad del Tolima. Ibagué, Tolima. 540 pp.
- Wiggins, G. 1996. Larvae of the North American caddisfly genera (Trichoptera). Second edition. University of Toronto Press. Toronto, Canadá. 401 pp.

- Wiggins, G. 2004. Caddisflies: the underwater architects. University of Toronto Press. Toronto, Canadá. 292 pp.
- Winemiller, K. O. 1989. Patterns of variation in life history among South American fishes in seasonal environments. *Oecologia* 81: 225-241.
- Winemiller, K. O. y D. C. Taphorn. 1989. La Evolución de las Estrategias de Vida en los Peces de los Llanos Occidentales de Venezuela. *BioLlania* 6: 77-122.
- Winemiller, K. O. y D. B. Jepsen. 1998. Effects of seasonality and fish movement on tropical river food webs. *Journal of Fish Biology* 53: 267-296.

Francisco Antonio Villa-Navarro
Grupo de Investigación en Zoología
Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima
favilla@ut.edu.co

Luis José García-Melo
Grupo de Investigación en Zoología
Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima
luchojgm@gmail.com

Pamela Tatiana Zúñiga-Upegui
Grupo de Investigación en Zoología
Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima
pamela_tatiana@msn.com

Jorge Enrique García-Melo
Grupo de Investigación en Zoología
Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima
jegarcia@ut.edu.co

Jhonatan Mauricio Quiñones-Montiel
Grupo de Investigación en Zoología
Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima
jhoqui23@gmail.com

Juan Gabriel Albornoz-Garzón
Grupo de Investigación en Zoología
Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima
gabalbornoz15@gmail.com

Cristhian Camilo Conde-Saldaña
Grupo de Investigación en Zoología
Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima
ccconde27@gmail.com

Gladys Reinoso-Flórez
Grupo de Investigación en Zoología
Facultad de Ciencias, Universidad del Tolima
greinoso@ut.edu.co

Diana María Gualtero-Leal
Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo, Emgesa S. A. E.S.P.
dgualtero@endesacolombia.com.co

Victor Julio Ángel-Rojas
Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo, Emgesa S. A. E.S.P.
vangelro@endesacolombia.com.co

- Yañez-Arancibia, A. A. L., A. Lara Domínguez, S. Aguirre León, F. Díaz Ruiz, D. Amezcua -Linares, F. Hernández y P. Chavance. (1985). Ecología de las poblaciones de peces dominantes en estuarios tropicales: factores ambientales que regulan las estrategias biológicas y la producción. Pp. 511-566. *En: Yañez-Arancibia, A. (Ed.). Fish community ecology in estuaries and coastal lagoons. Toward an ecosystem integration. Editorial Universitaria UNAM, Programa Universitario de Alimentos, ICMYL, México.*

Historia de vida del bagre *Imparfinis usmai* Heptapteridae: Siluriformes) en el área de influencia del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, alto río Magdalena, Colombia

Cítese como: F. A. Villa-Navarro, L. J. García-Melo, P. T. Zúñiga-Upegui, J. E. García-Melo, J. Quiñones-Cediel, J. G. Albornoz, C. C. Conde, G. Reinoso-Flórez, D. M. Gualtero-Leal y V. J. Ángel-Rojas. 2014. Historia de vida del bagre *Imparfinis usmai* Heptapteridae: Siluriformes) en el área de influencia del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, alto río Magdalena, Colombia. *Biota Colombiana* 15 (2): 111-126.

Recibido: 1 de abril de 2014
Aprobado: 19 de diciembre de 2014

Dinámica espacial y temporal de los géneros ficoperifíticos del río La Miel (cuenca del río Magdalena), aguas abajo del embalse Amaní (Caldas, Colombia), entre 2006 y 2009

Mónica Tatiana López-Muñoz y Clara María Pérez-Gallego

Resumen

El río La Miel es un tributario de la cuenca del Magdalena (Colombia) y el principal afluente del embalse Amaní. Con el objetivo de establecer la dinámica espacial y temporal de la densidad y riqueza de los géneros algales del ficoperifiton aguas abajo del embalse, se analizaron datos obtenidos cada dos meses entre 2006 y 2009, en siete estaciones (cinco en el cauce principal y dos en ríos afluentes). Se registraron 130 géneros y 15 clases, de las cuales Cyanophyceae y Bacillariophyceae fueron las más representativas en densidad y frecuencia. Tanto la densidad como la riqueza genérica presentaron variaciones significativas en la dimensión espacial, pero no diferenciaron las estaciones de los afluentes sobre el río La Miel y no mostraron un patrón claro de variación relacionado con los periodos hídricos. Sin embargo, se observaron cambios de la riqueza entre muestreos y una clara asociación entre la comunidad y parámetros relacionados con la dinámica hídrica. Se concluye que aunque las variables analizadas no están limitadas por la descarga, otras características estructurales de la comunidad tales como la composición taxonómica y la diversidad son afectadas, especialmente en el sitio de influencia directa de este proceso.

Palabras clave. Algas perifíticas. Hidroeléctrica. Río regulado. Embalses.

Abstract

La Miel River is a tributary of the Magdalena basin and the main tributary of the Amaní reservoir. In order to establish the spatial and temporal dynamics of periphytic algae genera downstream of the reservoir, data collected every two months between 2006 and 2009, at seven sampling sites (five in the main channel and two tributaries) were analyzed. 130 genera and 15 classes were recorded, Cyanophyceae and Bacillariophyceae being the most representative in density and frequency. Both the generic density and richness showed significant variations in the spatial dimension, but did not differentiate the sampling sites on the La Miel River from those in tributaries and did not show a specific pattern related to hydrological seasons; but changes of richness were observed between samples and a association between the algal community and parameters related to water dynamics was found. We conclude that although the variables analyzed are not limited by the discharge, other structural characteristics of the community such as the taxonomic composition and diversity are affected, especially at the site of direct influence of this process.

Key words. Periphytic algae. Hydroelectric. Regulated river. Reservoir.

Introducción

En las últimas décadas el ficoperifiton ha sido intensamente estudiado a nivel mundial, tanto por su amplio reconocimiento como indicador ambiental de la calidad de los sistemas acuáticos, como por su función como productor primario y por ser un componente fundamental en los ciclos biogeoquímicos de dichos sistemas (Stevenson *et al.* 1996, Roldán y Ramírez 2008).

El desarrollo de esta comunidad es función de diversos factores, entre los que se destacan la disponibilidad de luz, la temperatura, la transparencia, el tipo y disponibilidad de los sustratos, la dinámica del agua, las concentraciones de nutrientes y materiales disueltos (fósforo, nitrógeno, sílice, carbono, calcio, hierro y cobre, entre otros), el pH y el pastoreo (Biggs 2000, Stevenson *et al.* 2006, Roldán y Ramírez 2008).

En ríos regulados, se ha encontrado generalmente una correlación negativa entre las fuertes descargas de agua y la riqueza y biomasa algal (Acs y Kiss 1993, Zębek 2013). Sin embargo, se ha evidenciado que cuando las descargas generan nuevos hábitats para la colonización perifítica, se puede presentar un aumento en la riqueza (Zębek y Szymanska 2014).

Según Montoya-Moreno y Aguirre (2013), en los últimos 40 años se han realizado en algunas regiones colombianas numerosos estudios sobre las algas perifíticas, que han generado un conocimiento preliminar de la composición, estructura y dinámica de esta comunidad en diferentes sistemas acuáticos o humedales (p. e. embalses, ríos, ciénagas y lagos de inundación) y ante diversas condiciones ambientales. De esta manera, se ha establecido que las diatomeas, clorofitas, cianofitas y euglenofitas son los grupos predominantes en las comunidades ficoperifíticas y que características tales como el caudal, el tipo de hábitat, la conductividad eléctrica, el pH, el potencial redox y los usos del suelo son altamente influyentes en la estructura y dinámica de dichas comunidades en los sistemas lóticos.

No obstante lo anterior y pese al creciente número de embalses en Colombia (Roldán y Ramírez 2008), hasta ahora no se ha publicado información sobre

cuerpos de agua en los que su caudal ha sido regulado por la descarga de este tipo de sistemas. Por esta razón y para responder a la pregunta ¿cómo varían espacial y temporalmente la densidad y riqueza de los géneros del ficoperifiton aguas abajo del embalse Amaní y cuál es su relación con la descarga de la Central Hidroeléctrica Miel I?, se realizó la recopilación y análisis de la información obtenida por Isagen S. A. entre 2006 y 2009.

Debido a que las velocidades altas de las corrientes afectan el crecimiento y la producción del perifiton por la acción del lavado, la abrasión y la turbidez, limitan el establecimiento de numerosos organismos, disminuyen la solubilidad y disponibilidad de sustancias disueltas, tales como el oxígeno y los nutrientes (Roldán y Ramírez 2008); y de acuerdo con los resultados de diferentes estudios en ríos de caudal regulado (mencionados anteriormente), se prevé que en los periodos de mayor caudal, así como en las estaciones de muestreo directamente influenciadas por las descargas de la central, la comunidad presente menor densidad y riqueza de géneros ficoperifíticos.

Material y métodos

Área de estudio

El río La Miel está localizado en el oriente del departamento de Caldas (Colombia), en la vertiente oriental del ramal central de la cordillera de los Andes. Tiene un área total de 2367 km² y pertenece a la gran cuenca del río Magdalena. Su nacimiento se ubica en La Cuchilla de La Picota (aproximadamente a 3600 m s.n.m.) en el municipio de Pensilvania (Caldas) y luego de 104 km de recorrido suroeste – noreste, desemboca en en la margen izquierda del cauce del río Magdalena a 146 m s.n.m. (Isagen S.A. 2007).

Sobre este río y después del embalse Amaní que surte a la Central Hidroeléctrica Miel I, se establecieron cinco estaciones de muestreo en el continuo del río, para evaluar los efectos de la presa y el agua turbinada en el cauce: Puente Hierro (ubicada aguas abajo de la presa, en el tramo anterior a la descarga de turbinas), Túnel de Fuga (que corresponde al sitio de salida del agua

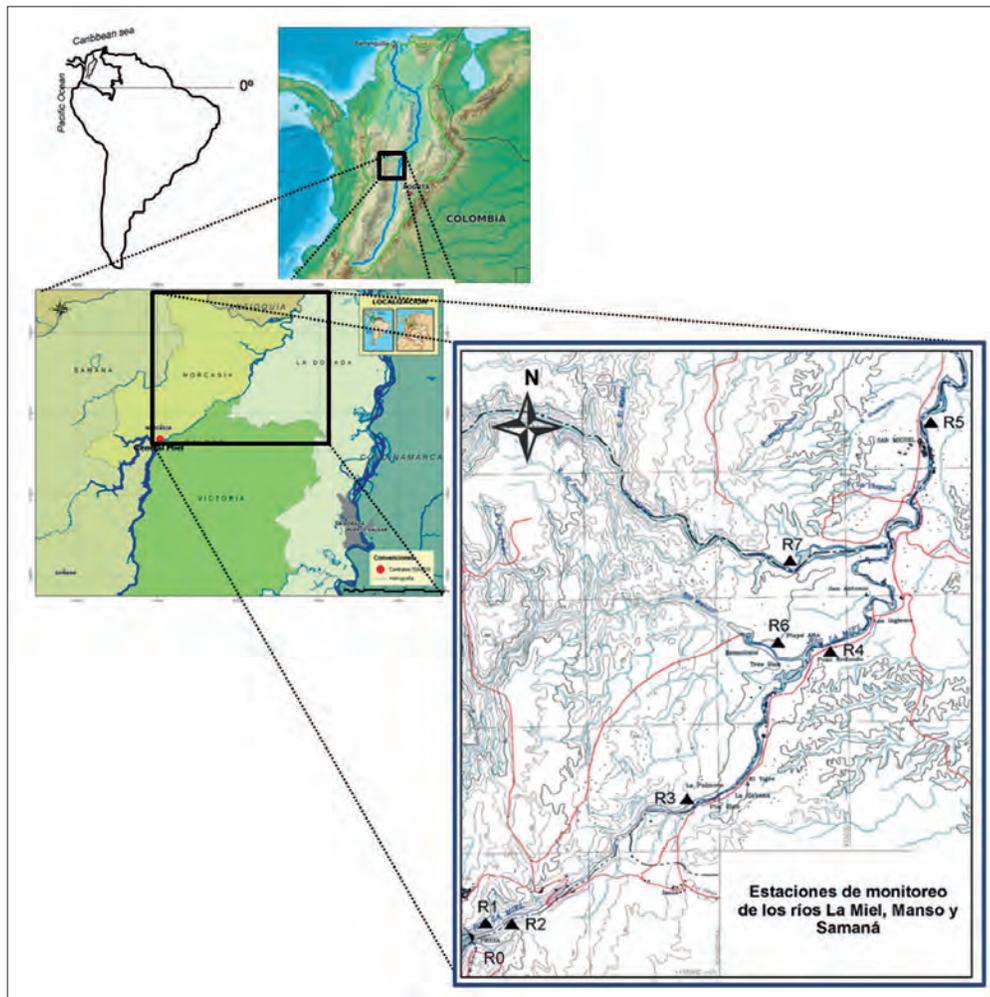


Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del río La Miel y de las estaciones de monitoreo. **R1:** Puente hierro. **R2:** Túnel de fuga. **R3:** La Palmera. **R4:** La Cachaza. **R5:** San Miguel. **R6:** río Manso. **R7:** río Samaná. Fuente: Isagen S. A. 2007.

turbinada), La Palmera, La Cachaza y San Miguel. Adicionalmente, se establecieron dos estaciones más en los ríos tributarios Manso y Samaná, antes de su confluencia con el río La Miel, como sitios de control (Figura 1). En la tabla 1 se especifican algunas de las características físicas en las estaciones de muestreo (Isagen S.A. 2010, 2011).

Material y métodos

Para este análisis se utilizaron los resultados de las variables físicas y químicas y los listados de composición y densidad (individuos.cm⁻²) del ficoperifiton, obtenidos por Isagen S.A., a través de

diferentes instituciones consultoras, en monitoreos realizados cada dos meses en las estaciones de muestreo, durante el periodo comprendido entre 2006 y 2009.

El muestreo del perifiton se realizó en 10 sustratos inmersos en el lecho de la corriente, distribuidos en trayectos longitudinales aproximados de 150 m en cada estación. Con cepillos plásticos (uno para cada estación) se removió el material adherido a diferentes sustratos utilizando como unidad de área cuadrantes de 10 cm², hasta obtener un área de 100 cm² de raspado. Las muestras colectadas se fijaron con solución de lugol al 10% y se mantuvieron en oscuridad hasta el análisis.

Tabla 1. Características de las estaciones de muestreo sobre el río La Miel y en los afluentes ríos Manso y Samaná.

Estación	Localización	Caudal medio histórico 2006-2009 (m ³ .seg ⁻¹)	Velocidad del agua (cm.seg ⁻¹)	Principales componentes del lecho	Incidencia de luz	
Río La Miel	Puente Hierro	05°34'13"N-74°21'39"O	0,86 ± 0,13	0,40 ± 0,12	Rocas, guijarros, arena	Alta transparencia, sombreado aprox. 50%
	Túnel de Fuga	05°34'36"N-74°51'08"O	88,06 ± 72,09	2,30 ± 0,90	Rocas, guijarros	Alta transparencia, sombreado aprox. 80%
	La Palmera	05°36'37"N-74°47'58"O	98,65 ± 73,23	1,40 ± 0,80	Rocas, guijarros	Alta transparencia, sombreado aprox. 30%
	La Cachaza	05°39'45"N-74°46'02"O	140,11 ± 84,32	1,60 ± 0,70	Grava, arena	Baja transparencia, sombreado ausente
	San Miguel	05°45'16"N-74°42'52"O	328,85 ± 181,98	2,00 ± 0,60	Grava, arena	Baja transparencia, sombreado ausente
Tributario	Río Manso	05°39'30"N-74°46'36"O	19,62 ± 16,51	1,60 ± 0,50	Grava, arena	Alta transparencia, sombreado ausente
	Río Samaná	05°41'34"N-74°46'43"O	182,09 ± 130,94	1,60 ± 0,50	Guijarros, grava, arena	Baja transparencia, sombreado ausente

La determinación taxonómica se realizó mediante las claves e ilustraciones de Prescott (1962), Bicudo y Bicudo (1970), González (1988), Cox (1996), Ramírez (2000), Menezes y Alves (2001) y Bicudo y Menezes (2006). Debido a que para la identificación solo se utilizó microscopía óptica y no se realizaron medidas de los organismos, ni se eliminó la materia orgánica de las muestras (para el caso específico de las diatomeas), que facilitan la determinación hasta el nivel de especie, este análisis se realizó con la categoría de género como máximo nivel taxonómico.

El conteo algal se realizó en cámaras de Kolwitz bajo microscopio invertido, a una magnificación total de 400 X, en 30 campos, siguiendo la metodología de campos al azar y los resultados se reportaron en individuos.cm⁻². Cada taxón fue clasificado de acuerdo con su abundancia y frecuencia como dominante, común, ocasional o raro, según la prueba de asociación de Olmstead y Tukey (1947).

Los resultados de densidad y riqueza ficoperifítica se evaluaron mediante análisis descriptivos y

exploratorios, por medio de estadísticos de tendencia central y de dispersión absoluta y relativa. La variación espacial (estaciones de muestreo) y temporal (periodos de muestreo) de la comunidad, se analizó mediante pruebas no paramétricas utilizando los contrastes de Kruskal-Wallis, la mediana y la prueba de Mann-Whitney, las cuales se ejecutaron en el programa SPSS (versión 11,5). Estas pruebas se verificaron con un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Para detectar agrupaciones de acuerdo con los factores de análisis definidos (estaciones y periodos de muestreo) y establecer la influencia de las variables físicas y químicas (periodo hídrico, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica, temperatura, DBO, DQO, concentraciones de sólidos, turbiedad, fosfatos, nitratos, hierro total, alcalinidad, dureza total y sulfuros) sobre los géneros dominantes del ficoperifiton, se realizó un Análisis de Correspondencia Canónica (CCA), previo Análisis "Destendenciado" (DCCA); mediante el programa CANOCO (versión 4,5). La totalidad de los datos se transformaron mediante raíz cuadrada, para reducir la heterogeneidad de las varianzas y se normalizaron antes de los análisis.

Resultados

Se registraron 130 géneros agrupados en 77 familias, 38 órdenes, 15 clases y ocho divisiones algales. El 16,15% de los taxones reportados (21) presentaron valores de frecuencia y densidad superiores a la media, por lo que según la prueba de asociación de Olmstead y Tukey (1947), fueron catalogados como dominantes (Anexo 1). Entre ellos, sólo los géneros de diatomeas *Cymbella*, *Fragilaria*, *Gomphonema*, *Navicula*, *Nitzschia* y *Ulnaria*, la Cyanophyta *Oscillatoria* y la Carophyta *Spirogyra* se encontraron en todos los años de estudio.

Las clases taxonómicas más representativas tanto en frecuencia como en densidad fueron Cyanophyceae y Bacillariophyceae. La primera de ellas, especialmente en las estaciones Túnel de Fuga, La Cachaza, río Manso, río Samaná y San Miguel y la segunda en la estación Puente Hierro (Figura 2).

La densidad total presentó un intervalo entre 367,71 y 26212941,08 ind.cm⁻² (Anexo 2), un valor medio de 224933,42 ind.cm⁻² (CV=927,98%) y una

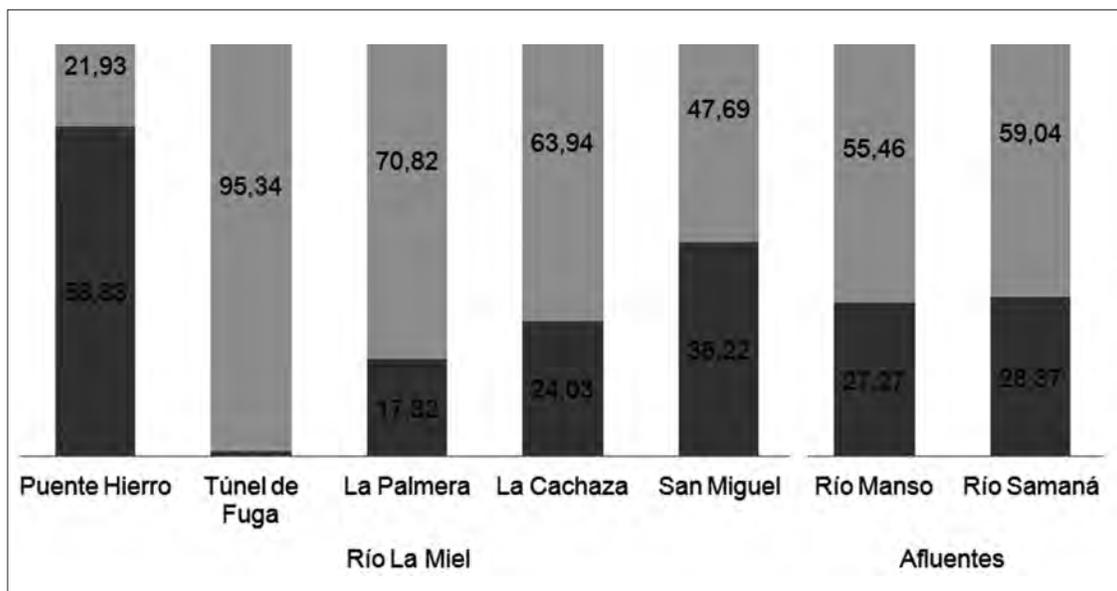


Figura 2. Densidad relativa de las clases taxonómicas ficoperifíticas en las estaciones de muestreo del río La Miel aguas abajo del embalse Amaní y los afluentes ríos Manso y Samaná entre 2006 y 2009.

mediana de 20966,98 ind.cm⁻², e indicó diferencias estadísticamente significativas en la dimensión espacial ($r^2=28,26$; $p=0,00$), mientras a nivel temporal no se evidenció este comportamiento ($r^2=10,82$; $p=0,06$).

En la mayoría de los muestreos realizados en las estaciones Puente Hierro, Túnel de Fuga, La Palmera y río Samaná, los valores de densidad fueron superiores a la media y la mediana de esta variable (debido a que la distribución de este factor fue altamente asimétrica, y la figura se graficó con el resultado de la mediana para lograr una mejor observación); mientras en La Cachaza, San Miguel y río Manso, más del 50% de los resultados estuvieron por debajo de estas medidas (Figura 3 y Anexo 3).

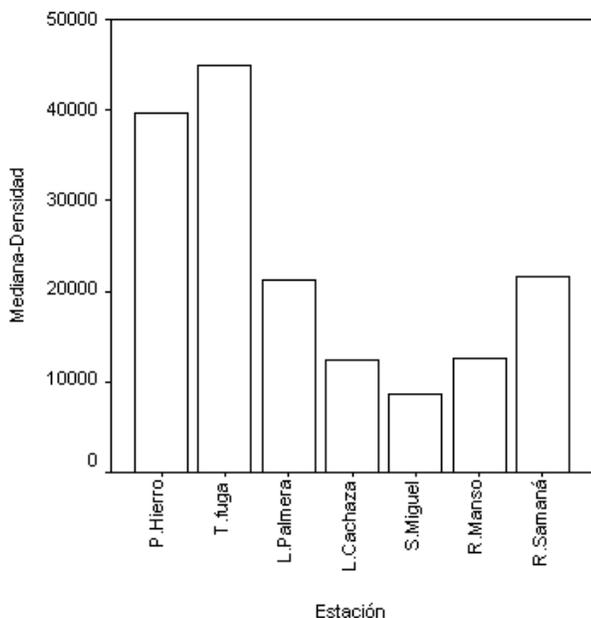


Figura 3. Mediana de la densidad total (ind.cm⁻²) en las estaciones de muestreo del río La Miel aguas abajo del embalse Amaní y los afluentes ríos Manso y Samaná entre 2006 y 2009.

La riqueza varió entre 3 y 36 taxones (Anexo 2), presentó un valor medio de 17,78 (CV=38,89%) y una mediana de 17 taxones. Esta variable indicó diferencias estadísticamente significativas en la dimensión espacial ($r^2=25,68$; $p=0,00$), pero no en la temporal ($r^2=3,52$; $p=0,32$). De manera similar al comportamiento observado para la densidad, en las

estaciones Puente Hierro, Túnel de Fuga, La Palmera y río Samaná, la mayor parte de los resultados fueron superiores al valor medio de riqueza (Figura 4 y Anexo 3).

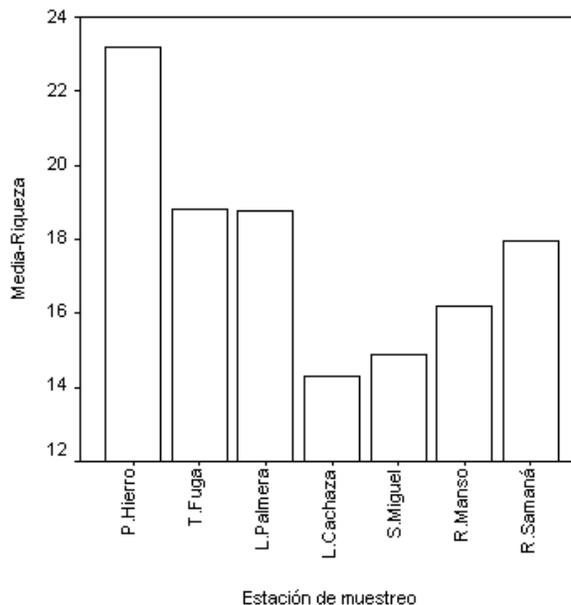


Figura 4. Media de la riqueza (S) en las estaciones de muestreo del río La Miel aguas abajo del embalse Amaní y los afluentes ríos Manso y Samaná entre 2006 y 2009.

El Análisis de Correspondencia Canónica detectó una relación predictiva entre algunas de las características del agua y ocho de los géneros dominantes del ficoperifiton ($F\text{-ratio}=3,25$; $p=0,00$; número de permutaciones= 499) y explicó el 92,70% de la variación de los datos en los cuatro componentes del análisis, con un 59,10% en el primer eje y un 76,70% acumulado en el segundo (Anexo 4 y Figura 5).

Este análisis indicó una relación directa entre las concentraciones de sólidos disueltos totales y de sulfuros con los géneros *Peridinium* y *Phormidium* y asociaciones inversas entre dichos factores y los géneros *Anabaena* y *Characium*, así como entre el caudal y la concentración de oxígeno disuelto con los géneros *Cosmarium* y *Spirogyra* (Figura 5). Los demás géneros considerados presentaron aportes inferiores al 0,5 de la varianza en los dos primeros ejes. En relación con los factores de agrupación (estaciones y periodos de muestreo), los muestreos analizados no conformaron grupos claros.

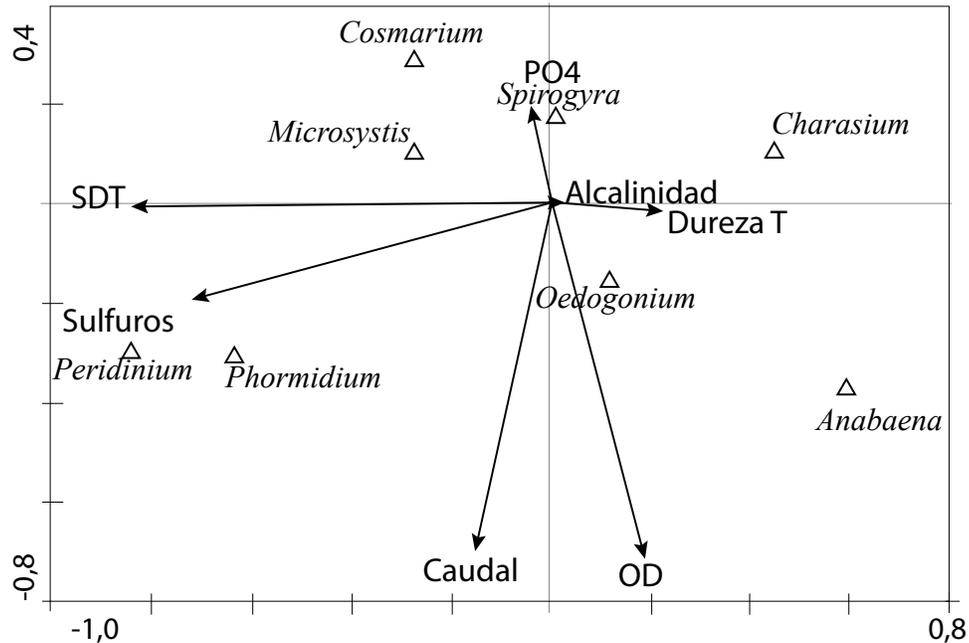


Figura 5. Diagrama de ordenación mediante ACC de los géneros ficoperifíticos dominantes y las variables ambientales de mayor aporte a la varianza en el río La Miel aguas abajo del embalse Amaní y los afluentes ríos Manso y Samaná entre 2006 y 2009.

Discusión

La alta representatividad de géneros de Cyanophyceae y Bacillariophyceae en el ficoperifiton de sistemas lóticos ha sido documentada por diversos autores (Ramírez y Viña 1998, Rivera-Rondón y Diaz-Quiroz 2004, Müllner y Schagerl 2003, Hernández y Nates 2005, Allan y Castillo 2007, entre otros), que indican que algunas de las condiciones que favorecen la proliferación de estos grupos algales en el perifiton son las características morfológicas que les facilitan la adhesión a los sustratos (p. e. alta densidad, matrices y/o pedúnculos de mucílago), sus áreas amplias de distribución y su eficiencia reproductiva alta.

No obstante lo anterior, en el perifiton es más común la predominancia de diatomeas (Montoya-Moreno y Aguirre 2013), lo cual se debe –entre otras razones– a que muchos de los géneros que conforman este grupo colonizan los sustratos desde las primeras etapas de la sucesión y permanecen a lo largo de este proceso y a que los tamaños de muchos de los organismos permiten la colonización en superficies pequeñas, por

lo que presentan ventajas competitivas en sitios de flujo de corriente (Moschini *et al.* 1998, Lima 2009, Rodrigues *et al.* 2003).

De esta forma, la mayor densidad de Cyanophyceae en seis de las siete estaciones analizadas (excepto en Puente Hierro), puede relacionarse con la influencia frecuente de factores de perturbación que controlan la biomasa ficoperifítica (p. e. variaciones constantes de la transparencia y el nivel del agua, las cuales fueron observadas a lo largo del estudio), pues según Biggs (1996) esta condición favorece su dominancia, debido a la amplia tolerancia ambiental de los géneros que conforman el grupo. Además, Komárek (2003) indica que la proliferación de algas de esta división está significativamente relacionada con la intensidad de luz, lo que sumado a lo anterior puede favorecer un mayor desarrollo en los sitios con menos cobertura vegetal sobre las márgenes, como es el caso de las estaciones La Cachaza, San Miguel, río Manso y río Samaná.

En relación con la dinámica ficoperifítica, se observó que los factores analizados (densidad y riqueza) presentaron una tendencia temporal relativamente homogénea, mientras que en la dimensión espacial se registró una clara variación que separó dos grupos de estaciones: uno conformado por los sitios con mayores valores medios para ambas variables (Puente Hierro, Túnel de Fuga, La Palmera y río Samaná) y el segundo compuesto por las estaciones en las cuales dichos parámetros presentaron menores valores medios (La Cachaza, San Miguel y río Manso).

Según Montoya-Moreno (1998), Fayolle *et al.* (1999), Bertrand *et al.* (2001), Martínez y Donato (2003), Ramírez y Plata-Díaz (2008), Zapata y Donato (2008), entre otros, el caudal del agua y las variaciones en el flujo son factores que limitan el desarrollo perifítico. De acuerdo con esto, el resultado obtenido – especialmente en relación con las estaciones Túnel de Fuga y río Manso –, dista un poco del esperado, pues el río Manso es un sistema no regulado, con poco caudal y baja velocidad del agua (Tabla 1), en el que las algas no están limitadas por dichos factores; mientras Túnel de Fuga es el sitio más influenciado por las descargas; es decir, donde las variaciones de flujo son más fuertes y constantes y la velocidad media del agua es mayor (Tabla 1), por lo que se esperaba una comunidad ficoperifítica de baja riqueza y densidad.

De esta manera, es posible que características tales como el tamaño, disponibilidad y estabilidad de los sustratos (determinados en este caso por los componentes del lecho) ejerzan una mayor influencia que el caudal y las variaciones del flujo en la riqueza y densidad de dichas comunidades, tal como lo referencian Sand-Jensen (1983), Salazar (1989) y Díaz-Castro *et al.* (2008), pues entre los grupos de estaciones es evidente que esa condición del hábitat es relativamente común, ya que en los sitios del primero (Puente Hierro, Túnel de Fuga, La Palmera y río Samaná), se encuentran algunos componentes del lecho de mayor tamaño (guijarros y/o rocas) que además de brindar más área de superficie para la colonización, son menos inestables ante los movimientos del agua.

De todas formas, la dominancia alta de Cyanophyceae en la estación Túnel de Fuga (Figura 2) evidencia una condición alterada en este sitio, probablemente determinada por las descargas de la central, pues como

se mencionó anteriormente, estas algas presentan ventajas competitivas en sistemas bajo frecuentes cambios ambientales y en este sentido, los resultados sugieren que el efecto de dicha intervención opera más sobre la composición y diversidad de la comunidad ficoperifítica, que sobre la densidad y la riqueza (parámetros evaluados en este estudio). Esto puede dilucidarse además por la disminución paulatina de la dominancia entre las estaciones aguas abajo de la descarga. Adicionalmente, en el caso particular de Túnel de Fuga, el resultado obtenido también puede deberse a una baja presión por pastoreo, pues allí se evidenció la menor abundancia de macroinvertebrados acuáticos en todo el periodo de estudio (Isagen 2011).

Los resultados del análisis de correspondencia canónica sugieren que la dinámica ficoperifítica tiene una tendencia influenciada por las variaciones en el flujo del agua, pues los parámetros de mayor aporte a la varianza (especialmente el caudal y las concentraciones de oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales y sulfuros), están estrechamente relacionados con tales variaciones. De otro lado, el hecho de que el análisis multivariado no haya reflejado una distribución temporal ni espacial, puede obedecer a que el estudio se realizó considerando al género como máxima categoría taxonómica, pues en muchos casos, especies congénéricas presentan respuestas ambientales totalmente opuestas (Pinilla 2000) y en consecuencia, es altamente probable que una investigación a nivel de especies muestre diferencias en alguna o ambas de las dimensiones evaluadas (tiempo y espacio), especialmente cuando se analice su dinámica en función de las variaciones en el flujo del agua, lo cual evidenciaría con mayor precisión el efecto de la descarga sobre la estructura del ficoperifiton.

Conclusiones

La relativa similitud temporal de los atributos evaluados para la comunidad ficoperifítica (densidad y riqueza), así como entre las estaciones Puente Hierro (la cual es poco afectada por la generación), río Samaná (tributario del río La Miel que no recibe influencia de la operación), Túnel de Fuga y La Palmera (las dos estaciones más afectadas por la central hidroeléctrica), sugieren que la regulación

del río y los cambios generados por las descargas no limitan la proliferación algal, siendo posiblemente algunas características ambientales no contempladas en el estudio (disponibilidad, estabilidad y calidad de los sustratos, incidencia de luz, entre otros) o cuyos efectos se manifiestan en periodos de tiempo menores (deriva, pastoreo, etc.), los factores determinantes en estos parámetros.

No obstante, algunas características estructurales tales como la composición taxonómica y la diversidad ficoperifítica si parecen ser afectadas por la descarga, o por los efectos que este proceso genera en otras comunidades, especialmente en la estación Túnel de Fuga, donde se observó una dominancia alta de organismos ampliamente tolerantes a las variaciones ambientales, lo cual –entre otras razones–, puede estar relacionado con la poca presión por pastoreo ejercida por los macroinvertebrados acuáticos, los cuales son muy impactados por esta perturbación.

Finalmente, aunque la hipótesis sobre la disminución de la riqueza y la densidad del ficoperifiton en temporadas de mayor caudal, o en las estaciones más influenciadas por la regulación del río La Miel aguas abajo del embalse Amaní, puede ser rechazada con los resultados obtenidos en este estudio, es necesario destacar que otras características estructurales de la comunidad como la composición taxonómica y la diversidad, son claramente afectadas. Es evidente además, que para establecer con mayor precisión el impacto de la regulación sobre esta comunidad, es imperioso realizar los estudios con un mayor rigor en la determinación taxonómica.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo económico y la autorización para publicación de ISAGEN S.A., a Luz Fernanda Jiménez por los valiosos aportes y comentarios para la elaboración de esta investigación y a Isabel Cristina Gil Guarín por la traducción al inglés del resumen.

Los resultados de esta investigación provienen del convenio No. 46/3296 financiado por ISAGEN S.A.

Literatura citada

- Acs, E. y K. T. Kiss. 1993. Effects of water discharge on periphyton abundance and diversity in large river (River Danube, Hungary). *Hydrobiologia* 249: 125-133.
- Allan, J. y M. Castillo. 2007. Stream ecology. Second Edition. Springer. The Netherlands. 436 pp.
- Bertrand, C., V. Siauve, S. Fayolle y A. Cazaubon. 2001. Effects of hydrological regime on the drift algae in a regulated Mediterranean river (River Verdon, southeastern France). *Regulated Rivers: Research and Management* 17: 407-416.
- Biggs, B. J. F. 1996. Patterns in benthic algae of streams. Pp: 31-56. En: Stevenson, R. J., M. I. Bothwell y R. I. Lowe (Eds.). *Algal Ecology*. San Diego: Ecosystems. Academic Press. USA.
- Biggs, B. J. F. 2000. Eutrophication of streams and rivers: dissolved nutrient-chlorophyll relationships for benthic algae. *Journal of the North American Benthological Society* 21: 17-31.
- Bicudo, C. y R. Bicudo. 1970. Algas de águas continentais brasileiras. Fundação Brasileira para o desenvolvimento do Ensino de Ciências. São Paulo. 157 pp.
- Bicudo, C. y M. Menezes. 2006. Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições. São Carlos. 489 pp.
- Cox, E. J. 1996. Identification of freshwater Diatoms from live Material. Chapman & Hall, Londres. 158 pp.
- Díaz-Castro, J. G., B. Rider-Forsberg, J. E. Cavalcante da Silva y A. C. dos Santos. 2008. Fatores controladores da biomassa do ficoperifiton no Rio Jaú – Parque Nacional do Jaú (Amazônia Central). *Revista de Biología e Ciências da Terra* 8 (2): 93-104.
- Fayolle, S., A. Cazaubon y K. Comte. 1999. Responses and adaptative strategy of epilithic algae communities to different hydrological regimes. *Comptes Rendus de l'Académie Sciences., Serie III de la Vie-Life Science* 322 (5): 413-422.
- González de Infante, A. 1988. El plancton de las aguas continentales. O. E. A. Monografía No 33. Serie Biología. Washington D. C. 130 pp.
- Hernández, C. y J. Nates. 2005. Aspectos biológicos y ecológicos del humedal Tibanica. Pp. 35-72- En: Cap. III. Componente ecológico del humedal Tibanica. Plan de manejo ambiental del parque ecológico Distrital humedal Tibanica. Secretaría del Medio Ambiente. Bogotá.
- Isagen S. A. ESP. 2007. Monitoreo limnológico e hidrobiológico para el embalse Amaní-río La Miel y afluentes principales en el sector aguas abajo de la presa de la central hidroeléctrica Miel I, año 2006. Informe final. Universidad Católica de Oriente. **XX pp.**

- Isagen S. A. ESP. 2010. Monitoreo limnológico e hidrobiológico para el embalse Amaní-río La Miel y afluentes principales en el sector aguas abajo de la presa de la central hidroeléctrica Miel I, años 2008 y 2009. Informe final. Universidad Católica de Oriente.
- Isagen S. A. ESP. 2011. Dinámica de la comunidad de peces en la cuenca baja del río La Miel, bajo diferentes escenarios hidrológicos . Producto 1: análisis de la información física, química y biológica disponible para el periodo 2002- 2009 para la cuenca baja del río La Miel. Informe final. Universidad de Antioquia.
- Komárek, J. 2003. Coccoid and Colonial Cyanobacteria. Pp: 59-116. *En*: Wehr, J., R. Sheath (Eds.). *Fresh Water Algae of North America. Ecology and Classification*. Academic Press. USA.
- Lima, A. T. S. 2009. Colonização ficoperifítica em substrato artificial em riacho do semi-árido paraibano. Dissertação do Mestrado. Campina Grande: PRODEMA/ UFPB/ UEPB.
- Martínez, L. y J. C. Donato. 2003. Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia). *Caldasia* 25 (2): 337-354.
- Menezes, M., I. Alves. 2001. Biodiversidade de algas de ambientes continentais do Estado do Rio de Janeiro. Brasil. 254 pp.
- Montoya-Moreno, Y. 1998. Variación en la estructura de la comunidad perifítica colonizadora de sustratos artificiales en dos estaciones de muestreo, en la zona de ritral del río Medellín. Trabajo de pregrado. Universidad de Antioquia. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Medellín.
- Montoya-Moreno, Y. y N. Aguirre. 2013. Estado del arte del conocimiento sobre perifiton en Colombia. *Revista Gestión y Ambiente* 16 (3): 91-117.
- Moschini-Carlos, V., M. L. M. Pompeo, R. E. Henry y O. Rocha. 1998. Temporal variation in structure of periphytic algal communities on an artificial substratum in the Jurumirim reservoir, SP, Brazil. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*. 26: 1758-1763.
- Müllner, A. N. y M. Schagerl. 2003. Abundance and vertical distribution of the phytobenthic community within a pool and riffle sequence of an alpine gravel stream. *International Review Hydrobiology* 88 (3-4): 243-254.
- Olmstead, P. y J. W. Tukey. 1947. A corner test for association. *The Annals of Mathematical Statistics* 18 (4): 495-513.
- Pinilla, G. A. 2000. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia. 67 pp.
- Prescott, G. W. 1962. *Algae of the western Great Lakes area*. W.M.C. Brown Company Publishers, Iowa, USA. 977 pp.
- Ramírez, A. e Y. Plata-Díaz. 2008. Diatomeas perifíticas en diferentes tramos de dos sistemas lóticos de alta montaña (páramo de Santurbán, Norte de Santander, Colombia) y su relación con las variables ambientales. *Acta Biológica Colombiana* 13 (1): 199-216.
- Ramírez, G. y V. Viña. 1998. *Limnología Colombiana*. Universidad Jorge Tadeo Lozano- Exploration Company Limited (Colombia). Bogotá. Colombia. 293 pp.
- Ramírez, J. J. 2000. Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia. 297 pp.
- Rivera-Rondón, C. A. y C. Díaz-Quirós. 2004. Grandes taxones de fitobentos y su relación con la hidrología, física y química de pequeños ríos andinos. *Universitas Scientiarum* 9: 75-86.
- Rodrigues, L., D. Bicudo y V. Moschini-Carlos. 2003. O papel do perifiton em áreas alagáveis e nos diagnósticos ambientais. Pp: 211-229. *En*: Thomaz S. M. y L. M. Bini (Eds.). *Ecologia e Manejo de Macrófitas Aquáticas*. Eduem, Maringá.
- Roldán, G. y J. J. Ramírez. 2008. *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Segunda Ed. Medellín (Colombia). Editorial Universidad de Antioquia. 440 pp.
- Sand-Jensen, K. 1983. Physical and chemical parameters regulating growth of periphytic communities. Pp: 63-71. *En*: Wetzel, R. (Ed.). *Periphyton of freshwater ecosystems*. Dr. W. Junk Publishers, Te Hague.
- Salazar, C. 1989. Biomasa y producción primaria del perifiton en una sabana inundable de Venezuela. *Revista de Hidrobiología Tropical* 22 (3): 213-222
- Stevenson, R. J., M. L. Bothwell y R. L. Lowe. 1996. *Algal ecology. Freshwater Benthic ecosystems*. San Diego (U.S.A.): Academic Press. 753 pp.
- Stevenson, R. J., S. T. Rier, C. M. Riseng, R. E. Schultz y J. Wiley. 2006. Comparing effects of nutrients on algal biomass in streams in two regions with different disturbance regimes and with applications for developing nutrient criteria. *Hydrobiologia* 561: 149-165.
- Zapata, A. y J. Donato. 2008. Regulación hidrológica de la biomasa algal béntica. Pp: 103-125. *En*: Donato, J. (Ed.). *Ecología de un río de montaña de los Andes colombianos (río Tota, Boyacá)*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Colección Textos.
- Zębek, E. 2013. Seasonal dynamics of periphytic algae in the vicinity of the hydroelectric plant in the Pasłęka River (north-east Poland). *Ecohydrology & Hydrobiology* 13: 210-217.
- Zębek, E., U. Szymanska. 2014. Gastropod-periphytic algae relationships in the vicinity of the small hydroelectric plant on the Pasłęka River (north-east Poland). *Archives of Polish Fisheries* 22: 69-80.

Anexo 1. Géneros ficoperifíticos dominantes en las estaciones del río La Miel aguas abajo del embalse Amaní y los afluentes ríos Manso y Samaná entre 2006 y 2009.

División	Clase	Orden	Familia	Género
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>
			Gomphosphaeriaceae	<i>Coelosphaerium</i>
			Microcystaceae	<i>Microcystis</i>
		Nostocales	Nostocaceae	<i>Anabaena</i>
		Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Lyngbya</i>
				<i>Oscillatoria</i>
		Phormidiaceae	<i>Phormidium</i>	
Charophyta	Conjugatophyceae	Desmiales	Desmidiaceae	<i>Cosmarium</i>
		Zygnematales	Zygnemataceae	<i>Spirogyra</i>
Chlorophyta	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Characiaceae	<i>Characium</i>
		Chlamydomonadales	Chlorococcaceae	<i>Chlorococcum</i>
		Oedogoniales	Oedogoniaceae	<i>Oedogonium</i>
Heterokontophyta	Bacillariophyceae	Achnanthesales	Achnantheaceae	<i>Achnanthes</i>
		Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>
		Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella</i>
				<i>Encyonema</i>
			Gomphonemataceae	<i>Gomphonema</i>
		Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>
	Fragilariophyceae	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Trachelomonas</i>
Dinophyta	Dinophyceae	Peridinales	Peridiniaceae	<i>Peridinium</i>

Anexo 2. Régimen hídrico y resultados de la densidad total y la riqueza fítoperifítica en las estaciones y periodos de muestreo.

Muestreo		2006			2007			2008			2009		
Periodo	Estación	Régimen hídrico	Densidad total (ind.cm ⁻²)	Riqueza	Régimen hídrico	Densidad total (ind.cm ⁻²)	Riqueza	Régimen hídrico	Densidad total (ind.cm ⁻²)	Riqueza	Régimen hídrico	Densidad total (ind.cm ⁻²)	Riqueza
1	P. Hierro		54192,11	25		21015,87	15		131113,39	21		4118,56	19
	T. Fuga	Altas	25958,90	24		257200,00	9		72132,95	19	Altas	13328,83	11
	L. Palmera		23847,42	27		102171,09	15	Altas	24170,09	13		1663,24	12
	L. Cachaza		6233,00	19	Bajas	53598,89	12		40475,22	11		448,63	9
	S. Miguel	Subiendo	3603,71	25		15671,76	14		37861,50	13	Subiendo	367,71	8
	R. Manso		7637,40	24		12404,57	3		71534,27	17		448,04	8
	R. Samaná	Bajas	22912,39	24		17079,37	12	Bajas	34759,00	11	Altas	16444,89	15
	P. Hierro		4696,11	29	Bajas	4697777,78	18		89864,21	27		110862,20	29
2	T. Fuga	Bajando	44414,14	17		26212941,08	16		61398,55	28	Bajando	49025,28	26
	L. Palmera		9674,09	20		151000,00	8	Subiendo	76843,18	16	Altas	3955,62	10
	L. Cachaza	Altas	2172,67	15	Altas	15500,00	5	Bajando	26666,68	12	Bajando	833,91	10
	S. Miguel		3057,79	12		31000,00	7	Bajas	24983,02	11		368,27	6
	R. Manso	Subiendo	6378,68	17	Bajas	14000,00	8	Subiendo	14120,82	7	Altas	12532,27	11
	R. Samaná	Altas	10699,52	16	Altas	114000,00	19	Bajas	37301,42	9	Bajando	4921,92	10
	P. Hierro		18834,37	23		42400,00	18		36066,99	20		86585,80	30
	T. Fuga	Bajas	14096,25	18		9060,00	12		45304,40	17	Bajas	14248,14	13
3	L. Palmera		4952,98	19	Bajas	14120,00	22	Bajas	25763,73	14		45928,92	20
	L. Cachaza	Bajando	5185,90	17		2620,00	12		3332,19	9	Bajando	13860,62	8
	S. Miguel		5468,39	12		7760,00	16		6817,15	16		10579,25	12
	R. Manso	Altas	4810,09	15	Subiendo	12553,00	18	Altas	27233,51	8	Bajas	39163,28	18
	R. Samaná		21639,43	25	Bajando	2475,00	16	Bajas	51742,44	16		137021,95	15
	P. Hierro		24845,30	24	Subiendo	55620,00	15		16596,54	14		40760,35	27
	T. Fuga	Bajas	14224,02	28	Subiendo	20280,00	10	Subiendo	53464,57	14	Bajas	47645,95	20
	L. Palmera		7747,72	21	*				12118,10	13		28089,49	18
4	L. Cachaza		48131,36	28		47016,28	14		47016,28	14		16985,77	18
	S. Miguel		39275,90	30	Bajas	14100,00	19		93708,97	20		30763,68	20
	R. Manso	Bajando	20918,08	25	Subiendo	11100,00	19	Bajas	58676,17	18		35641,54	25
	R. Samaná	Bajas	55385,76	31	Bajas	104220,00	21		55829,92	20		4298,46	11

Cont. Anexo 2. Régimen hídrico y resultados de la densidad total y la riqueza ficoperifítica en las estaciones y periodos de muestreo.

Muestreo		2006			2007			2008			2009		
Periodo	Estación	Régimen hídrico	Densidad total (ind.cm ⁻²)	Riqueza	Régimen hídrico	Densidad total (ind.cm ⁻²)	Riqueza	Régimen hídrico	Densidad total (ind.cm ⁻²)	Riqueza	Régimen hídrico	Densidad total (ind.cm ⁻²)	Riqueza
5	P. Hierro	Bajas	40178,71	36	Altas	29622,60	21	Bajando	60931,21	27		41985,74	27
	T. Fuga		24492,61	34		67510,80	24		129378,82	25		50101,24	24
	L. Palmira	Bajando	12269,88	31	Bajas	31015,92	17	Subiendo	189142,33	23	Bajas	35749,02	26
	L. Cachaza	Subiendo	11131,56	28	Subiendo	3447,36	10	Altas	50870,67	17		64723,38	15
	S. Miguel		8638,97	17	Altas	2149,72	12	Subiendo	6323,83	6		17786,84	15
	R. Manso	Bajas	11710,24	27	Subiendo	4525,92	11	Altas	202413,44	23	Subiendo	50262,53	21
	R. Samaná		9248,36	21		13325,76	16	Subiendo	247114,72	19		35173,67	24
6	P. Hierro		39319,98	27		17870,00	13	Altas	38524,63	30		8950,04	21
	T. Fuga		21735,55	28	Altas	70830,00	8		14804,81	14	Bajas	21922,40	13
	L. Palmira	Subiendo	14668,61	35				Bajas	13073,10	12		18574,32	21
	L. Cachaza		1778,75	17				Bajando	724,71	7	Bajando	18477,58	22
	S. Miguel		2640,09	21		*			792,04	10	Bajas	22820,78	20
	R. Manso	Altas	6656,12	22				Bajas	3923,95	11		26950,09	16
	R. Samaná		21599,41	31	Altas	10506,00	17	Altas	6394,56	11	Altas	14000,34	21
Media aritmética		17549,10	23,45		896179,79	14,11		53364,48	15,79		28532,63	17,26	
Desviación estándar		14855,40	6,15		4409150,45	4,98		55126,03	6,09		29360,74	6,53	
Coefficiente de variación (%)		84,65	26,20		491,99	35,28		103,30	38,59		102,90	37,83	
Mediana		14855,40	23,45		896179,79	14,11		53364,48	15,79		28532,63	17,26	

* Información no disponible.

Periodo: 1: enero/febrero. 2: marzo/abril. 3: mayo/junio. 4: julio/agosto. 5: septiembre/octubre. 6: noviembre/diciembre.

Anexo 3. Variaciones significativas del análisis espacial de la densidad y la riqueza ficoperifítica en el río La Miel aguas abajo del embalse Amaní y los afluentes ríos Manso y Samaná entre 2006 y 2009.

Variable dependiente	Variable de agrupación	Contraste		p		
Densidad	Estación	P. Hierro	L. Cachaza	0,00		
			S. Miguel	0,00		
			R. Manso	0,00		
		T. Fuga	L. Cachaza	0,00		
			S. Miguel	0,00		
			R. Manso	0,00		
		S. Miguel	R. Samaná	0,02		
		Riqueza	Estación	P. Hierro	T. Fuga	0,03
					L. Palmera	0,02
L. Cachaza	0,00					
S. Miguel	0,00					
R. Manso	0,00					
R. Samaná	0,00					
T. Fuga	L. Cachaza			0,03		
L. Palmera	L. Cachaza			0,02		
	S. Miguel			0,04		
L. Cachaza	R. Samaná			0,04		

Anexo 4. Matriz del Análisis de Correspondencia Canónica sobre la relación entre los géneros dominantes del ficoperifiton y las variables ambientales del río La Miel aguas abajo del embalse Amaní y los afluentes ríos Manso y Samaná entre 2006 y 2009.

Componente	1	2	3	4
Valores propios	0,16	0,05	0,03	0,02
Correlaciones especie-ambiente	0,62	0,44	0,28	0,26
Varianza acumulada				
Especies	8,40	10,80	12,20	13,10
Especie-Ambiente	59,10	76,70	86,00	92,70
<i>Anabaena</i>	0,59	-0,37	-0,16	-0,07
<i>Characium</i>	0,45	0,10	0,01	-0,11
<i>Cosmarium</i>	-0,27	0,29	0,00	-0,21
<i>Microcystis</i>	-0,27	0,10	-0,35	0,14
<i>Oedogonium</i>	0,12	-0,16	0,13	0,11
<i>Peridinium</i>	-0,84	-0,30	0,08	-0,08
<i>Phormidium</i>	-0,64	-0,31	0,07	-0,10
<i>Spirogyra</i>	0,01	0,18	0,14	0,15
Variables Ambientales				
Caudal (F=2,06; p=0,02)	-0,15	-0,69	-0,14	-0,19
Oxígeno disuelto (F=2,29; p=0,02)	0,19	-0,71	-0,19	0,20
Sólidos disueltos totales (F=2,96; p=0,01)	-0,82	-0,01	-0,36	0,19
Ortofosfatos (F=2,76; p=0,04)	-0,04	0,20	0,05	0,91
Alcalinidad (F=2,06; p=0,04)	0,03	0,00	-0,83	-0,20
Dureza total (F=3,22; p=0,01)	0,23	-0,02	-0,60	0,07
Sulfuros (F=6,45; p=0,01)	-0,74	-0,19	0,23	-0,09

Anexo 5. Composición genérica y densidad del ficoperifiton del río La Miel aguas abajo del embalse Amaní y los afluentes ríos Manso y Samaná entre 2006 y 2009.

Género	2006						
	Febrero						
	P.H.	T.F.	L.P.	L.C.	S.M.	R.Man.	R.Sam.
<i>aff Geissleria</i>							
<i>Anabaena</i>	1.666,10	356,41	255,06	106,55	118,80	424,31	795,57
<i>Ankistrodesmus</i>							
<i>Anomoeoneis</i>	1.052,28	118,81	127,52	53,27	39,60	106,07	53,03
<i>Borzia</i>						106,07	
<i>Chaetophora</i>	613,83						159,11
<i>Characium</i>	87,68	118,81			39,60	106,07	
<i>Chroococcus</i>	16.661,01	3.920,57	3.570,74	2.716,96	1.425,66	2.757,98	3.977,85
<i>Closteriopsis</i>			382,58	53,27			
<i>Closterium</i>	438,45	59,40		106,55	39,60	636,45	106,08
<i>Cocconeis</i>							
<i>Coelastrum</i>				53,27			
<i>Coelosphaerium</i>	789,20	2.376,11	510,12	905,66	316,81	212,16	848,61
<i>Cosmarium</i>			127,52				
<i>Crucigenia</i>	87,68						
<i>Cyclotella</i>							
<i>Cylindrocystis</i>	438,45		255,06	53,27	39,60		
<i>Cylindrospermopsis</i>			127,52		39,60	106,07	
<i>Cymbella</i>	350,77	178,21	127,52	53,27	39,60	106,07	318,23
<i>Diatoma</i>	964,58	297,01	765,15	53,27	39,60	106,07	1.007,72
<i>Euglena</i>	87,68	59,40			39,60	106,07	
<i>Fragilaria</i>	3.069,14	891,04	1.275,27	319,64	198,01	212,16	4.773,42
<i>Gomphonema</i>		59,40	127,52		39,60	106,07	159,11
<i>Gonatozygon</i>						212,16	
<i>Gyrosigma</i>	87,68		127,52				
<i>Hapalosiphon</i>			127,52	53,27	39,60	106,07	
<i>Kirchneriella</i>							
<i>Lyngbya</i>	11.224,26	5.227,43	6.758,94	586,01	158,41	424,31	1.644,18
<i>Mallomonas</i>							
<i>Melosira</i>					39,60		
<i>Merismopedia</i>							
<i>Microcystis</i>							
<i>Mougeotia</i>	438,45	1.009,85	2.678,06	53,27	39,60	212,16	53,03
<i>Navicula</i>	438,45	59,40	127,52		39,60		795,57
Naviculaceae sp	2.016,86	1.247,45	892,70	53,27	39,60	106,07	2.068,48
<i>Nitzschia</i>			127,52				
<i>Oedogonium</i>		1.544,47					53,03
<i>Oocystis</i>		178,21	127,52				
<i>Oscillatoria</i>	5.349,07	6.415,48	3.315,70	106,55	158,41	106,07	2.970,13
<i>Peridinium</i>	175,38		127,52			212,16	

Cont. **Anexo 5.** Composición genérica y densidad del ficoperifiton del río La Miel aguas abajo del embalse Amaní y los afluentes ríos Manso y Samaná entre 2006 y 2009.

Género	2006						
	Febrero						
	P.H.	T.F.	L.P.	L.C.	S.M.	R.Man.	R.Sam.
<i>Phacus</i>							
<i>Pinnularia</i>	526,13	178,21	255,06		39,60	106,07	1.432,02
<i>Scenedesmus</i>	87,68				39,60		53,03
<i>Selenastrum</i>							
<i>Spirogyra</i>		59,40	127,52	53,27		106,07	106,08
<i>Staurastrum</i>							
<i>Surirella</i>	1.227,65	59,40	127,52	53,27	39,60		583,42
<i>Synedra</i>	350,77	59,40	127,52		39,60	106,07	159,11
<i>Tabellaria</i>							53,03
<i>Tetraëdron</i>		59,40					
<i>Trachelomonas</i>	5.962,88	1.425,66	1.147,73	799,11	514,82	848,61	477,34
<i>Zygonium</i>							265,19

Género	2006						
	Marzo						
	P.H.	T.F.	L.P.	L.C.	S.M.	R.Man.	R.Sam.
aff <i>Geissleria</i>							
<i>Anabaena</i>	291,24		254,58	65,84	195,18	676,53	524,49
<i>Ankistrodesmus</i>							
<i>Anomooneis</i>	36,41	44,50					
<i>Borzia</i>	29,12	356,03	84,86				
<i>Chaetophora</i>	40,05		84,86	263,36			104,89
<i>Characium</i>	14,56					96,64	
<i>Chroococcus</i>	36,41	16.733,18	2.036,66	65,84	455,42	676,53	1.048,98
<i>Closteriopsis</i>		44,50	848,61	65,84			
<i>Closterium</i>	47,32		254,58	65,84	65,06		
<i>Cocconeis</i>							
<i>Coelastrum</i>							
<i>Coelosphaerium</i>	25,49	1.246,08	84,86	65,84	260,25	289,94	524,49
<i>Cosmarium</i>		89,00	84,86	65,84			
<i>Crucigenia</i>							
<i>Cyclotella</i>	3,65						
<i>Cylindrocystis</i>	3,65	267,03					
<i>Cylindrospermopsis</i>	101,93	44,50					
<i>Cymbella</i>	91,01		84,86	65,84			209,80
<i>Diatoma</i>	200,21	489,53	424,31	131,67	65,06	386,58	839,18
<i>Euglena</i>	3,65					96,64	

Cont. **Anexo 5.** Composición genérica y densidad del ficoperifiton del río La Miel aguas abajo del embalse Amaní y los afluentes ríos Manso y Samaná entre 2006 y 2009.

Género	2006						
	Marzo						
	P.H.	T.F.	L.P.	L.C.	S.M.	R.Man.	R.Sam.
<i>Fragilaria</i>	393,17	2.848,22	254,58	460,88	195,18	289,94	1.153,87
<i>Gomphonema</i>	47,32		933,47		65,06		
<i>Gonatozygon</i>	18,20						
<i>Gyrosigma</i>	7,29					96,64	
<i>Hapalosiphon</i>	3,65					96,64	
<i>Kirchneriella</i>							
<i>Lyngbya</i>	1.186,76	6.808,98	1.272,92	65,84	65,06	869,82	1.993,04
<i>Mallomonas</i>							
<i>Melosira</i>							
<i>Merismopedia</i>							
<i>Microcystis</i>							
<i>Mougeotia</i>	10,91						524,49
<i>Navicula</i>	112,86	4.049,80	84,86	65,84	65,06	386,60	
Naviculaceae sp	163,82		169,73	65,84	325,30	676,53	524,49
<i>Nitzschia</i>			339,45				
<i>Oedogonium</i>		1.157,08					104,89
<i>Oocystis</i>							
<i>Oscillatoria</i>	1.492,54	4.895,35	2.036,66	131,68		676,53	1.888,15
<i>Peridinium</i>	7,29	44,50					
<i>Phacus</i>							
<i>Pinnularia</i>	25,49					193,30	209,80
<i>Scenedesmus</i>							
<i>Selenastrum</i>							
<i>Spirogyra</i>							
<i>Staurastrum</i>							
<i>Surirella</i>	116,48		84,86			193,30	104,89
<i>Synedra</i>	36,41		84,86		65,06	96,64	209,80
<i>Tabellaria</i>							
<i>Tetraëdron</i>		133,50					
<i>Trachelomonas</i>	149,27	5.162,38	169,73	526,73	1.236,14	579,88	734,29
<i>Zygogonium</i>							

Cont. **Anexo 5.** Composición genérica y densidad del ficoperifiton del río La Miel aguas abajo del embalse Amani y los afluentes ríos Manso y Samaná entre 2006 y 2009.

Género	2006						
	Mayo						
	P.H.	T.F.	L.P.	L.C.	S.M.	R.Man.	R.Sam.
<i>aff Geissleria</i>							
<i>Anabaena</i>	553,95	122,57	97,11				318,23
<i>Ankistrodesmus</i>							
<i>Anomooneis</i>	221,59		194,24		109,37	126,58	106,07
<i>Borzia</i>				235,73	109,37		106,07
<i>Chaetophora</i>	443,17	367,73				253,17	212,16
<i>Characium</i>	553,95			117,85	109,37		106,07
<i>Chroococcus</i>	5.761,10	5.638,53	1.942,37	1.414,35	3.390,27	2.025,34	2.015,44
<i>Closteriopsis</i>	110,78	122,57	97,11				742,54
<i>Closterium</i>	221,59	122,57		117,85		126,58	212,16
<i>Cocconeis</i>							
<i>Coelastrum</i>				117,85			
<i>Coelosphaerium</i>	1.107,91	122,57	97,11	589,31		126,58	742,54
<i>Cosmarium</i>			97,11			126,58	106,07
<i>Crucigenia</i>							
<i>Cyclotella</i>							
<i>Cylindrocystis</i>	110,78	122,57		235,73			
<i>Cylindrospermopsis</i>			97,11				
<i>Cymbella</i>	221,59					126,58	106,07
<i>Diatoma</i>	886,32	122,57	97,11	117,85			1.591,13
<i>Euglena</i>	221,59			117,85	109,37	126,58	212,16
<i>Fragilaria</i>	1.772,64	122,57	97,11	117,85	218,76	126,58	2.121,53
<i>Gomphonema</i>	332,37		97,11				106,07
<i>Gonatozygon</i>							
<i>Gyrosigma</i>			97,11				
<i>Hapalosiphon</i>		490,32	97,11			126,58	
<i>Kirchneriella</i>							
<i>Lyngbya</i>	1.772,64	3.309,56	291,35	117,85	109,37	126,58	1.060,76
<i>Mallomonas</i>							
<i>Melosira</i>							
<i>Merismopedia</i>							
<i>Microcystis</i>							
<i>Mougeotia</i>	110,78	122,57	194,24			126,58	636,45
<i>Navicula</i>	775,54	245,16	97,11	117,85			318,23
Naviculaceae sp	221,59			589,31	218,76	126,58	1.378,99
<i>Nitzschia</i>		367,73	97,11				
<i>Oedogonium</i>							106,07
<i>Oocystis</i>							

Cont. **Anexo 5.** Composición genérica y densidad del ficoperifiton del río La Miel aguas abajo del embalse Amaní y los afluentes ríos Manso y Samaná entre 2006 y 2009.

Género	2006						
	Mayo						
	P.H.	T.F.	L.P.	L.C.	S.M.	R.Man.	R.Sam.
<i>Oscillatoria</i>	1.661,86	1.225,77	388,48	235,73	437,51		6.788,87
<i>Peridinium</i>							
<i>Phacus</i>							
<i>Pinnularia</i>	110,78						106,07
<i>Scenedesmus</i>							
<i>Selenastrum</i>							
<i>Spirogyra</i>							
<i>Staurastrum</i>		122,57			109,37		
<i>Surirella</i>	110,78	122,57	194,24	235,73	109,37		318,23
<i>Synedra</i>	110,78			117,85		126,58	106,07
<i>Tabellaria</i>							
<i>Tetraëdron</i>							
<i>Trachelomonas</i>	1.440,28	1.225,77	582,71	589,31	437,51	1.012,67	2.015,44
<i>Zygonium</i>							

Género	2006						
	Julio						
	P.H.	T.F.	L.P.	L.C.	S.M.	R.Man.	R.Sam.
<i>aff Geissleria</i>							
<i>Anabaena</i>		251,76		228,66	346,04	136,71	207,44
<i>Ankistrodesmus</i>							
<i>Anomoeoneis</i>	1.096,12	62,93	93,34	228,66	259,53	1.230,48	829,75
<i>Borzia</i>		62,93				410,16	103,71
<i>Chaetophora</i>		62,93	186,70	228,66	346,05	136,71	
<i>Characium</i>	219,22				86,50	136,71	103,71
<i>Chroococcus</i>	1.826,87	3.021,05	2.333,67	8.231,50	2.768,35	4.375,04	25.099,95
<i>Closteriopsis</i>		1.447,58	746,78	914,61	86,50		
<i>Closterium</i>	949,97		93,34	800,28	346,04	683,60	933,47
<i>Cocconeis</i>							
<i>Coelastrum</i>							
<i>Coelosphaerium</i>	73,07		280,04	571,63	432,55	136,71	518,59
<i>Cosmarium</i>		62,93		114,32	173,03	136,71	103,71
<i>Crucigenia</i>							103,71
<i>Cyclotella</i>		62,93		114,32		136,71	
<i>Cylindrocystis</i>	73,07	188,81		114,32	86,50		103,71
<i>Cylindrospermopsis</i>		62,93	93,34				
<i>Cymbella</i>	584,60		93,34	800,28	6.142,27	1.230,48	1.037,19
<i>Diatoma</i>	292,29	629,38	93,34	1.028,95	519,06	957,05	207,44

Cont. **Anexo 5.** Composición genérica y densidad del ficoperifiton del río La Miel aguas abajo del embalse Amaní y los afluentes ríos Manso y Samaná entre 2006 y 2009.

Género	2006						
	Julio						
	P.H.	T.F.	L.P.	L.C.	S.M.	R.Man.	R.Sam.
<i>Euglena</i>	73,07			114,32		136,71	
<i>Fragilaria</i>	17.391,76	566,44	373,40	2.858,15	5.363,68	4.511,77	3.111,56
<i>Gomphonema</i>	146,15	62,93	93,34	114,32	432,55	136,71	
<i>Gonatozygon</i>			93,34				
<i>Gyrosigma</i>							103,71
<i>Hapalosiphon</i>		62,93		228,66	86,50		103,71
<i>Kirchneriella</i>	365,37				519,07		12.446,25
<i>Lynngbya</i>	73,07	2.580,48	1.213,51	27.324,01	12.630,59	820,32	103,71
<i>Mallomonas</i>		62,93					
<i>Melosira</i>		62,93			259,53	136,71	311,15
<i>Merismopedia</i>	73,07						
<i>Microcystis</i>		62,93				136,71	
<i>Mougeotia</i>	73,07	251,76		114,32	605,58		414,88
<i>Navicula</i>				114,32	605,58	136,71	1.244,63
<i>Naviculaceae sp</i>	365,37		93,34	457,31	1.384,17	1.093,76	4.252,47
<i>Nitzschia</i>		188,82	93,34				518,59
<i>Oedogonium</i>	73,07	62,93		228,66	259,53		103,71
<i>Oocystis</i>		125,88					
<i>Oscillatoria</i>	73,07	3.021,05	840,12	342,98	173,03	546,89	518,59
<i>Peridinium</i>		62,93		114,32	86,50		
<i>Phacus</i>							
<i>Pinnularia</i>		62,93	93,34		1.211,15		103,71
<i>Scenedesmus</i>	73,07			114,32	86,50	136,71	103,71
<i>Selenastrum</i>							
<i>Spirogyra</i>	73,07				86,50		103,71
<i>Staurastrum</i>							
<i>Surirella</i>	73,07		93,34	114,32		273,45	103,71
<i>Synedra</i>	292,30	62,93	93,34	457,31	1.557,20	136,71	518,59
<i>Tabellaria</i>			93,34				
<i>Tetraëdron</i>							
<i>Trachelomonas</i>	438,45	944,08	560,08	1.943,55	1.816,73	3.007,84	1.659,50
<i>Zygonium</i>	73,07	62,93		114,32	519,06		207,44

Cont. Anexo 5. Composición genérica y densidad del ficoperifiton del río La Miel aguas abajo del embalse Amaní y los afluentes ríos Manso y Samaná entre 2006 y 2009.

Género	2006						
	Septiembre						
	P.H.	T.F.	L.P.	L.C.	S.M.	R.Man.	R.Sam.
<i>aff Geissleria</i>							118,56
<i>Anabaena</i>	284,28		72,60			99,23	118,56
<i>Ankistrodesmus</i>	1.895,23	810,42					
<i>Anomoeoneis</i>	758,09		217,81	140,02	128,93	99,23	
<i>Borzia</i>		90,04	363,02			99,23	
<i>Chaetophora</i>	94,75	630,33	145,21	70,01			355,71
<i>Characium</i>							
<i>Chroococcus</i>	9.476,13	4.952,57	1.887,68	3.150,46	3.997,18	4.962,00	1.778,54
<i>Closteriopsis</i>	663,33	450,23	145,21	350,05	128,93	99,23	
<i>Closterium</i>	94,75	90,04	72,60				198,48
<i>Cocconeis</i>							118,56
<i>Coelastrum</i>							
<i>Coelosphaerium</i>	568,57	1.080,56	363,02	1.050,15	1.289,41	198,48	237,14
<i>Cosmarium</i>	189,53			70,01	128,93	99,23	118,56
<i>Crucigenia</i>	94,75					99,23	
<i>Cyclotella</i>	94,75	90,04	72,60	70,01		99,23	
<i>Cylindrocystis</i>	94,75						
<i>Cylindrospermopsis</i>		180,10					
<i>Cymbella</i>	5.117,11	90,04	290,41	350,05	128,93	198,48	118,56
<i>Diatoma</i>	4.074,73	990,51	1.597,27	980,14	128,93	396,96	474,28
<i>Euglena</i>			72,60				
<i>Fragilaria</i>	4.643,30	1.350,70	2.541,11	1.190,17	386,82	793,92	711,42
<i>Gomphonema</i>	189,53	1.080,56	72,60	70,01	128,93	99,23	
<i>Gonatozygon</i>							
<i>Gyrosigma</i>	94,75	90,04	72,60	70,01		99,23	
<i>Hapalosiphon</i>		90,04				694,68	
<i>Kirchneriella</i>							
<i>Lyngbya</i>	2.653,32	6.573,41		210,03	128,93	198,48	711,42
<i>Mallomonas</i>							
<i>Melosira</i>	94,75						118,56
<i>Merismopedia</i>	94,75						
<i>Microcystis</i>	189,53	90,04	72,60	70,01	128,93		355,71
<i>Mougeotia</i>	473,81	540,28	435,62	70,01		99,23	
<i>Navicula</i>	379,05	90,04	363,02	350,05		99,23	237,14
Naviculaceae sp	2.748,08	540,28	653,43	210,03	128,93	99,23	948,56
<i>Nitzschia</i>	284,28	90,04	72,60				355,70
<i>Oedogonium</i>	94,75	90,04	72,60	70,01		198,48	237,14
<i>Oocystis</i>							

Cont. **Anexo 5.** Composición genérica y densidad del ficoperifiton del río La Miel aguas abajo del embalse Amaní y los afluentes ríos Manso y Samaná entre 2006 y 2009.

Género	2006						
	Septiembre						
	P.H.	T.F.	L.P.	L.C.	S.M.	R.Man.	R.Sam.
<i>Oscillatoria</i>	1.516,18	1.710,89	72,60	420,06	128,93	99,23	1.422,83
<i>Peridinium</i>	94,75	90,04	145,21	70,01	257,89		
<i>Phacus</i>		90,04		70,01			
<i>Pinnularia</i>	189,53	90,04	653,43			99,23	
<i>Scenedesmus</i>	94,75		72,60	140,02			
<i>Selenastrum</i>	379,05						
<i>Spirogyra</i>		90,04	217,81	70,01	128,93		
<i>Staurastrum</i>		90,04					
<i>Surirella</i>	473,81	90,04	72,60	70,01		99,23	118,56
<i>Synedra</i>	379,05	90,04	217,81	210,03	128,93	198,48	118,56
<i>Tabellaria</i>	94,75	270,14	72,60	70,01			
<i>Tetraëdron</i>	189,53	90,04	145,21			99,23	
<i>Trachelomonas</i>	1.326,66	1.620,84	943,84	1.400,20	1.160,47	2.084,04	474,28
<i>Zygonium</i>		90,04		70,01			

Género	2006						
	Noviembre						
	P.H.	T.F.	L.P.	L.C.	S.M.	R.Man.	R.Sam.
aff <i>Geissleria</i>			44,31				
<i>Anabaena</i>	107,72	106,54	44,31		37,71	44,08	44,08
<i>Ankistrodesmus</i>	1.400,44				37,71		
<i>Anomoeoneis</i>	215,46		44,31				
<i>Borzia</i>	107,72	106,54	44,31			44,08	44,08
<i>Chaetophora</i>	323,18	106,54	44,31			44,08	308,57
<i>Characium</i>		106,54	44,31	36,30		44,08	1.498,73
<i>Chroococcus</i>	7.756,28	2.770,23	2.082,86	762,33	829,75	1.146,09	1.983,62
<i>Closteriopsis</i>	107,72	106,54	44,31	36,30			44,08
<i>Closterium</i>	107,72	106,54	88,63	36,30		44,08	44,08
<i>Cocconeis</i>							88,16
<i>Coelastrum</i>							
<i>Coelosphaerium</i>	107,72			108,90	490,31	264,48	352,64
<i>Cosmarium</i>			44,31	36,30			
<i>Crucigenia</i>							
<i>Cyclotella</i>	323,18	106,54	177,27	36,30	75,43	88,16	528,97
<i>Cylindrocystis</i>		213,10	88,63			44,08	44,08
<i>Cylindrospermopsis</i>					37,71	44,08	44,08
<i>Cymbella</i>	430,91	106,54	132,95	36,30	37,71	44,08	352,64
<i>Diatoma</i>	2.046,79	106,54	531,79	36,30	75,43	176,33	2.821,15

Cont. **Anexo 5.** Composición genérica y densidad del ficoperifiton del río La Miel aguas abajo del embalse Amaní y los afluentes ríos Manso y Samaná entre 2006 y 2009.

Género	2006						
	Noviembre						
	P.H.	T.F.	L.P.	L.C.	S.M.	R.Man.	R.Sam.
<i>Euglena</i>	107,72	106,54	44,31	36,30			44,08
<i>Fragilaria</i>	2.908,60	106,54	443,16	36,30	37,71	44,08	1.939,54
<i>Gomphonema</i>	538,63	106,54	221,58	36,30	37,71		132,24
<i>Gonatozygon</i>							
<i>Gyrosigma</i>			44,31				44,08
<i>Hapalosiphon</i>	107,72		44,31			88,16	88,16
<i>Kirchneriella</i>							
<i>Lyngbya</i>	12.819,40	10.654,75	5.140,68		75,43	2.865,23	3.658,68
<i>Mallomonas</i>		106,54					
<i>Melosira</i>							44,08
<i>Merismopedia</i>							
<i>Microcystis</i>	323,18	213,10	44,31			44,08	88,16
<i>Mougeotia</i>	215,46	106,54	44,31	36,30		88,16	
<i>Navicula</i>	430,91	213,10	265,89	145,21	37,71		1.586,90
Naviculaceae sp	3.016,33		177,27		37,71	44,08	2.159,94
<i>Nitzschia</i>	754,09	106,54	132,95		75,43	44,08	176,33
<i>Oedogonium</i>	430,91	106,54	44,31				44,08
<i>Oocystis</i>							
<i>Oscillatoria</i>	2.800,88	4.688,09	3.235,08	72,60	75,43	617,12	2.336,27
<i>Peridinium</i>			44,31		37,71		
<i>Phacus</i>					37,71		
<i>Pinnularia</i>		106,54	44,31		37,71		44,08
<i>Scenedesmus</i>							
<i>Selenastrum</i>							
<i>Spirogyra</i>		106,54	44,31				
<i>Staurastrum</i>							
<i>Surirella</i>	107,72	106,54	44,31		37,71	44,08	220,40
<i>Synedra</i>	107,72		88,63	36,30			44,08
<i>Tabellaria</i>							
<i>Tetraëdron</i>		106,54	132,95		75,43		
<i>Trachelomonas</i>	1.615,89	745,84	886,33	254,11	414,87	749,37	749,37
<i>Zygonium</i>		106,54	44,31				

Mónica Tatiana López-Muñoz
Grupo LimnoBasE y Biotamar – Universidad de Antioquia
Grupo de Limnología y Recursos Hídricos – Universidad
Católica de Oriente
monicatiana@gmail.com

Clara María Pérez-Gallego
Isagen S. A. ESP
cperez@isagen.com.co

Dinámica espacial y temporal de los géneros ficoperifíticos
del río La Miel (cuenca del río Magdalena), aguas abajo
del embalse Amaní (Caldas, Colombia), entre 2006 y 2009

Cítese como: López-Muñoz, M. T. y C. M. Pérez-Gallego.
2014. Dinámica espacial y temporal de los géneros
ficoperifíticos del río La Miel (cuenca del río Magdalena),
aguas abajo del embalse Amaní (Caldas, Colombia), entre
2006 y 2009. *Biota Colombiana* 15 (2): 127-151.

Recibido: 27 de febrero de 2014
Aprobado: 15 de noviembre 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)¹. 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)².

¿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*³ (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 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_avestiniye 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

¹ 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>.

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

³ 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, 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 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 título .
AUTORES	Derivado de los elementos creador del recurso, proveedor de los metadatos y partes asociadas .
AFILIACIONES	Derivado de los elementos creador del recurso, proveedor de los metadatos y partes asociadas . De estos elementos, la combinación de organización, dirección, código postal, ciudad, país y correo electrónico , constituyen la afiliación.
AUTOR DE CONTACTO	Derivado de los elementos creador del recurso y proveedor de los metadatos.
CITACIÓN	Para uso de los editores.
CITACIÓN DE RECURSO	Derivada del elemento referencia del recurso .
RESUMEN	Derivado del elemento resumen . Máximo 200 palabras.
PALABRAS CLAVE	Derivadas del elemento palabras clave . Máximo seis palabras.
ABSTRACT	Derivado del elemento abstract . Máximo 200 palabras.
KEY WORDS	Derivadas del elemento key words . Máximo seis palabras.
INTRODUCCIÓN	Derivado del elemento propósito (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: título, nombre, apellido, rol, fuentes de financiación, descripción del área de estudio y descripción del proyecto.
Cobertura taxonómica	Derivada de los elementos de la sección Cobertura taxonómica: descripción, nombre científico, nombre común y categoría.
Cobertura geográfica	Derivada de los elementos de la sección Cobertura geográfica: descripción, latitud mínima, latitud máxima, longitud mínima, longitud máxima.
Cobertura temporal	Derivada de los elementos de la sección Cobertura temporal: tipo de cobertura temporal.
Datos de la colección	Derivada de los elementos de la sección Datos de la colección: nombre de la colección, identificador de la colección, identificador de la colección parental, método de preservación de los especímenes y unidades curatoriales.
MATERIAL Y MÉTODOS	Derivado de los elementos de la sección Métodos de muestreo: área de estudio, descripción del muestreo, control de calidad, descripción de la metodología paso a paso.
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: nivel de jerarquía, fecha de publicación y derechos de propiedad intelectual.
DISCUSIÓN	Se deriva del elemento discusión . 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 agradecimientos .
BIBLIOGRAFÍA	Derivado del elemento bibliografía .

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 GBIF⁴.

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, http://ipt.sibcolombia.net/biota/resource.do?r=verte_orin , 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, http://ipt.sibcolombia.net/biota/resource.do?r=verte_orin . Publicado el 01/09/2001.

⁴ 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

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)¹. 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)².

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*³ (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. 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**.

¹ 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.

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

³ 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, 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, 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 title element.
AUTHORS	Derived from the resource creator , metadata provider , and associated parties elements.
AFFILIATIONS	Derived from the resource creator , metadata provider and associated parties elements. From these elements combinations of organization , address , postal code , city , country and email constitute the affiliation .
CORRESPONDING AUTHOR	Derived from the resource contact , metadata provider elements.
CITATION	For editors use.
RESOURCE CITATION	Derived from the resource citation element.
RESUMEN	Derived from the resumen element. 200 words max.
PALABRAS CLAVE	Derived from the palabras clave element. 6 words max.
ABSTRACT	Derived from the abstract element. 200 words max.
KEY WORDS	Derived from the key words element. 6 words max.
INTRODUCTION	Derived from the purpose (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 title , personnel first name , personnel last name , role , funding , study area description , and design description .
Taxonomic Coverage	Derived from the taxonomic coverage elements: description , scientific name , common name and rank .
Geographic Coverage	Derived from the geographic coverage elements: description , west , east , south , north .

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: temporal coverage type .
Collection data	Derived from the collection data elements: collection name, collection identifier, parent collection identifier, specimen preservation method and curatorial units .
MATERIALS AND METHODS	Derived from the sampling methods elements: study extent, sampling description, quality control and step description .
RESULTADOS	
Descripción del conjunto de datos	Derived from the discussion and acknowledgments, contains information about the format of the data and metadata: hierarchy level, date published and ip rights .
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 acknowledgments element.
BIBLIOGRAPHY	Derived from the citations 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 GBIF⁴.

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, http://ipt.sibcolombia.net/biota/resource.do?r=verte_orin , 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, http://ipt.sibcolombia.net/biota/resource.do?r=verte_orin , published on 01/09/2001

⁴ 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

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⁻¹.
- 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)

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⁻¹.
- 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