

# Los peces y sus servicios ecosistémicos en la cuenca del río Porce

## Fishes and the ecosystem services they provide in the Porce River Drainage

Juan C. Huertas-Rodríguez<sup>1\*</sup>, Carolina Sanín-Acevedo<sup>2</sup>, Agustín Cataño<sup>3</sup>

### Resumen

Por su ubicación y geomorfología Colombia presenta gran variedad de ecosistemas y una alta biodiversidad; esta riqueza natural también se observa en sus cuencas hidrográficas en donde se registra, adicionalmente, un considerable número de endemismos de plantas y animales. Desafortunadamente, estos cuerpos de agua han sufrido grandes transformaciones realizadas por el hombre; tal es el caso de la Cuenca del río Porce, que además del uso de sus aguas en la generación hidroeléctrica, se ha alterado su cauce y afectado por el crecimiento de una gran urbe sobre sus riberas, haciendo que las poblaciones de peces que la habitan soporten grandes alteraciones y desapariciones y en consecuencia, no gestionen adecuadamente los servicios ecosistémicos que prestan los peces de este ecosistema. Basados en los rasgos funcionales como talla, dieta, hábitat y distribución en la columna de agua que presentan los peces del río Porce, se caracterizaron los servicios ecosistémicos que suministran estos organismos, mostrando su importancia y qué tipo de servicios prestan a la sociedad directa o indirectamente, lo que permitirá proponer una gestión más integral del manejo de la biodiversidad de esta cuenca. Mediante la revisión de información secundaria se encontraron 62 especies de peces en esta cuenca que pueden prestar servicios ecosistémicos de regulación como control biológico (32 spp.), mejoramiento de la calidad del agua (30 spp.) y recurso genético (54 spp.); servicios de provisión como alimento (11 spp.) y peces de ornato (31 spp.); y servicios culturales como fuentes de ocio y recreación (15 spp.). Desafortunadamente, esta cuenca ha sido altamente intervenida con modificaciones de su cauce, contaminación de sus aguas e introducción de especies de peces exóticas para la provisión de alimento, afectando fuertemente este ecosistema y disminuyendo drásticamente las poblaciones de peces nativas registradas para este río, haciendo que los servicios ecosistémicos que pueden suministrar las especies del río Porce, que son fundamentales para el funcionamiento de los ecosistemas asociados a esta cuenca y para el bienestar humano de la región, se encuentren bastante perturbados y en riesgo de desaparecer permanentemente.

*Palabras claves:* cuenca Magdalena-Cauca, río Aburrá, rasgos funcionales, biodiversidad, peces

### Abstract

Due to its location and geomorphology, Colombia has a great variety of ecosystems and a high biodiversity; this natural wealth is also observed in its drainage basins where, additionally, a considerable number of endemic plants and animals have been reported. Unfortunately, these bodies of water have undergone major changes made by man; such is the case of the Porce River Drainage. In addition to the use of its water for hydroelectric generation, its channel has been altered and affected by the growth of a great city on its banks, causing the populations of fish that live there to suffer great alterations and disappearances. The ecosystem services provided by fish in this ecosystem have not been adequately determined. Based on functional traits such as size, diet, habitat and distribution in the water column of the fish of the Porce River, the ecosystem services provided by these organisms will be characterized, showing their importance and which types of services they provide direct or indirectly to society. This will allow the formulation of a proposal for more integral management of the biodiversity of this heavily impacted drainage. Sixty-two species of fish were found in this drainage that can provide regulatory ecosystem services such as:

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Tecnológico de Antioquia, Medellín, Colombia.

<sup>2</sup> Parque Explora Medellín, Colombia.

<sup>3</sup> Instituto de Biología, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

\* Autor para correspondencia: < jchuertas@yahoo.com >

Recibido: junio de 2017; aceptado: abril de 2018.

biological control (32 species); water quality improvement (30 spp.); genetic resources (54 spp.); provision services such as food (11 spp.) and ornamental fishes (31 spp.); and cultural services as sources of leisure and recreation (15 spp.). Unfortunately, this drainage has been negatively impacted by modifications of its channel, contamination of its waters and introduction of exotic fish species for the provision of food. All these impacts strongly affect this ecosystem and drastically decrease the surviving native fish populations that have been reported for this river, seriously reducing the ecosystem services that the Porce River species can supply, and which are essential for the functioning of the other ecosystems associated with this drainage and for the human well-being of the region.

**Key words:** Magdalena-Cauca drainage, Aburrá river, functional traits, biodiversity, fishes

## INTRODUCCIÓN

Los servicios ecosistémicos se definen como las condiciones y procesos mediante los cuales los ecosistemas y las especies que habitan en ellos mantienen la vida humana (Rincón et al. 2014). Son determinantes por su contribución al bienestar humano, al ser la consecuencia natural de diversas funciones y procesos de los ecosistemas (ciclos biogeoquímicos, flujos de energía y dinámica de comunidades) que pueden proveer servicios tangibles como madera o alimentos y beneficios como la regulación del clima, el suministro y la purificación del agua y la recreación, entre otros (de Groot et al. 2002, 2010).

Debido a la gran transformación que el ser humano ha realizado durante las últimas décadas de los ambientes naturales, se han generado diferentes iniciativas globales para evidenciar e implementar estrategias que permitan valorar y realizar un manejo adecuado de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos; entre estas se destacan: la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EEM), la Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad, y la Clasificación Internacional Común de los Servicios de los Ecosistemas (Alcamo et al. 2003, Liqueste et al. 2013, Rincón-Ruíz et al. 2014).

Todas estas iniciativas han puesto en evidencia que la pérdida de la biodiversidad y el deterioro de los servicios ecosistémicos van (directa o indirectamente) en detrimento del bienestar humano en aspectos como la salud, la seguridad alimentaria, la vulnerabilidad e incluso la libertad de las poblaciones, por lo cual, los planificadores de la conservación resaltan la necesidad de involucrar a los servicios ecosistémicos en los ejercicios de priorización (Naidoo et al. 2008), aunque se reconocen dificultades conceptuales, técnicas y operativas al momento de otorgarles un carácter espacial a los servicios ecosistémicos (de Groot et al. 2010).

La valoración de los servicios ecosistémicos se ha aplicado ampliamente en los ambientes terrestres, mientras que en

los ambientes acuáticos los datos y métodos para evaluar y cartografiar la provisión de sus servicios ecosistémicos ha sido más limitada por las características altamente dinámicas en tres dimensiones de los ecosistemas acuáticos. Trabajos como el de Liqueste et al. (2013) muestran que los servicios ecosistémicos marinos y costeros tienen notorias diferencias con los terrestres, siendo la provisión de alimento (pesquerías y piscicultura), la protección de costas y la recreación y el turismo, los principales servicios ecosistémicos que se analizan en dichas zonas; adicionalmente, proponen indicadores que permitan una evaluación más adecuada de los ecosistemas marinos y costeros, manteniendo la tipología esencial de clasificación del EEM.

Los peces son uno de los principales grupos de organismos que viven en los ambientes acuáticos de todo el planeta y son componentes fundamentales para el adecuado funcionamiento y regulación de dichos ecosistemas (Arthington et al. 2010, Holmlund y Hammer 1999, 2004); además, contribuyen como una de las mayores fuentes de proteína en el desarrollo de las sociedades humanas a través de los tiempos, llevando incluso a que algunas especies de peces estén en riesgo de desaparición por la sobreexplotación que han recibido (Myers y Worm 2003, WorldFish Center 2002). Este uso casi exclusivo que se les ha dado como recurso pesquero genera fuertes impactos directos por su extracción a los que se suman los efectos indirectos ocasionados por la alteración y deterioro de sus hábitats, muchas veces también producto de la actividad pesquera. En trabajos recientes se está tratando de valorar, en forma más integral, el aporte que estos organismos hacen en los ecosistemas acuáticos, ampliando el conocimiento en su biología y ecología como parte fundamental de la formulación de políticas que ayuden a su conservación (Holmlund y Hammer 1999 y 2004, Humphries y Winemiller 2009).

Colombia presenta un enorme potencial hídrico, el cual se ha gestionado inadecuadamente; un ejemplo representativo de

esto es el manejo dado a la cuenca del río Porce, fuertemente intervenida desde la década de 1940 (Betancur-Hernández 2012, CTA 2013). Estos cambios han afectado tanto la calidad del agua de esta cuenca como a todo el ecosistema y a los organismos que la habitan. Para este río se han planteado y realizado diferentes propuestas y proyectos de manejo y recuperación, las cuales han estado enfocadas al agua como recurso (Área Metropolitana 2011, CTA 2013). Este trabajo busca realizar una caracterización de la diversidad funcional y el aporte de los servicios ecosistémicos de los peces que habitan la cuenca del río Porce.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio.** La Cuenca del río Porce, ( $6^{\circ} 01' 53.7''$  N,  $75^{\circ} 35' 24.5''$  W y  $7^{\circ} 26' 59.0''$  N,  $74^{\circ} 54' 27.2''$  W) está ubicada en el departamento de Antioquia, sobre la cordillera Central colombiana y hace parte del sistema hídrico de los ríos Cauca y Magdalena, el cual ha sido un eje fundamental en el desarrollo del país.

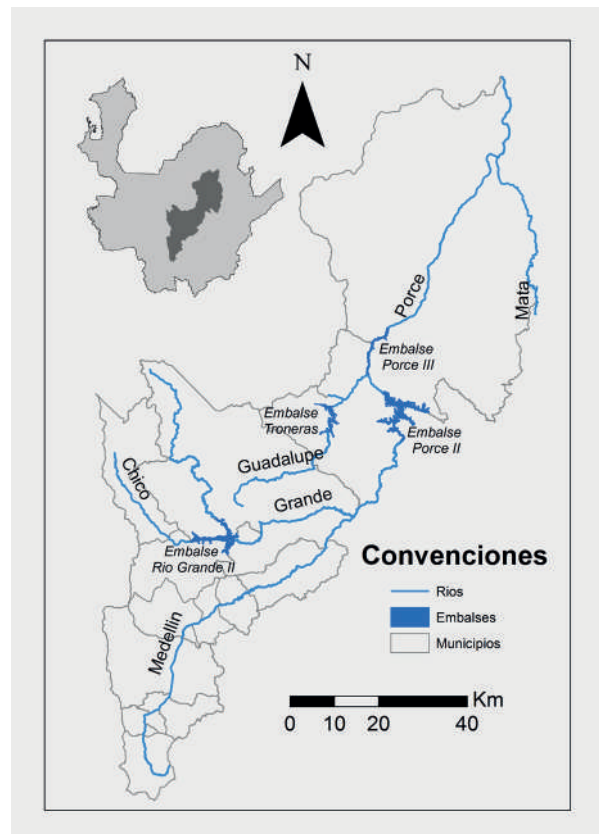
La longitud total de su cauce es 252 km y su cuenca comprende un área de 5.248 km<sup>2</sup>, presenta una topografía irregular y pendiente, con altitudes que oscilan entre los 80 y 3.340 m s. n. m. (CTA 2013).

Su cauce se divide en tres tramos, el primero comprende desde el nacimiento del río Aburrá o río Medellín en el Alto de San Miguel, municipio de Caldas, hasta el municipio de Barbosa en donde se une al río Grande en Puente Gabino. En este tramo se ubica la ciudad de Medellín y el Valle de Aburrá con una población de más de 3 millones de habitantes, y tanto el río como sus afluentes, son usados principalmente como cuerpos receptores del vertimiento de las aguas residuales generadas en la ciudad.

El segundo tramo, en donde cambia su nombre a río Porce propiamente dicho, comienza en el Puente Gabino en Barbosa y va hasta la desembocadura del río Guadalupe. En esta zona, en sus riberas, se presenta un ambiente rural con una clara vocación agropecuaria. En este tramo se mejora la calidad de agua del río por la incorporación de los caudales de los ríos Grande y Guadalupe, asimismo, los embalses (Riogrande I y II, Troneras y Porce II) cumplen una función de retención de sedimentos y contaminantes.

El tercer tramo está comprendido entre el complejo hidroeléctrico de Porce III y el punto de desembocadura del río Porce en el río Nechí en el municipio de Zaragoza (figura 1). En esta zona del río hay una baja densidad

poblacional y tradicionalmente se han desarrollado actividades hidroeléctricas, agropecuarias y mineras. Esta última actividad productiva ha tomado mayor fuerza en años recientes por los altos precios internacionales del oro, generando un auge en la explotación aurífera en el sector con un gran impacto sobre este tramo de la cuenca. A pesar de esto, la calidad del agua en esta zona sigue mejorando en comparación con el primer tramo del río, ya que se mantienen las condiciones de asimilación de los embalses mencionadas anteriormente (CTA 2013).



**Figura 1.** Ubicación de la cuenca del río Porce con sus principales afluentes y embalses.

Las principales zonas de vida presentes en la cuenca son: bosque muy húmedo premontano (bmh-PM), bosque húmedo tropical (bh-T) y bosque muy húmedo tropical (bmh-T) (Serna-Mendoza 2016), por lo que posee una amplia variedad de fauna incluyendo especies de peces, algunas de estas endémicas y otras con importancia comercial para la región (Maldonado et al. 2005). Aunque en esta cuenca en particular se han realizado importantes intervenciones en su cauce, todavía se encuentran algunas especies de peces que se utilizan en actividades como

la pesca artesanal, la pesca deportiva y uso en acuarios (González-Bergonzoni 2011), no obstante, hay otras a las cuales no se les han valorado adecuadamente los servicios que prestan en este ecosistema.

**Metodología.** Este trabajo se desarrolló como parte de una aplicación práctica a nivel urbano de la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE) del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el contexto de Medellín, buscando proponer las bases para la determinación de los servicios ecosistémicos prestados por los componentes de flora y fauna (insectos, anfibios, reptiles, aves, mamíferos y peces) presentes en la ciudad.

Se utilizó la base de datos de los especímenes recolectados por el Grupo de Ictiología de la Universidad de Antioquia, por ser la fuente de información más confiable y completa de inventarios de peces realizados en la cuenca del río Porce. Con la información biológica y espacial se generó una base de datos georreferenciada que permitiera la determinación de los rasgos funcionales y los servicios ecosistémicos de la ictiofauna de esta cuenca.

Como no todas las especies estaban plenamente identificadas para el ingreso a la base de datos de los rasgos funcionales, además de las 52 especies identificadas completamente se incluyeron diez especies a nivel de género para no eliminarlas del análisis.

Para la determinación de los servicios ecosistémicos suministrados por los peces es necesario conocer de qué manera y en qué medida estos organismos participan en los procesos ecológicos de su ecosistema, con el fin de determinar las características que en cada especie se consideran importantes para el hombre como respuesta a los factores ambientales o que afecten el funcionamiento del ecosistema (Cornelissen et al. 2003, Lavorel et al. 2007). Esta agrupación se hizo por los rasgos funcionales, los cuales son aquellas características que poseen los organismos que se consideran importantes para la función que cumplen en el ecosistema. Por lo tanto, el estudio de la dieta, la talla, el hábitat e incluso su coloración, se tomaron como datos base para hablar de control de plagas, de potencial alimenticio o de recreación, como determinantes de servicios ecosistémicos (Salgado-Negret 2015).

Los rasgos funcionales de los peces se definieron con las siguientes características morfológicas y ecológicas por especie: tipo de dieta, preferencia de hábitat,

ubicación en la columna de agua, tamaño, coloración conspicua, distribución geográfica y grado de amenaza; adicionalmente, se definieron otras características de acuerdo con la utilización dada a cada especie: tipo de uso, tipo de comunidad usuaria, zona de uso y tipo de impacto que recibe por el uso. Estas características biológicas y ecológicas se determinaron con la base virtual de Fishbase y con el trabajo de Jiménez-Segura et al. (2014).

Para la determinación de los servicios ecosistémicos que suministran los peces se relacionaron las categorías de los servicios de los ecosistemas con los rasgos funcionales de fauna, utilizando los trabajos de clasificación de funciones y servicios ecosistémicos de Costanza et al. (2017), de Groot et al. (2002, 2010), MEA (2005) y Science for Environment Policy (2015). Para los servicios ecosistémicos prestados específicamente por los peces se utilizaron como referencias los trabajos de Caputo-Cueto y Vilardey-Quiroga (2013) y Holmlund y Hammer (1999, 2004), agrupándolos esencialmente en servicios de provisión, regulación y culturales (Rincón-Ruiz et al 2014); además, se siguieron las recomendaciones para el registro y la espacialización de la información taxonómica establecidas por el Convenio para la Gestión Integral de la Biodiversidad y los Servicios ecosistémicos en Medellín (Alcaldía de Medellín 2011).

**Servicios de regulación.** Estos servicios se evidencian en escalas de tiempo y espacio mucho más amplias que los demás, ya que incluyen procesos como la producción primaria, la formación de suelo, la provisión de hábitat para especies, el mantenimiento de la biodiversidad, el ciclado de nutrientes, la regulación del clima y de la calidad del aire, el control de la erosión y la regulación y purificación del agua, entre otros (Balvanera et al. 2009, MADS 2012a).

**Servicios de provisión.** Proporcionan el sustento básico de la vida humana; los esfuerzos por asegurar su abastecimiento guían las actividades productivas y económicas (Balvanera et al. 2009). Están constituidos por el conjunto de bienes y productos que se obtienen de los ecosistemas, tales como alimentos, fibras, maderas, leña, agua, suelo, recursos genéticos, pieles y mascotas, entre otros (MEA 2005).

**Servicios culturales.** Son los beneficios no materiales obtenidos de los ecosistemas, a través del enriquecimiento espiritual, la belleza escénica, la inspiración artística e intelectual, el desarrollo cognitivo, la reflexión, la creación y las experiencias estéticas (MADS 2012a).

**RESULTADOS**

Se encontraron 12 especies de peces en la parte alta de la cuenca del río Porce, 16 en la media y 61 en la baja (tabla 1). Se destaca que las especies de los géneros *Astroblepus* y *Trichomycterus* se registraron principalmente en las quebradas afluentes a los tres tramos de la cuenca del río, y la sabaleta (*Brycon henni*), especie endémica y representativa de la región, estuvo presente en las quebradas y el río Guadalupe de la parte baja de la cuenca. Se encontraron además ocho especies exóticas introducidas: *Micropterus salmoides*, *Oreochromis niloticus*, *Oreochromis mossambicus*, *Parachromis loisellei*, *Coptodon* spp (dos especies), *Poecilia reticulata* y *Xiphophorus helleri*, las cuales se incluyeron en el análisis de prestación de servicios ecosistémicos.

Los rasgos funcionales utilizados para determinar los servicios funcionales de los peces fueron la dieta, el hábitat, su distribución vertical en la columna de agua y el tamaño del pez, basados en los criterios planteados para los peces dulceacuicolas en Salgado-Negret (2015). Los rasgos funcionales asignados para los 56 taxones incluidos se resumen en la tabla 2, en donde se puede observar que el 68% de las especies de peces de esta cuenca son omnívoras, el 53% de aguas corrientosas y rápidas, el 55% viven en el fondo y el 47% son de tallas pequeñas (menores de 7,5 cm). Adicionalmente, se planteó como un rasgo funcional la conspicuidad de la especie, considerando la coloración y la forma general del pez para un posible uso en acuarios, que, en algunos casos como la *Andinoacara latifrons* o la

espada (*Xiphophorus helleri*), ya se vienen capturando y criando para este tipo de uso; se encontró que 31 especies (50%) cumplen con este rasgo.

De acuerdo con los rasgos funcionales definidos de morfología, historia de vida, ecología y uso dado a cada especie, se utilizó la matriz de la tabla 3 para diferenciar el tipo de servicio ecosistémico prestado. Para los servicios culturales, adicionalmente al uso que se le da a la especie, se trató de especificar en las variables sociales el tipo de comunidad y la zona en donde se usa cada especie, y si a esta se le ha registrado algún tipo de impacto antrópico ya fuera positivo o negativo.

Como no se encontraron diferencias interespecíficas notables y, además, en muchos casos no existe información particular para cada especie en aspectos como el tipo de dieta, el hábitat que frecuenta, la ubicación en la columna de agua y el uso e impacto cultural que se les hace, fue necesario asignarles los mismos valores a todas las especies de cada género para realizar la calificación de los rasgos.

**Tabla 1.** Número de especies de peces registradas en la base de datos de acuerdo con su distribución en la cuenca del río Porce (zonificación según CTA, 2013)

Zona de la cuenca	Municipio	Número de especies	
		Por municipio	Por zona
Alta (Río Aburra)	Caldas	4	
	Sabaneta	2	
	Medellín	2	12
	Girardota	3	
	Barbosa	7	
Media	Gómez Plata	16	16
	Guadalupe	30	
Media-Baja	Amalfi	38	61
	Anorí	36	

**Tabla 2.** Clasificación de los rasgos funcionales de los peces del río Porce. Basado en Holmlund y Hammer 1999 y Caputo y Vilardy 2013

Rasgo funcional	Carácter funcional	n.º de especies	n.º de familias	n.º de ordenes
Dieta (D)	Detritívoro	8	3	3
	Herbívoro	3	1	1
	Omnívoro	42	11	5
	Carnívoro	9	7	4
Hábitat (H)	Corrientoso	11	5	3
	Rápido	22	5	3
	Moderado	12	8	5
	Lento	16	8	4
Distribución vertical (DV)	Fondo	34	7	2
	Media agua	17	7	3
	Superficie	6	2	2
Tamaño (T)	En toda la columna	4	2	2
	Pequeño (< 7,5 cm)	29	6	3
	Mediano	21	10	4
Conspicuidad (C)	Grande (> 15 cm)	12	7	4
		31	11	5

**Tabla 3.** Matriz de relación de los servicios ecosistémicos prestados por los peces del río Porce de acuerdo con los rasgos funcionales y variables sociales asignadas a cada especie. Basado en De Groot et al. 2002, MEA 2005 y Caputo y Vilardy 2013

Categoría	Variable social	Rasgo funcional	Servicio ecosistémico
Regulación		D	Control biológico
		D	Regulación de la dinámica de las redes tróficas y la calidad hídrica
		Distribución geográfica	Mantenimiento del recurso genético
Provisión	Uso alimenticio	T; DV	Alimenticio
	Uso como mascotas	C; DV	Ornamental
Cultural	Uso cultural	T; C; H	Ocio, recreación y goce estético
	Comunidad de uso	T; C; otro	
	Zona geográfica de uso	Otro	
	Impacto antrópico	Otro	
	Tipo de impacto	Otro	

En cuanto a los servicios ecosistémicos prestados por los peces del río Porce a nivel de género se encontró lo siguiente (tabla 4):

### Servicios de Regulación

**a. Control biológico:** este servicio es potencialmente prestado en la zona por parte de nueve géneros de peces que tienen dietas herbívoras e insectívoras, los primeros ayudan a controlar el crecimiento y la abundancia de algas y plantas acuáticas, mientras los segundos se pueden alimentar de larvas de insectos y otros invertebrados vectores de enfermedades. Se destaca que los peces del género *Astroblepus* (babosos o capitanes) son insectívoros (Jiménez-Segura et al. 2014) y en esta cuenca se registran 13 especies que podrían cumplir con este servicio.

**b. Regulación de la dinámica de las redes alimenticias y la calidad hídrica:** por su tipo de dieta algunos géneros tienen un gran aporte en la regulación de la calidad del agua, como es el caso de los bocachicos (*Prochilodus magdalenae*, *Ichthyoelephas longirostris*) y las cucas (*Chaetostoma* y *Lasiancistrus*) que son peces detritívoros y ayudan a evitar procesos de eutrofización del agua, evitando una desoxigenación mayor del río y aportando al reciclaje de nutrientes dentro del sistema acuático (Holmlund y Hammer 2004).

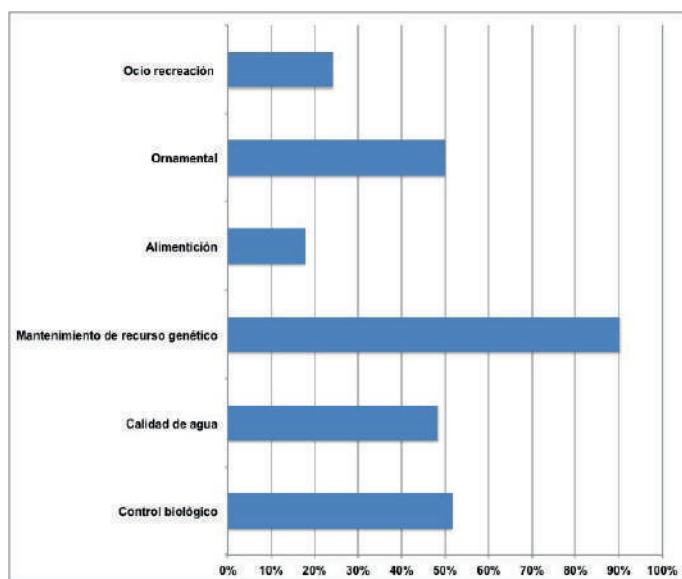
**c. Recurso genético:** se determinó que es el principal servicio ecosistémico prestado por las 54 especies nativas de peces en esta cuenca, presentándose además un alto endemismo entre ellas, con 24 especies con este tipo de distribución (43%), principalmente de los géneros *Astroblepus* spp., *Chaetostoma* spp. y *Trichomycterus* spp. (Jiménez-Segura et al. 2014); adicionalmente, hay algunos taxones sin su determinación completa de especie lo que incrementaría la diversidad presente (figura 2). Desafortunadamente, hay grandes problemáticas que ponen en riesgo este servicio tales como la desaparición de algunas especies que no se han vuelto a registrar en la zona, la reducción de las poblaciones de especies nativas y la siembra de especies exóticas utilizadas para recuperar la ictiofauna, sumado a las múltiples intervenciones realizadas en la cuenca (Jiménez-Segura 2018, comunicación personal).

### Servicios de Provisión

**a. Provisión de alimentos:** hay varias especies en el río que cumplen, potencialmente, con el servicio de alimentación, comprendiendo ejemplares con tallas medianas (entre los 7,5 y los 15 cm) y grandes (mayores de 15 cm) según los registros de talla que se presentan en la zona (Jiménez-Segura 2018, comunicación personal). Entre las especies que pueden prestar este servicio hay dos grupos de gran

Tabla 4. Listado de los Servicios ecosistémicos que prestan los peces de la cuenca del Río Porce reportadas a nivel de géneros.

Servicio ecosistémico Géneros de peces	Control biológico	Calidad de agua	Recurso genético	Alimento	Ornamento	Ocio recreación
<i>Andinoacara</i>	1	1	1		1	1
<i>Apteronotus</i>			1		1	
<i>Astroblepus</i>	13	13	13			
<i>Astyanax</i>			2		2	
<i>Brachyhyopomus</i>			1		1	
<i>Brycon</i>	1	1	2	2		2
<i>Bryconamericus</i>	1	1	1			
<i>Caquetaia</i>			1		1	1
<i>Cetopsorhamdia</i>			1			
<i>Chaetostoma</i>	4	4	4		4	
<i>Characidium</i>	3	3	3		3	
<i>Coptodon</i>				2		2
<i>Creagrutus</i>			1		1	
<i>Hemibrycon</i>			3		3	
<i>Hoplosternum</i>			2		2	
<i>Hyphessobrycon</i>			1		1	
<i>Ichthyoelephas</i>			1	1		1
<i>Lasiancistrus</i>			1		1	
<i>Leporellus</i>			1		1	
<i>Micropterus</i>				1		1
<i>Oreochromis</i>				2		2
<i>Parachromis</i>					1	1
<i>Parodon</i>	2		2		2	
<i>Pimelodella</i>			1		1	1
<i>Pimelodus</i>			1	1		1
<i>Poecilia</i>	3	3	2		3	
<i>Prochilodus</i>			1	1		1
<i>Rhamdia</i>			1	1		1
<i>Roeboides</i>			1		1	
<i>Saccodon</i>			1		1	
<i>Trichomycterus</i>	4	4	4			
<i>Xiphophorus</i>					1	
Total	32	30	54	11	31	15



**Figura 2.** Porcentajes de préstamo de servicios ecosistémicos por parte de los peces en la cuenca del río Porco.

importancia, uno corresponde a las sabaletas (*B. henni*) que, aunque alcanzan tallas medianas, son muy apetecidas por la calidad de su carne y su comportamiento al momento de su captura, lo que las hace llamativas para las artes de pesca; adicionalmente, esta especie es indicadora de cuerpos de aguas limpias que todavía se podrían encontrar en algunas quebradas que alimentan esta cuenca. El otro grupo comprende a bocachicos (Prochilodontidae), bagres (Pimelodidae), truchas, mojarra y tilapias (Cichlidae) que son peces de mayor talla, viven en el cauce principal y en las zonas de embalses y podrían llegar a ser una fuente de alimentación para los habitantes de la cuenca.

**b. Mascotas u Ornamental:** Para el río Porco hay 31 especies de peces que presentan este beneficio entre las que se destacan: Cichlidae (mojarra), Apterontidae (pez cuchillo, pez perro), Characidae (sardinas y mazorca o tuzos), Hypopomidae (comelón), Heptapteridae (pez gato), Loricariidae (corronchos) y Poeciliidae (guppys y espadas), de las cuales 17 especies se usan en acuarios públicos y privados del país y algunos son exportados a otras regiones del mundo debido a sus llamativas formas y colores (Ortega-Lara 2016); hay 14 especies que potencialmente podrían ser usadas como peces ornamentales.

## Servicios culturales

**Ocio, recreación y goce estético:** estos servicios están representados, esencialmente, en la pesca deportiva, la cual combina la captura de ejemplares ya sea para el consumo o para atrapar y liberar al pez, con el objetivo de disfrutar el entorno en donde se realiza esta actividad. Además de la sabaleta (*B. henni*), las tilapias (*Coptodon* spp., *Oreochromis* spp.), la trucha (*Micropterus salmoides*) y el guapote amarillo (*Parachromis loisellei*) que también prestan el servicio de provisión de alimentos, hay otras cinco especies que pueden utilizarse para la pesca deportiva, como son *Prochilodus magdalenae*, *Rhamdia quelen*, *Andinoacara latifrons*, *Pimelodus blochii* y *Pimelodella chagresi*.

No se encontraron registros de usos diferentes (medicinas, artículos suntuarios u otros) a fuentes de alimentación o mascotas (tabla 3); las comunidades usuarias de estos organismos son las campesinas principalmente y algunas urbanas (acuaristas y pescadores deportivos). Solo las 17 especies de importancia como peces ornamentales pueden usarse por fuera de la cuenca; finalmente, no fue posible establecer, con claridad, el impacto antrópico y su calificación (positiva o negativa) a nivel de especie, pues no hay suficiente información secundaria al respecto y solo se conocen los cambios y alteraciones generales que ha sufrido la cuenca desde hace 70 años (Betancur-Hernández 2012).

## DISCUSIÓN

Es importante mencionar que la demanda de agua, tanto para consumo humano como para actividades productivas, viene en aumento, mientras que la disponibilidad, la calidad y la oportunidad del recurso han venido en retroceso (Diez y Burbano 2006) presentándose altos niveles de degradación y amenazas a la biodiversidad de los ecosistemas de agua dulce, entre las que se destacan deforestación, contaminación, obras de ingeniería y embalses, secado de humedales, invasión de especies exóticas y sobrepesca entre otros, lo que afecta directamente a las poblaciones de peces (Arthington et al. 2010).

La regulación de la calidad de agua es el producto de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas que ocurren en los ecosistemas acuáticos y terrestres



(Arthington et al. 2010, Holmlund y Hammer 1999, 2004). Tales aspectos de calidad y oportunidad del servicio están limitados por los aportes o descargas que hacen las actividades antrópicas y por la capacidad de los ecosistemas para depurar la carga de contaminantes recibidos (MEA 2005).

Los peces, que comprenden entre otros taxones a los tiburones y rayas (peces cartilagosos) y a los peces óseos, son los vertebrados más abundantes y diversos sobre la tierra; desafortunadamente, los programas y medidas para su preservación y conservación por parte de los organismos nacionales e internacionales responsables de la protección de la fauna son menos numerosos y menos articulados respecto a los implementados para organismos y ambientes terrestres, pues se les da más importancia a su uso como recurso alimenticio y muy poco a sus aportes en cuanto a su alta diversidad y su importancia dentro de los ecosistemas acuáticos (FAO 2012, Ryman et al. 1994).

Estos organismos, que pasan todo su ciclo de vida en el agua, presentan muchas adaptaciones morfológicas, fisiológicas y comportamentales para poder vivir en el medio acuático ocupando múltiples nichos en estos ambientes y cumpliendo importantes funciones que, por la continuidad del medio, no se limitan a su área de distribución, sino que, al considerarlos en conjunto, tienen gran importancia en la integridad ecológica del planeta (Ryman et al. 1994).

Adicionalmente, tienen representantes en todas las redes y niveles tróficos, es decir, existen especies que son consumidores primarios (herbívoros), consumidores tope (consumidor final de la red) y hasta detritívoros o saprófagos; esta amplia gama de dietas les permite ser parte esencial en los ciclos biogeoquímicos, en el reciclaje de nutrientes, en la regulación de la resiliencia del ecosistema, en la redistribución de los sustratos del fondo, en la regulación de los flujos de carbono del agua hacia la atmósfera y en el mantenimiento de los procesos de sedimentación, así como en el mantenimiento de la genética de especies y la diversidad de los ecosistemas de agua dulce y salada (González-Bergonzoni 2011, Holmlund y Hammer 1999, 2004).

En los cuerpos de agua dulce los peces sincronizan sus ciclos de vida y reproducción con las variaciones temporales de circulación del agua, pero desafortunadamente, el uso que el hombre otorga tanto a los peces como al recurso hídrico, amenaza el 40% de todas las especies dulceacuícolas del mundo (FAO 2012, Humphries y Winemiller 2009, Pough et al. 1996). Cuando se interviene

el cauce de un sistema hídrico como un río, se generan grandes impactos que directa e indirectamente afectan la estructura y funcionamiento de estos ecosistemas y los organismos que los habitan (Agostinho et al. 1992, Anderson 2013).

La cuenca del río Porce ha sido intervenida desde 1927 con seis proyectos hidroeléctricos de diferente envergadura (Betancur-Hernández 2012, Cámara de Comercio de Medellín 2009), con la canalización de buena parte de su cuenca alta y con la descarga de las aguas residuales de la ciudad por décadas; sumado a esto, otro factor que afecta el manejo ambiental de este río es el hecho de estar bajo la jurisdicción de dos entidades ambientales diferentes (Área Metropolitana de Medellín y Corantioquia), lo que ocasiona la falta de articulación en las políticas de manejo integral como ecosistema y diferencias desde la determinación de su nacimiento y longitud total hasta el nombre que debe tener su principal afluente (MADS 2012b). A pesar de todas estas inconsistencias en el manejo, en sus aguas todavía se encuentran peces y macroinvertebrados que proveen importantes servicios ecosistémicos.

De acuerdo con la distribución espacial de los peces del río Porce, se encontró una baja presencia de estos en la parte alta de la cuenca o río Aburra o río Medellín, como también se denomina en este sector, con muy pocos registros de especies en algunas quebradas de su cabecera, en donde este se encuentra más contaminado y está canalizado, condiciones que afectan fuertemente su funcionamiento ecológico (Betancur-Hernández 2012). A medida que el río avanza por su cauce, la riqueza íctica aumenta tanto en cada uno de los municipios que atraviesa como en las dos zonas restantes de la cuenca hidrográfica (tabla 1).

Este fenómeno está en concordancia con los patrones de distribución natural de peces a lo largo de un río (Álvarez-León y Ortiz-Muñoz 2004, Carvajal-Quintero et al. 2015, Jaramillo-Villa et al. 2010); el aspecto que llama la atención es la presencia de sardinas (Characidae), chipes (Callichthyidae), mojarra y peces exóticos introducidos como tilapias (Cichlidae) y guppys (Poeciliidae) en las zonas de represamiento de la parte baja de la cuenca, dado el elevado nivel de contaminación del río al recibir los vertimientos de aguas servidas de los domicilios y la industria de la ciudad casi desde su cabecera y a lo largo de su cauce, afectando gravemente la estabilidad de este ambiente (Área Metropolitana 2011) y en consecuencia afectando a los seres vivos que lo habitan. Este aumento de la diversidad se debe al aporte de las aguas limpias de los ríos y quebradas tributarias del río Porce en donde

todavía se encuentran especies que requieren buena calidad de agua como corronchos y cuchas (Loricaridae), bagres (Heptapteridae) y sabaletas (Characidae) que requieren pH neutro y niveles altos de oxígeno disuelto (más de 7 ppm).

La provisión de alimentos es el servicio ecosistémico más estudiado en poblaciones de peces (Arthington et al. 2010, Holmlund y Hammer 2004). En Colombia, tanto la pesca como la acuicultura en ríos han sido actividades poco planeadas y controladas que se consideran de último recurso; a esto se suma que el país cuenta con un gran número de cuencas hidrográficas de diferente forma y tamaño, con mucha variedad de especies con baja abundancia relativa, lo que dificulta realizar una explotación adecuada de este recurso (OCDE 2016).

La pesca en la cuenca del río Porce ha tenido este tipo de manejo; adicionalmente, solo se han aprovechado sus aguas como fuente de recurso hídrico para actividades productivas como la generación de electricidad, la minería y la agricultura, disminuyendo significativamente las poblaciones de peces (Jiménez-Segura 2018, comunicación personal). La canalización, lo cual homogeniza las condiciones del cauce y hace que se pierda la diversificación de hábitats, el vertimiento de las aguas servidas y la descarga de basura al río, aparte de sus efectos contaminantes, también conllevan a la pérdida gradual de la capacidad de recuperación de dichas poblaciones (Área Metropolitana 2011).

Una medida adoptada en Colombia para restituir las poblaciones ícticas en los embalses construidos a lo largo de los cauces de los ríos intervenidos, ha sido introducir especies exóticas tales como tilapias (*Coptodon* spp. y *Oreochromis* spp.), las cuales, en el caso de Antioquia, alcanzaron en el 2011 una producción de 1744 toneladas en granjas acuícolas, siendo la piscicultura uno de los sectores productivos del país con grandes posibilidades de desarrollo, tanto para especies exóticas como nativas. Lamentablemente, el crecimiento acelerado de este sector ha sido descontrolado y sin la planeación adecuada, afectando a muchas especies de peces nativos y endémicas del país (Baron et al. 2003, Cucherousset y Olden 2011, Merino et al. 2013), tal como ocurre en el río Porce, en donde se registran casos importantes de endemismos, los cuales no se han valorado detalladamente ni se ha determinado el impacto que las especies exóticas han tenido sobre estas poblaciones y sobre el ecosistema mismo (EPM 2007).

El uso como peces ornamentales es otro servicio importante de provisión que prestan algunas especies de esta cuenca

que, por su coloración y atractivo visual, son usadas en acuarios públicos o privados, en donde además del servicio estético de la exhibición, podrían generar servicios educativos, de conservación e investigación de gran valor para la ciudad. En términos económicos, se estima que la industria mundial de los acuarios genera siete mil millones de dólares por año (Moyle y Moyle 1995); en Colombia existen muchas posibilidades para el cultivo de peces ornamentales nativos, como algunos encontrados en esta cuenca y que han sido poco aprovechados o se desconoce su potencial en la prestación de este tipo de servicio (INCODER 2006, OIA 2013).

Es evidente la influencia de los peces en la salud humana, no solo en términos de suministro proteico en forma de alimento y en algunos casos de compuestos o suplementos medicinales, sino también como la gestión poblacional y la conservación de la ictiofauna pueden contribuir al control biológico de plagas y enfermedades tropicales. Puesto que algunos insectos son considerados plagas, como los Psychodidae (aliblanco o moscas del baño) vectores de Leishmaniasis, o los Culicidae (mosquitos) vectores del dengue y la malaria, presentan un estadio de vida juvenil en el agua, las poblaciones de estas larvas pueden ser controladas por peces que se alimentan de insectos e invertebrados (Marshall y Maes 1994, Rojas et al. 2004). En la cuenca del río Porce se encuentran varias especies que podrían contribuir con este servicio al ser insectívoras (Jiménez-Segura et al. 2014). Otro tipo de control biológico, relacionado con el crecimiento y la abundancia de algas y plantas acuáticas que pueden llegar a eutrofizar los cuerpos de agua, puede ser realizado por los peces herbívoros. Este aspecto es uno de los que requiere mayores estudios para permitir hacer una valoración más detallada del tipo de dieta de cada especie de la cuenca y su aporte, no solo como controladores de plagas sino como posibles dispersores de semillas.

Aunque la pesca deportiva es una de las actividades recreativas más populares en ríos o en lagos naturales o artificiales (Schramm y Mudrak 1994), en Colombia esta actividad no es significativa para la economía nacional, aunque tiene un importante impacto social y recreativo. Por la naturaleza extremadamente variable de las capturas, la autoridad pesquera tiene pocos datos estadísticos y no ha establecido planes de ordenamiento para esta actividad (Lasso et al. 2011). Además, la pesca deportiva se realiza usualmente en los embalses y algunos ríos compartiendo el recurso con la pesca artesanal y de subsistencia por lo que la autoridad pesquera nacional expide permisos anuales para controlar dichas actividades (FAO 2003). La

creciente demanda de peces para la pesca deportiva y las áreas adecuadas para tal propósito, están en conflicto con la disminución de la calidad del agua debido a otras actividades humanas. Para este tipo de pesca se prefieren las familias de peces con tallas grandes ya que esto implica un reto mayor y su captura genera más satisfacción en el deportista; no obstante, en la cuenca del río Porce hay pocas especies de peces nativos que cumplan con estas consideraciones. Esta es una de las razones que han llevado a la introducción de tilapias (*Coptodon* spp. y *Oreochromis* spp.) en los embalses y ríos de la región (Parrado-Sanabria 2012).

La importancia crítica de los servicios ecosistémicos desafía el enfoque convencional del crecimiento y el desarrollo, al tiempo que allana el camino para un enfoque diferente de la prosperidad basado en el bienestar (de Groot et al. 2010). En el caso de los peces, las sociedades humanas se benefician de muchas maneras de los servicios ecosistémicos generados por estos organismos y por los ecosistemas de humedal que son una parte importante de la dinámica de las redes tróficas, del ciclo de nutrientes y la estabilidad de los ecosistemas. Su movilidad en diferentes espacios de los ambientes acuáticos aumenta la importancia funcional de los peces como fuentes de nutrientes, reservas genéticas e información (Holmlund y Hammer 2004). Los peces también generan empleo, funcionan como una biblioteca genética para su posible uso en el futuro en la medicina y la acuicultura, estimulan el interés humano en la naturaleza y proporcionan servicios estéticos y recreativos. Por estas razones se requieren más trabajos de este tipo para valorar, de una forma más adecuada, sus aportes a los ecosistemas acuáticos y al planeta.

Este estudio preliminar buscó identificar cuáles son los déficits y vacíos de información en cuanto a la investigación sobre los peces de la zona; entre los aspectos que es necesario ampliar está la determinación de la dieta de muchas de las especies encontradas y de las cuales no se han realizado estudios detallados de sus contenidos estomacales. Conocer estos datos permitiría inferir cuales servicios ecosistémicos relacionados con la dieta están prestando los peces de esta cuenca. Se deben además realizar estudios taxonómicos y filogenéticos que permitan resolver las indeterminaciones en las colecciones y en los registros de diversidad en cuanto al número de especies existentes en la cuenca, lo que puede generar una posible subestimación o sobreestimación de la abundancia y diversidad de las mismas.

A modo de recomendación, sería benéfico para la estabilidad del ecosistema del río Porce, además de la restauración

ecológica de la cuenca y la construcción de las plantas de tratamiento de las aguas río arriba, controlar la introducción de especies exóticas y realizar siembras de especies nativas de peces, en especial peces detritívoros que provean una ayuda adicional con la limpieza que se busca con el proceso de recuperación de todo su cauce, incluyendo el río Medellín; adicionalmente, se debe controlar la descarga de vertimientos y materia orgánica de las zonas pobladas en la parte alta y media de esta cuenca y así contribuir, en forma natural, con las plantas de tratamiento de San Fernando y Bello (en construcción) (CTA 2013).

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al equipo de trabajo de la Gestión de Biodiversidad del Parque Explora, a la Secretaría de Medio Ambiente de la Alcaldía de Medellín, al grupo de Ictiología de la Universidad de Antioquia por facilitar la base de datos utilizada en este trabajo, a Juan Luis Parra por la elaboración del mapa de la cuenca y a Úrsula Jaramillo Villa y Luz Fernanda Jiménez Segura por sus continuas colaboraciones en la elaboración de este artículo.

## REFERENCIAS

- Agostinho AA, Julio Jr. HE, Borghetti JR. 1992. Considerações sobre os impactos dos represamentos na ictiofauna e medidas para sua atenuação. Um estudo de caso: Reservatório de Itaipu. Revista da UNIMAR, 14 (Suppl.): 89-107.
- Alcaldía de Medellín, Secretaría de Medio Ambiente, Parque Explora, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Jardín Botánico de Medellín, Parques Nacionales Naturales de Colombia, Sociedad Antioqueña de Ornitología (SAO). 2014. Propuesta de Gestión integral de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos para Medellín. Medellín (Colombia): Alcaldía de Medellín. [https://www.medellin.gov.co/MapGIS/BIO/Eventos/16/Libro%20BIODIVERSIDAD%2006-10-14%20\(1\).pdf](https://www.medellin.gov.co/MapGIS/BIO/Eventos/16/Libro%20BIODIVERSIDAD%2006-10-14%20(1).pdf)
- Alcamo J., et al. 2003. Ecosystems and human well-being: a framework for assessment. Washington (USA): Island Press.
- Álvarez-León R, Ortiz-Muñoz V. 2004. Distribución altitudinal de las familias de peces en tributarios de los ríos Magdalena y Upiá. Revista de la Asociación Colombiana de Ictiología-Dahlia, 7: 87-94. <http://www.acictios.org/dahlia/Revista-Dahlia-7.pdf>
- Anderson EP. 2013. Desarrollo Hidroeléctrico y Servicios Ecosistémicos en Centroamérica. Washington (USA): Banco Interamericano de Desarrollo (BID). IDB TN 518.
- Área Metropolitana. 2011. Red de Monitoreo Ambiental en la Cuenca Hidrográfica del río Aburra- Medellín en Jurisdicción del Área Metropolitana Fase III. Resumen ejecutivo. Medellín (Colombia): Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Informe final. Convenio 397 de 2009.

- Arthington AH, Naiman RJ, McClain ME, Nilsson C. 2010. Preserving the biodiversity and ecological services of rivers: new challenges and research opportunities. *Freshwater Biology*, 55(1): 1–16. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02340.x>
- Balvanera P, Cotler H, et al. 2009. Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos. En: Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO), editores. *Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. p. 185-245. [http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20II/II04\\_EdoTendenciasServiciosEcosistemicos.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20II/II04_EdoTendenciasServiciosEcosistemicos.pdf)
- Baron JS, Poff NL, Angermeier PL, Dahm CN, Gleick PH, Hairston Jr. NG, Jackson RB, Johnston CA, Richter BD, Steinman AD. 2003. Ecosistemas de agua dulce sustentables. *Tópicos en Ecología*, 10: 1-16. <https://www.esa.org/esa/wp-content/uploads/2013/03/numero10.pdf>
- Betancur-Hernández J. 2012. Intervención del río Medellín: la Sociedad de Mejoras Públicas y la administración municipal de Medellín, 1940-1956. *Historiolo*, 4(8): 239-274. DOI:<https://doi.org/10.15446/historiolo.v4n8.31715>
- Cámara de Comercio de Medellín. 2009. Proyecto Hidroeléctrico Porce IV. [fecha de acceso: abril 20, 2015]. <https://es.scribd.com/doc/97214530/Proyecto-Hidroelectrico-Porce-IV>
- Caputo-Cueto L, Vilarly-Quiroga SP. 2013. Aproximaciones a la diversidad funcional de los peces arrecifales y su papel en el suministro de servicios de los ecosistemas. En: MA Perez, Rojas-Padilla J, Galvis-Castaño R. editores. *Sociedad y Servicios Ecosistémicos. Perspectivas desde la minería, los megaproyectos y la educación ambiental*. Cali (Colombia): Programa Editorial de la Universidad del Valle. p. 167 - 178.
- Carvajal-Quintero J, Escobar F, Alvarado F, Villa-Navarro F, Jaramillo-Villa U, Maldonado-Ocampo J. 2015. Variation in fresh water fish assemblages along a regional elevational gradient in the Northern Andes, Colombia. *Ecology and Evolution*, 5(13): 2608-2620. doi:10.1002/ece3.1539
- Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (CTA). 2013. Resumen de resultados: Evaluación de la huella hídrica del río Porce. Medellín (Colombia): CTA. <https://www.goodstuffinternational.com/images/PDF/LibroHuellaHidrica.pdf>
- Costanza R, de Groot R, Braat L, Kubiszewski I, Fioramonti L, Sutton P, Farber S, Grasso M. 2017. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 28(Part A): 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>
- Cornelissen JHC, Lavorel S, Garnier E, Díaz S, Buchmann N, Gurvich DE, Reich PB, ter Steege H, Morgan HD, vander Heijden MGA, Pausas JG, Poorter H. 2003. A handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 51(4): 335-380. DOI:10.1071/BT02124
- Cucherousset J, Olden JD. 2011. Ecological impacts of nonnative freshwater fishes. *Fisheries*, 36(5): 215-230. <https://doi.org/10.1080/03632415.2011.574578>
- de Groot RS, Wilson MA, Boumans RMJ. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3): 393-408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
- de Groot R, Alkemade R, Braat L, Hein L, Willemen L. 2010. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision-making. *Ecological Complexity*, 7(3): 260-272. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.10.006>
- Diez JM, Burbano L. 2006. Técnicas avanzadas para la evaluación de caudales ecológicos en el ordenamiento sostenible de cuencas hidrográficas. *Revista de Ingeniería e Investigación*. 26(1): 58 – 68. <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v26n1/v26n1a08.pdf>
- Empresas Públicas de Medellín E.S.P. 2007. Monitoreo y seguimiento de la fauna íctica en el río Porce y las quebradas tributarias en la zona de influencia directa del Proyecto Hidroeléctrico Porce III. Medellín (Colombia): Empresas Públicas de Medellín. Informe final. <http://es.slideshare.net/12dmorales/informe-final-porce-iii-22-de-octubre-2007>
- Food and Agriculture Organization of the United States (FAO). 2003. Perfil de Pesca Colombia. Rome (Italia): FAO. FID/CP/COL Rev. 6 <http://www.fao.org/fi/oldsite/FCP/es/col/profile.htm>.
- Food and Agriculture Organization of the United States (FAO). 2012. The state of world fisheries and aquaculture. Rome (Italia): FAO.
- González-Bergonzoni I. 2011. Dieta de peces de agua dulce: efectos de factores climáticos y complejidad del hábitat [Tesis de Maestría]. [Montevideo (Uruguay)]: Universidad de la República.
- Holmlund CM, Hammer M. 1999. Ecosystem services generated by fish populations. *Ecological Economics*, 29(2): 253-268. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00015-4](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00015-4)
- Holmlund CM, Hammer M. 2004. Effects of fish stocking on ecosystem services: An overview and case study using the Stockholm Archipelago. *Environmental Management*, 33(6): 799–820. DOI:10.1007/s00267-004-0051-8
- Humphries P, Winemiller KO. 2009. Historical impacts on river fauna, shifting baselines, and challenges for restoration. *BioScience*, 59(8): 673–684. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.8.9>
- Instituto Colombiano de Desarrollo Rural (INCODER). 2006. Memorias Taller internacional: aspectos socioeconómicos y de manejo sostenible del comercio internacional de peces ornamentales de agua dulce en el norte de Sudamérica: retos y perspectivas. Bogotá (Colombia): Incoder, WWF Colombia, Traffic America del Sur. p. 73.
- Jaramillo-Villa U, Maldonado-Ocampo JA, Escobar F. 2010. Altitudinal variation in fish assemblage diversity in streams of the Central Andes of Colombia. *Journal of Fish Biology*, 76(10): 2401-2417. DOI:10.1111/j.1095-8649.2010.02629.x.
- Jiménez-Segura LF, Álvarez J, Ochoa LE, Loaiza A, Londoño JP, Restrepo D, Aguirre K, Hernández A, Correa JD, Jaramillo-Villa U. 2014. Guía Ilustrada Peces Cañón del río Porce, Antioquia. Medellín (Colombia): EPM, Universidad de Antioquia, Herbario Universidad de Antioquia.
- Lasso CA, Gutiérrez F, Morales-Betancourt MA, Agudelo E, Ramírez-Gil H, Ajiaco-Martínez RE, editores. 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. Bogotá (Colombia): Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Lavorel S, Díaz S, Cornelissen JHC, Garnier E, Harrison SP, McIntyre S, Juli G, Pausas JG, Pérez-Harguindeguy N, Roumet C, Urcela C. 2007. Plant functional types: Are We getting any closer to the holy grail? En: JG Canadell, DE Pataki, LF Pitelka editores. *Terrestrial ecosystems in a changing world*. Berlin (Germany): Springer-Verlag Berlin Heidelberg. p. 149-164. DOI:10.1007/978-3-540-32730-1
- Liquete C, Piroddi C, Drakou EG, Gurney L, Katsanevakis S, Charef A, Egho B. 2013 Current status and future prospects for the assessment of marine and coastal ecosystem services: A systematic review. *PLoS ONE*, 8(7): e67737. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067737>.
- Maldonado J, Ortega A, Usma J, Galvis G, Villa F, Vásquez L, Prada S, Ardila C. 2005. *Peces de los Andes de Colombia*. Bogotá (Colombia): Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Marshall B, Maes M. 1994. *Small Water Bodies and their Fisheries in Southern Africa*. Rome (Italy): FAO. CIFA Technical paper, No. 29. <http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/aquaculture/a0844t/docrep/008/V5345E/V5345E00.htm>
- Merino MC, Bonilla SP, Bages F. 2013. Diagnóstico del estado de la acuicultura en Colombia. Bogotá (Colombia): Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, AUNAP, FAO. <http://aunap.gov.co/wp-content/uploads/2016/04/25-Diagn%C3%B3stico-del-estado-de-la-acuicultura-en-Colombia.pdf>
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, D.C. (USA): Island Press. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). 2012a. *Política nacional para la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos*. Bogotá (Colombia): Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). 2012b. Resolución 1512. Por la cual se revoca parcialmente la Resolución 1078 de 2012. Bogotá (Colombia): Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Moyle PB, Moyle PR. 1995. Endangered fishes and economics: Intergenerational obligations. *Environmental Biology of Fishes*, 43(1): 29-37. <https://doi.org/10.1007/BF00001814>
- Myers RA, Worm B. 2003. Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. *Nature*; 423(6937): 280-283. DOI:10.1038/nature01610
- Naidoo R, Balmford A, Costanza R, Fisher B, Green RE, Lehner B, Malcolm TR, Ricketts TH. 2008. Global mapping of ecosystem services and conservation priorities. *PNAS*, 105(28): 9495-9500. <https://doi.org/10.1073/pnas.0707823105>
- Observatorio Iberoamericano de Acuicultura (OIA) 2013. *Colombia: Peces ornamentales, potencial poco explorado*. Madrid (España): **Fundación Biodiversidad**, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. [fecha de acceso: mayo 20, 2013]. <http://observatorioacuicola.org/noticias/colombia-peces-ornamentales-potencial-poco-explorado-0>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). 2016. *Pesca y acuicultura en Colombia*. [fecha de acceso: febrero 10, 2018]. [https://www.oecd.org/tad/fisheries/Fisheries\\_Colombia\\_SPA\\_rev.pdf](https://www.oecd.org/tad/fisheries/Fisheries_Colombia_SPA_rev.pdf)
- Ortega-Lara A. 2016. *Guía visual de los principales peces ornamentales continentales de Colombia*. Serie recursos pesqueros de Colombia-AUNAP. Santiago de Cali (Colombia): Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca, Fundación FUNINDES. p. 112.
- Parrado-Sanabria YA. 2012. Historia de la acuicultura en Colombia. *Revista Científica de la Sociedad de Acuicultura Española*, 37: 60-77. <http://www.redalyc.org/pdf/494/49425906003.pdf>
- Pough FH, Heiser JB, Mc Farland WN. 1996. *Vertebrate Life*. 4<sup>th</sup> ed. New Jersey (USA): Prentice Hall.
- Rincón-Ruiz A, Echeverry-Duque M, Piñeros AM, Tapia CH, David A, Arias-Arévalo P, Zuluaga PA. 2014. *Valoración integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos: Aspectos conceptuales y metodológicos*. Bogotá (Colombia): Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Rojas E, Gamboa M, Villalobos S, Cruzado F. 2004. Eficacia del control de larvas de vectores de la malaria con peces larvívoros nativos en San Martín, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 20(1): 44-50. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-46342004000100008&lng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342004000100008&lng=es)
- Ryman N, Utter F, Laikre L. 1994. Protection of aquatic biodiversity. En: CW Voigtlander, editor. *The state of the world's fisheries resources: Proceeding World Fisheries Congress, Plenary Sessions*. New Delhi (India): Oxford and IBH Publishing Co. p. 92-115.
- Salgado-Negret, B, editor. 2015. *La ecología funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones*. Bogotá (Colombia): Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Science for Environment Policy. 2015. *Ecosystem services and the environment. In-depth Report 11*. Bristol (UK): European Commission and Science Communication Unit, University of the West of England (UWE). [http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/ecosystem\\_services\\_biodiversity\\_IR11\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/ecosystem_services_biodiversity_IR11_en.pdf)
- Schramm HLJ, Mudrak VA. 1994. Use of sport fish restoration funds for put-and-take trout stocking: Beneficial uses of put-and-take trout stocking. *Fisheries*, 19: 6-7.
- Serna-Mendoza CA. 2016. La oferta natural y la demanda social: Un espacio de posibilidades para el desarrollo sostenible. Un estudio de caso. *Revista del CESLA*, [fecha de acceso octubre 16, 2017]; 19: 105-124. <http://cejsh.icm.edu.pl/cejsh/element/bwmeta1.element.desklight-dff75d63-950c-41da-9b39-ae3d63f6364e>
- WorldFish Center. 2002. *Fish: An issue for everyone. A concept paper for fish for all*. Penang (Malaysia): WorldFish Center. [fecha de acceso: octubre 16, 2017]. [http://pubs.iclarm.net/resource\\_centre/fish-an%20issue%20for%20everyone.pdf](http://pubs.iclarm.net/resource_centre/fish-an%20issue%20for%20everyone.pdf)