
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 magdalanae*), 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 H_2S , 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

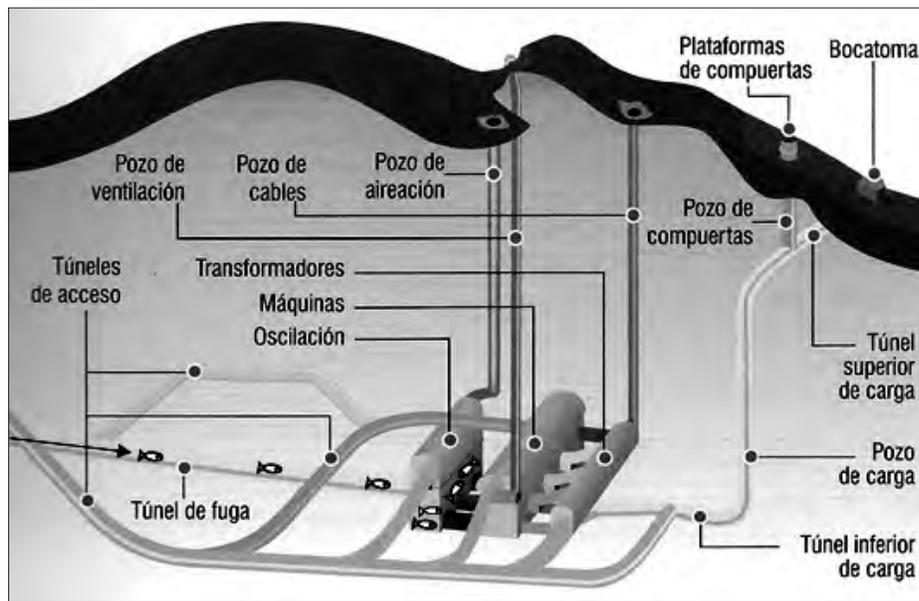


Figura 3. Esquema de la entrada de los peces provenientes del río La Miel a la central subterránea La Miel I. Fuente: Isagen S. A. (2009).

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 (*Ichthyoelphas 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>Ichthyoelphas 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).

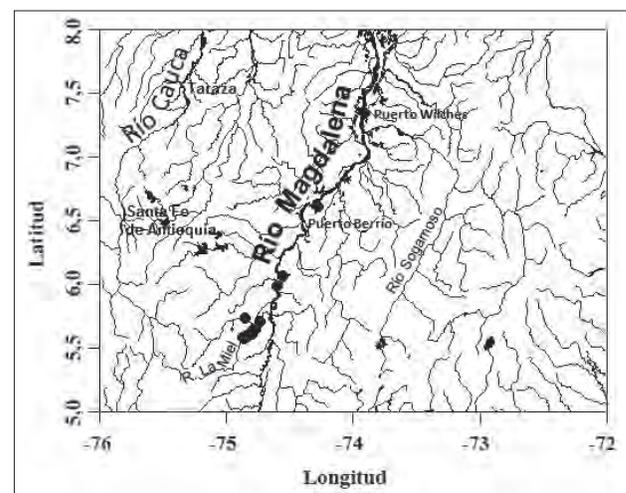


Figura 4. Lugares de recaptura de las especies liberadas en túnel de fuga o caverna de oscilación.

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

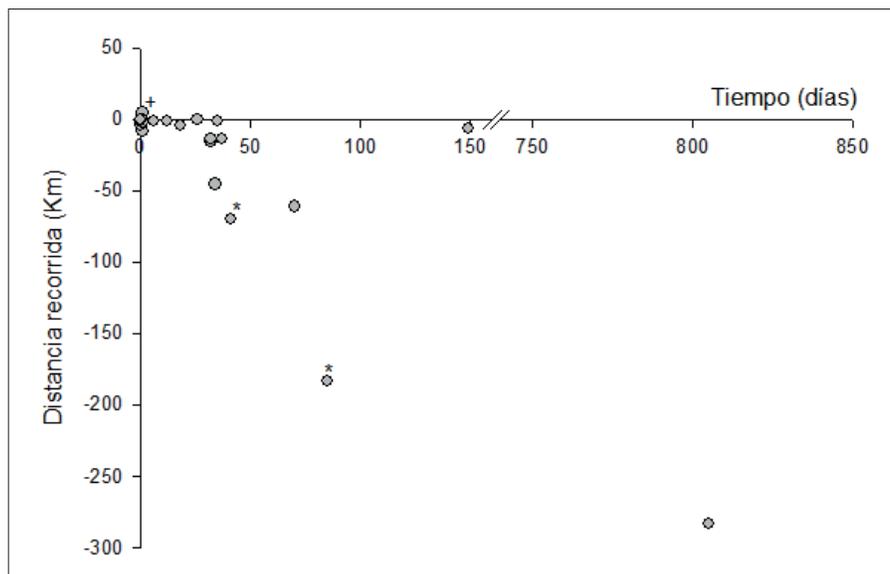


Figura 5. Distancia y tiempo entre la liberación y la recaptura de los individuos de especies migratorias marcados y liberados en túnel de fuga o caverna de oscilación. Nótese que + corresponde al individuo No 999 capturado en Puente Hierro; y * corresponden a individuos que, tras realizar un movimiento 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_proyectoHidroelectricoManso&tituloPag=ISAGEN,%20Proyecto%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. Ajíaco-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