



LA RESTAURACIÓN DE LA CONTINUIDAD FLUVIAL PARA LAS ESPECIES PISCÍCOLAS MIGRADORAS. DIFERENCIAS OBSERVADAS EN TRES ESPECIES ANALIZADAS EN UNA ESCALA DE HENDIDURA VERTICAL

Ángel Lara Domínguez¹, Enrique Aramburu Godínez¹, Felipe Morcillo Alonso¹, Miriam Castillo Blanco¹, Diego García de Jalón Lastra², Ricardo García Díaz² y Fernando Torrent Bravo²

Enrique.Aramburu@cedex.es

¹Laboratorio de Hidráulica. Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX. Ministerio de Fomento

²Departamento de Ingeniería Forestal. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de Madrid

Resumen

Es sabido que uno de los factores de amenaza más relevantes, aunque no el único, para las especies piscícolas migradoras es la presencia de barreras a sus desplazamientos, constituyendo las presas y azudes unos claros ejemplos de barreras con frecuencia poco o nada permeables a los movimientos de las poblaciones piscícolas.

A día de hoy, una de las acciones correctivas más frecuentes ante ese efecto barrera que suponen las presas y los azudes, es la incorporación en las mismas de pasos o escalas para peces, si bien, por el escaso conocimiento que se tiene del comportamiento de los peces en este tipo de estructuras, no es infrecuente que su diseño sea imperfecto. Esta circunstancia ocurre especialmente en los ríos donde predominan las especies de la familia de los ciprínidos, pues los criterios de diseño que se manejan habitualmente son más cercanos a los ríos donde predominan los salmónidos.

A este objeto se han analizado las diferencias observadas en tres especies autóctonas en una escala de hendidura vertical existente en el Laboratorio de Hidráulica del CEDEX. Las tres especies estudiadas han sido una de salmónidos, trucha común (*Salmo trutta*), y dos de ciprínidos, barbo común (*Luciobarbus bocagei*) y boga común (*Pseudochondrostoma polylepis*).

Palabras clave: Conectividad fluvial, escalas de peces, pasos para peces, ciprínidos, salmónidos

Abstract

One of the most relevant threat factors for the migratory fishes is the presence of barriers as dams and weirs which frequently are no permeable for their movement.

Nowadays, one of the most frequent mitigation measures to avoid the barrier effect caused by dams and weirs is the incorporation of fish passes as fishways to these water infrastructures. The lack of knowledge about the behaviour of fishes in these facilities results in an imperfect design. Specially, it happens in cyprinid rivers because of most of the time the usual design criteria are only considering salmonid rivers.

It have been studied with this aim the differences observed in indigenous fishes ascending a vertical slot fishway built in the Hydraulic Laboratory of the Center for Hydrography Studies. The three species studied have been one salmonid, the brown trout (*Salmo trutta*), and two cyprinids, the common barbel (*Luciobarbus bocagei*) and the Iberian nase (*Pseudochondrostoma polylepis*).

Key words: River continuity, fish passes, fishways, salmonids, cyprinids

1. Introducción

En los últimos 100 años los ecosistemas acuáticos continentales han sufrido una intensa intervención que ha ocasionado un gran impacto en la biodiversidad de la ictiofauna (Cowx y Collares-Pereira, 2002). Hoy en día en nuestro país existe una legislación traspuesta de la legislación europea como la Directiva Marco del Agua, la Directiva Hábitats y la Directiva de Evaluación de Impacto Ambiental, que tienen entre sus objetivos alcanzar un «buen estado» ecológico y químico de todas las aguas comunitarias para 2015, contribuir al mantenimiento de la biodiversidad en los Estados miembros definiendo un marco común para la conservación de los hábitats y la fauna y la flora de interés comunitario y en su caso, establecer las medidas de reducción de los efectos negativos del proyecto.

La falta de transitabilidad de los ríos por la existencia de obras hidráulicas transversales es un hecho constatado por numerosos investigadores; recientemente se ha comprobado que en la cuenca del río Guadalquivir dicha falta de transitabilidad producida por la existencia de numerosas presas es la tercera causa de la gran disminución de peces (Fernández-Delgado et al., 2010)

Las escalas de peces es, a día de hoy, una de las medidas correctoras más frecuentemente utilizadas para minimizar el efecto barrera que suponen, para el desplazamiento de los peces, obras transversales como son las presas y los



azudes. Y es necesario poder evaluar la eficacia de esta medida con la finalidad de alcanzar los objetivos antes mencionados.

La mayor parte de los estudios sobre la eficacia de las escalas de peces se basan principalmente en la investigación en modelos físicos en laboratorio, analizando básicamente parámetros hidráulicos y los estudios que ensayan con peces lo hacen en cámaras de natación y en canales (Peake et al., 1997; Toepfer et al., 1999; Peake, 2008a), cuyo funcionamiento hidráulico es muy diferente al que se da en una escala de peces.

Por otra parte a día de hoy, el esfuerzo científico y técnico se ha centrado en los salmónidos por lo que es necesario evaluar la eficacia de las escalas para otras familias de peces, como los ciprínidos, una de las familias más importantes de la Península Ibérica por su abundancia, distribución, riqueza y biodiversidad. Respecto a la capacidad natatoria de los peces, existe una abundante información para salmónidos (Tudorache et al., 2008), sin embargo no sucede lo mismo para ciprínidos ibéricos (Silva, 2009),

Los resultados que aquí se presentan son los primeros obtenidos en los ensayos llevados a cabo con las especies: trucha común (*Salmo trutta*), boga común (*Pseudochondrostoma polylepis*) y barbo común (*Luciobarbus bocagei*), en un modelo físico de escala de hendidura vertical (escala 1:1) existente en el Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos del Centro de Estudios de Experimentación y Obras Públicas (CEDEX).

La tipología de escala elegida para comenzar el estudio ha sido la de hendidura vertical, que a pesar de no ser de las más frecuentes en nuestro país (Elvira et al., 1998), presenta una serie de ventajas (Odeh, 1999): es idónea para caudales incontrolables u oscilantes (una característica de los ríos de regímenes mediterráneos), se puede adaptar a las variaciones de calado, proporciona áreas de descanso a los peces, permite ascender a los peces a la profundidad que ellos elijan y es de fácil mantenimiento. Cabe señalar que en esta tipología la velocidad del agua en la hendidura, punto obligado de paso de los peces, no varía con la profundidad y es independiente del caudal lo que constituye una ventaja pues su funcionamiento hidráulico permanecerá constante frente a las variaciones naturales de caudal sin necesidad de elementos de regulación (Pena et al., 2006)

El objetivo del proyecto es mejorar el conocimiento de los parámetros hidráulicos y biológicos necesarios para evaluar la eficacia de las escalas para peces.

2. Material y métodos

2.1. Escala de peces

Los ensayos se han llevado a cabo en un modelo físico de escala de hendidura vertical a tamaño real (escala 1:1), constituida por un canal rectangular de 20 m de longitud, 1,5 m de ancho y 1,0 m de alto, dividido en 11 estanques. Los estanques miden 1,85 m de longitud siendo el ancho de la hendidura de 27 cm. La velocidad máxima aproximada que se da en dicha hendidura es de 1,1 m/s y en el flujo principal sobre 1 m/s.

La escala ocupa una superficie en planta de 27 m longitud x 4,5 m ancho y tiene una pendiente longitudinal del 7,5 %. El depósito general de agua, que dispone de un sistema de filtración mecánica y biológica, almacena unos 135.000 litros, con un sistema de recirculación del agua constituido por dos bombas hidráulicas de hasta 250 l/s cada una. La calidad del agua se ha controlado periódicamente para asegurar el bienestar de los peces, siguiendo los criterios indicados por la Directiva 2006/44/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 6 de septiembre de 2006, relativa a la calidad de las aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces y por la Guía sobre el cuidado y utilización de peces en investigación, docencia y ensayos en laboratorio (Canadian Council on Animal Care, 2005).

2.2. Procedencia y transporte de los ejemplares

Los ejemplares de trucha común que se han utilizado en los ensayos han procedido de la Piscifactoría Regional "Rincón de Uña" gestionada por la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente de la Junta de Comunidades de Castilla la Mancha, Uña (Cuenca). Los ejemplares de boga común han nacido y han sido criados en la Piscifactoría de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid, y los ejemplares de barbo común han sido capturados mediante pesca eléctrica en el río Cofio, aguas abajo de la estación de aforos situada en San Martín de Valdeiglesias. Previo a los ensayos en el Laboratorio de Hidráulica, los ejemplares con los



que se ha ensayado han pasado al menos una semana en la Piscifactoría de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes.

El transporte de los peces hasta las instalaciones del Laboratorio de Hidráulica del CEDEX se ha realizado en bidones y con aireadores para asegurar el bienestar de los ejemplares.

2.3. Identificación y seguimiento de los peces

El método utilizado para la localización e identificación de los peces durante la experimentación en la escala ha sido un sistema de radiofrecuencia que aplica la tecnología de los transpondedores integrados pasivos (PIT tag), siguiendo la metodología indicada por Castro-Santos et al. (1996).

Se ha instrumentado la escala de peces con dos antenas colocadas en puntos de obligado paso en sus dos extremos. La primera para detectar la aproximación o entrada en la escala, en la hendidura existente entre el recinto de aguas abajo de la escala y el primer estanque, estando situada la segunda en la hendidura entre el estanque undécimo y el recinto de aguas arriba de la escala, para detectar la finalización de la ascensión de los peces..

Estas antenas están conectadas a un emisor/lector y se ha implantado un microcircuito (PIT tag), con un único código determinado, en cada ejemplar de pez. El PIT tag utilizado en todos los ensayos mide 11 mm (Allflex, modelo FDX-B). La inserción del microchip se ha realizado en la cavidad abdominal del individuo previamente anestesiado con triclaína metansulfonato (MS-222) mediante ayuda de jeringas y agujas específicas.

Así, al paso de los peces marcados por las proximidades de las antenas, el PIT tag interacciona electromagnéticamente con ellas, recibiendo el circuito lector asociado a cada antena el código único de identificación asignado a cada pez. Se ha obtenido así la información en tiempo real en un sistema informático de los movimientos de los peces durante los ensayos.

2.4. Protocolo de ensayos

Los ensayos que aquí se comentan y que se han llevado a cabo entre enero y mayo de 2010, respetando la época de reproducción de las distintas especies: trucha común (*Salmo trutta*), boga común (*Pseudochondrostoma polylolepis*) y barbo común (*Luciobarbus bocagei*),

Se han realizado dos ensayos con cada especie, uno ha sido con un caudal bajo circulante por la escala (100 l/s) y otro con un caudal más alto (250 l/s). Para cada uno de estos dos caudales se han fijado los niveles del agua en el recinto de aguas abajo de la escala, con la finalidad de permitir la existencia de una llamada efectiva hacia la escala.

Los peces han sido traídos al Laboratorio de Hidráulica desde la Piscifactoría de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid y previo a cada ensayo los ejemplares han sido medidos, pesados y marcados con un PIT tag. Después ha transcurrido un periodo mínimo de 48 horas de descanso y aclimatación hasta la realización del ensayo. Al comienzo del cada ensayo, aproximadamente a las 9:00 AM, se ha colocado a los peces en el recinto de aguas abajo de la escala, se ha fijado el caudal correspondiente y se ha permitido el movimiento voluntario de los ejemplares durante 24 horas, tiempo durante el cual las bombas y las antenas han funcionado ininterrumpidamente. Una vez finalizados, los ejemplares han sido devueltos a la piscifactoría. Durante el periodo de estancia en el Laboratorio, no se ha proporcionado alimento a los peces que iban a participar en los ensayos con la finalidad de conseguir el mismo estado de repleción gástrica en todos los individuos.

El número de peces utilizado para cada ensayo, así como su longitud furcal, puede consultarse en la Tabla 1. Para las distintas especies, los ensayos con los caudales de 100 l/s y 250 l/s han sido realizados: en el caso de la trucha común, los días 28 de enero y 3 de marzo, respectivamente: en el de la boga común los días 8 y 15 de abril, y con barbo común los días 13 y 20 de mayo.



Tabla 1. Número de ejemplares de las tres especies que participaron en los ensayos con 100 l/s y 250 l/s y, media de la longitud furcal (rango entre paréntesis) en cm

	100 l/s		250 l/s	
	Nº ejemplares	Media LF (Rango) cm	Nº ejemplares	Media LF (Rango) cm
Trucha común	10	21 (19 - 26,2)	6	19,6 (18,1 - 24,4)
Boga común	14	17,1 (14,4 - 24,2)	17	17 (13,8 - 25)
Barbo común	20	33,5 (16,3 - 41,6)	16	33,1 (31 - 38,8)

2.5. Estadística

Para relacionar las ascensiones completas de la escala, los tiempos de aproximación a la antena primera y el de ascensión completa de la escala con la especie, el caudal y la longitud furcal, se han ajustado los datos a modelos de regresión logística (GLM) aplicando el Criterio de Información de Akaike mediante el paquete "Stats" de R (2010).

Se han realizado pruebas de normalidad con el test Shapiro-Wilk. Para comparar las medias, cumplido el supuesto de normalidad, se ha empleado el test de la T de Student, y para comprobar la igualdad de las varianzas se ha aplicado el test de Levene. En caso de no cumplir el supuesto de normalidad se ha aplicado el test Z de Kolmogorov-Smirnov. Se han realizado correlaciones de Pearson en el caso de que los datos fueran normales y correlaciones de Spearman en el caso de que no lo fueran. Para poder realizar las comparaciones de los resultados obtenidos para una misma especie en los ensayos con los dos caudales, se ha comprobado previamente que no existían diferencias significativas entre la longitud furcal de las truchas comunes (Z de Kolmogorov-Smirnov $p=0,888$), ni entre la longitud furcal de las bogas (Z de Kolmogorov-Smirnov $p=0,752$), ni entre la longitud furcal de los barbos (Z de Kolmogorov-Smirnov $p=0,698$). Todos estos análisis se han realizado con la versión 15.0.1. del SPSS para Windows (2006).

3. Resultados

El 100% de los individuos de trucha común que participaron en los ensayos con ambos caudales han sido registrados por la primera antena y, lo mismo, ha sucedido con los individuos de boga que participaron en el ensayo con 100 l/s, en cambio los del ensayo de 250 l/s no llegaron al 90%. El registro de los individuos de barbo es mayor en el ensayo de 100 l/s que en el de 250 l/s, no llegando a ser del 100% en ninguno de los casos (Tabla 2).

El porcentaje de individuos de trucha común que ascendieron completamente la escala ha sido mayor que el de barbo común y que el de boga común. En los tres casos se ha observado una diferencia entre los ascensos con los dos caudales, siendo mayor el porcentaje de ascensiones con el caudal de 100 l/s (Tabla 2). Los resultados del GLM indican que las variables especie ($p=0,0207$) y longitud furcal ($p=0,0226$) tienen un efecto significativo en las ascensiones completas de la escala.

Tabla 2. Porcentaje de individuos de las tres especies que son registrados por la primera antena y porcentaje de individuos que completan la ascensión

	Trucha común		Boga común		Barbo común	
	100 l/s	250 l/s	100 l/s	250 l/s	100 l/s	250 l/s
Nº de individuos	10	6	14	17	20	16
Registros por la primera antena (%)	100	100	100	88	90	75
Ascensos completados (%)	90	67	43	12	75	44

Los individuos más pequeños que han ascendido completamente la escala en los ensayos de 100 l/s presentaron una longitud furcal de 19 cm, 16,3 cm y 31,9 cm (trucha, boga y barbo, respectivamente). En los ensayos de 250 l/s, presentaron una longitud furcal de 18,1 cm, 16,5 cm y 31 cm (trucha, boga y barbo, respectivamente).



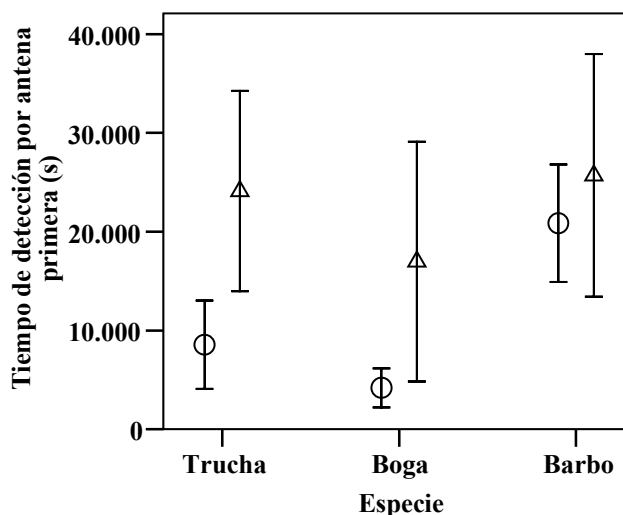
Si se realizan comparaciones entre individuos de la misma especie que participaron en los ensayos con los dos caudales, no se observan diferencias significativas entre la hora media de registro por la primera antena, la hora media de inicio de la ascensión ni la hora media de finalización de la ascensión de los ejemplares de boga común y barbo común. En el caso de la trucha común sí que se encuentra una diferencia significativa entre la hora de inicio de la ascensión (tStudent $t=0,010$) y la hora de finalización de la ascensión (tStudent $p=0,007$), siendo mayor en ambos casos para el ensayo con caudal de 250 l/s (Tabla 3).

El tiempo medio que tardaron los peces en registrarse por la primera antena es mayor para los barbos comunes, sin embargo, los resultados del GLM indican que es el caudal ($p=0,00632$) y la interacción entre el caudal y la longitud furcal ($p=0,04960$) las variables que tienen un efecto significativo en este tiempo. De todos modos, cabe señalar que al realizar las comparaciones entre los individuos de la misma especie que participaron en los ensayos con los dos caudales, no se han encontrado diferencias significativas para ninguna de las especies (Figura 1).

Tabla 3. Hora de comienzo del ensayo y horas media y desviación típica de registro por la primera antena, de inicio de la ascensión y finalización de la ascensión para las tres especies (* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$)

Caudal	Trucha común		Boga común		Barbo común	
	100 l/s	250 l/s	100 l/s	250 l/s	100 l/s	250 l/s
Hora de registro	11:36:34	12:53:44	10:19:55	12:26:00	15:13:26	14:31:36
	± 1:44:12	± 4:24:49	±0:57:12	±3:54:46	±3:02:49	±4:28:20
Hora de inicio	11:30:18*	14:51:22*	10:57:40	10:22:04	14:00:12	14:40:34
	±1:44:57	±1:57:05	±2:15:29	±0:50:46	±7:11:44	±2:51:54
Hora de finalización	12:24:23**	16:52:38**	12:40:41	13:18:08	14:41:59	16:31:52
	±2:07:22	±2:32:49	±1:57:58	±1:27:58	±7:08:47	±3:58:48

Figura 1. Tiempo medio (en segundos, s) en registrarse los peces por la primera antena (O, caudal 100 l/s; Δ, caudal 250 l/s)



El tiempo medio que tardaron los peces en ascender la escala por completo es mayor para las bogas comunes, siendo el caudal, según los resultados que indica el GLM, la variable que tiene un efecto significativo en este tiempo ($p=0,01$). Al realizar las comparaciones entre los individuos que participaron en los ensayos con los dos caudales para cada especie, se encontraron diferencias significativas para la trucha común (Z de Kolmogorov-Smirnov $p=0,025$) y para el barbo común (Z de Kolmogorov-Smirnov $p=0,001$) (Figura 2).

No existe una correlación lineal estadísticamente significativa entre la longitud furcal de los ejemplares de la misma especie que participaron en los dos ensayos con los dos caudales, con el tiempo de registro por la primera antena y



con el tiempo de ascensión completa, excepto con el tiempo de registro por la primera antena del ensayo de 250 l/s con boga común (Tabla 4).

Figura 2. Tiempo medio (en segundos, s) en ascender la totalidad de la escala (O, caudal 100 l/s; Δ, caudal 250 l/s) (*P < 0,05; **P < 0,01)

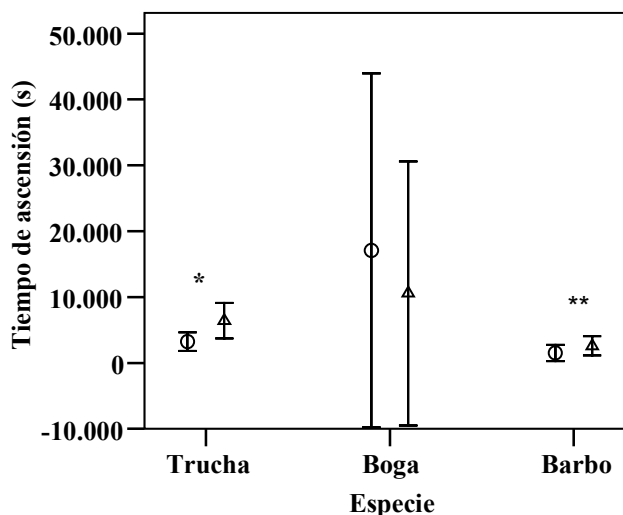


Tabla 4. Correlación de Spearman (r) ente la longitud furcal (en cm) de los ejemplares que participan en los ensayos con los dos caudales y las variables tiempo de registro por la primera antena (en segundos, s) y tiempo de ascensión completa de la escala (en segundos, s). N es el número de individuos que se registraron por la primera antena o que realizaron la ascensión completa (*P < 0,05)

Especie	Variable dependiente	100 l/s	250 l/s
		(N) r	(N) r
Trucha común	Tiempo de registro por la primera antena	(10) -0,188	(6) -0,086
	Tiempo de ascensión	(9) -0,529	(4) -0,8
Boga común	Tiempo de registro por la primera antena	(10) -0,434	(15) -0,593*
	Tiempo de ascensión	(7) -0,7	(2) -
Barbo común	Tiempo de registro por la primera antena	(18) 0,212	(13) 0,003
	Tiempo de ascensión	(15) 0,089	(6) 0,542

4. Conclusiones

De los resultados que se han expuesto anteriormente, del comportamiento observado de los peces en la escala de hendidura vertical existente en el Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos, y teniendo en cuenta el pequeño número de datos de los que se disponen por el momento, se pueden extraer las siguientes conclusiones principales:

- La especie y el tamaño de los ejemplares influye en su capacidad de ascenso a lo largo de la escala. De las tres especies ensayadas, las bogas comunes han subido en menor proporción la totalidad de la escala que las otras dos (trucha y barbo común). Una de las causas que ha influido en este resultado ha sido la longitud furcal de los ejemplares de boga que se han utilizado en este estudio, más pequeños que los ejemplares de trucha y barbo, aunque no se pueden descartar otras variables como puede ser la distinta capacidad natatoria de estas especies.
- El comportamiento de los peces en la escala es muy diferente del que se da en los canales de ensayo o cámaras de natación que habitualmente son utilizados para la obtención de sus capacidades natatorias.



Los individuos de las tres especies con los que se ensayó en la escala permanecen prácticamente todo el tiempo que emplean en ascender la escala en las zonas de recirculación de cada estanque, en donde las velocidades del agua son sensiblemente menores. En dichas zonas los peces se encuentran descansando hasta que deciden subir al siguiente estanque de la escala. Esta posible estrategia no puede darse obviamente en un canal o cámara de natación en donde el pez forzosamente debe enfrentarse a la corriente.

- El paso por la hendidura, sección por la que el pez está obligado a pasar para subir de un estanque al superior, es donde se dan las mayores velocidades del agua en la escala y está más relacionado con el comportamiento de un pez en un canal de ensayo o cámara de natación. En esta sección de paso los criterios basados en la velocidad crítica de natación, como el que se define para el diseño de pasos de peces que se instalan en caminos y carreteras (Peake, 2008b), pueden aplicarse al diseño de una escala de hendidura vertical, pero deben acompañarse de otros criterios que tengan en cuenta la fatiga del pez al ir ascendiendo la escala.
- Al comparar los resultados obtenidos con las tres especies para los dos caudales de ensayo de 100 y 250 l/s se deduce la influencia del caudal en la capacidad de ascenso por la escala. Para las tres especies que se han ensayado en la escala la proporción de ejemplares que han ascendido la totalidad de la escala ha sido mucho menor con el caudal más alto. Estudios previos indican que en la tipología de escalas de hendidura vertical la velocidad del agua es prácticamente independiente del caudal y que por tanto el funcionamiento hidráulico permanece constante frente a las variaciones naturales de caudal (Pena et al., 2006). Las impresiones de esta primera campaña de ensayos apuntan a la posible influencia del calado, turbulencia y gradientes de velocidades, que son diferentes para cada caudal, en la capacidad de ascenso de los ejemplares por la escala para todas las especies ensayadas.

Agradecimientos

Este proyecto de investigación se enmarca dentro del convenio de colaboración entre la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino y el CEDEX suscrito en el año 2.003 para la realización de asistencia técnica, investigación y desarrollo tecnológico en materia de hidráulica continental (Actividad 10 relativa a “escalas de peces en presas y azudes”), y ha recibido una subvención mediante la Acción Complementaria “Análisis del comportamiento de los peces en las escalas como base para la mejora de la conectividad fluvial” dentro del Programa Nacional de Proyectos de Investigación Fundamental, en el marco del VI Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (2008-2011) en colaboración con la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de Madrid (Universidad Politécnica de Madrid).

Los ejemplares de trucha común han sido proporcionados por la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente de la Junta de Comunidades de Castilla la Mancha a quien se agradece su aportación. Del mismo modo se agradece a la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid la autorización para la obtención de ejemplares de barbo común en aguas del río Cofio.

Agradecimientos a Juan Antonio Berges, sin su dedicación este trabajo no habría podido salir adelante. A José Luis García, encargado de la instrumentación de la escala de peces, a Ángel Gómez por su inestimable ayuda durante los ensayos y a Jorge Rubén Sánchez y Andrés Mellado por sus aportaciones estadísticas en este artículo.

Referencias

- Canadian Council on Animal Care. (2005). CCAC guidelines on: the care and use of fish in research, teaching and testing, 87 p. Ottawa.
- Castro-Santos, T.; Haro, A.; Walk, S. (1996). A passive integrated transponder (PIT) tag system for monitoring fishways. *Fisheries Research*, 28: 253-261.
- Cowx, I.G.; Collares-Pereira, M.J. (2002). Freshwater fish conservation: options for the future. In Collares-Pereira, M. J., I. G. Cowx & M. M. Coelho (Eds), *Freshwater Fish Conservation-Options for the Future*. Fishing News Books, 443–452, Oxford.



Fernández-Delgado, C. (2010). Estado y problemática de conservación de los peces continentales autóctonos de la cuenca del Guadalquivir e inventariación de los tramos fluviales más importantes para su protección. Informe Técnico para la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. 257 p. Córdoba.

Elvira, B.; Nicola, G.G.; Almodóvar, A. (1998). Impacto de las obras hidráulicas en la ictiofauna. Dispositivos de paso para peces en las presas de España. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente, 208 p. Madrid.

Odeh, M. (1999). Innovations in fish passage technology. American Fisheries Society, Bethesda, 209 p. Maryland.

Peake, S.J. (2008a). Gait transition speed as an alternate measure of maximum aerobic capacity in fishes. *Journal of Fish Biology*, 72: 645–655.

Peake, S.J. (2008b). Swimming performance and behavior of fish species endemic to Newfoundland and Labrador: A literature review for the purpose of establishing design and water velocity criteria for fishways and culverts. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 2843, v52 p.

Peake, S.J.; Beamish, F.W.H.; McKinley, R.S.; Scruton, D.A.; Katopodis, C. (1997). Relating swimming performance of lake sturgeon, *Acipenser fulvescens*, to fishway design. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54: 1361-1366.

Pena, L.; Puertas, J.; Teijeiro, T.; Peña, E. (2006). Dispositivos de remonte para peces: escalas de hendiduras verticales. *Ingeniería del Agua*, 13 (2): 113-128.

R Development Core Team (2010). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Silva, F.A. (2009). Determinação das velocidades críticas de natação da boga-comum (*Pseudochondrostoma polylepis* Steindachner, 1865) e do escalão do Norte (*Squalius carolitertii* Doadrio, 1988). Tesis. Universidade de Évora e Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa. 25 p.

SPSS Inc. (2006). SPSS Base 15.0 for Windows User's Guide. SPSS Inc., Chicago IL.

Toepfer, C.S.; Fisher W.L.; Haubelt. J.A. (1999). Swimming performance of threatened leopard darter in relation to road culverts. *Transactions of the American Fisheries Society*, 128: 155–161.

Toudorache, C.; Viaene, P.; Blust, R.; Vereecken, H.; De Boeck, G. (2008). A comparison of swimming capacity and energy use in seven European freshwater fish species. *Ecology of Freshwater Fish*, 17(2): 284-291.