

**SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**  
**XXI CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**

**EVALUACIÓN DE VELOCIDADES CRÍTICAS EN JUVENILES DE PUYE GRANDE  
(*Galaxias platei*) Y CONTRASTE CON LA ESPECIE INVASORA TRUCHA CAFÉ  
(*Salmo trutta*)**

**CATTERINA SOBENES V.<sup>1</sup>**  
**OSCAR LINK L.<sup>2</sup>**  
**EVELYN HABIT C.<sup>3</sup>**

**RESUMEN**

La barrera de una bocatoma genera fragmentación del hábitat de peces, impidiendo el normal desplazamiento y migración de la fauna íctica. En principio, esto causa una pérdida de biodiversidad y disminución de la abundancia de especies. Un diseño adecuado de la barrera debe incorporar un sistema de paso de peces, para lo que se requiere conocer el comportamiento y velocidades de nado de la fauna íctica. A nivel mundial el diseño de estas obras se ha orientado para especies de salmónidos, las que en nuestro país constituyen especies invasoras. Luego, estos diseños no necesariamente son útiles para los peces nativos. En este trabajo se presentan resultados experimentales para evaluar la velocidad crítica de la especie nativa *Galaxias platei*. Esta velocidad se compara con la del salmónido *Salmo trutta*, encontrando que *G. platei* es significativamente más lenta, lo que muestra las diferencias en comportamiento, alta vulnerabilidad frente a salmónidos, y que el diseño de paso de peces existentes no es útil para nativos.

---

<sup>1</sup> Profesor Adjunto, Departamento de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales, Universidad Católica de la Santísima Concepción – csobenes@ucsc.cl.

<sup>2</sup> Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción – olink@udec.cl

<sup>3</sup> Profesor Asociado, Centro EULA, Universidad de Concepción – ehabit@udec.cl

## 1. INTRODUCCIÓN

La fragmentación de los hábitats como resultado de las actividades humanas es uno de los mayores factores que contribuyen a la reducción de la biodiversidad y abundancia de especies en distintos ecosistemas (Castro-Santos y Haro, 2010; Vince, 2010; Gardner, 2011). Este problema es particularmente importante en los ecosistemas fluviales, donde las represas, alcantarillas, tuberías y otras obras civiles crean barreras al movimiento natural de los organismos acuáticos (WDFW, 2009; Castro-Santos y Haro, 2010; Kemp, 2012).

Las tecnologías para mitigación y estrategias para aminorar el impacto de las barreras en ríos han sido ampliamente desarrolladas a nivel mundial, e incluyen rutas alternativas de migración (paso peces), sistemas de transporte de peces, tabiques de desvío a zonas de menor riesgo y criaderos de peces para compensar las pérdidas de las poblaciones por las estructuras civiles (Kemp, 2012). Estas estructuras deben ser diseñadas según las características de comportamiento y capacidades de nado de los peces (Castro-Santos et al., 2009; Bretón et al., 2013), de lo contrario las medidas de mitigación serán ineficientes (Bernhardt et al., 2005; Palmer et al., 2005; Castro-Santos et al., 2009).

La mayor parte de la literatura se orienta al tema de paso de peces (Castro-Santos et al., 2009; Pompeu et al., 2012; Kemp, 2012), específicamente para salmónidos, i.e. truchas y salmones, que tienen capacidades de nado y salto superiores a las de todos los demás peces de agua dulce (Bell, 1990; Castro-Santos y Haro, 2010).

Para el diseño de obras de paso de peces es relevante conocer la capacidad de nado de los peces. Esta se divide en tres categorías: sostenida, prolongada y de aceleración (Beamish, 1978). La natación sostenida sucede a velocidades relativamente bajas, y que puede ser mantenida por largos periodos de tiempo (> 200 minutos) sin interrupción. Este constituye un proceso metabólico aeróbico, cuya máxima velocidad es conocida como velocidad sostenible. La natación prolongada involucra velocidades moderadas que requieren una porción de energía desde el metabolismo anaeróbico, y por lo tanto poseen una duración entre 20 segundos a 200 minutos (Beamish, 1978). Finalmente, la natación de alta velocidad es clasificada como natación de aceleración, actividad exclusivamente anaeróbica en la naturaleza y de tiempo relativo corto (<20 segundos) (Beamish, 1978).

La velocidad crítica ( $U_{crit}$ ) es una categoría especial de la natación prolongada introducida por Brett (1964). Típicamente son evaluadas para un intervalo de tiempo fijo, que está entre los 10 hasta 60 min. Para definir la velocidad del flujo en las obras civiles de pasos de peces se utiliza la  $U_{crit}$  (Jones et al., 1974). Por ejemplo, si en una especie de pez su  $U_{crit}$  es de  $50 \text{ cm s}^{-1}$  (evaluado en un intervalo de tiempo de 30 minutos), se esperaría que el pez pudiese nadar a una velocidad de  $50 \text{ cm s}^{-1}$  en 1800 s ( $30 \text{ min} \times 60 \text{ s min}^{-1}$ ). Luego, en un paso de peces de longitud 50 m, los peces podrían ascender éste durante 30 minutos a una velocidad mínima de  $2,7 \text{ cm s}^{-1}$ . Pero como el pez podría ascender a su velocidad crítica de  $50 \text{ cm s}^{-1}$ , entonces la velocidad del agua no debe ser mayor a  $47,3 \text{ cm s}^{-1}$  ( $50 \text{ cm s}^{-1} - 2,7 \text{ cm s}^{-1}$ ), o el pez se fatigará antes de sobrepasar la estructura (Peake, 2008).

En Chile se han presentado propuestas de escalera de peces pero con información relativa a velocidades y comportamiento de las especies introducidas como salmónidos. Antecedentes sobre

velocidades críticas de nado de especies nativas se han reportado para *Basilichthys microlepidotus*, *Galaxias maculatus* y *Diplomystes camposensis* (CEA, 2008), cuyas magnitudes son elevadas respecto a especies similares reportadas a nivel mundial (Peake, 2008). Otro antecedente es el consumo energético de *Percilia irwini* (García et al., 2012) sometida a distintas velocidades de flujo.

Una de las especies nativas más ampliamente distribuidas en aguas continentales en Chile es *Galaxias platei* que habita desde la cuenca del río Valdivia por el Norte hasta Tierra del Fuego (Habit et al., 2012). Actualmente, se ve fuertemente amenazada por la construcción de represas como en la cuenca del río Valdivia y la del río Baker, y el alto riesgo de depredación de la especie trucha café (*Salmo trutta*) (Correa et al., 2012; Habit et al., 2012). A continuación, se presentan los resultados de velocidades críticas en juveniles de *G. platei*, las que son comparadas con las del potencial predador *S. trutta*.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Colecta de *Galaxias platei*

Durante el mes de Septiembre del año 2010 (Pesca de Investigación Res. Ex. N° 55/2010) mediante pesca eléctrica (Smith-Root) colectamos individuos juveniles de *G. platei* de longitud total entre 70 – 140 mm, en el río San Pedro de la cuenca del río Valdivia. Los peces fueron trasladados en estanques de 120 l con aireación hasta el Laboratorio de Ingeniería Hidráulica y Ambiental de la Universidad de Concepción, y dispuestos en tres acuarios de 70 l (R.N.A N° 21750/2011). La calidad del agua se mantuvo mediante filtros biológicos sumergidos y sustitución de un 10% del volumen total de agua semanalmente. Los peces fueron aclimatados durante 1 mes y alimentados con alimento granulado (1 mm) para peces de acuario comercial (Sobenes et al., 2012).

### Velocidad crítica en *Galaxias platei*

Las pruebas fueron realizadas en un respirómetro de 2,75 l tipo Blazka (Blazka et al., 1960) ubicado dentro de un estanque de 140 l de capacidad con agua al nivel de la base de los tubos conectores (figura 1). El agua del tanque de contención era cambiada de manera de que la temperatura del agua dentro del respirómetro se mantuviera constante ( $16,2 \pm 0,05^\circ\text{C}$ ). Se seleccionaron 20 peces al azar de talla  $6,58 \pm 0,16$  cm y peso  $1,59 \pm 0,13$  g, los que se encontraban en ayuno de 24 hrs. Los individuos fueron sometidos a velocidades de flujo con incrementos equivalentes a 0,5 longitudes cuerpo (BL) cada 10 minutos. Previo a iniciar los experimentos, los peces eran aclimatados durante 20 minutos a una velocidad de  $5 \text{ cm s}^{-1}$ . La última velocidad probada correspondió a aquella donde el pez se mantuvo sin nadar y retenido en la malla de retención (ver figura 1) por al menos 45 segundos sin recuperarse. La ecuación utilizada para calcular las velocidades críticas ( $U_{crit}$ ) de juveniles de *G. platei* según Brett (1964):

$$U_{crit} = U + \left( \frac{t}{t_i} \times U_i \right) \quad (1)$$

donde:

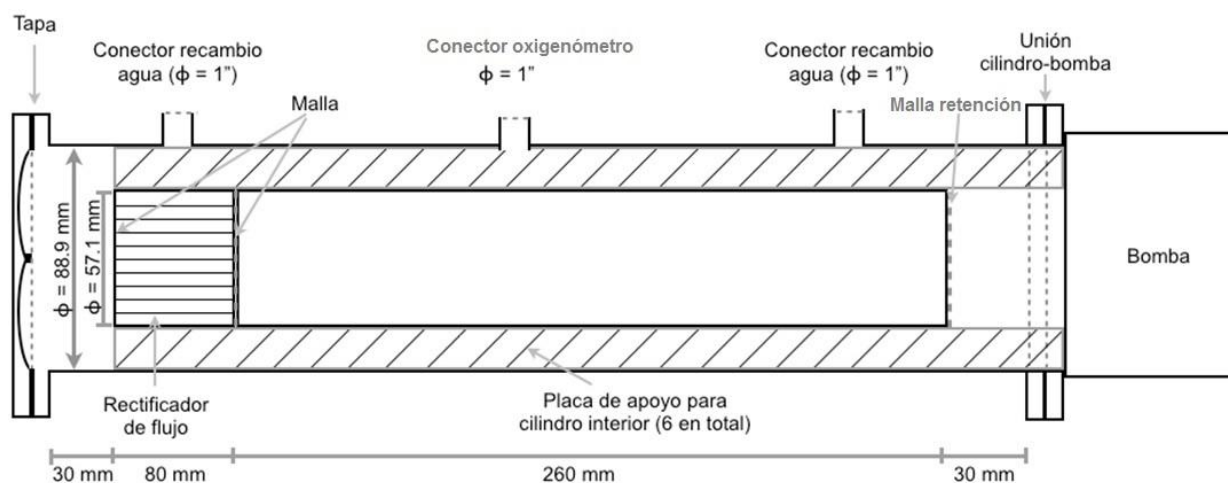
$U$  = penúltima velocidad registrada

$U_i$  = incremento de velocidad (0,5 BL)

$t$  = tiempo total en la última velocidad probada

$t_i$  = intervalo de tiempo para cada aumento de velocidad (10 min).

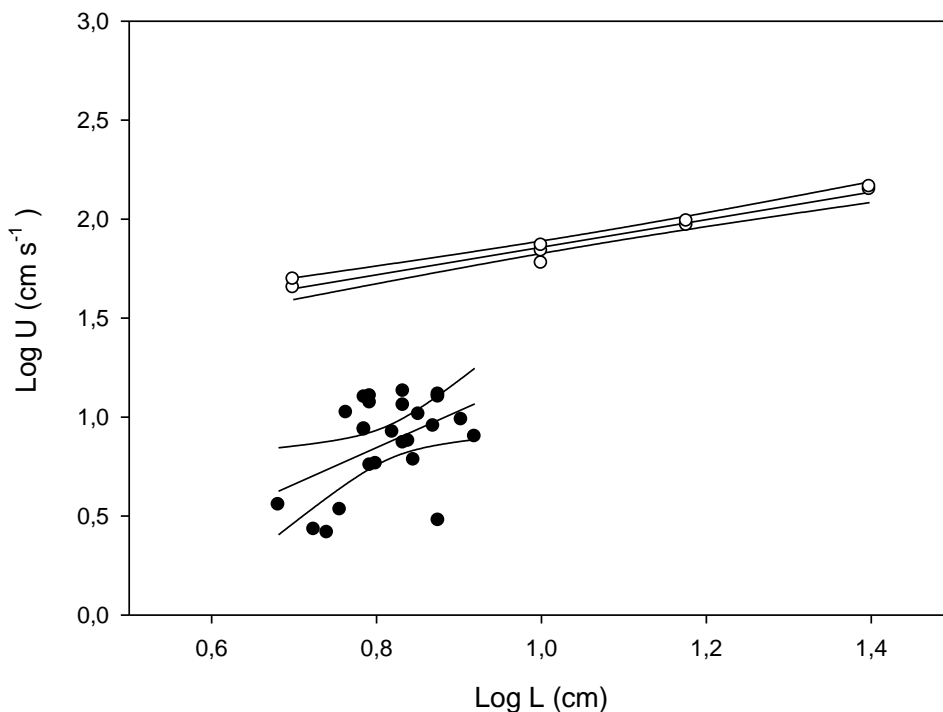
Para comparar las velocidades críticas de juveniles de *G. platei* con las de *S. trutta*, se obtuvo los registros de velocidad de esta última especie desde la literatura disponible (Peake, 2008; Tudorache et al., 2008). Para poner a prueba si existían diferencias significativas en las velocidades entre ambas especies, se utilizó el test de Mann-Whitney.



**Figura 1.** Respirómetro tipo Blazka utilizado para evaluar velocidades críticas (García et al., 2011).

### 3. RESULTADOS

La velocidad crítica media para *G. platei* fue de 8,34 cm/s (rango: 2,6 a 12.8 cm/s) (Figura 2). Se utilizaron los datos de seis estudios sobre capacidad de nado en juveniles (5 a 15 cm) y adultos (25 cm) de *S. trutta* (Peake, 2008; Tudorache et al., 2008), encontrándose diferencias significativas entre *G. platei* y *S. trutta* (Mann-Whitney  $P < 0.0001$ ).



**Figura 2.** Velocidades críticas y longitud total de *Galaxias platei* (puntos negros) y *Salmo trutta* (puntos blancos). Las líneas sólidas son ajustes de regresión a los datos y las líneas punteadas los intervalos de confianza de la regresión al 95%.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Para lograr obtener estructuras eficientes que permitan la migración de peces se requiere una aproximación holística que considere el comportamiento, fisiología y capacidades de nado de las especies presentes (Castro-Santos y Haro, 2010; Pompeu et al., 2012). Sin embargo, para peces nativos continentales de Chile no se encuentra disponible, impidiendo diseñar obras civiles de paso de peces para peces nativos (Habit et al., 2006). Por primera vez se presentan resultados sobre capacidades de nado de una especie nativa ampliamente distribuida en la Patagonia como *G. platei* (Habit et al. 2010; Correa y Hendry, 2012). Los resultados permiten entregar antecedentes para la construcción de curvas de habitabilidad, los que debieran complementarse con registros de consumo de oxígeno (Jowett y Richardson, 1995; CEA, 2008). Con ello, es posible establecer condiciones mínimas ecológicas a mantener en sistemas fluviales para juveniles de *G. platei*.

Los resultados muestran que las velocidades críticas de nado en juveniles de *G. platei* son, en términos relativos, bajas ( $8,34 \pm 0,66 \text{ cm s}^{-1}$ ), lo que indica una baja capacidad aeróbica (Plaut, 2001) y por ende una característica propia de un bajo ritmo de vida (Réale et al. 2012), correspondiente a peces de baja agresividad, actividad y filopatría. Estos valores de velocidades son similares a los encontrados para *Galaxias maculatus* en el estudio experimental de Mitchell (1989), de individuos de tallas entre 5,2 y 7,3 cm similares a los del presente estudio. Esto puede

explicarse ya que ambas especies son galáxidos, de desarrollo ontogénico similar (Habit et al., 2006). Sin embargo, las velocidades encontradas en este estudio son significativamente menores a los reportados para *G. maculatus* por CEA (2008), de una velocidad crítica promedio de 123,7  $\text{cm s}^{-1}$ . Esta diferencia se podría explicar si los individuos evaluados presentaron tallas mayores que las utilizadas en este estudio o a una temperatura del agua menor, aspectos que no son descritos en el estudio. La diferencia principal entre ambos estudios es el tipo de respirómetro utilizado, en el presente estudio fue de tipo Blazka y en el de CEA (2008) fue un Swim tunnel, cuyos resultados debieran ser similares siempre que se conserven tallas y temperatura del agua semejantes.

De manera opuesta, *S. trutta* muestra capacidades de nado altas, propia de un alto ritmo de vida, cuyas características son alta agresividad, dispersión y alto metabolismo. Estas comparaciones entre ambas especies sugieren que *G. platei* puede ser altamente vulnerable ante *S. trutta* y explican las diferencias observadas en su comportamiento y velocidades (Penaluna et al., 2009; Crow et al., 2010; Stuart-Smith et al., 2008), que son los parámetros utilizados para el diseño de las estructuras civiles paso de peces.

Luego, los diseños actuales de escaleras de peces, diseñadas preferentemente según el comportamiento y velocidades de nado para salmónidos, no serían apropiados para la especie nativa *G. platei*. Por ello, es urgente ampliar el conocimiento sobre velocidades críticas y comportamiento de las especies nativas, para establecer parámetros de diseño de estructuras civiles que permitan el paso de peces en los ríos de Chile.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Investigación, Ciencia y Tecnología CONICYT por el financiamiento otorgado a través de los proyectos CONICYT AT-24110081, FONDECYT 1110441. También, agradecen a la Dirección de Investigación de la Universidad de Concepción, por el financiamiento otorgado a través del proyecto DIUC-Patagonia 210.310.057-ISP. Así también agradecen a los revisores anónimos de este artículo.

## **REFERENCIAS**

Blazka, P., M. Volf, y M. Celepa. 1960. A new type of respirometer for determination of the metabolism of fish in an active state. *Physiologia Bohemoslovenica*, 9, 553-558.

Beamish, F. 1978. Swimming Capacity. In *Locomotion (II)*. Hoar, W. y D.J. Randall (eds.):101-187, New York, Academic Press Inc.

Bell, M.C. 1990. Fisheries Handbook of Engineering Requirements and Biological Criteria. U.S. Army Corps of Engineers, North Pacific Division, Portly, Oregon.

Bernhardt, E.S., M.A. Palmer, J.D. Allan, G. Alexander, K. Barnas, S. Brooks, J. Carr, S. Clayton, C. Dahm, J. Follstad-Shah, D. Galat, S. Gloss, P. Goodwin, D. Hart, B. Hassett, R. Jenkinson, S. Katz, G.M. Kondolf, P.S. Lake, R. Lave, J.L. Meyer, T.K. O'Donnell, L. Pagano, B. Powell, y E. Sudduth. 2005. Synthesizing U.S. River Restoration Efforts. *Science*, 308, 636-637.

Bretón, F., A. Baki, O. Link, D. Zhu y N. Rajaratnam. 2013. Flow in nature-like fishway and its relation to fish behaviour. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 40, 567-573.

Brett, J.R. 1964. The respiratory metabolism and swimming performance of young sockeye salmon. *Journal of the Fisheries Research of Canada* 21, 1183-1226.

Castro-Santos, T. y A. Haro. 2010. Fish guidance and passage barriers (Chapter 3). *Fish Locomotion: An Eco-Ethological perspective*. Domenici, P. y Kapoor, B. (eds), India, Science Publishers, 62-89.

Castro-Santos, T., A. Cotel y P. Webb. 2009. Fishway evaluations for better bioengineering – an integrative approach. In *Challenges for diadromous fishes in a dynamic global environment*, Haro, A., Smith, K., Rulifson, R., Moffit, C., Klauda, R., Dadswell, M., Cubjak, R., Cooper, J., Beal, K., Avery, T. (eds). American Fisheries Society, Symposium 69, American Fisheries Society: Bethesda, MD, 557 – 575.

Centro de Ecología Aplicada, 2008. Determinación de caudales ecológicos en cuencas con fauna íctica nativa y en estado de conservación. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos, Gobierno de Chile.

Correa, C., Bravo, A.P. & Hendry A.P. 2012. Reciprocal trophic niche shifts in native and invasive fish: salmonids and galaxiids in Patagonian lakes. *Freshwater Biology* 57: 1769-1781.

Correa, C. y Hendry, A.P. 2012. Invasive salmonids and lake order interact in the decline of puye grande *Galaxias platei* in western Patagonia lakes. *Ecological Application* 22, 828-842.

Crow, S.K., G.P. Closs, J.M. Waters, D.J. Booker, y G.P. Wallis. 2010. Niche partitioning and the effect of interspecific competition on microhabitat use by two sympatric galaxiid stream fishes. *Freshwater Biology*, 55, 967-982.

García, A., C. Sobenes, O. Link y E. Habit. 2012. Bioenergetic models of the threatened darter *Percilia irwini*. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 5(1),17-28.

García, A., C. Sobenes, O. Link, y E. Habit. 2011. Determinación del consumo energético del pez nativo *Percillia irwini*. XX Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica.

Gardner, E. 2011. Massive Chilean dams approved. *Nature News*, 297. DOI:10.1038/news.2011.297.

Habit, E., J. González, D.E. Ruzzante, y S.J. Walde. 2012. Native and introduced fish species richness in Chilean Patagonian lakes: interferences on invasion mechanisms using salmonid-free lakes. *Diversity and Distribution*, 18, 1153-1165.

Habit, E., P. Piedra, D. Ruzzante, S. Walde, M. Belk, V. Cussac, J. Gonzalez y N. Colin. 2010. Changes in distribution of native fishes in response to introduced species and other anthropogenic effects. *Global Ecology and Biogeography*, 19(5), 697-710.

Habit, E., B. Dyer y I. Vila. 2006. Estado de conocimiento de los peces dulceacuícolas de Chile. *Gayana*, 70 (1), 110-112.

Jones, D., J. Kiceniuk y O. Bamford. 1974. Evaluation of swimming performance of several fish species from the Mackenzie River. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 31, 1641-1647.

Jowett, I.G. y J. Richardson. 1995. Habitat preferences of common, riverine New Zealand native fish and implications for flow management. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 29 (1), 13-23.

Kemp, P. 2012. Bridging the gap between fish behavior, performance and hydrodynamics: an ecohydraulics approach to fish passage research. *River Research and Applications*, 28, 403-406.

Mitchell, C.P. 1989. Swimming performance of some native freshwater fishes. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 23(2), 181-187.

Palmer, M.A., E.S. Bernhardt, J.D. Allan, G. Alexander, S. Brooks, J. Carr, S. Clayton, C.N. Dahm, J. Follstad Shah, D.L. Galat, S. Gloss, P. Goodwin, D.D. Hart, B. Hassett, R. Jenkinson, G.; Kondolf, R. Lave, J.L. Meyer, T.K. O'Donnell, L. Pagano y E. Sudduth. 2005. Standards for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology*, 42, 208-217.

Peake, S.J. 2008. Swimming performance and behaviour 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 Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2843, 52p.

Penaluna, B.E., I. Arismendi, y D. Soto. 2009. Evidence of interactive segregation between introduced trout and native fishes in Northern Patagonian rivers, Chile. *Transactions of the American Fisheries Society* 138, 839-845.

Plaut, I. 2001. Critical swimming speed: its ecological relevance. *Comparative Biochemistry and Physiology - Part A Molecular & Integrative Physiology*, 131, 41-50.

Pompeu, P., A. Agostinho y F. Pelicice. 2012. Existing and future challenges: the concept of a successful fish passage in south America. *River Research and Applications*, 28, 504-512.

Réale, D., D. Garant, M.M. Humphries, P. Bergeron, V. Careau, y P.O. Montiglio. 2010. Personality and the emergence of the pace-of-life syndrome concept at the population level. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 365, 4051-4063.

Sobenes, C., A. García, E. Habit, y O. Link. 2012. Mantención de peces nativos dulceacuícolas en Chile en cautiverio: un aporte a su conservación *ex situ*. *Boletín de Biodiversidad de Chile*, 7, 27-41.

Stuart-Smith, R., R. White, y L. Barmuta. 2008. A shift in the habitat use pattern of a lentic galaxiid fish: an acute behavioural response to an introduced predator. *Environmental Biology of Fishes*, 82, 93-100.



Tudorache, C., P. Viaene, R. Blust, H. Vereecken, Y. G. De Boeck. 2008. A comparison of swimming capacity and energy use in seven European freshwater fish species. *Ecology of Freshwater Fish*, 17, 284–291.

Vince G. 2010. Dams for Patagonia. *Science*, 329, 382-385.

Washington Department of Fish and Wildlife. 2009. Fish Passage and Surface Water Diversion Screening Assessment and Prioritization Manual. Washington Department of Fish and Wildlife. Olympia, Washington, 240 p.