

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA
XXII CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

DISEÑO DE UN PASO MULTIESPECÍFICO PARA PECES NATIVOS CHILENOS

ANITA LABORDE GARCÍA¹
OSCAR LINK LAZO²
EVELYN HABIT CONEJEROS³

RESUMEN

Entre las tecnologías para mitigación y estrategias para aminorar el impacto de las barreras en ríos destacan las obras hidráulicas denominadas pasos para peces, diseñadas generalmente para salmónidos cuyas características biológicas, fisiológicas, ecológicas y capacidades de natación son muy diferentes a las de nativos chilenos. Por ello, el diseño de un paso de peces para nativos chilenos no es trivial. En este trabajo se presenta una revisión de antecedentes biológicos y ecológicos de algunas especies nativas seleccionadas en función de su vulnerabilidad, características y resultados experimentales que permiten determinar la capacidad de nado de estas especies. Con la información mencionada se propone un diseño preliminar de un paso para peces nativos chilenos.

¹Ingeniero Civil y Estudiante de MSc, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción – a.labordegarcía@gmail.com

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

³Profesor Asociado, Centro EULA, Universidad de Concepción – ehabit@udec.cl

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En el futuro cercano Chile espera un desarrollo explosivo de mini centrales hidroeléctricas, a fin de aprovechar parte importante de los cerca de 11GW disponibles (APEMEC, 2013; Link y Habit, 2015, Ministerio Energía, 2015). La materialización de los cerca de 1000 proyectos hidroeléctricos esperados constituye una amenaza a la biodiversidad, debido a la presencia de especies altamente endémicas en las cuencas con potencial no aprovechado, que verían su hábitat fragmentado longitudinalmente.

Los pasos para peces son obras hidráulicas que otorgan conectividad longitudinal al río, permitiendo a los peces superar barreras artificiales (como presas, carreteras, entre otros). De acuerdo a su diseño se distinguen pasos para peces de tipo estándar y como en la naturaleza. Pasos para peces como en la naturaleza (por ejemplo, Cowx y Robin 1998; Wang y Katopodis, 1999), son construidos con materiales que se encuentran en la cuenca de origen del río (como escombros, rocas y vegetación de ribera), imitando las condiciones geomorfológicas naturales (Parasiewicz *et al.* 1998; Harris *et al.*, 1998). Estudios internacionales han demostrado que pasos de este tipo son adecuados para superar barreras físicas de desplazamiento, ya que no sólo permiten el paso exitoso, sino también generan una diversidad de parches de hábitat. En un estudio anterior, Bretón *et al.* (2013) estudió el comportamiento de las propiedades del flujo en una rampa *nature-like*, vinculándolo al comportamiento esperado de los peces.

Los pasos de peces se diseñan considerando los distintos estadios vitales de una población (Castro-Santos *et al.*, 2009; Bretón *et al.*, 2013), y de varias especies (Russon y Kemp 2011; Foulds y Lucas, 2013). Para el dimensionamiento es relevante conocer la capacidad de nado a través de la velocidad crítica y curva de resistencia (Katopodis, 1992; FAO/DVWK, 2002; USBR 2007). Este tipo de información es muy escasa para especies nativas chilenas.

En este trabajo se presenta el diseño preliminar de un paso multiespecífico para peces nativos chilenos.

2. METODOLOGÍA

Selección de especies de trabajo

Se sistematizó información de las 46 especies de peces nativos chilenos. Se caracterizaron las especies de acuerdo a su distribución en el territorio, tanto latitudinal como longitudinalmente, endemismo, estado de conservación, y modo de natación en la columna de agua. Se seleccionaron cinco especies que cumplieran con los siguientes criterios:

(1) Distribución en el territorio, con el objetivo de seleccionar aquellas que tienen su hábitat en la zona de proyección de mini-centrales hidroeléctricas en Chile, y por tanto de impacto para las especies nativas chilenas. Esta zona se ubica desde la cuenca del río Maule hasta la cuenca del río Yelcho, a pie de montaña (USM, 2008; Ministerio de Energía/GIZ, 2014), debido que concentra un alto potencial energético.

(2) Modo de natación de las especies, se seleccionaron especies capaces de representar distintos modos de nado, descritos según Sfakiotakis *et al.* (1999) para las especies nativas chilenas, con el objetivo de dar solución a distintos comportamiento de nado simultáneamente.

(3) Estado de conservación. El alto valor biogeográfico y de conservación de las especies chilenas, sugiere seleccionar especies objetivo que se encuentran en mayor riesgo, con el objetivo de preservar la biodiversidad.

Las especies seleccionadas resultaron ser: *Cheirodon galusdae* (pocha de los lagos), *Diplomystes nahuelbutaensis* (tollo), *Trichomycterus areolatus* (bagrecito), *Basilichthys microlepidotus* (pejerrey chileno) y *Percilia irwini* (carmelita de concepción). La figura 1 muestra las especies seleccionadas.

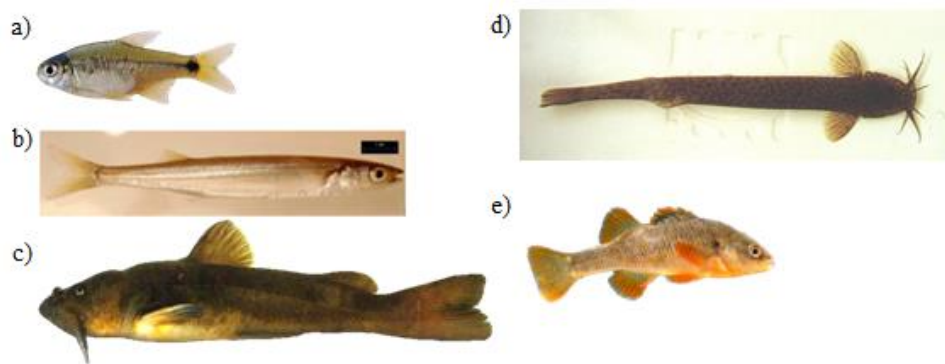


Figura 1. Fotografías de: a) *Cheirodon galusdae*; b) *Basilichthys microlepidotus*; c) *Diplomystes nahuelbutaensis*; d) *Trichomycterus aerolatus*; e) *Percilia irwini*.

Caracterización de hábitat

Además de los caracteres diagnósticos de las especies (cómo reconocerlo), se estudiaron antecedentes generales y la caracterización de su hábitat a diferentes escalas: macrohábitat, mesohábitat y microhábitat. Como antecedentes generales se consideraron principalmente: alimentación, reproducción, talla promedio y abundancia. El macro y mesohábitat se asocia a su presencia a lo largo del territorio nacional y al hábitat asociado por tramo de río, respectivamente. El microhábitat considera características como: velocidad y profundidad del agua, material del lecho, abrigo. Se da énfasis a la caracterización del hábitat, debido que permite proyectar los distintos ambientes requeridos por las especies en el paso. La tabla 1 muestra requerimientos de microhábitat de las especies objetivo.

Tabla 1. Cuadro resumen de los requerimientos de microhábitat de las especies objetivo.

| Especie | Comentarios | Morfología | Sustrato | Velocidad | Vegetación | Profundidad |
|------------------------------------|---|------------------|--|--|------------|---------------------------------|
| <i>Cheirodon galusdae</i> | Litorales y sublitorales | Potamal | | <0.3 m/s | Sí | Independiente |
| <i>Basilichthys microlepidotus</i> | Litorales | Ritral y potamal | Arena | <1 m/s | Sí | >30 cm |
| <i>Diplomystes nahuelbutaensis</i> | Aguas torrentosas, profundas para los adultos | Ritral | Gravilla a bolones. 1.5-58cm (juveniles), 2.5-64cm (adultos) | 0.25-0-.65m/s (juveniles), 0.87-0.9m/s (adultos) | No | 0.1-0.5m (media), 0.3-1m (máx.) |
| <i>Trichomycterus areolatus</i> | Bajo bolones en aguas muertas, fuertes corrientes, o al borde del flujo principal | Ritral | Bolones, litoral arenoso | <0.5 m/s (juveniles), <0.9 m/s (adultos) | No | |
| <i>Percilia irwini</i> | Ambientes fluviales superficiales (bento-pelágico) | Ritral y potamal | Gravilla a bolones | <0.5 m/s | Sí | <1m |

La mayoría de las especies tiene su hábitat asociado a zonas litorales y sublitorales del cauce, con excepción del *Trichomycterus areolatus*, que prefiere zonas de transición (fuertes corrientes, o al borde de la corriente principal). Mayoritariamente, habitan en aguas con una profundidad menor a los 50 cm. En cuanto a requerimientos de velocidad de escurrimiento existe un amplio rango, debido a las diferencias en las capacidades de los individuos. En general, los ambientes tienen velocidades que no exceden 1 m/s.

Capacidad de nado

Debido a que se desconocen las capacidades de nado de las especies nativas chilenas, en este trabajo se generó a partir de pruebas de velocidad.

Las principales metodologías conocidas para estudiar el rendimiento de natación de los peces, son los métodos de "aumento" de velocidad (o incremental) y el de "velocidad fija" (o fatiga) (Brett, 1964, 1967; Hammer, 1995). Aunque ambos métodos son populares al estudiar el rendimiento de natación de los peces, el segundo método es más informativo y directo.

Ambos métodos asumen, implícita o explícitamente, que el pez nada a una velocidad igual a la velocidad media del flujo en la sección transversal del dispositivo experimental donde se realiza la prueba. Esta hipótesis no ha sido nunca debidamente probada, sin embargo, siguen constituyendo el fundamento de la caracterización de la capacidad de nado de los peces.

Método de aumento de velocidad

El método de aumento de la velocidad (incremental), mide el tiempo en que el pez alcanza la fatiga cuando la velocidad de flujo se aumentado en incrementos constantes. La caracterización de rendimiento de natación en este método es la velocidad crítica, que corresponde a la velocidad del flujo cuando el pez alcanza la fatiga.

La velocidad crítica ha sido investigada desde que fue propuesta (Brett, 1964, 1967; Beamish 1978; Hammer, 1995), debido que permite comparaciones de capacidad entre especies. Se asocia al cambio entre el comportamiento aeróbico y anaeróbico de los peces. La velocidad crítica no es directamente comparable con los resultados del método de velocidad fija. Sin embargo, habitualmente es un buen punto de partida para escoger velocidades fijas que permitan elaborar las curvas de resistencia.

Método de la velocidad fija

El método de velocidad fija, mide el tiempo en que un pez alcanza la fatiga, manteniendo la velocidad constante durante la prueba. Pruebas a diferentes velocidades fijas para diferentes individuos de una especie, permiten construir la curva de rendimiento de nado de la especie. Que proporcionan información sobre distintos modos de nado (Brett, 1964, 1967; Beamish, 1978; Jones *et al.* 1974): acelerado, prolongado y sostenido, y de los umbrales que separan distintos comportamientos.

El modo de natación de acelerado involucra velocidades altas de nado, que no pueden mantener por más de 20 segundos. Este modo de natación involucra principalmente fibras musculares blancas que utilizan energía a partir de procesos anaeróbicos, se asocia al escape de depredadores. Caso contrario ocurre con el modo de natación sostenida, debido que involucra velocidades bajas de nado, y puede ser mantenida durante largos periodos (por lo menos 200 minutos) sin fatigarse. Predomina la actividad de fibras musculares rojas, debido a que la energía proviene de metabolismo aeróbico, se asocia a grandes desplazamientos. El modo de natación prolongado abarca el rango de velocidades entre el modo acelerado y sostenido, y utiliza tanto las fibras musculares blancas (anaeróbico) como rojas (aeróbico), se asocia a actividades cotidianas de los peces, como búsqueda de alimento o refugio.

Materiales y protocolos utilizados

Se utilizó un túnel de natación que consiste básicamente de un dispositivo de recirculación de agua donde los peces se ven obligados a nadar contra un flujo uniforme generado por una bomba centrífuga. La sección principal corresponde a la cámara de nado (A), y está limitada por dos componentes que la limitan (B), un sistema anterior que uniformiza el flujo y una rejilla posterior que recibe al pez una vez fatigado. El túnel de natación consta además con un convertidor de frecuencia (D) para determinar el flujo, generado por la bomba (C). La figura 2 muestra el sistema para las pruebas de velocidad y resistencia.



Figura 2. Túnel de natación. a) Vista general indicando sus componentes principales; b) Especificaciones técnicas de Loligo System, modelo SW10050.

Todas las muestras analizadas fueron recolectadas en el Río Itata y en la Laguna Avendaño a fines de Septiembre del 2014 de acuerdo a lo indicado por Sobenes *et al.* (2012). Antes de ser ensayadas, las muestras se observaron durante al menos 48 horas, dentro de un sistema de mantenimiento que contiene agua a temperatura ambiente. Previo a realizar las pruebas, todos los peces fueron pesados (en gramos) y medidos (longitud estándar y total, en centímetros), para definir sus tallas.

Para las pruebas de aumento de velocidad, los peces fueron aclimatados a las condiciones experimentales en la sección de prueba, con agua a 17°C, durante 2 horas a una velocidad de 0.5 BL/s, longitudes corporales por segundo. Una vez iniciada la prueba, la velocidad del agua fue aumentando en incrementos constantes de 1 BL/s cada 10 minutos.

Para las pruebas de velocidad fija, cada pez se sometió inicialmente a un flujo de 0.5 BL/s por 1 hora y media. Luego, se implementó un aumento gradual hasta alcanzar la velocidad deseada, y se mantuvo hasta que el pez alcanzo la fatiga. Utilizando como referencia los resultados de velocidad crítica, tres velocidades diferentes fueron probadas: la velocidad crítica máxima registrada, la velocidad crítica promedio, y al 70% de la velocidad crítica mínima registrada. Durante cada prueba realizada la temperatura fue controlada, a 17 °C.

Criterios de diseño de un paso multiespecífico

Los antecedentes para el diseño y cálculos hidráulicos se realizaron de acuerdo a FAO/DVWK (2002), DWA (2014), USBR (2007) y Stevenson y Baker (2009). Como antecedentes se tenía una sección transversal predefinida con parches de sustratos de los hábitats caracterizados y la curva de resistencia de las especies. Los parámetros hidráulicos como: longitud del paso, pendiente, el tamaño de los bolones y su distribución en la sección transversal se determinaron de acuerdo a las capacidades de nado de las especies.

3. RESULTADOS

Capacidad de nado

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Ingeniería Hidráulica y Ambiental de la Universidad de Concepción. A continuación se presentan resultados para las especies *Cheirodon galusdae* y *Basilichthys microlepidotus*. De la primera especie se consideraron individuos de distintos estadios vitales, en tanto, para la segunda especie se consideran sólo individuos juveniles, estadio asociado a la zona de generación hidroeléctrica.

Velocidad crítica

La Figura 3. muestra los datos de velocidad crítica obtenidos respecto a la longitud corporal total de los peces.

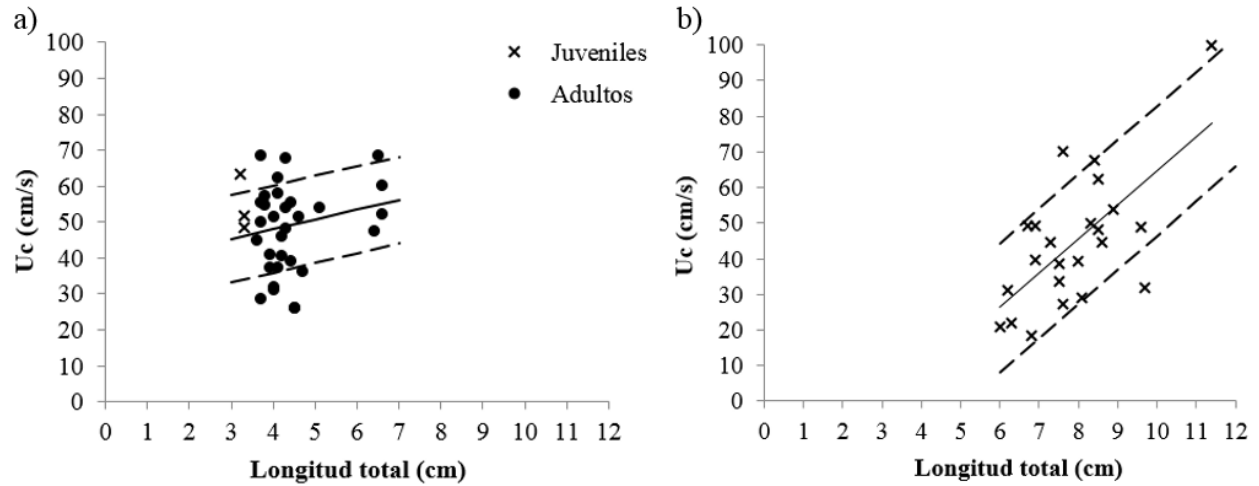


Figura 3. Velocidad crítica respecto a la longitud total corporal.

a) *Cheirodon galusdae* (se muestran con una cruz los individuos juveniles); b) *Basilichthys microlepidotus*.

Para la pocha de los lagos, *Cheirodon galusdae*, cuando se asocia la velocidad crítica con longitudes corporales, se tiene $R^2 = 0,039$, $y = 2.676x + 37.33 \pm D.S.$ En promedio la velocidad crítica de nado es de 46.2, con un rango de variación entre 25 y 70 cm/s.

Para el pejerrey, *Basilichthys microlepidotus*, cuando se asocia la velocidad crítica con longitudes corporales, se tiene $R^2 = 0,434$, $y = 9.627x - 31.52$. En promedio la velocidad crítica de nado es de 43.3, con un rango de variación entre 20 y 70 cm/s.

Curva de resistencia

La Figura 4. muestra las curvas de resistencia para las especies en estudio, con la velocidad expresada en longitudes corporales por segundo.

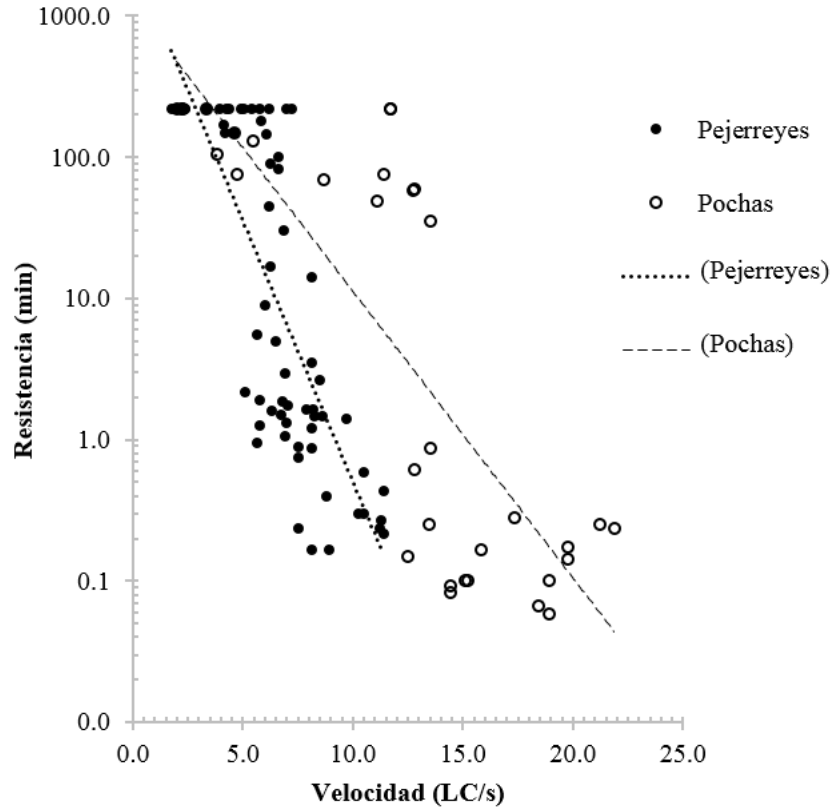


Figura 4. Curva de resistencia.

Para *Cheirodon galusdae* y *Basilichthys microlepidotus*, cuando se asocia la resistencia con la velocidad de nado en longitudes corporales por segundo se tiene: $y=1203*e^{-0.467x}$, $R^2=0.66$; $y=2499*e^{-0.851x}$, $R^2=0.62$, respectivamente.

Los límites entre los modos de natación prologado a sostenido (velocidad máxima que un pez puede ser capaz de sostener por más de 200 minutos) y, los modos acelerado a prolongado en las especies estudiadas, *Cheirodon galusdae* y *Basilichthys microlepidotus*, se encontraron a velocidades de aproximadamente 2 y 5 longitudes corporales por segundo y; 12 y 8 longitudes corporales por segundo, respectivamente.

Si bien los individuos de *Basilichthys microlepidotus* corresponden a juveniles de mayor tamaño (6.2-10.4mm) que los individuos adultos de *Cheirodon galusdae* (3.2-5.2cm), la capacidad de nado de estos últimos es considerablemente superior, siendo capaces de nadar a velocidades máximas de 20 LC/s. Los pejerreyes en tanto alcanzaron 12 LC/s.

Velocidad de escurrimiento en el paso de peces

La velocidad de escurrimiento en el paso de peces se estima como la diferencia entre la capacidad de nado del pez y la velocidad deseada de paso. Resulta razonable expresar la capacidad de nado mediante una velocidad aeróbica, lejos de los límites que puedan llevar al pez a la fatiga. Se adopta el 70% de la velocidad crítica de acuerdo a recomendaciones de Webb (1971). La velocidad de pasada, en tanto, debería ser similar a la velocidad de migración (en el caso de

especies que migran) o equivalentemente, a la velocidad observada de desplazamiento longitudinal en el entorno natural. En especies de pequeño tamaño, es esperable que los mayores desplazamientos se produzcan por deriva. En términos prácticos, se propone adoptar como velocidad media del escurrimiento a $0,7U_{cr}$. Debido a que el paso es multispecífico, también se calcula una velocidad máxima admisible, de acuerdo a las capacidades de la especie más rápida.

Diseño preliminar de un prototipo

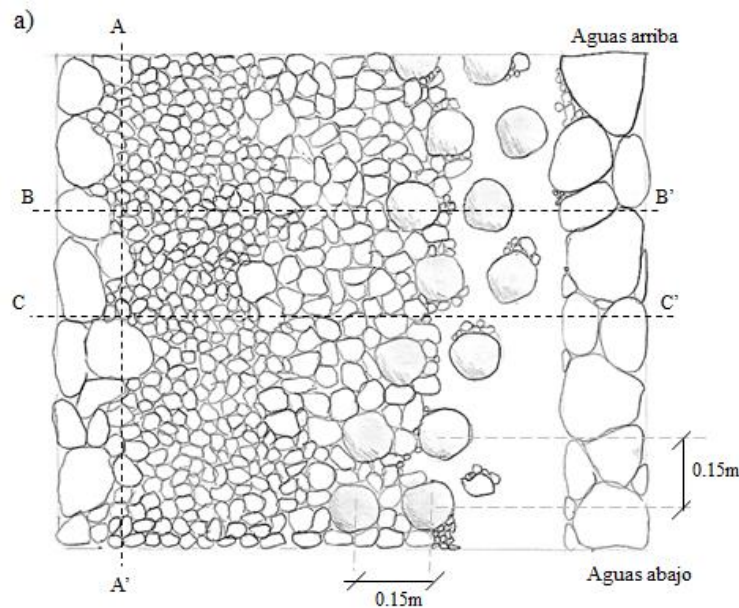
El paso de peces propuesto es de tipo pendiente de fondo con bolones, y en su sección transversal se combinan distintos ambientes, que permiten el paso de peces a través de barreras del orden de 5 metros de altura.

La tabla 2 muestra los parámetros del diseño propuesto.

Tabla 2. Resumen de los parámetros de diseño del paso propuesto

| | |
|---|------------|
| Pendiente | 1:30 |
| Velocidad de escurrimiento media (cm/s) | 30 |
| Velocidad de escurrimiento máxima (cm/s) | 35 |
| Longitud de paso (m) | 90 |
| Diámetro bolones (cm) | 10 |
| Altura de obstrucción de bolones (cm) | 22 |
| Distancia longitudinal entre bolones (cm) | 15 |
| Distancia transversal entre bolones (cm) | 15 |
| Diámetro del sustrato en distintos ambientes (cm) | 0.07, 4, 8 |

La figura 5 muestra esquemáticamente las dimensiones y propiedades de la obra de paso.



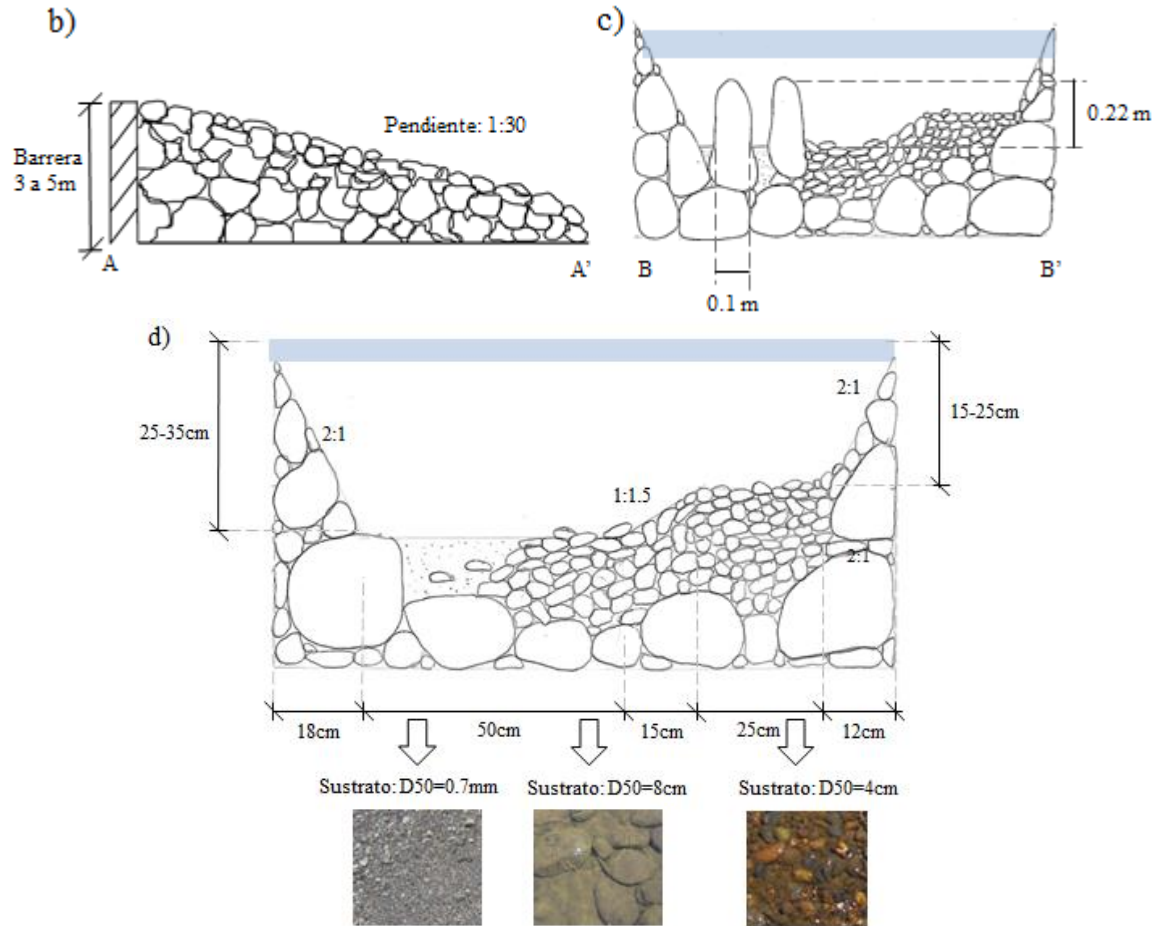


Figura 5. Paso propuesto. a) Vista en planta; b) Perfil longitudinal (corte A-A'); c) Sección transversal con bolones (corte B-B'); d) Sección transversal sin bolones.

4. CONCLUSIONES

Se presentaron antecedentes de dos especies de peces nativos chilenos: *B. microlepidotus* y *C. galusdae*, a fin de contar con parámetros de diseño que permitieron dimensionar un paso de peces multiespecífico a nivel de prototipo.

En el Laboratorio de Ingeniería Hidráulica y Ambiental de la Universidad de Concepción se estudió la capacidad de nado a través de la velocidad crítica y las curvas de resistencia, que resultaron comparables con especies dulceacuícolas con biología similares (con Orden común) provenientes de Nueva Zelanda y Canadá.

El paso multiespecífico de peces se diseñó de acuerdo con los criterios propuestos por FAO/DVWK (2002), DWA (2014), USBR (2007), y Stevenson y Baker (2009).

Actualmente, el trabajo presentado continúa con un análisis detallado de la interacción entre la natación del pez y los vórtices del flujo y, mediante la construcción, verificación del funcionamiento y determinación de la eficiencia de la rampa prototipo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento proporcionado por la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT) a través del proyecto FONDECYT 1150154 “Within-basin barriers and among-basin leaks: changing connectivity of rivers in central Chile and its impact on native fish”. También, agradecen al laboratorista René Iribarren, por materializar la instalación experimental.

REFERENCIAS

APEMEC (2013) PCHs encienden el desarrollo ERNC en Chile. <http://www.apemec.cl/images/stories/publicaciones/publicaciones-especiales/2012.05.14-EE-apemec-mayo-2012.pdf>

Beamish F. (1978) Swimming Capacity. *Fish Physiology*, 7. 101-187.

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

Brett J.R. (1964) The respiratory metabolism and swimming performance of young sockeye salmon. *Fisheries Research Board of Canada*, 21(5). 1202-1226.

Brett J.R. (1967) Swimming performance of Sockeye Salmon (*Oncorhynchus nerka*) in relation to fatigue time and temperature. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 21(8). 1731–1741.

Cowx I.G., Robin L.W. (1998) Rehabilitation of rivers for fish. A study undertaken by the European Inland Fisheries Advisory Commission of FAO. ISBN: 0-85238-247-2 (Fishing news books) and ISBN: 92-5-104018-4 (FAO).

Castro-Santos T., Cotel A., Webb P. (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.

DWA (2014) Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke—Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung. Merkblatt 509, DWA-Verlag. ISBN 978-3-942964-91-3.

Dyer B.S. (2000) Systematic review and biogeography of the freshwater fishes of Chile. *Estudios Oceanológicos*, 19. 77-98.

FAO/DVWK (2002). Fish passes: Design, dimensions and monitoring, Food and Agriculture Organization of the United Nations in arrangement with German Association for Water Resources and Land Improvement as DVWK-Merkblatt, Rome, Italy.

Foulds W., Lucas M. (2013) Extreme inefficiency of two conventional, technical fishways used by European river lamprey (*Lampetra fluviatilis*). *Ecological Engineering*, 58. 423-433.

Harris J.H., Thorncraft G., Wem P. (1998) Evaluation of rock-ramp fishways in Australia. In *Fish Migration and Fish Bypasses*, Jungwirth M, Schmutz S, Weiss S (eds). Fishing New Books, Oxford. 331-347.

Hammer C. (1995) Fatigue and exercise tests with fish. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 112A. 1-20.

Jones, D. R., Kiceniuk J. W. y Bamford O. S. (1974) Evaluation of the swimming performance of several fish species from the Mackenzie River. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 31(10). 1641–1647.

Katopodis C. (1992) *Introduction to Fishway Design*. Freshwater Institute, Winnipeg.

Link O., Habit E. (2015) Requirements and boundary conditions for fish passes of non-sport fish species based on Chilean experiences. *Reviews in Environmental Sciences and Biotechnology*, 14(1). 9-21.

Ministerio de Energía/GIZ (2014) *Energías renovables en Chile: Potencial eólico, solar e hidroeléctrico de Arica a Chiloé*. Ministerio de Energía y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. Realizado por Santana C., Falvey M., Ibarra M., y García M.

Ministerio Energía (2015) 3° Informe Estudio “Base para la planificación territorial en el desarrollo eléctrico futuro”. Ministerio de Energía. Santiago.

Parasiewicz, P., J. Eberstaller, S.Weiss, y S. Schmutz (1998) Conceptual guidelines for nature-like bypass channels. Jungwirth, M., S. Schmutz, and S. Weiss, editors. *Fish Migration and Fish Bypasses*. Fishing News Books, Oxford.

Russon I.J. y Kemp P.S. (2011) Advancing provision of multi-species fish passage: behavior of adult European eel (*Anguilla anguilla*) and brown trout (*Salmo trutta*) in response to accelerating flow. *Ecological Engineering*, 37. 2018-2024.

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.

Stevenson C., Baker C. (2009) *Fish Passage in the Auckland Region – a synthesis of current research*. Prepared by NIWA for Auckland Regional Council. Auckland Regional Council Technical Report 2009/084.

Sfakiotakis M., Lane D.M. y Davies J.B.C. (1999) Review of fish swimming modes for aquatic locomotion. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 24. 237-252.

USBR (2007) Rock ramp design guidelines. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado.

USM (2008) Energía renovable No Convencional Hidroeléctrica en Chile. Informe Final. Universidad Federico Santa María. Chile. Realizado por Ubilla G., Orellana M., Faúndez N., y Espinoza J.

Webb P. (1971) The swimming energetics of trout, oxygen consumption and swimming efficiency. *Journal of Experimental Biology*, 55. 521-540.

Wang P., y Katopodis C. (1999) Fishway studies for the lower Churchill River water-level enhancement project in Manitoba. Proceedings, 3rd International Symposium on Ecohydraulics, Salt Lake City, Utah, 13-16 July.