

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA
XXIII CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

EVALUACION REGIONAL DE LA ALTERACIÓN HIDROLÓGICA EN LOS RIOS DE CHILE CENTRO-SUR: IMPLICANCIAS SOBRE LOS ECOSISTÉMAS

FRANCISCO JESÚS PEÑAS^{1,2}
ENRIQUE MUÑOZ^{2,3}

RESUMEN

El régimen hidrológico es un elemento vertebrador de los ecosistemas fluviales. Al mismo tiempo, estos ecosistemas proporcionan recursos y servicios indispensables para las sociedades humanas. La gestión de múltiples servicios implica conflictos y, además, en numerosas ocasiones esta gestión se lleva a cabo a expensas de la calidad y funcionamiento de los propios ecosistemas. Por lo tanto, la generación de nuevos conocimientos y herramientas en este campo es esencial para apoyar la gestión de los recursos hídricos en procesos complejos de toma de decisiones.

El presente trabajo tiene como objetivo presentar una propuesta metodológica y dar a conocer los alcances del proyecto “Evaluación regional de la alteración hidrológica en los ríos de Chile centro Sur (HANSEL)” recientemente financiado por FONDECYT. Este proyecto busca entender cómo la alteración hidrológica (AH) causada por la operación de embalses y los cambios en los usos del suelo afectan al funcionamiento de los ecosistemas fluviales. Se presentarán los objetivos y las tareas principales, así con los resultados obtenidos en ríos de la península Ibérica en trabajos previos desarrollados por los autores. Dada la novedad, tanto de los aspectos conceptuales como metodológicos del proyecto, creemos que el XXIII Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica representa el marco adecuado para introducir y debatir los aspectos fundamentales del proyecto.

¹Investigador postdoctoral, Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDECYT), Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción – fpenas@ucsc.cl

²Investigador Asociado, Centro de Investigación en Biodiversidad y Ambientes Sustentables – CIBAS, Universidad Católica de la Santísima Concepción.

³Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción – emunoz@ucsc.cl

1. INTRODUCCIÓN

Nuevos desafíos en la gestión de los recursos hídricos

Los ecosistemas de agua dulce, incluyendo ríos, esteros, humedales, lagos y sus cuencas vertientes, proporcionan servicios ecosistémicos de aprovisionamiento (p.e., agua potable, pesca), de regulación (p.e., control de inundaciones) y culturales (p.e., recreación) críticos para el desarrollo de las sociedades humanas (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). La demanda creciente de estos recursos y servicios, unido a otros factores de estrés de origen antrópico (erosión, fragmentación, cambios hidromorfológicos, incremento de especies invasoras) ha generado que los ecosistemas de agua dulce presenten una de las tasas de extinción más altas del planeta (Riccardi y Rasmussen, 1999). Además, se prevé que el cambio climático y las demandas de una población creciente y cada vez más urbanizada y consumista aumenten aún más la presión sobre la biodiversidad y los servicios que proveen estos ecosistemas en las próximas décadas (Vörösmarty et al., 2010).

Proporcionar múltiples servicios y recursos de tal manera que se maximicen los rendimientos a la sociedad, a la vez que se garantiza la resiliencia y la conservación de la biodiversidad de los ecosistemas de agua dulce, representa un desafío formidable dentro del campo de la gestión de los recursos hídricos. En la mayor parte de los casos, la gestión de múltiples servicios ecosistémicos implica conflictos, de tal manera que el aumento de la oferta de un servicio, reduce la oferta de otro. Por ejemplo, el almacenamiento de agua en embalses permite aumentar la productividad agrícola, pero al mismo tiempo puede influir sobre el suministro de otros servicios relacionados con la disminución de la calidad y cantidad de agua, como una reducción de la biomasa de peces. También existen conflictos entre la provisión de servicios de los ecosistemas terrestres y fluviales. La modificación de los usos del suelo destinado a la explotación agrícola o forestal puede producir una gran cantidad de recursos, sin embargo, reduce notablemente la cantidad de agua en el río. Por todo esto, queda patente la urgencia de generar los conocimientos y desarrollar las herramientas adecuadas que permitan orientar la gestión de los recursos hídricos en procesos complejos de toma de decisiones en las que se busca satisfacer objetivos múltiples (Brown et al. 2010). En este sentido, es necesario generar nuevos enfoques que integren los resultados de la investigación dentro de la gestión de los recursos, aprovechando la creciente disponibilidad de datos científicos de alta resolución y avances computacionales que faciliten el análisis efectivo de estos datos.

La alteración hidrológica y nuevos marcos para estimar regímenes de caudales ecológicos

La variabilidad hidrológica es un elemento vertebrador de los ambientes abióticos (régimen sedimentario, régimen de temperaturas, configuración morfológica y de hábitats), las comunidades biológicas (invertebrados, peces, algas, bosque de ribera) y el funcionamiento (ciclos de materia y energía, metabolismo) de los ecosistemas fluviales (Naiman et al., 2008). Por un lado, la variabilidad hidrológica determina la geomorfología y las condiciones hidráulicas del río, las cuales influyen en gran medida la composición y estructura de las comunidades biológicas (Bunn y Arthington, 2002) y en el funcionamiento ecosistémico (Elosegui & Sabater, 2013). Paralelamente, numerosas estrategias de reproducción y supervivencia empleadas por organismos acuáticos han evolucionado en consonancia con la variabilidad hidrológica, por lo que esta actúa

como un importante filtro ecológico (Lytle and Poff, 2014). Finalmente, a escala de cuenca, el régimen hidrológico controla muchos de los procesos involucrados en la translocación de especies biológicas y compuestos químicos a través de la red fluvial (Cañedo-Argüelles, 2015).

Entender cómo las alteraciones directas (embalses y detracciones) e indirectas (cambios en los usos del suelo) del régimen de caudales impacta sobre en los ecosistemas fluviales y los servicios que estos proveen supone un importante reto desde la perspectiva científica y social, que deber ser abordado con urgencia. Sin embargo, la definición y predicción de la alteración hidrológica (AH) y sus efectos son cuestiones que aún no ha sido resueltas. Por ejemplo, los embalses varían en relación a su tamaño, aprovechamiento y reglas operacionales, mientras que la configuración de los usos del suelo en la cuenca está condicionada por diferentes objetivos socioeconómicos regionales (agricultura, explotación forestal, urbanización), lo cual puede generar patrones contrapuestos de AH. Así mismo, la magnitud y la dirección de la AH va a estar condicionada por las características naturales del propio río (McManamay et al., 2012). Todos estos factores dificultan la definición de relaciones directas entre AH e impactos sobre el ecosistema. En este sentido, la mejora de las capacidades para determinar la AH real y cuantificar la relación causa-efecto entre la AH y el funcionamiento de los ecosistemas fluviales es de suma importancia en el campo de investigación de los recursos hídricos.

Actualmente, está ampliamente demostrado que es necesario generar cierto grado de similitud con las condiciones naturales del flujo mediante la definición de caudales ecológicos para mantener los procesos y funciones de los ecosistemas fluviales (Acreman et al., 2014). La declaración de Brisbane (2007) define los caudales ecológicos como “la cantidad, temporalidad y calidad de los flujos de agua precisos para mantener los ecosistemas de agua dulce y de los estuarios, así como los medios de subsistencia y bienestar de las personas que dependen de tales ecosistemas”. Por lo tanto, los científicos necesitan desarrollar y proporcionar herramientas y modelos para lograr este objetivo. Sin embargo, la metodología utilizada para establecer los regímenes de caudales ecológicos aún dista mucho de ser única y universal (Annear et al., 2004). En este sentido, el marco metodológico conocido como ELOHA, por las siglas en inglés de Límites Ecológicos de Alteración Hidrológica (Poff et al., 2010), ha sido ampliamente aceptado desde su publicación por la comunidad científica y los gestores de los recursos hídricos. El proceso metodológico de ELOHA considera cuatro pasos consecutivos: 1) Creación de las bases de datos de información hidrológica, 2) la clasificación de los ríos de acuerdo a su régimen natural de caudales; 3) el análisis de la alteración hidrológica; y 4) el desarrollo de relaciones régimen-funcionamiento ecosistémicos para cada tipo de río. El desarrollo de estas cuatro tareas permitirá proponer estándares de caudales ecológicos a nivel regional para diferentes tipos de río. Sin embargo, actualmente el número de estudios que han seguido esta metodología sigue siendo reducida, exceptuando algunos ejemplos de aplicación (e.g. Buchanan et al., 2013; McManamay et al., 2013). Por lo tanto, se hace indispensable la incorporación de estudios que adapten esta metodología a nuevos territorios que presenten ríos con diferentes regímenes hidrológicos, para testar su aplicabilidad a nivel global y mejorar sus capacidades.

Con vocación de dar respuesta a los interrogantes mencionados, se planteó el proyecto titulado “Evaluación regional de la alteración hidrológica en los ríos de Chile centro-sur: implicaciones para el funcionamiento de los ecosistemas y provisión de servicios (HANSEL, por sus siglas en inglés)”, el cual ha sido financiado por el programa FONDECYT en el marco del concurso

postdoctorado 2017 y que actualmente se encuentra en fase de ejecución. El objetivo principal de este proyecto es estimar cómo la AH producida por embalses y cambios en los usos del suelo afecta y compromete el funcionamiento natural de los ecosistemas fluviales en el centro-sur de Chile, con el fin último de generar herramientas útiles para apoyar la gestión de los recursos hídricos y mejorar el conocimiento para el desarrollo de futuras políticas de agua.

El objeto de este trabajo es dar a conocer los objetivos, líneas de actuación y tareas principales, así como presentar los resultados obtenidos en ríos de la península Ibérica en trabajos previos desarrollados por los autores. Dada la novedad, tanto de los aspectos conceptuales como metodológicos del proyecto, creemos que el XXIII Congreso chileno de ingeniería hidráulica representa el marco adecuado para presentar y debatir los aspectos fundamentales del proyecto.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio considerada por HANSEL cubre el centro-sur de Chile (117, 312 km², entre las latitudes 33.8 y 39.8 S), incluyendo las regiones VI a IX (Figura 1), sin embargo, algunas de las tareas del proyecto se desarrollarán para todo Chile. Comprende las cuencas de 7 grandes ríos que fluyen desde los andes hasta el océano pacífico, junto con 19 cuencas menores con origen en la cordillera de la costa (Figura 1A). Esta área de estudio constituye una importante zona de desarrollo económico en el país, por lo que se espera encontrar actividades con potencial para alterar los regímenes de caudales. Por ejemplo, se han contabilizado más de 180 embalses con distintas capacidades y destinos, especialmente en las regiones VI y VII, mientras que en las regiones VIII y IX se registra un mayor porcentaje de ríos en estado natural (Figura 1B). Adicionalmente, las cuencas incluidas en el área de estudio, se encuentran sometidas a una significativa modificación de los usos del suelo, principalmente producto de actividades agrícolas y forestales. Estas circunstancias permitirán generar gradientes de AH y encontrar localizaciones alteradas y no alteradas para analizar los efectos de la AH mediante diseños específicos. Finalmente, en estas cuatro regiones se dispone de registros de 276 estaciones de aforo (Figura 1C), lo que probablemente permitirá encontrar un número adecuado de estaciones alteradas y no alteradas para alcanzar los objetivos del proyecto.

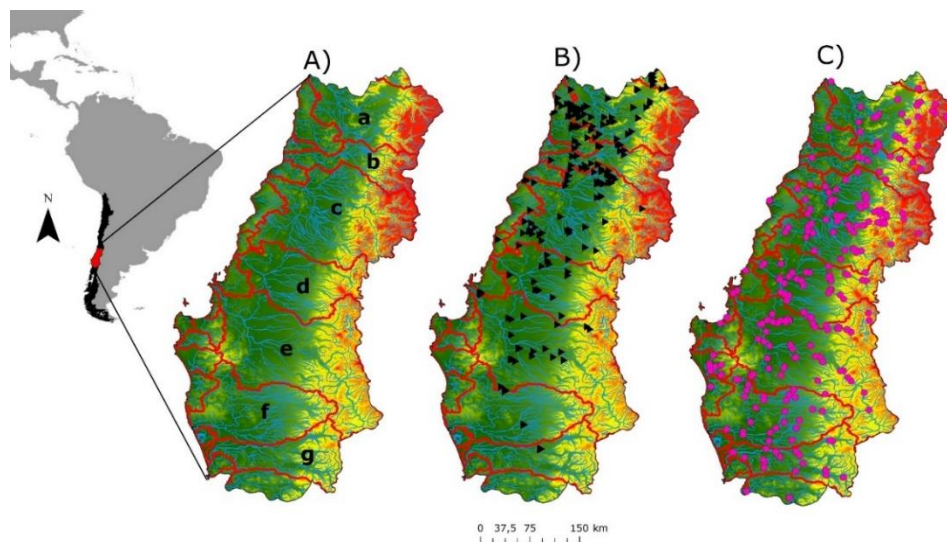


Figura 1. Localización del área de estudio. A) Localización de las 7 cuencas principales (a: Rapel; b: Mataquito; c: Maule; d: Itata; e: Bio-Bío ; f: Imperial; g: Toltén y 19 cuencas menores. B) Localización de 188 embalses (triángulos negros) C) Localización de 276 estaciones de aforo (círculos rosas)

3. ASPECTOS METODOLÓGICOS Y TAREAS DEL PROYECTO

HANSEL consta de cuatro tareas principales (Figura 2), que se describen brevemente a continuación:

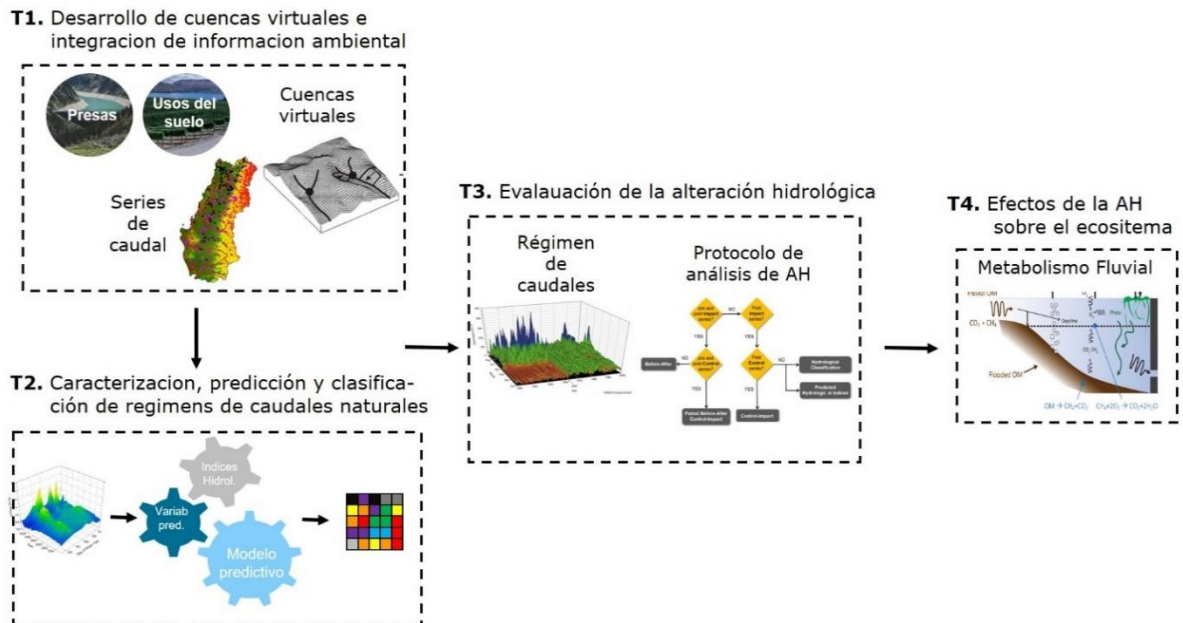


Figura 2. Diagrama de flujo indicando las principales tareas del proyecto.

Tarea 1: Desarrollo de cuencas virtuales e integración de información ambiental

Entender cómo los embalses y los cambios de los usos del suelo producen una AH y los efectos de esta tiene sobre los ecosistemas, requiere el desarrollo de una representación digital, completa y precisa de las redes fluviales y sus cuencas vertientes. En este contexto, las cuencas virtuales ofrecen numerosas ventajas como herramientas de análisis digital ya que en ellas se tiene en cuenta la estructura de la red y la topología de la cuenca, las interacciones entre los ambientes terrestres y acuáticos y diferentes variables implicadas en procesos ecológicos a diferentes escalas (Benda et al., 2016).

HANSEL utilizará el software NetMap (www.terrainworks.com) para construir las cuencas virtuales necesarias para el desarrollo de las tareas del proyecto. Entre otras muchas capacidades, las cuencas virtuales desarrolladas con NetMap permiten incorporar, a distintas escalas, desde tramo de río a cuenca vertiente, una gran cantidad de información ambiental, fundamental para determinar el comportamiento hidrológico de cada río (e.g., clima, geología, vegetación, usos del

suelo). Así mismo, durante esta tarea se recogerá, unificará e integrará toda la información hidrológica disponible en el área de estudio. Se analizarán mediante distintos criterios todas las series hidrológicas recogidas en las estaciones de aforo para determinar su naturalidad y calidad y su potencialidad para ser utilizadas en las tareas subsecuentes. Además de cada serie hidrológica se extraerá una serie de 85 Índices Hidrológicos (IH) que se consideran relevantes desde el punto de vista ecológicos, informando de la magnitud, temporalidad, duración, frecuencia y tasa de cambio de diferentes condiciones y eventos de caudal (Richter et al., 1996).

Tarea 2: Caracterización, predicción y clasificación de regímenes de caudales naturales

La falta de información hidrológica en la mayor parte de los ríos es uno de los mayores impedimentos para entender el comportamiento de los ríos, evaluar la AH y determinar, en definitiva, cuál es el mejor modo de gestionar los recursos hídricos para proveer de los servicios necesarios, sin generar un empobrecimiento severo de los ecosistemas. ELOHA propone la predicción de IHS a partir de las series recopiladas en estaciones de aforo no alteradas (McManamay et al., 2013) mediante diferentes técnicas estadísticas. Además, las clasificaciones hidrológicas proporcionan un marco de organización y suponen una herramienta cada vez más utilizada en el campo de la investigación y la gestión de los recursos (Peñas et al., 2014). En este sentido, las clasificaciones hidrológicas otorgan cierto orden a los complejos datos hidrológicos, identificando y caracterizando similitudes entre ríos de acuerdo a una serie de IH que varían espacialmente de acuerdo a las condiciones de la cuenca y su paisaje.

Con el objetivo de explorar el comportamiento hidrológico en condición natural de los ríos presentes en el área de estudio se desarrollará una clasificación hidrológica basada en una aproximación inductiva, utilizando el método de “Predecir-luego-Clasificar” (Peñas et al., 2014). Así mismo se desarrollarán modelos empíricos mediante la técnica de Random Forest (Breiman, 2001) para predecir información hidrológica específica, es decir, los IH. Ambas aproximaciones se basan en la combinación de la información hidrológica recogida en las estaciones de aforo no alteradas con información ambiental relevante a nivel de cuenca y tramo (Tarea 1) para predecir el comportamiento hidrológico en ríos no aforados.

Tarea 3: Evaluación de la alteración hidrológica

El primer paso para llevar a cabo una adecuada gestión de los recursos en un sistema fluvial alterado es identificar y cuantificar la propia AH. Los embalses varían en tamaño y capacidad, en su actividad y en reglas operacionales, por lo que establecer generalidades sobre su AH potencial es una tarea complicada (Magilligan y Nislow, 2001). Esto mismo se puede aplicar a la AH producida por diferentes configuraciones de los usos del suelo en la cuenca. La metodología denominada Índices de Alteración Hidrológica (IAH; Richter et al., 1996) representa una de las aproximaciones más robustas para determinar la AH y ha sido aplicada en numerosos ríos alrededor del mundo. Sin embargo, la aplicación del IAH presenta ciertos inconvenientes, tales como la influencia de cambios naturales en la hidrología, la gran dependencia de la información hidrológica disponible en el lugar de estudio o la arbitrariedad a la hora de definir el grado y la

significación estadística de la alteración, los cuales deben ser abordados para entender y determinar completamente la AH (Peñas et al, 2016a).

HANSEL aplicará un nuevo protocolo de evaluación de la AH (Peñas et al., 2016) en todas las estaciones de aforo en estado alterado presentes en el área de estudio. Este protocolo permite establecer la magnitud y dirección de la AH en los diferentes IHS seleccionados e incorpora diferentes metodologías de evaluación de acuerdo a la disponibilidad de datos en los ríos objetivos. La combinación de los resultados de este análisis con la información almacenada en las cuencas virtuales permitirá llevar a cabo la construcción de gradientes de alteración atendiendo al tipo y características de la alteración (e.g. tamaño y actividad del embalse, uso del suelo predominante, etc). Así mismo, se tendrá en cuenta la clase hidrológica (Tarea 2) a la que debería pertenecer el río en ausencia de alteración, ya que este factor puede condicionar significativamente la caracterización de la AH.

Tarea 4: Análisis de los efectos de la alteración hidrológica sobre el funcionamiento del ecosistema fluvial

La mayor parte de métodos para evaluar los efectos de las presiones antrópicas en los ecosistemas fluviales se basan en el uso de indicadores estructurales que comparan con una condición de referencia. Sin embargo, se ha demostrado que algunos de estos indicadores no son totalmente informativos de la respuesta frente a presiones humana (Bunn et al., 1999), siendo el uso de indicadores funcionales cada vez más habitual (Houser et al., 2005). Por ejemplo, el metabolismo fluvial a nivel de tramo es un indicador que considera numerosos procesos ecológicos y está afectado por las tasas de productividad y consumo asociado a diferentes canales de energía de la cadena trófica

HANSEL llevará a cabo un análisis específico para analizar cómo el tipo, magnitud y dirección de cada AH modifica el metabolismo fluvial en comparación a un río en el que no se observa tal alteración. Para ello, basándonos en los resultados de la Tarea 3, diseñaremos un estudio control-impacto en el que se realizarán mediciones de metabolismo en 40 sitios, incluyendo sitios alterados y no alterados. El metabolismo fluvial se determinará mediante el método de estación simple, que se basa en la dinámica diaria de oxígeno disuelto en el agua. Para ello se instalarán sondas de oxígeno, luz y temperatura en los puntos seleccionados en épocas de caudales bajos durante al menos 48 horas, recogiendo datos de concentración de oxígeno cada 15 minutos. Estos datos permitirán estimar las tasas de producción y espiración en cada punto y cómo estas difieren entre los puntos control y los impactados.

4. RESULTADOS PREVIOS

HANSEL surge como continuación de los trabajos desarrollados previamente en el marco de varios proyectos de investigación en España, entre ellos el proyecto HYDRA. En el marco del proyecto HYDRA se llevó a cabo un estudio inicial englobando todas las cuencas de la mitad norte de la península Ibérica, para determinar los principales patrones de AH, siguiendo un procedimiento similar al planteado en este proyecto (Peñas et al., 2016b). Los resultados iniciales

de este análisis pusieron de manifiesto que tanto la actividad principal de los embalses como la propia naturaleza hidrológica de los ríos donde se sitúan estos embalses, influye significativamente en los aspectos hidrológicos que se ven alterados de manera más relevante. Así mismo, dichos factores influyeron significativamente sobre la magnitud y la dirección de esa alteración. No obstante, en algunos casos que se encontraron ciertas discrepancias respecto a los resultados generales, lo podría estar debido no solo al efecto de los diferentes usos del embalse sino a diferentes reglas operacionales dentro de un mismo uso, por ejemplo, al tipo de cultivo al que está destinado el agua o a las características de las centrales hidroeléctricas. Así mismo, en contra de la hipótesis inicial, no se encontró una relación directa entre el grado de AH y el tamaño de los embalses. HANSEL se centrará en dar respuestas a algunos de los interrogantes surgidos a partir de estos resultados, por ejemplo, tratando de diferenciar las AH atendiendo no solo al tipo de actividad de los embalses, sino teniendo en cuenta las características hidrológicas del propio régimen alterado y analizando de manera combinada aquellos ríos sujetos a alteraciones similares respecto a esta caracterización. Es decir, realizando una clasificación previa de patrones de alteración observados. Por tanto, teniendo en cuenta que HYDRA y HANSEL persiguen unos objetivos similares y que, hasta cierto punto, existen ciertas similitudes ambientales entre las cuencas de la Península Ibérica y las del área de estudio de Chile (e.g., cuencas húmedas y mediterráneas), consideremos que la combinación y contraste de los resultados de ambos proyectos ayudará a extraer resultados más robustos y conclusiones extrapolables a otros lugares. Así mismo, los resultados de ambos proyectos resultarán de suma importancia para mejor y potenciar las capacidades de ELOHA, como marco metodológico para la definición de regímenes de caudales ecológicos y herramienta para gestionar los recursos hídricos y servicios ecosistémicos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por fondos FONDECYT - CONICYT – Concurso postdoctorado 2017 (Numero de proyecto 3170313). También se agradece el financiamiento entregado por el Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España como parte del proyecto HYDRA (Ref: BIA2015-71197). Finalmente, nos gustaría agradecer a la Dirección General del Agua (Ministerio de Obras Públicas del Gobierno de Chile) y al Centro de ciencia del Clima y la Resiliencia (CR²) por el suministro de información necesaria para el desarrollo del proyecto.

REFERENCIAS

Acreman, M.C., I.C. Overton, J. King, P.J. Wood, I.G. Cowx, M.J. Dunbar, E. Kendy y W.J. Young. 2014. The changing role of ecohydrological science in guiding environmental flows. *Hydrological Sciences Journal*, 59 (3–4), 433-450

Annear T., I. Chisholm, H. Beecher, A. Locke, P. Aarrestad, C. Coomer, C. Estes, J. Hunt, R. Jacobson, G. Jobsis, J. Kauffman, J. Marshall, K. Mayes, G. Smith, C. Stalnaker y R. Wentworth. 2004. *Instream flows for riverine resource stewardship*. Revised edition. Instream Flow Council Cheyenne, WY.

Benda, L., D. Miller, X. Cai, J. Barquín, J. McCleary, T. Cai, y Y. Ji. 2016. A Global Opportunity: Improving countries' digital earth, including river networks, in resource planning and conservation. *Environmental Management*, 57(3), 722-739

Breiman, L. 2001: Random Forest. *Machine Learning*, 45, 5-32,

Brown, L. E., G. Mitchell, J. Holden, A. Folkard, N. Wright, N. Beharry-Borg, G. Berry, B. Brierley, P. Chapman, S. J. Clarke, L. Cotton, M. Dobson, E. Dollar, M. Fletcher, J. Foster, A. Hanlon, S. Hildon, P. Hiley, P. Hillis, J. Hoseason, K. Johnston, P. Kay, A. McDonald, A. Parrott, A. Powell, R. J. Slack, A. Sleigh, C. Spray, K. Tapley, R. Underhill y C. Woulds. 2010. Priority water research questions as determined by UK practitioners and policy makers. *Science of The Total Environment*, 409, 256-266.

Buchanan C., H.L.N. Moltz, H.C. Haywood, J.B. Palmer y A.N. Griggs. 2013. A test of The Ecological Limits of Hydrologic Alteration (ELOHA) method for determining environmental flows in the Potomac River basin, USA. *Freshwater Biology*, 58, 2632-2647

Bunn, S. E., P.M. Davies y Mosisch, T.D. 1999. Ecosystem measures of river health and their response to riparian and catchment degradation. *Freshwater Biology*, 41, 333-345.

Bunn, S. E. y A.H. Arthington, 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management*, 30, 492-507.

Cañedo-Argüelles, M.K.S. Boersma, M.T. Bogan, J.D. Olden, I. Phillipsen, T.A. Schriever y D.A. Lytle 2015. Dispersal strength determines meta-community structure in a dendritic riverine network. *Journal of Biogeography*, 42 (4), 778-790

Declaración de Brisbane. 2007. The Brisbane Declaration: Environmental Flows Are Essential for Freshwater Ecosystem Health and Human Well-Being. Declaration of the 10th International River Symposium and International Environmental Flows Conference, Brisbane, Australia.

Elosegui, A. y S. Sabater, S. 2013. Effects of hydromorphological impacts on river ecosystem functioning: a review and suggestions for assessing ecological impacts. *Hydrobiologia*, 712, 129-143.

Houser, J. N., P.J. Mullholland y K.O. Maloney. 2005. Catchment disturbance and stream metabolism: patterns in ecosystem respiration and gross primary production along a gradient of upland soil and vegetation disturbance. *Journal of the North American Benthological Society* 24, 538-552.

Lytle, D.A. y N.L. Poff, N.L. 2004. Adaptation to natural flow regimes. *Trends in Ecology and Evolution*, 19, 94-100.

Magilligan, F.J. y K.H. Nislow. 2001. Long-term changes in regional hydrologic regime following impoundment in a humid-climate watershed. *Journal of the American Water Resources Association*, 37, 1551-1569.

McManamay R. A., D.J. Orth y C.A. Dolloff. 2012. Revisiting the homogenization of dammed rivers in the southeastern US. *Journal of Hydrology*, 424, 217-237.

McManamay R. A. D.J. Orth y C.A. Dolloff. 2013. Application of the ELOHA Framework to Regulated Rivers in the Upper Tennessee River Basin: A Case Study. *Environmental Management*, 51, 1210-1235.

Millenium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.

Naiman, R.J., J.R. Alldredge, D.A. Beauchamp, P.A. Bisson, J. Congleton, C.J. Henny, N. Huntly, R. Lamberson, C. Levings, E.N. Merrill, W.G. Pearcy, B.E. Rieman, G.T. Ruggerone, D. Scarnecchia, P.E. Smouse, y C.C. Wood. 2012. Developing a broader scientific foundation for river restoration: Columbia River food webs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 21201–21207.

Peñas, F.J., J. Barquín, T.H. Snelder, D.J. Booker y C. Álvarez. 2014. The influence of methodological procedures on hydrological classification performance. *Hydrology and Earth System Sciences, Hydrology and Earth System Sciences*

Peñas, F.J., J. Barquín y C. Álvarez. 2016a. Assessing hydrologic alteration: Evaluation of different alternatives according to data availability. *Ecological Indicators*, 60, 470-482.

Peñas, F.J., O. Belmar y J. Barquín. 2016b. Do reservoirs with similar operation rule produce always thh same effect? Patterns of hydrological alteration in the Iberian Peninsula. XVIII Congreso de la Asociación Ibérica de Linología, Tortosa, (España)

Poff, N. L., B.D. Richter, A.H. Arthington, S.E. Bunn, R.J. Naiman, E. Kendy, M. Acreman, C. Apse, B.P. Bledsoe, M.C. Freeman, J. Henriksen, R.B. Jacobson, J.G. Kennen, D. M. Merrit, J.H. O'Keeffe, J.D. Olden, K. Rogers, R.E. Tharme, y A. Warner. 2010. The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. *Freshwater Biology*, 55,147–170.

Ricciardi, A., y J. B. Rasmussen. 1999. Extinction Rates of North American Freshwater Fauna. *Conservation Biology*, 13, 1220-1222.

Richter B. D., J.V. Baumgartner, J. Powell, D.P Braun. 1996. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology*, 10, 1163-1174.

Vörösmarty, C. J., P. B. McIntyre, M. O. Gessner, D. Dudgeon, A. Prusevich, P. Green, S. Glidden, S. E. Bunn, C. A. Sullivan, C. R. Liermann, y P. M. Davies. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467, 555-561.