



C-5

CAUDAL AMBIENTAL: PERSPECTIVAS DE EVALUACIÓN EN EL SISTEMA TDPS

ENVIRONMENTAL FLOW: ASSESSMENT PERSPECTIVE IN THE TDPS SYSTEM

Marc Pouilly, IRD-BOREA, marc.pouilly@ird.fr

Carla Ibañez, UMSA-IE

Claudia Zepita, UMSA-IE

Ramiro Gutiérrez, UMSA-IE

Gastón Aguilera, CONICET-Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina

Mario Aguirre, UICN Oficina Regional para Sudamérica

RESUMEN

El concepto de caudal ambiental es considerado actualmente como un insumo imprescindible para los sistemas de gestión integrada de los recursos hídricos. Generalmente se define como la cantidad, calidad y régimen de agua necesarias por cada fase del ciclo hidrológico de un río para asegurar la conservación de su biodiversidad y de su funcionamiento ecológico. Esa necesidad es reconocida en las leyes o normas de numerosos países y en especial en los países de la región andina, aunque las herramientas y la capacidad técnica para evaluar esos caudales aún no fueron desarrolladas para las cuencas hídricas más representativas de la región como lo es el sistema hídrico del TDPS. El concepto o evaluación de caudal ecológico no fue aun desarrollado o experimentado en el sistema hídrico del TDPS.

Este trabajo presenta en una primera parte el concepto y las metodologías de evaluación del caudal ecológico. La segunda parte describe la necesidad de incluir esa herramienta en la gestión, a través de elementos de los marcos normativos de Perú y Bolivia y de la información disponible sobre la demanda de agua en el sistema TDPS. Finalmente debido a la falta de información sobre la distribución las especies y su dependencia al

hábitat, se propone un plan de estudio biológico para desarrollar una herramienta de evaluación del caudal ecológico a nivel de cuencas internas en el sistema TDPS.

PALABRAS CLAVE: CAUDAL AMBIENTAL, CAUDAL ECOLÓGICO, LEGISLACIÓN AMBIENTAL, RÍO, PECES, RELACIÓN HÁBITAT – ESPECIES

SUMMARY

Environmental flow is a key concept included in nowadays advocated Integrated Water Resource Management systems. Its general definition corresponds to the water quality and quantity necessary for each hydrological period of a river to insure the conservancy of its biodiversity and ecological functioning. The necessity to take into account the environmental flow concept is recognized in laws of numerous countries, especially in the Andean region. However tools and technical capacities necessary to evaluate the environmental flow are still undeveloped in many of the most representative hydric basins of the region as the TDPS system and for the whole Andean region. This work presents in a first part a definition of the concept and the methodologies used to evaluate the environmental flow. In a second part, elements of the Bolivian and Peruvian laws and of water demands are mentioned, highlighting the need to include this tool in the management system of the TDPS. Finally, due to the scarce availability of species distribution and habitat relationships, a biological study is proposed to develop a tool for the evaluation of the environmental flow at the sub-basin level of the TDPS.

Key word: Environmental flow, ecological flow, environmental law, river, fish, species-habitat relationships

C5.1. INTRODUCCIÓN

Los ríos, lagos, bofedales y otros humedales son ecosistemas acuáticos que presentan su propio funcionamiento ‘interno’ pero no están desvinculados de los demás ecosistemas de su alrededor. En particular, la primera característica de estos ecosistemas acuáticos es que dependen de las aguas que reciben de los otros ecosistemas. Así el área que se debe considerar para el estudio o la gestión de un ecosistema acuático es el espacio global de donde pueden llegar las aguas, delimitándose por los límites de la cuenca hidrográfica. En Bolivia este enfoque es promovido a través el *Plan Nacional de Cuenca* (Ministerio del Agua, 2007), que reconoce la escala de la cuenca como el nivel de intervención para el desarrollo de un sistema de *Gestión Integrada de Recursos Hídricos* (GIRH), promoviendo “la gestión coordinada del agua, de la tierra y de los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar económico y social con equidad y sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales”.

La cantidad y calidad del agua que llega y transcurre por un sistema va a influir sobre sus características físicas y biológicas. Una alteración en cualquiera de los principales componentes del régimen de caudales (duración, frecuencia, magnitud, predictibilidad y periodicidad) puede, directa o indirectamente, afectar estas características, el funcionamiento ecológico general (Poff *et al.* 1997) y los beneficios que las poblaciones reciben de este funcionamiento. Por lo tanto es necesario poder asegurar que cada sistema recibirá la cantidad y calidad de agua suficiente para mantener las funciones ecológicas básicas en dicho sistema y para asegurar que el mismo podrá proveer una cantidad y calidad de agua suficiente a los otros sistemas que alimenta. Esa cantidad y calidad de agua asociada al régimen hídrico es conocida como el caudal ecológico.

En la gran mayoría de los ecosistemas acuáticos continentales, el régimen hidrológico varía naturalmente a lo largo del año. Esa temporalidad es clave y tiene relación con varias funciones del sistema. Por ejemplo en un río, las crecidas anuales son necesarias para limpiar y regenerar los hábitats; los caudales altos permiten la migración de los peces y los caudales de estiaje, la colonización vegetación ribereña. La determinación de un caudal ecológico tiene de hecho una dimensión temporal importante.

La evaluación de caudal ambiental no fue aun implementado en las cuencas del sistema hídrico TDPS. El presente capítulo propone definir el concepto y describir los métodos de evaluación del caudal ecológico. En una segunda fase, luego de un análisis de las normativas vigentes en Bolivia y en Perú, así como del análisis de los datos existentes, se propone un plan de estudio para desarrollar una herramienta de evaluación del caudal ecológico basada en un relevamiento de información biológica a nivel de las cuencas internas del sistema.

C5.2. CONCEPTO DE CAUDAL AMBIENTAL

El caudal ambiental se define como el régimen, volumen y calidad de agua que se debe mantener en un sistema, por cada periodo del ciclo hidrológico, para conservar su funcionamiento ecológico y asegurar el ciclo de vida (crecimiento, circulación y reproducción) de los organismos que lo habitan y el bienestar humano que depende de éstos ecosistemas (Dyson *et al.* 2003, Declaración de Brisbane 2007). Definiciones semejantes aparecen ahora en la legislación de muchos países y en particular en los países andinos del Perú, Ecuador, Colombia, Chile y Argentina.

Conceptualmente, la idea y la definición del caudal ambiental es pertinente si se asume que la extracción de una parte del caudal no tendrá consecuencias notables sobre el sistema y que un nivel de conservación o restauración puede ser alcanzado con un caudal menor que el caudal natural. Sin

embargo Aguilera & Pouilly (2012) proponen diferenciar el caudal ecológico, que permitirá mantener un sistema a un nivel óptimo de conservación y de funcionamiento ecológico, del caudal ambiental, “el cual incluye todos los usos a realizarse en el río ya sean de servicios básicos, industriales, agrícolas, energéticos, turísticos, ecológicos, cultural, etc. Este último concepto aparece como un compromiso de derechos de uso del recurso agua que implica una negociación entre los actores, siendo el funcionamiento ecológico y el ciclo de vida de los organismos que lo colonizan, vistos como usuarios” (Figura C5-1). La nueva constitución política de Bolivia menciona que “es deber del Estado gestionar, regular, proteger y planificar el uso adecuado y sustentable de los recursos hídricos, con participación social” (art. 374), reconociendo como fundamento el concepto de los caudales ambientales y ecológicos y abriendo entonces la necesidad de desarrollo de herramientas para estimarlo. Para el caso del Perú, el Artículo 53 inciso 2 de la Ley de Recursos Hídricos (Ley Nro. 29338 de marzo de 2009), trata el tema de otorgamiento de derechos de uso de agua, haciendo mención a la necesidad que en dicho proceso se asegure la conservación de caudales ecológicos.

C5.3. PRINCIPALES METODOLOGÍAS DE CAUDAL ECOLÓGICO

Los métodos desarrollados para determinar el caudal ecológico se basan en distintos tipos de criterios, indicadores indirectos cualitativos o cuantitativos del funcionamiento del río, para los cuales es posible estimar las variaciones de estado o valor por un rango de caudal y en algunos casos por diferentes periodos hidrológicos del río. El uso de estos criterios y de los métodos asociados debe plantearse en relación a la futura condición deseada del ecosistema, como por ejemplo el mantenimiento o mejoramiento de los ecosistemas acuáticos, incluyendo la biota acuática y de ribera, la maximización de la producción comercial de peces, la conservación de especies en peligro, o la protección de valores culturales, recreacionales o científicos (Tharme 2003). Consensuar el objetivo de la gestión debe ser el inicio de todo proceso de negociación entre los diferentes actores.

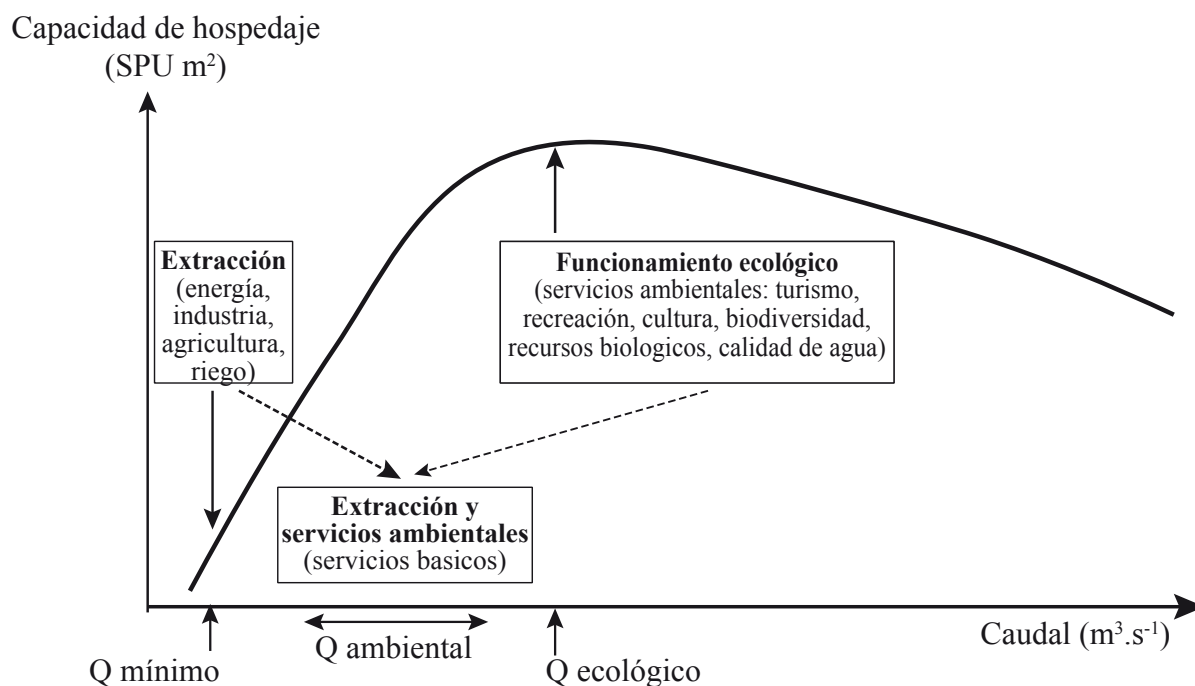


Figura C5-1. Curva teórica de evolución de la capacidad de hospedaje de una especie de peces (o Superficie Potencialmente Utilizable como evaluada en el método PHABSIM), indicadora del funcionamiento ecológico del río. Los caudales mínimo, ambiental y ecológico están ilustrados en relación a los usos que favorecen. Esos caudales deben variar en función al ciclo hidrológico y a los ciclos biológicos de los organismos indicadores (por ejemplo para los peces: reproducción, crecimiento de alevines, estiaje para los adultos). Extraído de Aguilera & Pouilly 2012.

Los métodos de estimación de caudal ecológico pueden ser clasificados en cuatro grupos, de acuerdo a: 1) si integran solamente parámetros físicos (hidrológicos o hidráulicos) o además parámetros biológicos y 2) si permiten generar pronósticos por simulación o modelación o si se basan sobre el peritaje de expertos. Tharme (2003) reportó la existencia de más de 200 métodos de evaluación de los caudales ecológicos usados en 44 países del mundo, todas pertenecen a una de las cuatro categorías que a continuación se describen:

C5.3.1. MÉTODOS HIDROLÓGICOS

Consideran la determinación de un caudal de referencia a partir de una relación cualitativa entre la calidad del hábitat y el porcentaje del caudal anual natural. El primero en desarrollar esa metodología fue Tennant (1976) quien calificó la fauna íctica y diferentes parámetros físicos que representan el hábitat de los peces en once ríos de los EE.UU. A partir de esa clasificación, estableció una tabla que permite determinar, en una primera aproximación, el caudal ambiental a conservar en un río del área de estudio en relación al objetivo de conservación que se plantea. Este es un método bastante general y la clasificación es válida para una región pero no permite analizar las particularidades de cada río dentro la región. Las clases de objetivos son subjetivas y no incluyen una

modulación temporal en relación al ciclo hidrológico y a las diferentes fases de funcionamiento del río.

C5.3.2. MÉTODOS HIDRÁULICOS

Consideran una relación teórica empírica entre un parámetro hidráulico, como la superficie mojada (“wetted perimeter”, Collings 1972), y la calidad de hábitats para la biota en general. En estos métodos el caudal de referencia se establece buscando el ratio más elevado entre el parámetro hidráulico y el caudal (correspondiendo a los puntos de inflexión en la relación entre el perímetro mojado y el caudal, Figura C5-2). Aunque basada sobre una aplicación local, estos métodos utilizan un criterio físico sin que se demuestre la relación entre este criterio, la calidad del hábitat y las preferencias de hábitat de los organismos.

C5.3.3. MÉTODOS DE MODELIZACIÓN DEL HÁBITAT

Los métodos de modelización del hábitat y en particular el método PHABSIM (Physical Habitat Simulation) constituyen uno de los métodos de evaluación más eficientes y más utilizados en la actualidad (Tharme 2003). Al contrario de las dos familias de métodos precedentes, el modelado del hábitat permite establecer un pronóstico cuantitativo de la calidad del hábitat por un rango de caudal, basándose sobre la información física local e información biológica local o regional.

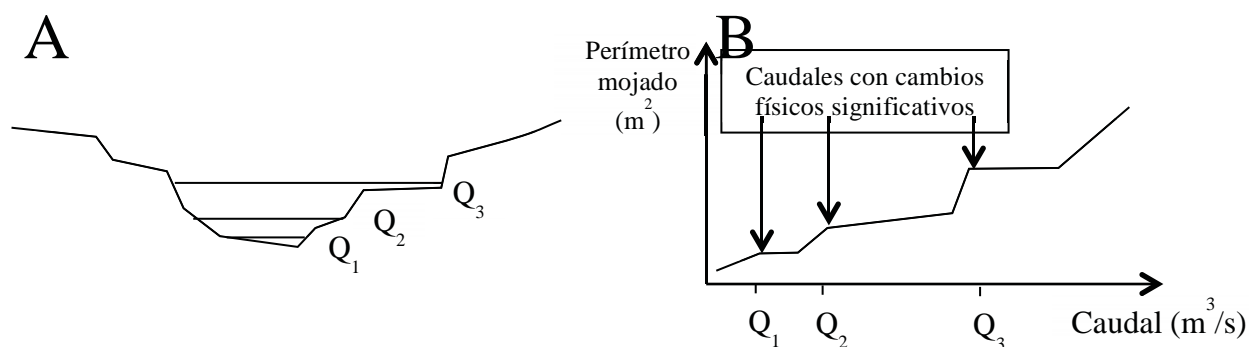


Figura C5-2. Ilustración del método del perímetro mojado. A- Sección transversal de un río y B- relación entre el caudal y el perímetro mojado en este río. Los caudales en los cuales se produce un cambio físico significativo en relación a la morfología del lecho son remarcados (Q_1 , Q_2 y Q_3) que sirven de guía para la evaluación de un caudal ecológico. Extraído de Aguilera & Pouilly 2012.

El método PHABSIM (Bovee 1982) acopla modelos biológicos e hidráulicos para evaluar los cambios en la capacidad de hospedaje del río para una especie sobre un rango de caudal (Figura C5-3). El

análisis de los resultados interpreta los caudales ecológicos como aquellos caudales que generen la mayor capacidad de hospedaje o los que optimicen el ratio entre la capacidad de hospedaje y el caudal. En base a una serie hidrológica, el método determina la evolución de la capacidad de hospedaje a lo largo del ciclo hidrológico anual, lo que permite analizar y proponer caudales ecológicos relacionados a las diferentes fases del ciclo biológico de los organismos (i.e. migración, reproducción, condiciones críticas de estiaje, etc.).

Estos métodos suponen la selección de especies indicadoras o representativas, que reflejan el funcionamiento ecológico global del río y que deben ser elegidas en relación a los objetivos de cada estudio. En ríos de baja diversidad, el objetivo de optimizar el caudal que favorece a la especie (nativa) dominante es pertinente. En ríos con alta diversidad la elección de la especie resulta más complejo y se pueden considerar distintos enfoques, como por ejemplo optimizar el hábitat de las especies que presenten importancia local cultural o comercial o de especies “paraguas” generalizadoras (que representan funcionalmente a las demás especies), establecer gremios de especies que representan las diferentes estrategias de uso del hábitat, o buscar un caudal que favorezca una comunidad de peces cuya composición se asemeja a una comunidad de referencia natural regional (actual o histórica).

C5.3.4. MÉTODOS HOLÍSTICOS

Estos métodos consideran la compilación, por un grupo de expertos, de información disponible sobre diferentes aspectos de la ecología funcional del río (como las necesidades ecológicas de las especies acuáticas y ribereñas representativas y el comportamiento hidrológico y geomorfológico del río) y de los aspectos socioeconómicos (como la calidad estética, la dependencia social y cultural respecto al río y los beneficios económicos del uso del recurso hídrico; Castro Heredia *et al.* 2006). En base a esa información las metodologías de Bloques de Construcción (Building Block Methodology, BBM; King & Louw 1998; King *et al.* 2000, 2008) y de Límites ecológicos de la alteración hidrológica (Ecological Limits of Hydrologic Alteration, ELOHA, Poff *et al.* 2010) utilizan el hidrograma natural del río como referencia para establecer, empíricamente o cuantitativamente, recomendaciones de caudales que permitirán satisfacer las necesidades de caudal en cantidad y las variaciones temporales para diferentes funciones ecológicas.

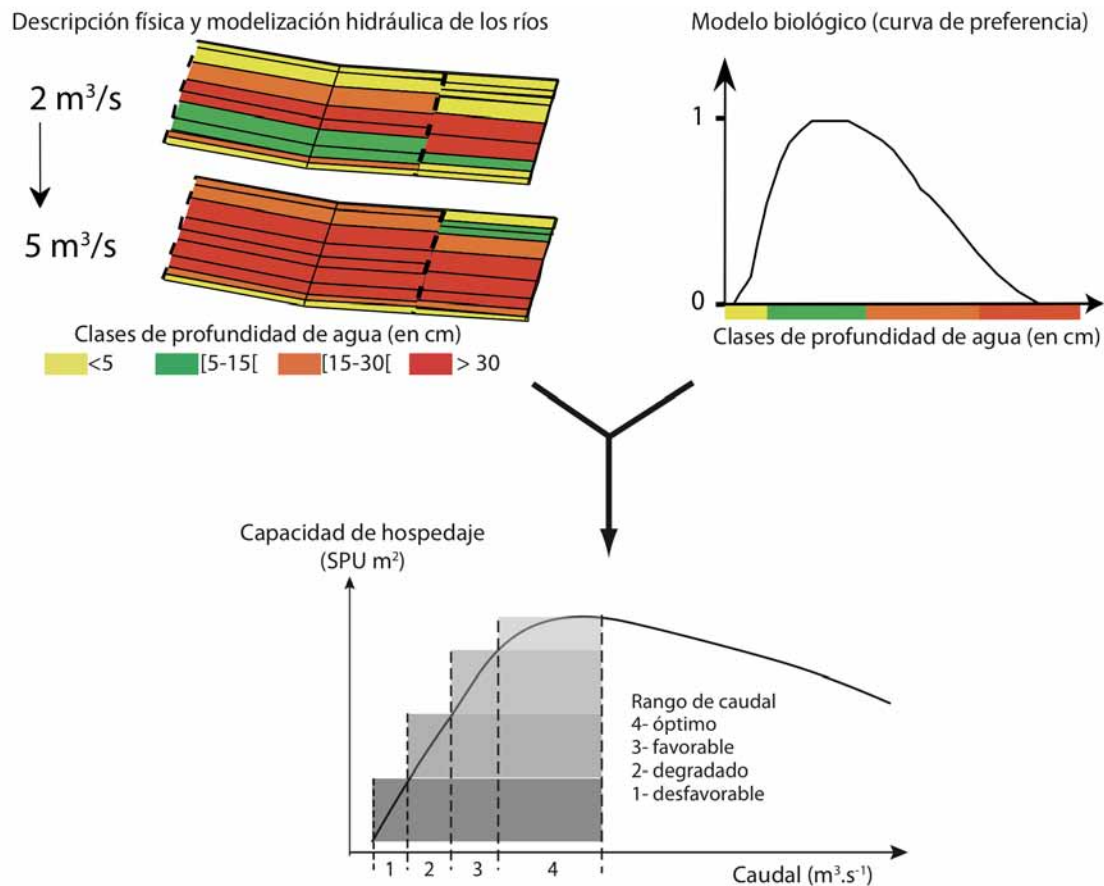


Figura C5-3. Esquema del acople entre los modelos hidráulicos y biológicos según PHABSIM. A- modelización hidráulica de un tramo de río. Para cada caudal el modelo estima en cada celda (rectángulos) el valor de los parámetros de velocidad, profundidad y sustrato; B- Modelo biológico. La curva indica las preferencias (entre 0 y 1) de la especie para cada valor de velocidad, profundidad y sustrato; C- Evolución de la Superficie Potencialmente Utilizable (SPU) para la especie en un rango de valor de caudal modelado. Modificado de Aguilera & Pouilly 2012.

C5.4. INFORMACIÓN Y ELEMENTOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN EL SISTEMA TDPS

C5.4.1. NORMAS Y LEYES EN BOLIVIA Y PERÚ

En Bolivia la ley de Medio Ambiente fue promulgada el 27 de abril de 1992 como ley 1333. En esta ley, el capítulo II “Del recurso agua” (artículos 36 al 39) plantea la protección del recurso agua como una tarea fundamental del estado y de la sociedad. El artículo 38 estipula que “el Estado promoverá la planificación, el uso y aprovechamiento integral de las aguas, para beneficio de la comunidad nacional, con el propósito de asegurar su disponibilidad permanente; priorizando acciones a fin de garantizar agua de consumo para toda la población”. Si bien el artículo 37 menciona que se “constituyen prioridad nacional la planificación y conservación de las aguas en todos sus estados y el manejo integral y control de las cuencas donde nacen o se encuentran las mismas”, esa ley presenta

ambigüedad entre el aprovechamiento y el manejo integral del recurso. La nueva Constitución del Estado Plurinacional de Bolivia promulgada en el 2009, en su Capítulo quinto (artículos 373 al 377) reafirman esta tarea, además de reconocerlos como recursos finitos y considerar la participación de la sociedad como parte fundamental para la protección, planificación en el uso adecuado y sustentable del recurso agua. Además el Estado reconoce la dinámica de las cuencas hidrográficas, por lo que establece que en las nacientes y zonas intermedias de los ríos, se deben evitar las acciones que puedan ocasionar daños a los ecosistemas o la disminución sus caudales (art. 376). Bajo estos lineamientos se desarrolló el Plan Nacional de Cuencas (PNC, MMAyA 2007). Este plan, que ha cobrado mayor fuerza en los últimos años por consecuencias del cambio climático, promueve la Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH) y el Manejo Integrado de Cuencas (MIC), como dos ejes necesarios y complementarios. El objetivo principal del PNC es el mejorar la calidad de vida de las comunidades y pobladores a través de su participación, como sustento del desarrollo ambiental sostenible, promocionando proyectos de inversión e iniciativas locales dentro de las dos modalidades GIRH y MIC. Donde el MIC considera las tareas técnicas del uso y manejo de los recursos y el GIRH reforzará los aspectos sociales e institucionales de gestión y administración como acciones adecuadas para el uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales de la cuenca (Ministerio del Agua, 2007).

Aunque el concepto de caudal ecológico no está mencionado de manera explícita en la normativa boliviana, la visión y los principios incluidos en la constitución y en la ley son argumentos para un desarrollo y una aplicación de este concepto a través del manejo integrado y del reconocimiento de la dinámica de las cuencas hidrográficas.

En el caso del Perú el Artículo 53 de la Ley Nº 29338 de Recursos Hídricos del 2009 menciona, en relación a la obtención de una licencia para el uso del agua, que “la fuente de agua a la que se contrae la solicitud tenga un volumen de agua disponible que asegure los caudales ecológicos, los niveles mínimos de reservas o seguridad de almacenamiento y las condiciones de navegabilidad, cuando corresponda y según el régimen hidrológico”. De acuerdo a Del Castillo *et al.* (2012) “la deficiencia en el tratamiento del tema en la Ley de Recursos Hídricos del Perú es cubierta en el Reglamento de esta Ley (aprobado por Decreto Supremo Nº 001-2010-AG). El citado reglamento le dedica todo el Capítulo VIII del Título V (sobre Protección del Agua) a los Caudales Ecológicos, el cual está compuesto por tres artículos (153 a 155). El artículo 153 contiene una definición de caudales ecológicos (“153.1. Se entenderá como caudal ecológico al volumen de agua que se debe mantener en las fuentes naturales de agua para la protección o conservación de los ecosistemas involucrados, la estética del paisaje u otros aspectos de interés científico o cultural). El referido artículo 153 señala las responsabilidades de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y el Ministerio del Ambiente (MINAM).

No obstante la definición de caudales ecológicos anotada, que hace mención a fuentes naturales en general, los siguientes incisos del artículo 153 parecen referirse exclusivamente al agua de los ríos. El artículo 154, por su parte reconoce que los referidos caudales pueden presentar variaciones a lo largo del año, volviendo a referirse a los ríos: “Los caudales ecológicos pueden presentar variaciones a lo largo del año, en cuanto a su cantidad, para reproducir las condiciones naturales necesarias para el mantenimiento de los ecosistemas acuáticos y conservación de los cauces de los ríos”. Dicha prescripción lleva a afirmar la necesidad de evitar la extracción de agua de los ríos en los períodos en que precisamente los mismos no tienen condiciones naturales para el mantenimiento de los ecosistemas acuáticos. Finalmente, el artículo 155 dispone que las metodologías para la determinación de los caudales ecológicos serán establecidas por la ANA en coordinación con el Ministerio del Ambiente”. De acuerdo a lo previamente tratado el concepto de caudal ecológico es parte de la legislación peruana, por lo que en base a los acuerdos pre existentes sería más fácil su implementación en el sistema TDPS.

Los primeros acuerdos para el estudio y manejo del Lago Titicaca entre Perú y Bolivia se remontan a 1955, cuando ambos países firmaron un documento que declara "la copropiedad indivisible y excluyente de ambos países de las aguas del lago". Posteriormente en 1996 los gobiernos del Perú y Bolivia con el propósito de generar acciones para la protección y conservación del Lago Titicaca crearon la Autoridad Binacional Autónoma del sistema hídrico TDPS (ALT), estableciendo un marco legal y a partir del cual se elaboró un plan director para la sistematización de datos e información procedente de diferentes fuentes posibilitando su consulta e intercambio entre Perú y Bolivia.

C5.4.2. DEMANDA Y USO DEL AGUA EN EL TDPS

El ecosistema más destacado y simbólico a nivel ecológico, económico, social y cultural del sistema TDPS es el lago Titicaca; siendo considerado como una fuente importante de agua dulce, clave para la sobrevivencia de las personas que viven a su alrededor. Sin embargo todas las estrategias que han sido implementadas tanto por los gobiernos de Perú y de Bolivia y la ALT se refieren al aprovechamiento del recurso sin necesariamente tomar en cuenta los aspectos ecológicos. Se refieren principalmente a programas de ordenamiento pesquero tanto para las especies nativas del género *Orestias* como para las dos especies introducidas *Onchorynchus mykiss* y *Odontesthes bonariensis* o a estrategias para el desarrollo de una acuicultura sostenible (Gobierno del Perú 1992; CIDAB 2002; Gobierno del Perú 2008; Araoz 2009; Conterno 2009; Gonzales 2010; Aragón 2012). Una de las actividades de regulación llevadas por la ALT en 1997 fue la construcción de compuertas para mantener el nivel del lago Titicaca tanto en época seca como en época húmeda, lo que según el plan

director de la ALT permitiría lograr un equilibrio paritario entre Perú y Bolivia, regulando el flujo del agua hacia el Desaguadero con un mínimo de $10\text{m}^3/\text{s}$ (ALT – PNUD 2001). El modo de operación de estas compuertas no contempla reglas que tomen en cuenta la evaluación de un caudal ambiental que debería circular en cada fase del ciclo hidrológico para asegurar la integridad ecológica de los ecosistemas que están río abajo del lago Titicaca y que dependen en parte de sus aguas para mantenerse (río Desaguadero y lagos Uru-Uru y Popoó). La cuenca del lago Titicaca ocupa el 39.1% de la superficie del sistema TDPS. Su efluente natural del lago Titicaca, el río Desaguadero, representa el 21.6% y desemboca en el lago Poopó que representa el 17.3% del TDPS (Monje *et al.* 2011). Estos porcentajes y conexiones revelan la importancia del manejo de las aguas del Titicaca, debido a que este manejo impactará a más del 70% de la superficie del sistema TDPS, siendo esa parte la que alberga la mayor parte de las actividades antrópicas. En las últimas décadas estos ecosistemas se han visto afectados por la degradación ambiental como: contaminación por aguas residuales, contaminación por minería, por practicas pesqueras y acuícolas inadecuadas (Monje *et al.* 2011), así como por el efecto del cambio climático, lo que hace que el ecosistema sea más sensible y vulnerable a una reducción o modificación de su régimen hidrológico.

Los aportes al lago por sus afluentes se estiman en unos $201\text{ m}^3/\text{s}$ (UNEP – PNUMA 1996), sin embargo no es posible utilizar todo este caudal, pues la mayor parte se consume en el mantenimiento del propio lago (UNEP – PNUMA 1996). El caudal máximo aprovechable en la cuenca del Titicaca fue estimado por UNEP – PNUMA (1996) entre 20 a $25\text{ m}^3/\text{s}$, lo que es considerablemente inferior a la demanda estimada. La demanda global potencial de agua es de $125\text{ m}^3/\text{s}$ en todo el sistema TDPS, de los cuales $2\text{ m}^3/\text{s}$ se destinarían para consumo doméstico, $19\text{ m}^3/\text{s}$ para trasvases previstos hacia otras cuencas, $103\text{ m}^3/\text{s}$ para proyectos de riego actuales y futuros, y $1\text{ m}^3/\text{s}$ para otros usos que incluyen minas, industrias y abrevaderos (UNEP – PNUMA 1996). La demanda total prevista solo para la cuenca del Lago Titicaca es de $95\text{ m}^3/\text{s}$ y la correspondiente a la cuenca del Desaguadero y Popoó sería de $30\text{ m}^3/\text{s}$ (UNEP – PNUMA 1996). De nuestro conocimiento no existen estimaciones más recientes de esa demanda y de su evolución. Aunque en este estudio del 1996 se incluían las estimaciones de las obras futuras planificados por el plan director de la ALT, no se ha considerado la demanda en agua de actividades de minería importantes como por ejemplo las de la concesión minera EMIRSA. Esa explotación ha requerido la creación de dos lagos, ambos de una extensión de aproximadamente un kilómetro y de mas de 200 metros de profundidad. En el 2008, los pobladores se alarmaron de la poca disponibilidad de agua río debajo de estos lagos y se genero una polémica sobre la procedencia y el uso del agua entre las minerías y los agricultores locales (La Razón del 3 de enero 2012, La Patria del 19 de octubre de 2012). Estos conflictos entre usuarios generan una tensión social y al final perjudican el desarrollo regional así mismo que la

sostenibilidad de las poblaciones, actividades y de los ecosistemas del TDPS. Son la prueba clara de una urgente necesidad de un dialogo y de una negociación transparente sobre la gestión del agua que incluya tanto a los actores extractivos (mina y agricultura) y conservadores (poblaciones dependientes y ecología) para establecer un replanteamiento de las demandas y una selección y priorización de proyectos de trasvase y riego en función de criterios ambientales junto con los sociales, económicos e hidrológicos y que contemple métodos de medición adecuados para obtener los caudales ecológicos.

C5.4.3. INFORMACIÓN BIOLÓGICA Y ECOLÓGICA

La información biológica que se requiere para aplicar las diferentes metodologías sobre caudales ecológicos, es casi inexistente para el sistema TDPS. En el caso de peces no existen reportes escritos de la presencia de peces en el río Desaguadero. Por consultas y observaciones personales, hemos confirmado la presencia de *Orestias* sp. y *Odontesthes bonariensis* en el río Desaguadero; y aunque los comunarios indican la captura del “Mauri” *Trichomycterus* sp., este no ha sido colectado (Datos no publicados Proyecto FISHLOSS – IRD 2009-2011). En su estudio sobre la distribución del genero *Orestias*, De La Barra *et al.* (2009) reportan a *O. agassii* para los lagos Uru Uru y Poopo y Zepita (2013), reporta la presencia de *O. luteus* en el Lago Uru Uru. La especie introducida en el Lago Poopo *Odontesthes bonariensis* fue reportada recientemente en el estudio de concentración de metales pesados en peces e invertebrados de Molina *et al.* (2008). A pesar de estos registros, la distribución de peces en los ríos del sistema TPDS es casi desconocida o no publicada.

En cuanto a la distribución de invertebrados contamos con el estudio de Moya (2009) en ríos intermitentes y permanentes que se encuentran en el Altiplano (Oruro), los resultados mostraron que la estacionalidad no ha tenido efecto sobre la riqueza y la densidad, pero si se encontraron diferencias significativas en la composición taxonómica. Por lo que se esperarían cambios en la estructura taxonómica y funcional si el cambio climático acentúa la estacionalidad de estos dos tipos de ríos intermitentes y permanentes.

Toda esta información, aunque poco documentada, ya puede ser considerada una base preliminar sobre la cual se puede y se requerirá ampliar los datos.

C5.5. VACIOS DE CONOCIMIENTOS Y PERSPECTIVAS DE APLICACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN DE CAUDAL ECOLÓGICO EN EL SISTEMA TDPS

De forma general la región andina ha recibido poca atención en el tema de los caudales ecológicos (Tharme 2003, Aguilera & Pouilly 2012). En su trabajo de revisión de los trabajos sobre caudal ecológico en la región Andina, Aguilera & Pouilly (2012) mencionan dos trabajos vinculado al tema para Bolivia y tres para Perú. Los trabajos para Bolivia corresponden a descripciones y perspectivas sin aplicaciones (Verweij 2005, Anderson *et al.* 2011). En Perú aún no se ha definido una metodología a aplicar y los estudios corresponden a trabajos de consultorías para resolver problemas locales (Vilchez Ochoa 2010) que utilizan métodos hidrológicos y hidráulicos (Egasa 2008) pero a veces también métodos de simulación del hábitat (Vilchez Ochoa 2010).

Generalmente los métodos hidrológicos y hidráulicos son de más fácil y rápida aplicación, sin embargo por no tener en cuenta las necesidades ecológicas particulares a cada ecosistema, son actualmente considerados como insuficientes para la recomendación de los caudales ecológicos. La definición misma del concepto de caudal ecológico y las metodologías consideradas relevantes para evaluar estos caudales, implican un conocimiento sobre: 1) la distribución de las especies en la cuenca para determinar las especies indicadoras del funcionamiento del sistema o las especies de interés cultural o económico; 2) la relación de dependencia de estas especies a su hábitat; y 3) la variación natural temporal del ciclo hidrológico como indicador de las variaciones de disponibilidad del hábitat.

Los estudios que buscan comprender la relación que existe entre las alteraciones del caudal y las especies que habitan los ecosistemas acuáticos son escasos en la región andina (Anderson *et al.* 2011). Según Aguilera & Pouilly (2012), esa falta de conocimientos regionales sobre la respuesta ecológica de los distintos grupos biológicos a la alteración de los caudales y el alto grado de endemismo de las especies limitan actualmente el uso de metodologías holísticas, como la metodología de Bloques de Construcción BBM o ELOHA, en la región andina. Los métodos de simulación de hábitat (tipo PHABSIM) se presentan como una solución efectiva para la generación de esa información ecológica sobre la biota acuática y al mismo tiempo establecer primeras recomendaciones de caudal ecológico.

En el caso del sistema TDPS no pudimos encontrar ninguna experiencia científica en el tema de los caudales ecológicos. La revisión de más de 200 estudios vinculados la biodiversidad de fauna acuática en sistema TDPS, reveló 108 referencias referidas a la biodiversidad de peces (20% específicamente al genero *Orestias*) y 20 referencias para aves anfibios, mamíferos, macroinvertebrados. El resto corresponde a normativas, reglamentación de pesca y pesquerías y usos potenciales de recurso. Esa

revisión no permitió revelar ningún estudio que podría apoyar al desarrollo de una aplicación de métodos de evaluación de caudales ecológicos.

La evaluación de la variación natural temporal del ciclo hidrológico como indicador de las variaciones de disponibilidad del hábitat se puede beneficiar a través de la información hidrológica generada por las estaciones hidrológicas existentes en la cuenca (Cap. A-2).

Una propuesta de desarrollo de una herramienta para la evaluación de caudales ambientales o ecológicos en el sistema hídrico TDPS deberá entonces tener como primer objetivo la generación de información biológica sobre la distribución y la relación especies-hábitat para las especies indicadoras o de interés en el marco del desarrollo de una herramienta de simulación del hábitat. En el caso del sistema TDPS los peces pueden servir de especies indicadoras ya que no presentan una gran diversidad, lo que favorece la aplicación de estos métodos que tienen un enfoque sobre una o pocas especies representativas del sistema. Según los objetivos establecidos en cada parte del sistema se podrá enfocar sobre especies nativas locales (*Orestias* o *Trichomycterus* sp.) o en algún caso favorecer a la trucha (*Onchorynchus mykiss*) o al pejerrey (*Odontesthes bonariensis*), las cuales corresponden a especies exóticas adaptadas a los sistemas alto-andinos que están presentes desde hace varias décadas y que tienen una importancia en el desarrollo socio-económico local. En los sistemas más extremos donde los peces no están representados, las especies de invertebrados podrían servir de indicadores.

El segundo objetivo deberá dedicarse a adaptar herramientas existentes a los sistemas y a las especies presentes en el TDPS y por las cuales el relevamiento de información sobre su dependencia al hábitat se revelara positivo. Sería recomendable utilizar para este fin los recientes modelos ESTIMHAB (Lamouroux 2008), derivados de la metodología PHABSIM (Physical Habitat Simulation, Bovee 1982 o sus derivados como EVHA, Pouilly *et al.* 1995, Ginot *et al.* 1997). Una vez generada la información biológica, estos modelos permiten una aplicación rápida, sin mucho requerimiento de personal capacitado y de material, por tanto permiten su aplicación a una escala espacial más amplia que los métodos tales como PHABSIM. En caso de aplicación a la escala de la cuenca, el método puede servir para detectar los lugares menos sensibles a la reducción del caudal o para hacer recomendaciones generales. Así como el bioíndice (Cap. C-3), una red de estaciones de referencia puede permitir el monitoreo temporal de la calidad del hábitat físico de los ríos. Esta herramienta podrá servir también localmente para establecer con mayor precisión las necesidades del caudal ecológico en los proyectos locales de obras civiles (represas, canal de derivación, boca toma para

riego, etc.).

Estos elementos previsionales son de gran interés como insumos para la elaboración de planes locales de gestión del agua y dentro de un modelo más general para la gestión del agua a nivel de cuenca, en el marco de una gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) adoptada por Bolivia y Perú. En un plazo mayor una metodología óptima podrá desarrollarse para la generalización de la simulación de hábitats y la inclusión de otros aspectos funcionales tal como están considerados en las metodologías holísticas de evaluación de caudales ambientales.

Propuesta de estudio para el desarrollo de una herramienta de evaluación de caudal ecológico en el sistema TDPS

Objetivo general:

Recomendar, con sustento científico, el nivel de caudal a conservar en los ríos de las sub-cuencas del TDPS en cada fase del ciclo hidrológico para mantener su biodiversidad y favorecer su funcionamiento ecológico.

Objetivos específicos:

- Desarrollar un estudio biológico de distribución de las especies de peces más comunes en los ríos del sistema TDPS.
- Establecer el grado de dependencia entre la repartición de los individuos de estas especies y los parámetros del hábitat a escala regional, local y del microhábitat.
- Elaborar modelos biológicos de preferencia de hábitat de las especies de peces más comunes para adaptar la metodología ESTIMHAB en las diferentes sub-cuencas del sistema TDPS.
- Aplicar la metodología ESTIMHAB en 15 a 20 ríos de la parte Peruana y Boliviana del sistema TDPS, repartidos en las diferentes sub-cuencas y aprovechando la información de las distintas estaciones hidrométricas repartidas en estos ríos para el monitoreo hidrológicos del sistema TDPS.
- Evaluar por cada sub-cuenca, las épocas hidrológicas críticas para la conservación del hábitat físico de los peces y recomendar un caudal ecológico para estas épocas.

C5.6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilera G. & Pouilly M. 2012. Caudal ecológico: definiciones, metodologías y adaptación a la región andina. Acta zoológica lilloana, 56, 15-30.
- ATL – PNUD. 2001. Estudio socioeconómico. Proyecto de conservación de la biodiversidad en el sistema TDPS. 343 p.
- Anderson E. P., Encalada A. C., Maldonado-Ocampo J. A., McClain M. E., Ortega H., & Wilcox B. P. 2011. Environmental Flows: a Concept for Addressing Effects of River Alterations and Climate Change in the Andes. En S. K. Herzog, R. Martinez, P. M. Jørgensen y H. Tiess Eds. Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), 348 p.
- Aragón E. 2012. Reglamento de ordenamiento pesquero y acuícola para la cuenca del lago Titicaca ROPA.

C-5 Caudal ambiental: perspectivas de evaluación en el Sistema TDPS

- Araoz M. 2009. Resolución ministerial. In: N° 498-2009-PRODUCE (ed. Perú Rd), p. 4
- Bovee, K. D. 1982. A guide to stream habitat analysis using the Instream Flow Incremental Methodology. Instream Flow Information Paper No. 12. U.S. Fish and Wildlife Service, FWS/OBS-82/26. Fort Collins, Colorado
- Castro Heredia, L. M., Carvajal Escobar Y. & Monsalve Durango E. A. 2006. Enfoques teóricos para definir el caudal ambiental. Ingeniería y Universidad, año/vol. 10, N° 2. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá Colombia: 28 p.
- CIDAB 2002. Proyecto de conservación de la biodiversidad en la cuenca del lago Titicaca, Desaguadero, Poopo, salar de Coipasa (TDPS): desarrollar la capacidad de programas de pesca artesanal en Bolivia. CIDAB
- Collings, M. R., Smith R.W. & Higgins G. T. 1972. The hydrology of four streams in western Washington as related to several Pacific salmon species. USGS Water-Supply Paper 1968. Washington, DC. 109p.
- Conterno E. 2009. Resolución ministerial. In: N° 217-2009-PRODUCE (ed. Perú Rd)
- Declaración de Brisbane 2007. Los Caudales Ambientales son esenciales para la Salud de los Ecosistemas y el Bienestar Humano. http://www.nature.org/initiatives/freshwater/files/brisbane_declaration_with_organizations_final.pdf
- De la Barra E., Maldonado M., Carvajal-Vallejos F. & Coronel J. 2009. Los peces del genero Orestias (Cyprinodontiformes, Cyprinodontidae) en la Puna meridional de Bolivia. Rev. Bol ecol. y Cons. Amb. 26.
- Del Castillo, L. & Llerena C. 2012. Análisis del marco legal e institucional sobre los caudales ecológicos/ambientales en el Perú. UICN, Quito, Ecuador. 57 pp.
- Dyson M., Bergkamp G., Scanlon, J. Eds. 2003. Caudal. Elementos esenciales de los caudales ambientales. Tr. José María Blanch. San José, C.R.: UICN-ORMA. xiv + 125 pp.
- EGASA 2008. Determinación de caudal ecológico mínimo del Río Molloco. Empresa de Generación Eléctrica de Arequipa S.A. (EGASA)- Estudio de Impacto Ambiental de la Central Hidroeléctrica Molloco: 10 pp. Disponible en: <http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaae/publicaciones/resumen/molloco/Anexo%20Caudal.pdf>
- Ginot V., Souchon Y., Capra H., Breil P. & Valentin S. 1997. Evaluation de l'habitat physique des poissons en rivière. Guide Méthodologique. Cemagref, Lyon et Ministère de l'Environnement, Direction de l'eau. 130p. (www.irstea.fr/evha)
- Gonzales J. N. 2010. Resolución ministerial. In: N° 209-2010-PRODUCE (ed. Perú Rd), p. 4
- King J. M. & Louw D. 1998. Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the building block methodology. Aquatic Ecosystem Health and Management 1:109-124.
- King J. M., Tharme R. E. & de Villiers M. S. Eds. 2008. Environmental flow assessments for rivers: Manual for the Building block methodology (Updated Edition). WRC Report No TT 354/08. 364p.
- Lamouroux N. 2008. Estimhab. Estimation de l'impact sur l'habitat aquatique de la gestion hydraulique des cours d'eau. Informe Cemagref (www.irstea.fr/estimhab)
- Gobierno de Bolivia. 1992. Ley de Medio Ambiente 1333.
- Gobierno de Bolivia. 2009. Constitución Política del Estado Plurinacional.
- Gobierno del Perú. 2009. Ley 29338 de Recursos Hídricos.
- Gobierno del Perú. 1992. Ley general de pesca. In: Decreto de ley N° 25977
- Gobierno del Perú. 2008. Normas legales. In: El Peruano, p. 16, 28/12/2008
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua 2007. Plan nacional de cuencas. Marco conceptual y estratégico, La Paz, Bolivia.
- Monje M., Ortuño C., Rocabado G., Abán N. & Montesinos J. 2011. Plan de monitoreo de calidad de agua en el sistema hídrico Titicaca, Desaguadero, Poopo y Salar de Coipasa, Bolivia. MMAyA, La Paz Bolivia 61p.
- Moya N., Gibon F. M., Oberdorff T., Rosales C. & Domínguez E. 2009. Comparación de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en ríos intermitentes y permanentes del Altiplano boliviano: Implicaciones para el futuro cambio climático. Ecología aplicada, 8(2).
- La Patria. 2012. Ambientalistas observan uso del agua en minería.

- La Razón. 2012. El agua tiene otro destino por la explotación a cielo abierto.
- Poff N. L., Allan J. D., Bain M. B., Karr J. R., Prestegard K. L., Richter B. D., Sparks R. E. & Stromberg J. C. 1997. The Natural Flow Regime: A paradigm for river conservation and restoration. *BioScience*, Vol. 47, No. 11: 769-784.
- Poff N. L. & Zimmerman J. K. H. 2010. Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshwater Biology*, 55, 194–205..
- Poff N.L., Richter B. D., Aarthington A. H., Bunn S. E., 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., Merritt J. H. O’Keeffe J. D. Olden K. Rogers R. Tharme E. & A. Warner, A. 2010. The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. *Freshwater Biology* , 55:147–170.
- Pouilly M., Valentin S., Capra H., Ginot V. & Souchon Y. 1995. Méthode des microhabitats, principes et protocoles d'application. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 336: 41-54.
- Tennant, D. L. 1976. Instream flow regimes for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries* 1(4):6-10.
- Tharme, R. E. 2003. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications* 19:397-441.
- UNEP – PNUMA. 1996. Diagnóstico ambiental del sistema TDPS, Bolivia – Perú. 223 p.
- Verweij, M. 2005. A propósito del caudal ecológico. Disponible en: <http://neoelectum.com/pdfdocs/ndpz2002.pdf>
- Vilchez Ochoa G. 2010. Servicio de consultoría para la sistematización y seguimiento de la aplicación de metodologías de determinación del caudal ecológico en cuencas hidrográficas en el marco de las acciones de seguimiento e intervención. Ministerio del Ambiente Viceministerio de Gestión Ambiental Dirección General de Calidad Ambiental: 30 pp. Disponible en: <http://cdam.minam.gob.pe:8080/dspace-consultorias/bitstream/123456789/83/1/CD000040.pdf>
- Zepita C. 2013. Dieta y rasgos sexuales de las poblaciones del complejo *agassii* (género *Orestias*, (Pisces-Cyprinodontidae)) en los lagos: Titicaca, Uru Uru y Poopo. Tesis de Licenciatura, Carrera de Biología. Universidad Mayor de San Andrés. 61 p.

M. Pouilly, X. Lazzaro,
D. Point & M. Aguirre

Línea base de conocimientos sobre los recursos hidrológicos e hidrobiológicos
en el sistema TDPS con enfoque en la cuenca del Lago Titicaca

Línea base de conocimientos sobre los recursos hidrológicos e hidrobiológicos en el sistema TDPS con enfoque en la cuenca del Lago Titicaca

Convenio UICN-IRD N°303117/00

Coordinación
Marc **POUILLY**
Xavier **LAZZARO**
David **POINT**
Mario **AGUIRRE**



**Línea base de conocimientos sobre los recursos hidrológicos
e hidrobiológicos en el sistema TDPS
con enfoque en la cuenca del Lago Titicaca**

La designación de entidades geográficas y la presentación del material en esta publicación no implican la expresión de ninguna opinión por parte de la UICN respecto a la condición jurídica de ningún país, territorio o área, o de sus autoridades, o referente a la delimitación de sus fronteras y límites.

Los puntos de vista que se expresan en esta publicación no reflejan necesariamente los de la UICN.

Publicado por: UICN, Quito, Ecuador e IRD Institut de Recherche pour le Développement.



Con el auspicio de:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación COSUDE

Con la colaboración de:



UMSA – Universidad
Mayor de San Andrés,
La Paz, Bolivia



UMSS – Universidad
Mayor de San Simón,
Cochabamba, Bolivia

Derechos reservados: © 2014 Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales.

Se autoriza la reproducción de esta publicación con fines educativos y otros fines no comerciales sin permiso escrito previo de parte de quien detenta los derechos de autor con tal de que se mencione la fuente.

Se prohíbe reproducir esta publicación para venderla o para otros fines comerciales sin permiso escrito previo de quien detenta los derechos de autor.

Cita de obra completa: M. Pouilly; X. Lazzaro; D. Point; M. Aguirre (2014). Línea base de conocimientos sobre los recursos hidrológicos en el sistema TDPS con enfoque en la cuenca del Lago Titicaca. IRD - UICN, Quito, Ecuador. 320 pp.

Revisión: Philippe Vauchel¹, Bernard Francou¹, Jorge Molina², François Marie Gibon¹; ¹ IRD, ² UMSA

Disponible en: <http://www.uicn.org/sur>

EDITORES: UICN – Mario Aguirre ; IRD – Marc Pouilly, Xavier Lazzaro & David Point

IMPRESIÓN: Talleres Gráficos PÉREZ Tel. +(591-2) 225 5911 graficaleoperez@gmail.com

DEPÓSITO LEGAL nº 4-1-196-14PO, La Paz, Bolivia

ISBN nº 978-99974-41-84-3

IMPRESO EN BOLIVIA