

DIAGNOSTICO
SOBRE LOS
CAUDALES
ECOLÓGICOS EN EL
PERU (PRIMERA
FASE)

30/12/2015

Contexto Nacional e Internacional

DIAGNOSTICO SOBRE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN EL PERU (PRIMERA FASE)

CONTEXTO NACIONAL E INTERNACIONAL

Contenido

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	2
CAPITULO 2. MARCO NORMATIVO	3
CAPITULO 3. DEFINICIONES	4
CAPITULO 4. CONTEXTO INTERNACIONAL	6
CAPITULO 5. EFECTO DE LOS PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA SOBRE EL REGIMEN DE CAUDALES NATURALES	12
CAPITULO 6. DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES RÍOS EN EL PERU	22
CAPITULO 7. METODOLOGÍAS	66
CAPITULO 8. EVALUACIÓN DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN LOS PRINCIPALES RIOS DEL PAIS	79
CAPITULO 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	88
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA Y CITADA	90
APÉNDICE A: LEGISLACION SOBRE CAUDALES ECOLÓGICOS	96
APÉNDICE B: RELACIÓN DE CUENCAS EN EL AMBITO DE CADA AUTORIDAD ADMINISTRATIVA DEL AGUA	99

Abreviaturas

AAA	Autoridad Administrativa del Agua
ALA	Administración Local del Agua
ANA	Autoridad Nacional del Agua
AUTODEMA	Autoridad Autónoma de Majes
BM	Banco Mundial
CHAVIMOCHIC	Proyecto Especial Moche - Virú - Chao
COES	Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional
INRENA	Instituto Nacional de Recursos Naturales
LRH	Ley de Recursos Hídricos
MINAGRI	Ministerio de Agricultura y Riego
MINAM	Ministerio del Ambiente
OSINERGMIN	Organismos supervisor de la inversión en energía y minería
PEBPT	Proyecto Especial Binacional Puyango Tumbes
PECHP	Proyecto Especial Chira Piura
PEIHAP	Proyecto Especial de Irrigación e Hidroenergético Alto Piura
PEJEZA	Proyecto Especial Jequetepeque – Zaña
PEOT	Proyecto Especial Olmos Tinajones
PERPG	Proyecto Especial Regional Pasto Grande
PET	Proyecto Especial Tacna

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

La Ley de Recursos Hídricos promulgada el 23 de marzo del 2009, incorpora el concepto de caudal ecológico, que en nuestra legislación anterior se encontraba ausente, principalmente porque cuando se promulgó la Ley General de Aguas (Decreto Legislativo 17752), este concepto recién se iniciaba a estudiar en diferentes países del mundo.

El caudal ecológico es un concepto que nace ante la necesidad de recuperar y/o mantener los ecosistemas acuáticos en un estado de conservación o nivel de funcionamiento determinado; frente al necesario desarrollo de infraestructura hidráulica para el aprovechamiento de los recursos hídricos con fines poblacionales y productivos.

Desde sus inicios hasta la actualidad su desarrollo ha ido evolucionando en la medida que ha aumentado la preocupación mundial sobre la conservación del medio ambiente como un elemento importante para la calidad de vida de las personas y también el conocimiento científico sobre el funcionamiento de los ecosistemas.

En nuestro país si bien antes de la promulgación de la Ley de Recursos Hídricos ya se habían dado algunos pasos, como el establecimiento de caudales ecológicos en algunos estudios de impacto ambiental y algunos estudios específicos; es a partir de su promulgación que se comienza a discutir su implementación, girando las primeras discusiones en torno a las metodologías a emplear.

Existen múltiples desafíos como son: el generar conocimiento mediante la investigación científica, articular la determinación de los caudales ecológicos con los instrumentos de gestión ambiental, generar una reflexión colectiva estado-sociedad civil-empresas sobre la conservación de los ecosistemas, entre muchos otros.

El presente documento, es una primera aproximación al análisis de los caudales ecológicos, mostrando el contexto legal y teórico; y mostrar el contexto nacional y las tendencias internacionales en el que conduciremos el proceso para la implementación de caudales ecológicos en el país.

CAPITULO 2. MARCO NORMATIVO

Con el marco normativo previo a la Ley de Recursos Hídricos, es decir cuando el Decreto Legislativo 17752 – Ley General de Agua se encontraba vigente, no se encuentran referencias directas hacia los caudales ecológicos o ambientales; sin embargo, si hay múltiples referencias a la conservación y protección de los recursos hídricos y ecosistemas, que también fueron importantes como marco de referencia para su implementación.

Por lo que un hito importante, fue la promulgación de la Ley 29338, Ley de Recursos Hídricos, el 30 de marzo del 2009; en la que desde la lectura del Título Preliminar, donde se exponen los principios de la Ley, se observa que existe una clara disposición a la protección de los ecosistemas.

La LRH incluye por primera vez en nuestro marco normativo el término de caudal ecológico; el cual como se señaló no existía en nuestro marco normativo anterior. También se hace explícita su prioridad frente a los usos poblacionales y productivos del agua, al establecer como requisito para el otorgamiento de un derecho de uso de agua, asegurar el caudal ecológico en la fuente de agua (Art. 53°).

Posteriormente el Reglamento de la LRH, aprobado mediante Decreto Supremo No. 001-2010-AG, incorpora aspectos adicionales como son el concepto de caudal ecológico y establece responsabilidades a la Autoridad Nacional del Agua en esta materia, así como establece la necesidad de coordinaciones con el Ministerio del Ambiente. Principalmente establece la responsabilidad de determinar los caudales ecológicos (Art. 153.2°) y las metodologías para su determinación (Art. 155°).

Un aspecto muy importante que establece el Reglamento, es que los caudales ecológicos se fijarán en los Planes de Gestión de los Recursos Hídricos en la cuenca y para su establecimiento se realizarán estudios específicos para cada tramo del río (Art. 153.5°).

De igual manera el Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua, aprobado con D.S. N° 006-2010-AG, en su artículo 33°, señala como función de la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos proponer normas para el establecimiento de caudales ecológicos y supervisar a los órganos desconcentrados en su implementación. Siendo función de las Autoridades Administrativas del Agua la aprobación de los caudales ecológicos (Art. 36°).

En el Apéndice A, se transcribe los artículos de la Ley de Recursos Hídricos y su Reglamento relacionados a los caudales ecológicos.

CAPITULO 3. DEFINICIONES

Existen múltiples definiciones sobre el concepto de caudal ecológico, y también ha habido una evolución de estos conceptos a lo largo del tiempo. Estos cambios se han ido dando a medida que han evolucionado los enfoques y la comprensión de la relación entre el caudal de los ríos y sus ecosistemas o de los servicios ambientales que brindan.

A continuación se muestran un conjunto de definiciones, obtenidas de diferentes dispositivos legales, así como de bibliografía sobre la materia.

El Reglamento de la LRH define el caudal ecológico de la siguiente manera:

“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”.

Existen también diferentes definiciones encontradas en diferentes bibliografías y normativas internacionales, como las que se muestran a continuación:

“Caudal que contribuye a alcanzar el buen estado o buen potencial ecológico en los ríos o en las aguas de transición y mantiene, como mínimo, la vida piscícola que de manera natural habitaría o pudiera habitar en el río, así como su vegetación de ribera”.¹

“Es la calidad, cantidad y régimen de flujo o variación de los niveles de agua requeridos para mantener los componentes, funciones y procesos de los ecosistemas acuáticos epicontinentales. Para los fines de esta norma caudal y flujo ambiental es considerado sinónimos de caudal ecológico”.²

Es importante resaltar las corrientes actuales, en las que los conceptos han avanzado hacia un concepto de caudales ambientales, un concepto mucho más amplio que el de caudal ecológico. A continuación se presenta algunas definiciones sobre caudal ambiental:

“Régimen hídrico que se da en un río, humedal o zona costera para mantener ecosistemas y sus beneficios donde se dan utilidades del agua que compiten entre sí y donde los caudales se regulan. Los caudales ambientales contribuyen de manera decisiva a la salud de los ríos, al desarrollo económico y a aliviar la pobreza. Garantizan la disponibilidad constante de los muchos beneficios que aportan a la sociedad los ríos y los sistemas de aguas subterráneas sanos” (UICN, 2003).

¹ Artículo 3° del Reglamento de la Planificación Hidrológica, Real Decreto 907/2007, Ministerio del Medio Ambiente – España.

² Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012

“Los caudales ambientales describen la cantidad, oportunidad y calidad de los caudales requeridos para sostener los ecosistemas de agua dulce y estuarinos y los medios de vida y bienestar humanos que dependen de estos ecosistemas”³

Con estas dos definiciones podemos observar como los conceptos han tomado un cambio de rumbo desde una perspectiva asociada a las especies que habitan en un río hacia conceptos más amplios que involucran los beneficios para el hombre.

³ Traducido del “Brisbane Declaration on Environmental Flows”, proclamada en el 10th International Riversymposium & Environmental Flows Conference, 2007.

CAPITULO 4. CONTEXTO INTERNACIONAL

Es interesante conocer también como en las legislaciones internacionales los caudales ecológicos o ambientales se encuentran establecidos en diferentes normativas, como son el caso de Chile, Ecuador, México, España y Australia.

A continuación se muestra las normativas y otras acciones realizadas en algunos países sobre los caudales ecológicos o caudales ambientales.

4.1. Chile

En el caso de Chile el Código de Aguas, en su artículo 129 bis 1⁴, señala que al constituirse los derechos de aprovechamiento de aguas, la Dirección General de Aguas velará por la preservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente, debiendo para ello establecer un caudal ecológico mínimo, el cual sólo afectará a los nuevos derechos que se constituyan, para lo cual deberá considerar también las condiciones naturales pertinentes para cada fuente superficial.

El Reglamento para la determinación del caudal ecológico, aprobado mediante Decreto N° 014 del Ministerio del Ambiente⁵ modificado el 15 de enero del 2015⁶, establece el siguiente criterio:

- a) Para aquellos cauces donde se constituyeron derechos con un caudal ecológico mínimo, considerando como fórmula de cálculo el criterio del diez por ciento del caudal medio anual, se considerará el cincuenta por ciento del caudal de probabilidad de excedencia de noventa y cinco por ciento, para cada mes, con las restricciones siguientes:
 - i. Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia es menor al diez por ciento del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo para ese mes será el diez por ciento del caudal medio anual.
 - ii. Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia es mayor a diez por ciento del caudal medio anual y menor al veinte por ciento del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia.
 - iii. Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia es mayor al veinte por ciento del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el veinte por ciento del caudal medio anual.

⁴ http://leyes-cl.com/codigo_de_aguas/129%20bis%201.htm, visitado el 06/03/15

⁵ http://www.dga.cl/legislacionynormas/normas/Reglamentos/Reglamento_Caudal_Ecologico.pdf, visitado el 02/12/15

⁶ http://www.dga.cl/legislacionynormas/normas/Reglamentos/Modifica_Decreto_14.pdf, visitado el 02/12/2015

- b) Para aquellos cauces donde se constituyeron derechos con un caudal ecológico mínimo del menor cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia, se considerará como caudal ecológico mínimo el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia, para cada mes, con las restricciones siguientes:
- i. Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia es menor al veinte por ciento del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el cincuenta por ciento del caudal con probabilidad de excedencia del noventa y cinco por ciento.
 - ii. Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia es mayor al veinte por ciento del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo, en esos meses, será el veinte por ciento del caudal medio anual.
- c) Para aquellos cauces donde no existen derechos con caudal ecológico mínimo, se aplicará, para los nuevos derechos, el criterio establecido en la letra b) con las mismas restricciones.
- d) Respecto a los cauces que presenten un comportamiento hídrico que no se ajuste a las fórmulas señaladas en los literales a) y b), tales como vertientes, el criterio para establecer el caudal ecológico es el veinte por ciento del caudal del promedio de los aforos, como valor constante sin variación mensual.
- e) Para los lagos y lagunas, con salida, el caudal ecológico será el que se determine en el desagüe, el cual se evaluará en base a los criterios definidos en las letras a) y b) según corresponda.
- f) Para aquellos derechos de aprovechamiento de agua cuya captación se haga mediante un embalse, el cumplimiento del caudal ecológico mínimo calculado con los criterios definidos en las letras a) o b), según corresponda se verificará inmediatamente aguas abajo de la barrera ubicada en el álveo.

El cálculo se realizará utilizando estadísticas hidrológicas de al menos 25 años, dependiendo de la estadística con la cual se cuente en el cauce, y en el evento de contar con una estadística de mayor extensión, se preferirá esta última. De no existir esta estadística para una fuente determinada, la Dirección General de Aguas utilizará el método hidrológico más adecuado al caso concreto, de aquellos conocidos y aceptados por la técnica, lo que deberá quedar claramente fundado en el informe técnico.

En el caso de que exista en el tramo analizado un derecho de aprovechamiento de aguas constituido con un caudal ecológico mayor al calculado en la letra a), se mantendrá el caudal ecológico mayor para el nuevo derecho, con la limitación que no podrá exceder del veinte por ciento del caudal medio anual de la respectiva fuente superficial.

4.2. Ecuador

La Constitución de Ecuador en su Capítulo 5, sobre Sectores estratégicos, servicios y empresas públicas, señala en su Artículo 318, que “El Estado a través de la autoridad única del agua será el responsable directo de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en este orden de prelación”; este representa un caso en el que el caudal ecológico está incluida en la Constitución de un país.

Sin embargo a pesar de contar con un importante respaldo al estar señalada en la Constitución, no se conoce cuáles son los avances alcanzados para la determinación de los caudales ecológicos.

4.3. México

En el caso de México, la Ley de Aguas Nacionales, establece el concepto de "Uso Ambiental" o "Uso para conservación ecológica"⁷ como el caudal o volumen mínimo necesario en cuerpos receptores, incluyendo corrientes de diversa índole o embalses, o el caudal mínimo de descarga natural de un acuífero, que debe conservarse para proteger las condiciones ambientales y el equilibrio ecológico del sistema; en otras palabras estaría refiriéndose al caudal ecológico.

En el 2010, la Alianza WWF-FGRA y la Conagua desarrollaron el estudio denominado “Identificación de Reservas Potenciales de Agua para el Medio Ambiente en México”, en el cual se identificaron 189 unidades de gestión o cuencas hidrológicas con distintos niveles de factibilidad para ser decretadas como reservas de agua para protección de ecológica, conforme a lo establecido en la Ley de Aguas Nacionales⁸.

El 20 de septiembre de 2012 fue publicada en el Diario Oficial de la Federación la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012, que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en sus cuencas hidrológicas.

Esta norma introduce una clasificación de objetivos ambientales a ser alcanzados para cada una de las cuencas del país y propone, sin ser de carácter limitativo, algunos métodos de cálculo (hidrológico, simulación de hábitat y holístico).

4.4. Comunidad Europea

Mediante la Directiva 2000/60/CE⁹ y posteriores enmiendas la Comunidad Europea establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, la cual tiene varios objetivos, concretamente la prevención y la reducción de la contaminación, la promoción del uso sostenible del agua, la protección del medio ambiente, la mejora de la

⁷ http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/3_LeyDeAguasNacionales.pdf

⁸ <http://www.reservasdeagua.com/>

⁹ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1430762024384&uri=URISERV:l28002b>

situación de los ecosistemas acuáticos y la atenuación de los efectos de las inundaciones y de las sequías.

Si bien los términos caudal ecológico o ambiental no son explícitos en el documento, si son explícitos los objetivos de conservación ambiental, por ejemplo en el artículo 4°, literal a) para las aguas superficiales, inciso iii) donde señala que los Estados miembros protegerán y mejorarán todas las masas de agua artificiales y muy modificadas, con objeto de lograr un buen potencial ecológico y un buen estado químico de las aguas superficiales a más tardar quince años después de la entrada en vigor de la presente Directiva.

En este marco los países miembros de la Comunidad Europea, cuentan no solo con metas, sino con plazos para implementar las acciones señaladas en la Directiva, las que involucran la protección, mejoramiento y regeneración de las masas de agua no solo para alcanzar un buen estado de las aguas, sino también para proteger a los ecosistemas.

4.5. España

En la legislación Española se encuentran diferentes disposiciones orientados a la conservación de las especies acuáticas, sin que se definan propiamente como caudales ecológicos o ambientales.

La Ley 11/2005¹⁰, de 22 de junio, por la que se modifica la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, señala en su Disposición final primera sobre la modificación del texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio; en su disposición cuatro, modifica el apartado 1.b.c') del artículo 42°, queda establecido que la asignación y reserva de recursos para usos y demandas actuales y futuros para la conservación y recuperación del medio natural, se determinarán los caudales ecológicos y las reservas naturales fluviales.

Posteriormente con Real Decreto 907/2007¹¹ se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica, donde se señalan diferentes disposiciones relacionadas con la determinación e implantación de los caudales ecológicos. Así mismo mediante ORDEN ARM/2656/2008¹², se aprueba la instrucción de la planificación hidrológica, y donde señala las fases para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos.

4.6. Australia

Los Estados firmantes de la Ley de Aguas (Water Act 2007)¹³, deben asegurarse que cualquier autoridad que otorgue licencias dentro del Estado tome en consideración cada cierto tiempo de las políticas adoptadas por el Consejo de Ministros, entre otros, relacionados a la gestión de los caudales ambientales.

¹⁰ http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/Ley112005modificacionphn_tcm7-28706.pdf

¹¹ <http://boe.es/boe/dias/2007/07/07/pdfs/A29361-29398.pdf>

¹² <https://www.boe.es/boe/dias/2008/09/22/pdfs/A38472-38582.pdf>

¹³ http://www.comlaw.gov.au/Details/C2014C00715/Html/Text#_Toc402258971, visitado el 06/03/2015

Los Estados han desarrollado métodos, como The FLOWS Method¹⁴ desarrollado en el estado de Victoria para determinar requerimientos ambientales de agua en el estado, motivados por el hecho que el desarrollo de infraestructura hidráulica para cubrir las demandas llega con un costo ambiental. También podemos encontrar la Water Resources Environmental Flows Guidelines¹⁵ 2013 elaborado para el Australian Capital Territory o el Tasmanian Environmental Flows Framework (TEFF)¹⁶ para el estado de Tasmania. Todos estos instrumentos recogen los resultados de investigaciones y mejoras en la comprensión de los ecosistemas en los diferentes ríos Australianos.

Es por ello que se puede encontrar en la web gran cantidad de estudios desarrollados en los diferentes estados donde se han realizado evaluaciones de los caudales ambientales en sus ríos.

4.7. Estados Unidos

Describiremos un poco el caso del estado de Montana, donde a partir de los años 1970's empezó una creciente demanda para proteger los caudales que deben circular dentro del cauce ("instream flows") para los peces y la vida silvestre, recreación, estética, y valores escénicos, y calidad del agua (McKinney, 1990).

En Montana (McKinney, 1990) como en muchos de los estados del Oeste, la protección de los caudales circulantes en los ríos emergió como una cuestión mayor en recursos hídricos por dos razones convergentes. Primero, los valores identificados en el río, notablemente la pesca, ha sido amenazada por la sobre apropiación del agua acoplada con sequías periódicas. Segundo, hay una creciente apreciación por los caudales que deben circular por el río para la pesca y vida silvestre, recreación, estética, y calidad del agua. Adicionalmente hay un reconocimiento creciente del derecho público a que el agua circule libremente. Todas juntas, estas tendencias convergentes han elevado el tema de la protección de los caudales circulantes en los ríos a lo alto de la agenda del Estado para la gestión del agua.

Actualmente la Ley de Agua de Montana¹⁷, provee varios mecanismos para proteger directamente o mejorar los caudales que circulan por el río, o los niveles de agua. Las provisiones en la ley que permiten esta protección incluyen:

- i) Directiva estatutaria anterior a 1973 o autorización a crear derechos de agua para el río en ciertos ríos claves. (Estos derechos de agua existentes incluyen los "Derechos Murphy", Reclamaciones para Recreación Pública" y Derechos de Uso)
- ii) Derechos creados posterior a 1973 a través del proceso de Reserva de Agua del Estado
- iii) Arrendamiento de agua (La conversión de derechos de agua existentes para derivación con el propósito que circulan por el río)

¹⁴ http://www.water.vic.gov.au/resources/news_items/news_items_folder/?a=169738

¹⁵ <http://www.legislation.act.gov.au/di/2013-44/current/pdf/2013-44.pdf>

¹⁶ <http://dpiwwe.tas.gov.au/water/water-monitoring-and-assessment/Water-assessment/environmental-flow-assessments>

¹⁷ <http://fwp.mt.gov/fishAndWildlife/habitat/fish/waterManagement/instreamFlows.html> (06/05/2015)

iv) Compra o contratos de servicios para entrega de agua de proyectos de almacenamiento de agua nuevos o existentes.

Otros mecanismos que ayudan a mantener las condiciones de los caudales que circulan por el río son:

- i) Proyectos futuros de pesca
- ii) Designación de cuenca cerrada

CAPITULO 5. EFECTO DE LOS PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA SOBRE EL REGIMEN DE CAUDALES NATURALES

En muchos de los ríos del país se han desarrollado numerosos proyectos de infraestructura para actividades productivas, agricultura e hidroenergía principalmente.

Esta infraestructura no solo ha modificado el régimen natural de los ríos, debido a las obras de regulación, trasvases y extracción de agua; sino que también han impuesto barreras que influyen en la conectividad longitudinal y lateral en el río.

A continuación se presenta resultados de diferentes investigaciones en las que muestran los efectos de la infraestructura sobre el régimen natural de caudales y sobre los ecosistemas.

5.1. EL RÉGIMEN NATURAL DE CAUDALES

Varios autores sostienen que la integridad de los sistemas hídricos, dependen largamente del carácter de su dinámica natural y el dinamismo ambiental, que ahora es reconocido como central para sostener y conservar la diversidad de las especies nativas y la integridad ecológica de los ríos y otros ecosistemas (Poff, et al., 1997).

Son cinco componentes críticos del régimen de flujo que regulan los procesos ecológicos en los ecosistemas fluviales: la magnitud, frecuencia, duración, temporalidad y tasa de cambio de las condiciones hidrológicas (Poff *et al.*, 1997). Estos componentes son el vínculo teórico entre la hidrología y los procesos ecológicos.

Estos componentes pueden ser usados para caracterizar el rango entero de caudales y fenómenos hidrológicos específicos, como inundaciones o caudales bajos, que son críticos para la integridad de los ecosistemas ribereños. A continuación se realiza una breve descripción de estos cinco componentes:

- La *magnitud (magnitude)* de las descargas en cualquier intervalo de tiempo es simplemente la cantidad de agua moviéndose a través de una ubicación fija por unidad de tiempo.
- La *frecuencia (frequency)* de ocurrencia se refiere a cuan seguido un caudal por encima de una magnitud dada se repite sobre un intervalo de tiempo específico.
- La *duración (duration)* es el periodo de tiempo asociado con una condición de caudal específica.
- La *temporalidad (timing)*, o predictibilidad, de los caudales de una determinada magnitud se refiere a la regularidad con que estos ocurren.

- La *tasa de cambio (rate of change)*, se refiere a que tan rápido cambian los caudales de una magnitud a otra.

En el Apéndice C, TABLA 1, TABLA 2, TABLA 3, TABLA 4 y TABLA 5, se describe la significancia ecológica de los diferentes componentes del régimen de caudales naturales.

TABLA 1.- CAUDALES DE MAGNITUD BAJA Y ALTA Y SU FUNCIÓN ECOLÓGICA

<i>Aspectos del Caudal</i>	<i>Funciones Ecológicas</i>
Caudal bajo (base)	Nivel Normal
	Mantener adecuadas temperaturas del agua, oxígeno disuelto y química del agua
	Proveer adecuado espacio de hábitat para organismos acuáticos
	Mantener los huevos de los peces y anfibios suspendidos
	Permitir a los peces moverse hacia las zonas de alimentación y reproducción
	Mantener los niveles de agua en las riberas del río y planicies de inundación, humedad del suelo para las plantas
	Soportar a los organismos hiporréicos
	Proveer agua para beber a animales terrestres
	Nivel de Sequías
	Proveer refugio en pozas luego de rápidos
	Concentrar la presa en un área limitada para beneficio de los depredadores
	Permitir el reclutamiento de ciertas plantas en las planicies de inundación
	Permitir el reclutamiento limitado de invertebrados y peces
	Purgar especies invasivas o introducidas de las comunidades acuáticas y ribereñas.
Caudales Altos en el canal	Moldear el carácter físico del canal del río
	Determinar el tamaño del sustrato del fondo del cauce (arena, grava, cantos rodados)
	Prevenir que la vegetación ribereña invada el canal del cauce.
	Reestablecer las condiciones normales de calidad del agua después de caudales bajos prolongados, lavando productos de desecho y contaminantes
	Aerear huevos en gravas de desove, prevenir colmatación
	Proveer hábitats adecuados para invertebrados y peces
	Mantener condiciones de salinidad adecuadas en estuarios
Grandes inundaciones	Formar hábitats físicos en los canales y planicies de inundación (ej.: canales laterales, lagos meándricos)
	Proveer señales para la migración y desove para los peces, dispare etapas de vida en invertebrados
	Permite a los peces desovar en las planicies de inundación, provee hábitat para la crianza de peces juveniles
	Provee nuevas oportunidades de alimentación para peces, anfibios y aves acuáticas

DIAGNOSTICO SOBRE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN EL PERU (PRIMERA FASE)

<i>Aspectos del Caudal</i>	<i>Funciones Ecológicas</i>
	Distribuye etapas de vida de peces e invertebrados entre los hábitas de los canales del río
	Crea espacios para reclutamiento de plantas colonizadoras
	Provee a las plántulas con prolongado acceso a suelos húmedos
	Mantiene la diversidad en los tipos de plantas y bosques de las planicies de inundación a través de inundaciones diferenciadas
	Dispersar semillas y frutas de plantas ribereñas
	Descargar materiales orgánicos (alimento) y desechos de maderas (estructuras de hábitat) al canal del río
	Purga especies invasivas o introducidas de comunidades acuáticas y ribereñas
	Mantener condiciones de salinidad adecuadas en estuarios
	Proveer nutrientes y materia orgánica a estuarios
	Estimular el desove de la biota del estuario y da soporte el reclutamiento

Fuente: (Arthington, 2012), adaptado de Postel and Ritcher 2003 y referencias en este; traducción propia

TABLA 2.- SIGNIFICANCIA ECOLÓGICA DE LA FRECUENCIA DE LOS CAUDALES

<i>Aspectos del Caudal</i>	<i>Funciones Ecológicas</i>
Frecuencia de los caudales	<p>La temporalidad, o la predictibilidad, de los caudales es ecológicamente críticos porque los ciclos de vida de muchas especies acuáticas y ribereñas están sincronizadas para evitar o explotar caudales de una magnitud variable.</p> <p>La temporalidad natural de los caudales bajos y altos provee señales ambientales para iniciar transiciones en el ciclo de vida en peces, ej. Desove, eclosión, crianza, movimiento hacia la planicie de inundación para alimentación o reproducción, o migración aguas arriba o aguas abajo.</p> <p>La coincidencia entre el periodo reproductivo y el acceso a las planicies de inundación o humedales explica algunas de las variaciones anuales en la composición de la comunidad de peces en el cauce</p> <p>Muchas plantas ribereñas tienen ciclos de vida que están adaptadas a los componentes de la temporalidad estacional del régimen natural a través de su "fenología emergente" –La secuencia estacional de florecimiento, dispersión de semillas, germinación, y crecimiento de plántulas</p> <p>Las Interacciones entre las fenologías emergentes con la variabilidad temporal del stres medioambiental de las inundaciones o sequías ayuda a mantener la alta diversidad de especies en los bosques de las planicies de inundación</p> <p>La productividad de los bosques ribereños es influenciada por la temporalidad de los caudales y puede incrementar cuando inundaciones de corta duración ocurren en la estación de creciento</p>

Fuente: (Arthington, 2012), adaptado de Pff et al. 1997 y referencias en este; traducción propia

TABLA 3.- SIGNIFICANCIA ECOLÓGICA DE LA DURACIÓN DE LOS CAUDALES

<i>Aspectos del Caudal</i>	<i>Funciones Ecológicas</i>
Duración de los caudales	La duración de una condición de flujo específica a veces determina su significancia ecológica

<i>Aspectos del Caudal</i>	<i>Funciones Ecológicas</i>
	Diferencias en tolerancias a inundaciones prolongadas en plantas ribereñas y a caudales bajos prolongados en invertebrados acuáticos y peces permiten a estas especies persistir en ubicaciones en las cuales de otra manera serían desplazadas por especies dominantes, pero menos tolerantes
	Acceso estacional a humedales en las planicies de inundación es esencial para el reclutamiento de ciertos peces de río; la duración de las inundaciones en las planicies de inundación pueden influenciar en el crecimiento potencial y reclutamiento de peces y otra biota que necesiten usar los hábitats de las planicies de inundación y recursos de alimentos
	La duración de los periodos secos en ríos de zonas áridas puede influenciar la supervivencia de los peces al punto que cuerpos de agua aislados pueden perder su comunidad de peces entera a menos que sea rellenada de agua

Fuente: (Arthington, 2012), adaptado de Pff et al. 1997 y referencias en este; traducción propia

TABLA 4.- SIGNIFICANCIA ECOLÓGICA DE LA TEMPORALIDAD ESTACIONAL DE LOS CAUDALES

<i>Aspectos del Caudal</i>	<i>Funciones Ecológicas</i>
Temporalidad estacional de los caudales	La temporalidad natural de los caudales altos y bajos proveen señales medioambientales para iniciar las transiciones en el ciclo de vida en peces, p. ej., desove, eclosión, crianza, movimiento a las planicies de inundación para alimentación reproducción, o migración aguas arriba o aguas abajo
	La coincidencia entre el periodo reproductivo y el acceso a las planicies de inundación o humedales explica algunas de las variaciones anuales en la composición de la comunidad de peces en el cauce
	Muchas plantas ribereñas tienen ciclos de vida que están adaptadas a los componentes de la temporalidad estacional del régimen natural a través de su "fenología emergente" –La secuencia estacional de florecimiento, dispersión de semillas, germinación, y crecimiento de plantulas
	Las Interacciones entre las fenologías emergentes con la variabilidad temporal del stress medioambiental de las inundaciones o sequías ayuda a mantener la alta diversidad de especies en los bosques de las planicies de inundación
	La productividad de los bosques ribereños es influenciada por la temporalidad de los caudales y puede incrementar cuando inundaciones de corta duración ocurren en la estación de crecimiento
	Variaciones naturales de la estacionalidad en el régimen de caudal pueden prevenir el establecimiento exitoso de especies no nativas con requerimientos para el desove e incubación dependientes del caudal, tales como la lubina rayada (<i>Morone saxatilis</i>) y la trucha marón (<i>Salmo trutta</i>)

Fuente: (Arthington, 2012), adaptado de Pff et al. 1997 y referencias en este; traducción propia

TABLA 5.- SIGNIFICANCIA ECOLÓGICA DE LA TASA DE CAMBIO EN EL REGIMEN DE CAUDAL

<i>Aspectos del Caudal</i>	<i>Funciones Ecológicas</i>
Tasa de cambio en el régimen de caudal	La tasa de cambio, en el régimen de caudales debido a tormentas pesadas pueden influenciar la persistencia y coexistencia de especies
	Incrementos rápidos de caudal en los cauces del centro y suroeste de Estados Unidos sirven como señales para el desove para especies nativas de pececillos, cuyos huevos

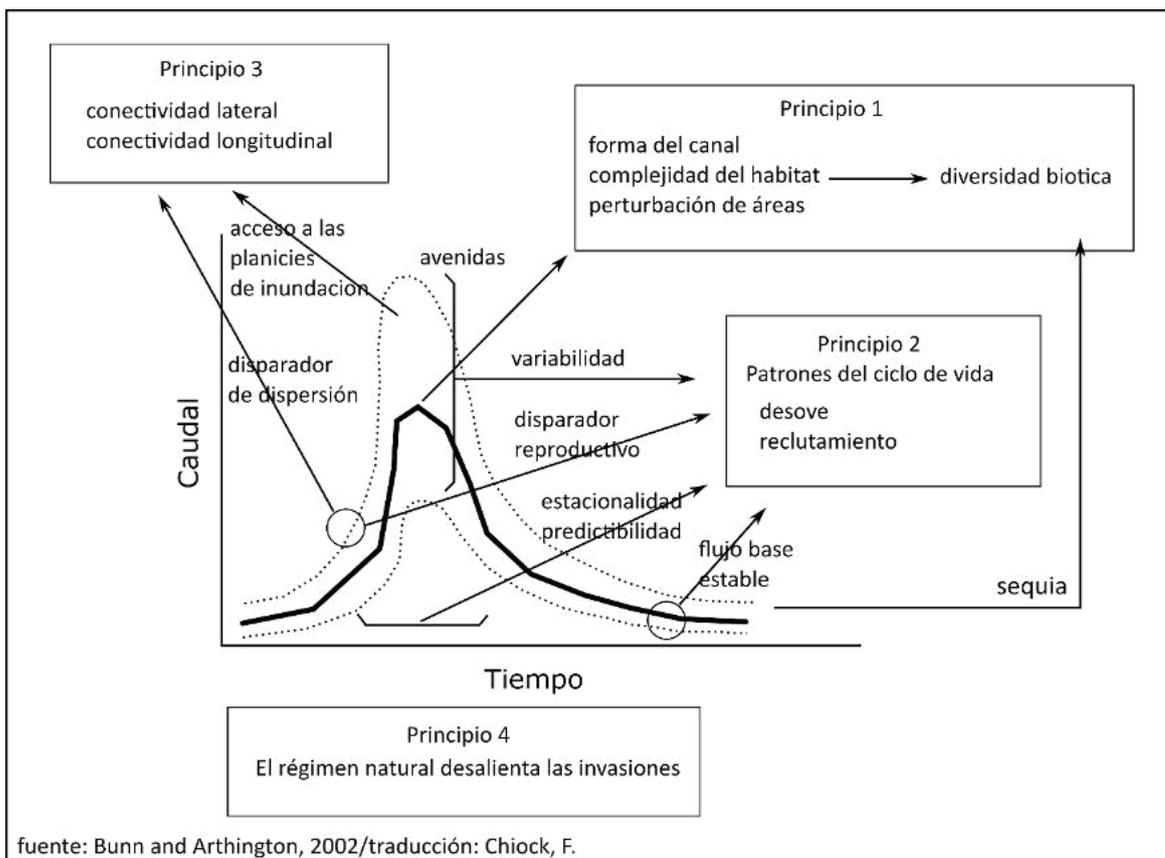
<i>Aspectos del Caudal</i>	<i>Funciones Ecológicas</i>
	de rápido desarrollo se transmiten ya sea en la columna de agua o unido a las estructuras sumergidas a medida que las aguas retroceden
	Mas gradual, tasas de cambio estacionales en los caudales regulan la persistencia de muchas especies acuáticas y ribereñas
	Los álamos (<i>Populus spp.</i>) son especies perturbadoras que se establecen tras las inundaciones de invierno-primavera, durante una estrecha “ventana de oportunidad” cuando los substratos aluviales libres de competencia y suelos húmedos están disponibles para la germinación
	Una cierta tasa de recesión de las aguas de inundación es crítica para la germinación de las plántulas de álamo porque las raíces necesitan permanecer conectadas a una tabla de agua en retroceso a medida que crecen hacia abajo
	Peces no nativos generalmente carecen del comportamiento adaptativo para evitar ser desplazadas aguasabajo por crecidas repentinas, p. ej., el depredador introducido pez mosquito (<i>Gambusia affinis</i>) puede extirpar a la nativa Gila topminnow (<i>Poeciliopsis occidentalis</i>) en locaciones donde las crecidas repentinas son reguladas por presas aguas arriba, pero las especies nativas persisten en cauces naturales con tiempos de concentración cortos

Fuente: (Arthington, 2012), adaptado de Pff et al. 1997 y referencias en este; traducción propia

A partir de estos y varios conceptos más Bunn y Arthington (2002) plantearon cuatro principios guía sobre la influencia del régimen de caudal sobre la biodiversidad acuática (FIGURA 1). Estos cuatro principios son:

- Principio 1: El caudal es el mayor determinante del hábitat físico en los ríos , que a su vez es el mayor determinante de la composición biótica.
- Principio 2: Las especies acuáticas han desarrollado estrategias en su ciclo de vida, principalmente en respuesta directa al régimen natural de caudales.
- Principio 3: Mantener los patrones naturales de conectividad longitudinal y lateral es esencial para la viabilidad de las poblaciones de muchas especies ribereñas.
- Principio 4: La invasión y éxito de las especies exóticas y especies introducidas en los ríos es facilitada por la alteración del régimen de caudales.

FIGURA 1.- RELACIÓN ENTRE BIODIVERSIDAD ACUÁTICA Y RÉGIMEN DE CAUDALES NATURALES



5.2. EFECTOS DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS SOBRE EL REGIMEN NATURAL DE CAUDALES

Los ríos son probablemente los ecosistemas más intensamente usados en el planeta, con un gran incremento en la cantidad de agua extraída globalmente (especialmente para agricultura) durante el siglo pasado, y sujeto a una larga lista de impactos en un rango de escalas desde supra-cuenca hasta el caudal en el río (Boon & Raven, 2012).

La evaluación de caudales ambientales está más a menudo enfocada a las implicancias geomorfológicas y ecológicas de la alteración de los caudales aguas abajo de una presa grande, pero muchas otras intervenciones humanas a la escala de cuenca interceptan o exacerbaban la escorrentía superficial e influyen la hidrología en los arroyos, ríos, humedales y estuarios (Arthington, 2012). En la TABLA 6, se muestra una relación de actividades humanas que afectan los sistemas fluviales.

TABLA 6.- LAS PRINCIPALES CATEGORÍAS DE ACTIVIDADES HUMANAS QUE AFECTAN LOS SISTEMAS FLUVIALES EN UN RANGO DE ESCALAS ESPACIALES

Supra cuenca
Deposición acida

Trasvases de cuenca
Cambio climático
Cambio de uso de suelos en las cuencas
Reforestación y desforestación
Urbanización
Desarrollo agrícola
Drenaje de tierras / protección contra inundaciones
Ingeniería del corredor (fluvial)
Remoción de vegetación ribereña
Regulación de caudales – presas, canalización, diques, etc.
Dragado y minería
Impactos en los caudales de agua del río
Contaminación orgánica e inorgánica
Contaminación térmica
Extracción
Navegación
Explotación de especies nativas
Introducción de especies foráneas

Fuente: Boon & Raven, 2012

Por ejemplo una respuesta física a las modificaciones humanas de los procesos hidrológicos naturales es la interrupción del equilibrio dinámico entre el movimiento del agua y el movimiento de los sedimentos que existen en ríos de flujo libre. Esta interrupción altera, tanto a escala gruesa como fina, las características geomorfológicas que constituyen el hábitat para las especies acuáticas y ribereñas (Poff, et al., 1997). En la TABLA 7 se muestra ejemplos de las respuestas físicas y en la TABLA 8 se muestran ejemplos de las respuestas ecológicas a la alteración del régimen de caudales en los ríos.

TABLA 7.- RESPUESTAS FÍSICAS A LA ALTERACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES

Fuente(s) de alteración	Cambio(s) hidrológico(s)	Respuesta(s) geomorfológicas	Referencia(s)
Presa	Captura de sedimento moviéndose aguas abajo	Erosión del cauce aguas abajo y corta la naciente de los tributarios	Chien 1985, Petts 1984, 1985, Williams and Wolman 1984
		Acorazamiento del cauce	Chien 1985
Presa, Derivación	Reduce la magnitud y frecuencia de caudales altos	Deposición de finos en la grava	Sear 1995, Stevens et al. 1995
		Estabilización y adelgazamiento del cauce	Johnson 1994, Williams and Wolman 1984

DIAGNOSTICO SOBRE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN EL PERU (PRIMERA FASE)

Fuente(s) de alteración	Cambio(s) hidrológico(s)	Respuesta(s) geomorfológicas	Referencia(s)
		Formación reducida de barras de punto, canales secundarios, meandros abandonados y cambios en el alineamiento del cauce	Chien 1985, Copp 1989, Fenner et al. 1985
Urbanización, revestimiento, drenaje	Incremento de la magnitud y frecuencia de caudales altos	Erosión de las riberas y ampliación del cauce	Hammer 1972
	Reducción de la infiltración en el suelo	Profundización del cauce y desconexión con las planicies de inundación	Prestegard 1988
Diques y canalizaciones	Reducción de caudales de inundación	Reducción del flujo base	Leopold 1968
		Restricción del cauce originando erosión vertical	Daniels 1960, Prestegard et al. 1994
		Deposición de las planicies de inundación y prevención de la erosión	Sparks 1992
Bombeo de agua subterránea	Disminución de los niveles freáticos	Reducción de la migración del cauce y la formación de cauces secundarios	Shankman and Drake 1990
		Erosión de las riberas y erosión vertical del cauce luego de la pérdida de la estabilidad de la vegetación	Kondolf and Curry 1986

Fuente: Poff et al., 1997, traducción propia

TABLA 8.- RESPUESTAS ECOLÓGICAS A LA ALTERACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL REGIMEN DE CAUDALES NATURAL

Componente del régimen de caudal	Alteración específica	Respuesta(s) ecológica	Referencia(s)
Magnitud y frecuencia	Incremento de la variación	Arrastre o varamiento	Cushman 1985, Petts 1984
		Pérdida de especies sensibles	Gehrke et al. 1995, Kingsolving and Bain 1993, Travnicek et al. 1995
		Incremento de erosión de algas y lavado de la materia orgánica	Petts 1984
	Estabilización del flujo	Interrupción del ciclo de vida	Scheidegger and Bain 1995
		Alteración del flujo de energía	Valentin et al. 1995

DIAGNOSTICO SOBRE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN EL PERU (PRIMERA FASE)

Componente del régimen de caudal	Alteración específica	Respuesta(s) ecológica	Referencia(s)
		<p>Invasión o establecimiento de especies exóticas, conduciendo a:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Extinción local – Amenaza a especies comerciales nativas – Alteración de las comunidades 	<p>Kupferberg 1996, Meffe 1984</p> <p>Stanford et al. 1996</p> <p>Bush and Smith 1995, Moyle 1986, Ward and Stanford 1979</p>
		<p>Reducción del agua y nutrientes hacia las especies de plantas en las planicies de inundación, causando:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Deshidratación de las plántulas – Dispersión de semillas inefectivas – Pérdida de parcelas de hábitats socavadas y canales secundarios necesarios para el establecimiento de plantas – Invasión de vegetación en los canales 	<p>Duncan 1993</p> <p>Nilsson 1982</p> <p>Fenner et al. 1985, Rood et al. 1995, Scott et al. 1997, Shankman and Drake 1990</p> <p>Johnson 1994, Nilsson 1982</p>
Momento	Pérdida de los picos de caudal estacionales	<p>Interrupción de las señales para los peces:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Desove – Eclosión de los huevos – Migración <p>Pérdida del acceso de peces a los humedales o remansos</p> <p>Modificación de la estructura de la red alimenticia</p> <p>Reducción o eliminación del reclutamiento de plantas ribereñas</p> <p>Invasión de especies ribereñas exóticas</p>	<p>Faussch and Bestgen 1997, Montgomery et al. 1993, Nesler et al. 1988</p> <p>Næsje et al. 1995</p> <p>Williams 1996</p> <p>Junk et al. 1989, Sparks 1995</p> <p>Power 1992, Wootton et al. 1996</p> <p>Fenner et al. 1985</p> <p>Horton 1977</p>

DIAGNOSTICO SOBRE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN EL PERU (PRIMERA FASE)

Componente del régimen de caudal	Alteración específica	Respuesta(s) ecológica	Referencia(s)
		Reducción de la tasa de crecimiento de las plantas	Reily and Johnson 1982
Duración	Caudales bajos prolongados	Concentración de organismos acuáticos	Cushman 1985, Petts 1984
		Reducción o eliminación de la cobertura de plantas	Taylor 1982
		Reducción de la diversidad de especies de plantas	Taylor 1982
		Desertificación de la composición de especies ribereñas	Bush and Smith 1995, Stromberg et al. 1996
		Estrés fisiológico que conduce a una tasa reducida de crecimiento de las plantas, cambios morfológicos o mortalidad	Kondolf and Curry 1986, Perkins et al. 1984, Reily and Johnson 1982, Rood et al. 1995, Stromberg et al. 1992
	“Púas” de caudal base prolongados	Pérdida de huevos flotantes aguas abajo	Robertson 1997
	Duración alterada de las inundaciones	Alteración de los tipos de cobertura de plantas	Auble et al. 1994
Inundaciones prolongadas	Cambio en el tipo de vegetación funcional	Mortalidad de árboles	Bren 1992, Connor et al. 1981
		Pérdida de hábitats de especies acuáticas en rápidos	Harms et al. 1980
Tasa de cambio	Cambios rápidos en las etapas del río	Lavado y varamiento de las especies acuáticas	Cushman 1985, Petts 1984
	Acelerada recesión de las inundaciones	Falla en el establecimiento de las plántulas	Rood et al. 1995

Fuente: Poff et al., 1997, traducción propia

CAPITULO 6. DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES RÍOS EN EL PERU

La Autoridad Nacional del Agua ejerce sus funciones administrativas a nivel nacional a través de sus órganos desconcentrados denominados Autoridades Administrativas del Agua. A nivel nacional se han establecido catorce Autoridades Administrativas del Agua, cuyos ámbitos abarcan la totalidad del territorio nacional y se encuentran delimitados siguiendo un criterio de gestión de los recursos hídricos por cuenca hidrográfica. En la FIGURA 2, se muestra el mapa con la ubicación de cada uno de Los ámbitos de las catorce AAA. La evaluación que se realizará de los diferentes ríos se hará sobre la base de los ámbitos de las AAA. En el Apéndice B, se muestra la relación de cuencas por cada AAA.

En la descripción que se realiza en el presente capítulo, se han seleccionado los principales ríos en cada ámbito de AAA, priorizando aquellos que disponen de información.

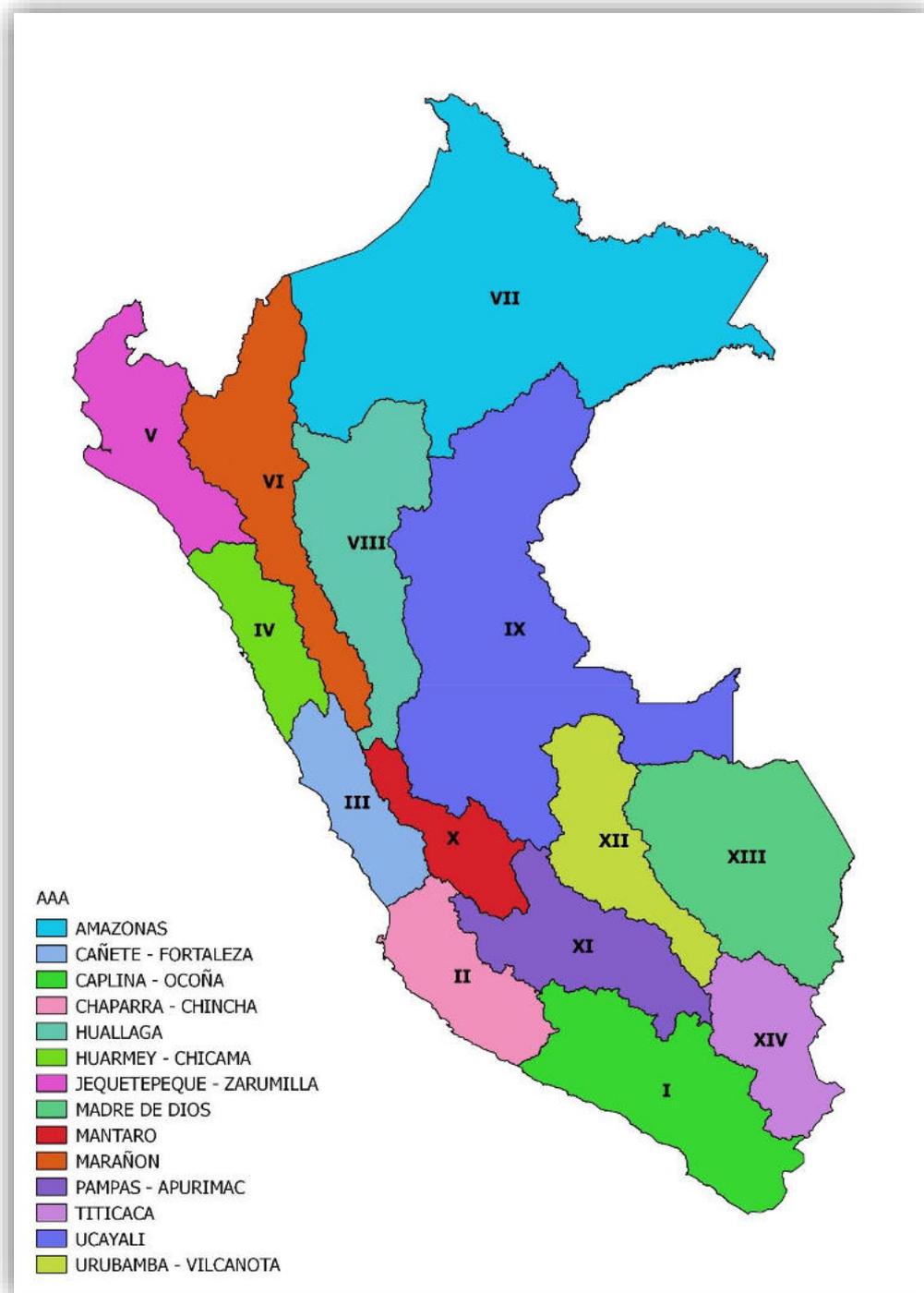
La información que se detalla en la descripción de los ríos, es la siguiente:

- Principal infraestructura hidráulica de regulación o derivación.
- Principales usos para el agua
- Balance hídrico

La descripción de la infraestructura hidráulica, será muy general, se señalará el volumen de almacenamiento, en el caso de los embalses, y en el caso de las bocatomas, la capacidad de derivación. En este caso el interés es mostrar la infraestructura principal que puede ser considerada como una interrupción de la conectividad longitudinal del río. La infraestructura ha sido ubicada a partir de la información contenida en diferentes estudios disponibles de las cuencas y el empleo del programa Google Earth Pro.

En cuanto al régimen hidrológico, se señalará los principales usos y el balance hídrico. Esto servirá para mostrar el nivel de aprovechamiento hídrico que existe en estos ríos y las principales actividades que hacen uso del agua. Para ello se ha tomado como fuente principal los diferentes estudios realizados por el INRENA y la ANA; y en algunos casos la de los proyectos especiales.

FIGURA 2.- MAPA DE LAS 14 AUTORIDADES ADMINISTRATIVAS DEL AGUA



Elaboración propia. Fuente de información: ANA

6.1. AAA I CAPLINA OCOÑA

En este ámbito ubicado al sur-oeste del Perú, se encuentran ríos de diferentes características hidrológicas. Ríos como Caplina en Tacna, que cuenta con un caudal medio anual de aproximadamente 0,8 m³/s, y ríos como Ocoña, con un caudal medio anual de aproximadamente 100,9 m³/s (cuanto más al sur, los caudales medios tienden a ser menores). En la TABLA 9 se muestra algunas características hidrológicas de los principales ríos en el ámbito de esta AAA.

TABLA 9.- CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DE LOS PRINCIPALES RÍOS EN EL AAA I CAPLINA OCOÑA

NOMBRE DEL RÍO	SUPERFICIE (km ²)	CAUDAL MEDIO (m ³ /s)	CAUDAL MAXIMO (m ³ /s)	CAUDAL MINIMO (m ³ /s)
Tambo	12 953,36	33,5	90,8	6,3
Quilca – Vitor – Chili	13 457,01	12,2	89,4	3,7
Camaná	17 049,51	74,4	138,3	13,5
Ocoña	15 913,22	100,9	206,7	29,5

FUENTE: ANA

Por otro lado también encontramos ríos con importantes obras de infraestructura hidráulica de regulación y trasvase de agua entre cuencas. Con lo que el régimen natural de los ríos se ha visto alterado en el tiempo. En la FIGURA 3 se muestra la ubicación de las cuencas evaluadas en el ámbito de esta AAA.

En algunos ríos encontramos también recursos hidrobiológicos de importancia económica, como es el caso del camarón del río (Tambo, Camaná y Ocoña)¹⁸.

¹⁸ http://www.imarpe.pe/imarpe2/index.php?id_seccion=101310102020100000000000, visitado el 02/12/15

FIGURA 3.- CUENCAS DE LOS RÍOS DESCRITOS EN LA AAA I CO



Elaboración propia. Fuente de información: ANA

6.1.1 TAMBO

El valle del río Tambo, es predominantemente agrícola. En la parte alta de la cuenca se encuentra el embalse de Pasto Grande que almacena agua para ser trasvasada a la cuenca del río Moquegua-Ilo.

El embalse de Pasto Grande tiene una capacidad de almacenamiento máximo de 200 MMC; y es la principal obra de regulación, que trasvasa las aguas para la cuenca de Moquegua-Ilo, regulando solamente para la cuenca 8,2 MMC, que se entregan conforme a lo dispuesto en el D.S. N° 002-2008-AG, que otorgó la reserva de recursos hídricos al Proyecto Especial Pasto Grande.

Adicionalmente a esta presa, las obras de infraestructura hidráulica en el río, tienen fines agrícolas y se encuentran en la parte baja del río, la mayoría son rústicas o no cuentan con barrajes fijos. Solo tres tomas cuentan con barrajes fijos y se encuentran entre la mitad del valle y la cabecera del mismo.

El balance hídrico para el río Tambo presentado en la TABLA 10, muestra que normalmente existe un déficit en los meses de setiembre a diciembre, siendo la mayor demanda del agua para el sector agricultura.

TABLA 10.- BALANCE HIDRICO DEL RIO TAMBO EN MMC

Descripción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Oferta	95,3	162,4	129,6	59,6	36,6	28,5	25,6	22,2	17,2	15,2	15,2	25,3
Demanda	40,9	34,9	28,6	19,1	9,2	9,1	12,1	17,6	20,4	26,9	24,8	35,5
S(+)/D(-)	54,4	127,5	101	40,5	27,4	19,4	13,5	4,6	-3,2	-11,7	-9,6	-10,2

(ANA, 2010)

6.1.2 QUILCA-VÍTOR-CHILI

Este río es de gran importancia por ser la fuente de agua para la ciudad de Arequipa; y para las actividades económicas de las que depende.

Es por ello que esta cuenca, se caracteriza por contar con importantes obras de infraestructura hidráulica, que permiten abastecer de agua, tanto a la población de la ciudad de Arequipa, como la agricultura, minería y generación de energía eléctrica principalmente.

La cuenca cuenta con un trasvase de agua desde la cuenca del río Colca, de donde no solo capta agua, sino que también la regula a través de dos represas, El Pañe (139 MMC) y Bamputañe (40 MMC). Dentro de la propia cuenca también cuenta con cuatro represas: Chalhuanca (25.6 MMC), Pillones (80 MMC), El Fraile (130 MMC) y Aguada Blanca (43,51 MMC), que permiten la regulación de los caudales en el río Chili.

En el río también se ubican una serie de centrales hidroeléctricas en cascada (Charcani V, Charcani IV, Charcani VI, Charcani III, Charcani I y Charcani II); además de ubicarse tomas para riego.

FIGURA 4.- VISTA DE LA UBICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE REGULACIÓN EN LA CUENCA DEL RIO TAMBO



Fuente de la imagen: google earth, fecha de imagen 09/04/2013

FIGURA 5.- VISTA DE LA UBICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE REGULACIÓN EN LA CUENCA DEL RIO CHILI Y CUANCA ALTA DEL RÍO COLCA



Fuente de la imagen: google earth, fecha de imagen 09/04/2013

FIGURA 6.- VISTA DE LA PRESA AGUADA BLANCA



Fuente de la imagen: google earth, fecha de imagen 21/07/2013

6.1.3 CAMANÁ

La cuenca del río Camaná, se encuentra al norte de la cuenca del río Chili, es fuente de agua no solo para el valle de Camaná, ya que a la vez sus aguas son trasvasadas hacia la cuenca del río Chili y hacia las pampas de Majes (Irrigación Majes).

Cuenta con obras de regulación como son las represas de El Pañe (139 MMC) y Bamputañe (40 MMC) cuyas aguas se derivan hacia la cuenca del río Chili; y Condoroma (285 MMC) cuyas aguas son derivadas hacia las Pampas de Majes. Desde el año 1965 se derivan las aguas hacia la cuenca del río Chili mediante el canal de derivación Pañe-Sumbay y desde 1986 se regulan en la presa de Condoroma y se derivan hacia las pampas de Majes a través de la bocatoma Tuti (INRENA, 2004).

De acuerdo al balance hídrico mostrado en la TABLA 11, a nivel de caudales medios mensuales este río siempre muestra superávit. El agua es usada principalmente en la actividad agrícola, donde predomina la siembra del arroz, frejol y cebolla.

El balance hídrico refleja la disponibilidad en la estación Huatiapa, luego de las derivaciones hacia Chili y Majes; y las almacenadas en los embalses de regulación.

TABLA 11.- BALANCE HIDRICO DEL RIO CAMANA EN MMC

Descripción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Oferta	277,9	533,5	526,5	254,8	156,8	113,2	97,5	86,6	76,4	75,4	74,0	90,3
Demanda	21,14	21,0	19,0	15,8	13,0	11,3	11,0	5,0	8,3	20,5	23,0	20,1
S(+)/ D(-)	256,8	512,5	507,5	239,0	143,8	101,9	86,5	81,6	68,1	54,9	51,0	70,2

(ANA, 2010)

6.1.4 OCOÑA

La cuenca del río Ocoña, se caracteriza por la abundante disponibilidad de agua, y la poca demanda existente en la actualidad, la cual es básicamente con fines de riego.

La principal característica de este río es la presencia de camarones de río (también se encuentran en los ríos Camaná y Tambo), cuya pesca representa una importante actividad económica para la población.

Según el IMARPE¹⁹, el camarón de río, especie endémica de los ríos de la Vertiente Occidental, habita los cuerpos de agua lóticos costeros del Perú al sur del río Chancay-Lambayeque desde los 6° 32' de latitud Sur y los del litoral norte chileno hasta los 30° de latitud Sur. Las más altas poblaciones de este crustáceo se encuentran en los ríos del departamento de Arequipa, principalmente en Ocoña, Majes-Camaná y Tambo, debido a que los ríos llevan mayor caudal de agua. Así mismo, señala que este crustáceo es de gran importancia económica y sustenta la pesquería continental de la costa Sur del Perú.

En este río no se cuenta con infraestructura hidráulica, que represente alguna barrera en el cauce.

TABLA 12.- BALANCE HIDRICO DEL RIO OCOÑA EN MMC

Descripción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Oferta	332,3	505,7	500,5	350,1	198,2	172,3	158,4	143,5	136,9	135,0	133,5	141,9
Demanda	5,5	5,4	5,6	4,9	5,0	6,0	5,7	1,0	1,2	3,2	4,9	5,3
S(+)/ D(-)	326,9	500,3	494,9	345,2	193,2	166,3	152,7	142,4	135,8	131,8	128,5	136,6

(INRENA, 2007)

¹⁹ [http://www.imarpe.pe/imarpe/index.php?id_seccion=101310102020100000000000](http://www.imarpe.pe/imarpe/index.php?id_seccion=10131010202010000000000)

6.2. AAA II CHAPARRA CHINCHA

En este ámbito se presentan cuencas caracterizados por su irregularidad y en algunas por su uso intensivo de agua subterránea.

TABLA 13.- CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DE LOS PRINCIPALES RÍOS EN EL AAA II CHAPARRA- CHINCHA

NOMBRE DEL RÍO	SUPERFICIE (km ²)	CAUDAL MEDIO (m ³ /s)	CAUDAL MAXIMO (m ³ /s)	CAUDAL MINIMO (m ³ /s)
Río Grande	10 991,27	11,7	---	---
Ica	7 301,88	8,1	---	---
Pisco	4 208,75	25,5	312,3	0,0

FUENTE: ANA

FIGURA 7.- CUENCAS DE LOS RÍOS DESCRITOS EN LA AAA II CHCH



Elaboración propia. Fuente de información: ANA

6.2.1. RIO GRANDE

La cuenca de Río Grande, es una cuenca que no cuenta con regulación, y su régimen hidrológico es muy irregular, los caudales se concentran principalmente

en los meses de verano (EFM). El uso del agua en la cuenca es principalmente agrícola.

TABLA 14.-BALANCE HIDRICO DEL RIO GRANDE EN MMC

Descripción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Oferta	19,8	53,0	46,3	15,9	2,2	0,6	0,3	0,0	0,0	0,0	0,5	2,3
Demanda	7,7	24,5	34,6	35,7	26,5	14,2	7,7	4,2	2,6	2,9	3,0	3,0
S(+)/ D(-)	12,1	28,5	11,7	-19,8	-24,3	-13,6	-7,5	-4,2	-2,6	-2,9	-2,6	-0,7

(INRENA, 2006)

6.2.2. ICA

La cuenca del río Ica cuenta con un sistema de regulación y trasvase de la cuenca del río Pampas. El sistema Choclococha, está compuesto por las represas de Choclococha (150 MMC) y Ccaracocha (40 MMC) y el canal colector Choclococha.

El valle de Ica también se abastece intensamente de agua subterránea, para poder cubrir el déficit de agua superficial de los usuarios principalmente agrícolas.

En la misma cuenca se cuenta con infraestructura hidráulica para derivar las aguas hacia los diferentes bloques de riego. Esta infraestructura cuenta con barrajes fijos y móviles a lo largo del cauce.

TABLA 15.-BALANCE HIDRICO DEL RIO ICA EN MMC (CONSIDERANDO FUENTES DE AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA)

Descripción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Oferta	46,2	51,6	53,2	30,9	26,8	22,3	22,8	24,5	30,6	41,9	45,2	43,1
Demanda	76,0	63,7	61,1	52,7	56,7	57,5	62,3	71,3	81,5	92,0	87,2	81,5
S(+)/ D(-)	-29,8	-12,1	-7,9	-21,8	-29,9	-35,2	-39,5	-46,8	-50,9	-50,1	-42,0	-38,4

(ANA, 2010)

FIGURA 8.- VISTA DE LA UBICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE CAPTACIÓN DE AGUA PARA RIEGO EN EL RÍO ICA



Fuente de la imagen: google earth, fecha de imagen 31/03/2015

6.2.3. PISCO

La cuenca del río Pisco, presenta un régimen hidrológico muy irregular. En los meses de avenidas (EFM) cuenta con caudales altos, $186 \text{ m}^3/\text{s}$ en promedio, y en los meses de estiaje (JAS) presenta caudales muy bajos, $5.8 \text{ m}^3/\text{s}$ en promedio.

Presenta en la cuenca alta cinco lagunas represadas y son las que proveen de agua al río entre los meses de agosto a diciembre, el aporte promedio de las lagunas es

DIAGNOSTICO SOBRE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN EL PERU (PRIMERA FASE)

de 4,63 m³/s (INRENA, 2004). También cuentan con aportes importantes de agua subterránea.

La principal actividad que demanda agua en la cuenca es la agrícola.

TABLA 16.- BALANCE HIDRICO DEL RIO PISCO EN MMC

Descripción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Oferta	134,2	207,8	218,5	83,0	22,0	9,9	6,2	5,2	6,0	9,2	19,3	41,8
Demanda	29,4	25,2	18,5	10,0	6,1	5,0	34,0	32,2	30,9	30,8	30,9	30,5
S(+)/D(-)	104,8	182,6	200,0	73,0	15,9	4,9	-27,8	-27,0	-24,9	-21,6	-11,6	11,3

(ANA, 2010)

Son muy pocas las captaciones de agua para riego que presentan barrajes a lo ancho del cauce.

FIGURA 9.- VISTA DE LA BOCATOMA CABEZA DE TORO



Fuente de la imagen: google earth, fecha de imagen 16/01/2015

6.3. AAA III CAÑETE FORTALEZA

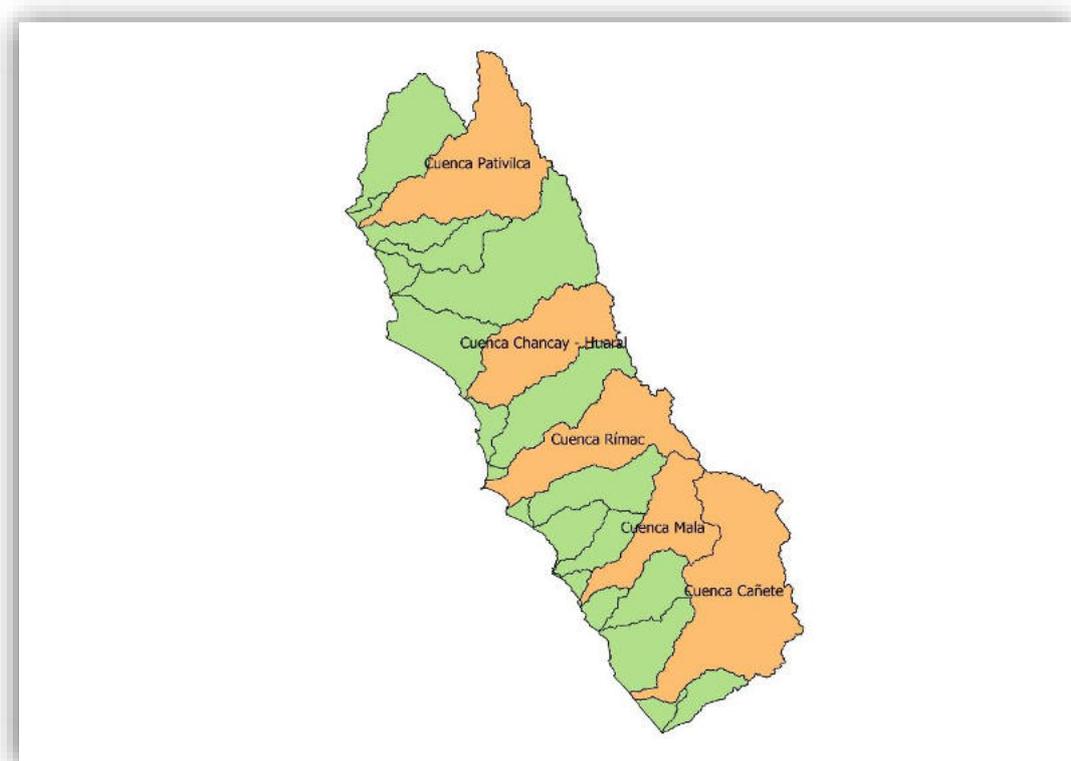
En este ámbito se encuentra la ciudad de Lima Metropolitana, que se abastece de agua de las cuencas de los ríos Chillón, Rímac y Lurín; y adicionalmente trasvasa agua de la cuenca del río Mantaro. Así mismo, varias de las cuencas hacia el norte y sur de la ciudad, son sus fuentes de abastecimiento de alimentos.

TABLA 17.- CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DE LOS PRINCIPALES RÍOS EN EL AAA III CAÑETE FORTALEZA

NOMBRE DEL RÍO	SUPERFICIE (km ²)	CAUDAL MEDIO (m ³ /s)	CAUDAL MAXIMO (m ³ /s)	CAUDAL MINIMO (m ³ /s)
Cañete	6 017,34	51,47	689,14	5,94
Mala	2 319,71	16,69	180,36	0,53
Rímac	3 485,36	27,34	145,67	1,53
Huaral	3 046,37	15,50	219,14	1,69
Pativilca	4 577,24	42,80	246,48	8,97

FUENTE: ANA

FIGURA 10.- CUENCAS DE LOS RÍOS DESCRITOS EN LA AAA III CF



Elaboración propia. Fuente de información: ANA

6.3.1. CAÑETE

El río Cañete se caracteriza por su disponibilidad de agua durante todo el año, es el río con mayor caudal medio anual en el ámbito de la AAA Cañete Fortaleza (51,47 m³/s).

Las actividades que resaltan en esta cuenca son: la agrícola (como uso consuntivo) y la energética y recreativa como uso no consuntivo. También es conocido que en este río hay presencia de camarones que son aprovechados comercialmente²⁰.

La principal infraestructura hidráulica lo componen las represas para la generación de energía eléctrica, Paucarcocha (55 MMC) y Capillucas (5 MMC), en la cuenca media y alta; y las bocatomas de riego, ubicadas en la cuenca baja (Nuevo Imperial y La Fortaleza).

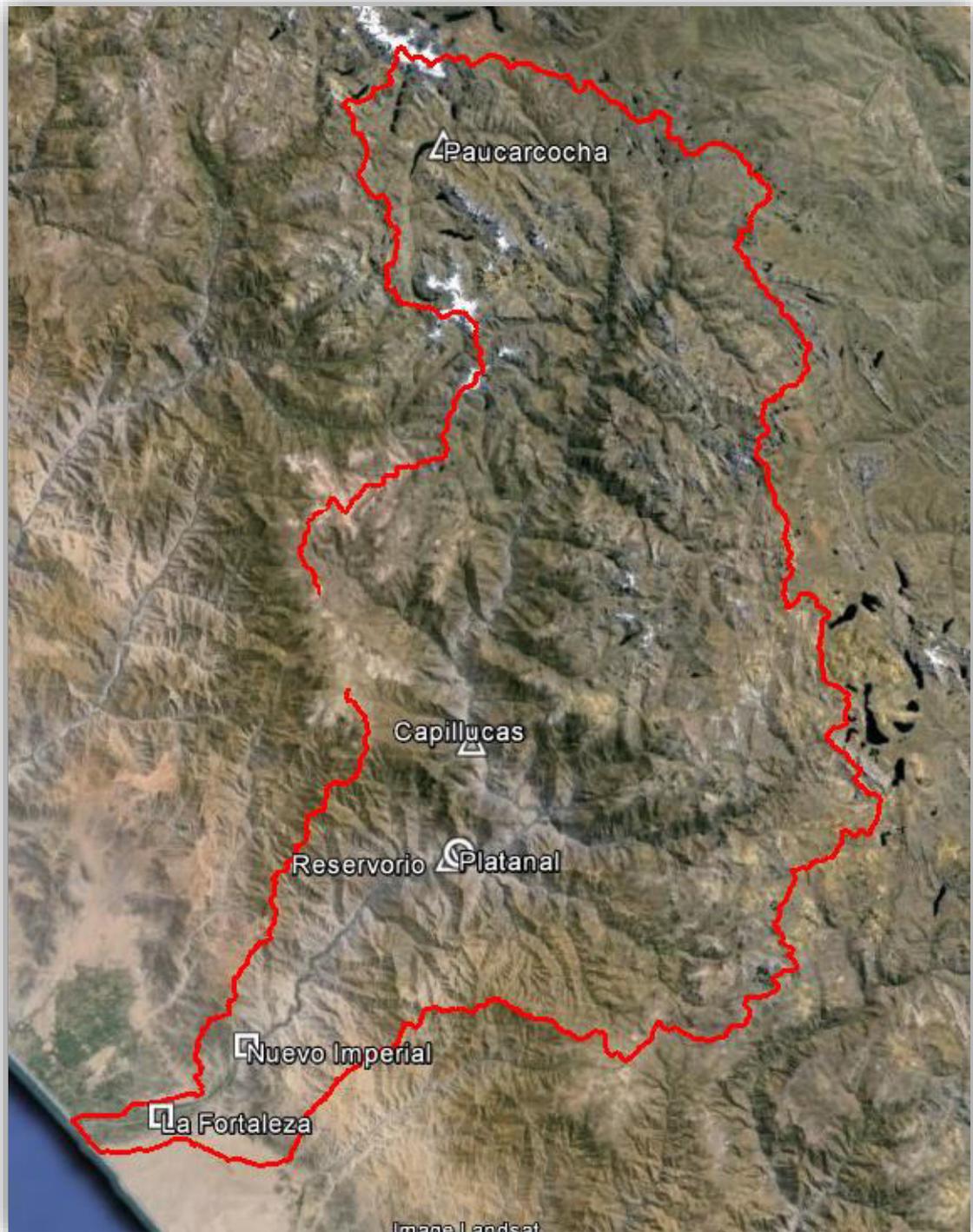
TABLA 18.- BALANCE HIDRICO DEL RIO CAÑETE EN MMC

Descripción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Oferta	241,3	328,5	411,0	207,3	89,6	50,8	38,0	31,3	27,0	33,9	56,6	107,6
Demanda	41,4	40,1	39,7	29,4	21,2	10,9	6,7	20,2	24,2	30,0	33,9	38,1
S(+)/D(-)	199,9	288,4	371,3	177,9	68,4	39,9	31,3	11,1	2,8	3,9	22,7	69,5

(ANA, 2010)

²⁰ <http://www.celepsa.com/centro-de-informacion/> [accesado en diciembre 2015]

FIGURA 11.- VISTA DE LA UBICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE REGULACIÓN Y CAPTACIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUA EN EL RÍO CAÑETE



Fuente de la imagen: google earth, fecha de imagen 09/04/2013

6.3.2. MALA

La cuenca del río Mala, es una cuenca que no cuenta con obras de regulación, principalmente cuenta con infraestructura hidráulica para el uso del agua con fines agrícolas, pero estas no cuentan con barrajes u otras obras que representen barreras en el cauce del río.

TABLA 19.- BALANCE HÍDRICO DEL RIO MALA EN MMC

Descripción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Oferta	83,4	127,8	158,27	63,1	18,6	8,1	5,7	4,4	4,0	6,8	12,4	33,3
Demanda	15,2	11,6	11,1	11,1	8,2	7,1	4,4	4,6	5,8	7,1	9,1	11,7
S(+)/D(-)	68,2	116,2	147,2	52,0	10,4	1,0	1,3	-0,2	-1,8	-0,3	3,3	21,6

(ANA, 2010)

6.3.3. RIMAC

El río Rímac tiene un régimen natural irregular, con caudales bajos en los meses de estiaje por lo general de junio a octubre y caudales altos en los meses de avenidas (EFM).

La demanda de agua con fines poblacional, industrial, riego y generación de energía eléctrica, presenta conflictos de interés durante el estiaje; lo cual se agudiza por el deterioro de la calidad del agua, producto de los vertimientos de todas las actividades en la cuenca (poblacional y productiva).

La cuenca cuenta con embalses de regulación y trasvases de agua del río Mantaro a través del túnel trasandino; y una intensa explotación de agua del acuífero.

El volumen total que se almacena en las represas es de aproximadamente 333 MMC, correspondiendo 77,63 MMC a las lagunas reguladas en la cuenca del río Santa Eulalia, 207,4 MMC al sistema Marcapomacocha (Proyecto Marca I, III y IV) y 48,30 MMC a la represa Yuracmayo (río Blanco).

TABLA 20.- VARIACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL TIEMPO PARA LA CUENCA DEL RÍO RÍMAC

Año	Δ Volumen (MMC)	Volumen Total acumulado (MMC)
Antes de 1960 (Santa Eulalia)		77,63
1963 (Marca I)	96,5	174,1
1995 (Yuracmayo)	48,3	222,4
2000 (Marca III)	62,3	284,7
2013 (Marca IV)	48,6	333,3

Elaboración propia

El principal uso de agua en la cuenca, es el poblacional seguido por el energético. En tercer lugar se encuentran los usos agrícolas y luego los industriales (principalmente de fuentes de agua subterránea) y otros.

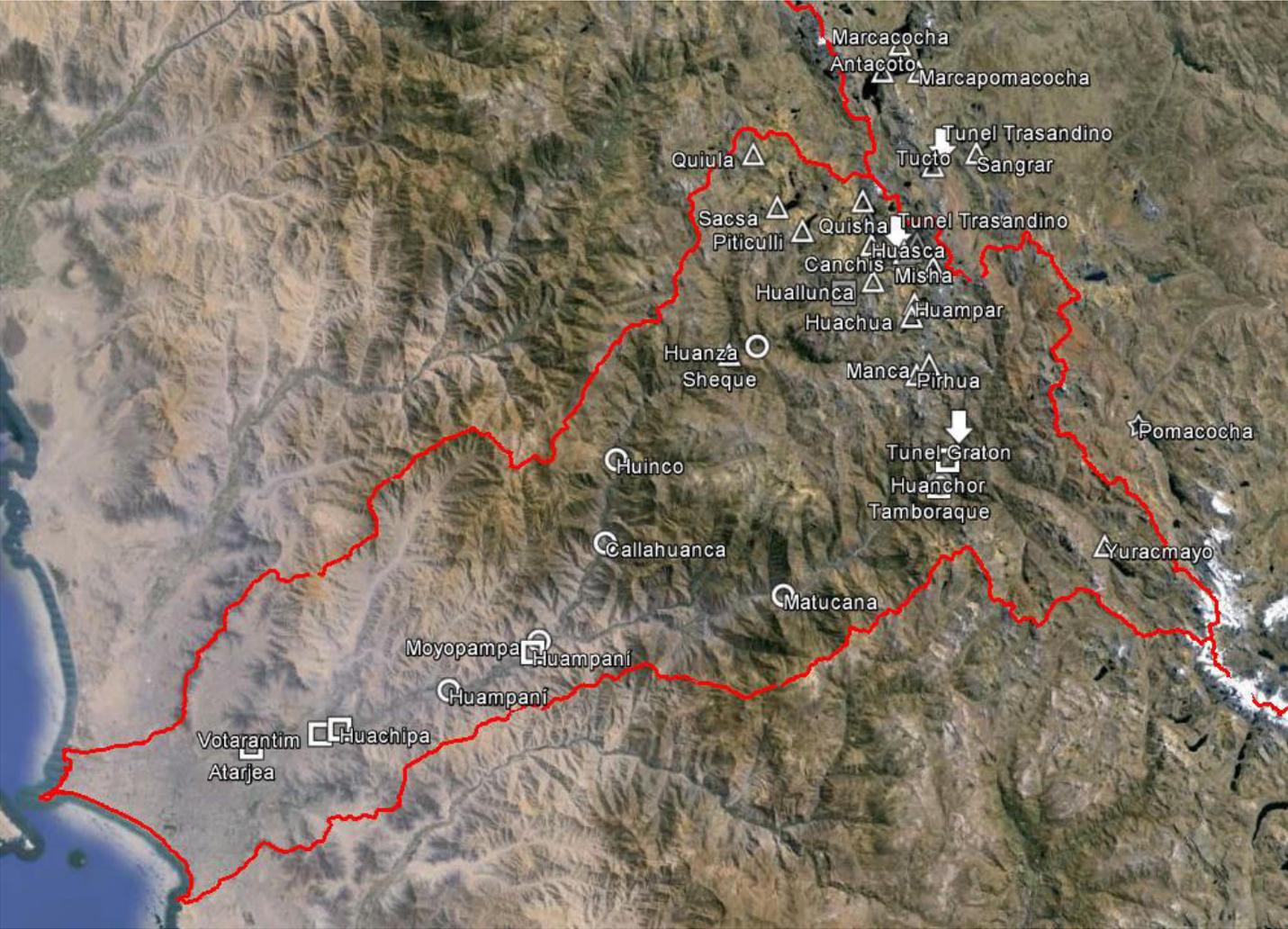
Debido a la cantidad de infraestructura hidráulica construida en el río para la derivación del agua, para uso poblacional, energético e industrial, la disponibilidad de agua en el río es muy discontinua, ya que en el caso del uso energético el agua es extraída y devuelta al río en diferentes puntos del río. De igual forma la conectividad longitudinal y lateral del río se ve interrumpida por estas mismas obras de infraestructura hidráulica.

FIGURA 12.- VISTA DE LA PRESA SHEQUE EN EL RÍO SANTA EULALIA



Fuente de la imagen: google earth, fecha de imagen 03/06/2014

FIGURA 13.- VISTA DE LA UBICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE REGULACIÓN Y CAPTACIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO RÍMAC Y MANTARO



Fuente de la imagen: google earth, fecha de imagen 09/04/2013

FIGURA 14.- VISTA DE LA BOCATOMA TAMBORAQUE EN EL RÍO RIMAC



Fuente de la imagen: google earth, fecha de imagen 26/05/2014

6.3.4. CHANCAY-HUARAL

El uso del agua en la cuenca del río Chancay-Huaral principalmente es agrícola; cuenta con pequeñas obras de regulación de lagunas en la cuenca alta y bocatomas para la cascada de centrales hidroeléctricas ubicadas en la cuenca alta.

TABLA 21.- BALANCE HÍDRICO DEL RIO CHANCAY-HUARAL EN MMC

Descripción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Oferta	60,2	92,6	126,9	64,3	27,0	16,6	13,5	12,2	11,8	14,1	17,9	31,5
Demanda	28,1	26,8	29,5	29,9	15,3	12,5	10,9	13,0	14,2	16,1	17,5	20,8
S(+)/ D(-)	32,1	65,8	97,4	34,4	11,7	4,1	2,6	-0,8	-2,4	-2,0	0,4	10,7

(ANA, 2010)

La infraestructura hidráulica para la captación de agua para riego, no cuentan con barrajes que atraviesen toda la sección transversal del cauce del río.

FIGURA 15.- VISTA DE LA UBICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE REGULACIÓN Y CAPTACIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO CHANCAY-HUARAL



Fuente de la imagen: google earth, fecha de imagen 09/04/2013

6.3.5. PATIVILCA

El uso del agua en la cuenca del río Pativilca principalmente es agrícola; cuenta con pequeñas obras de regulación de lagunas en la cuenca alta y una central hidroeléctrica en la cuenca media (Cahua).

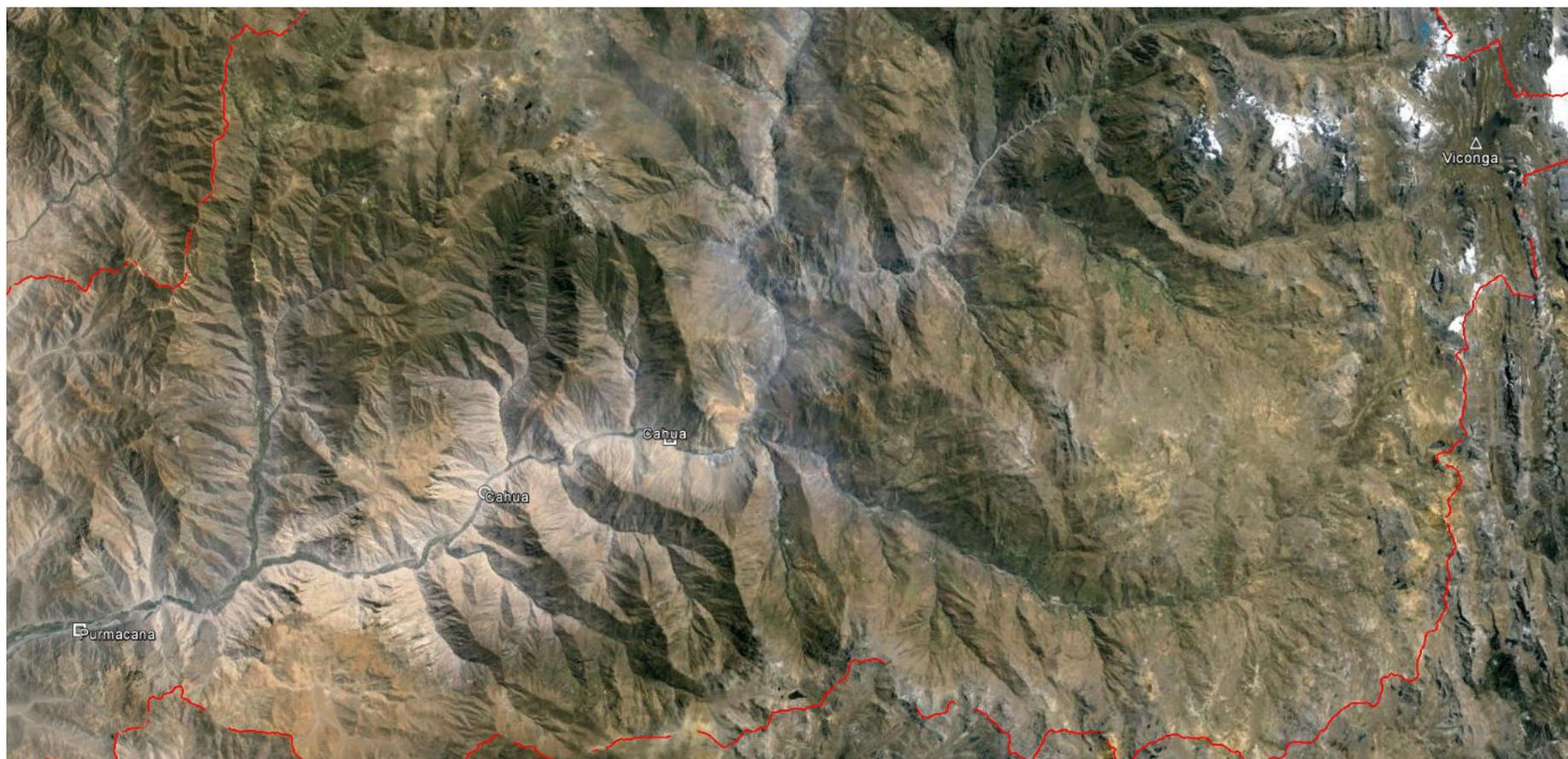
TABLA 22.- BALANCE HÍDRICO DEL RIO PATIVILCA EN MMC

Descripción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Oferta	166,0	255,7	281,3	180,2	86,7	53,3	44,8	40,4	41,5	57,3	70,2	102,2
Demanda	54,1	59,1	58,2	50,1	40,8	29,9	27,6	26,5	36,1	44,6	48,7	55,5
S(+)/ D(-)	111,9	196,6	223,1	130,1	45,9	23,4	17,2	13,9	5,4	12,7	21,5	46,7

(ANA, 2010)

La infraestructura de captación agrícola es en su mayoría de tipo rústica, solo una bocatoma cuenta con barraje fijo a lo largo de la sección del cauce. La otra bocatoma que cuenta con barraje es la de la central hidroeléctrica.

FIGURA 16.- VISTA DE LA UBICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE REGULACIÓN Y CAPTACIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO PATIVILCA



Fuente de la imagen: google earth, fecha de imagen 11/01/2015

6.4. AAA IV HUARMEY CHICAMA

En este ámbito contamos con cuencas de características muy diferentes, donde las del sur cuentan con mayor cantidad de agua que las del norte; y con una cuenca caracterizada por el aporte de la cordillera glaciar de mayor superficie del país.

TABLA 23.- CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DE LOS PRINCIPALES RÍOS EN EL AAA IV HUARMEY CHICAMA

NOMBRE DEL RÍO	SUPERFICIE (km ²)	CAUDAL MEDIO (m ³ /s)	CAUDAL MAXIMO (m ³ /s)	CAUDAL MINIMO (m ³ /s)
Huarmey	2 232,96	5,15	151,63	0,00
Casma	2 973,97	5,57	91,29	0,00
Santa	4 591,15	141,52	829,29	22,92
Moche	5 803,28	9,10	228,87	0,03
Chicama	4 493,74	23,84	487,87	0,15

FUENTE: ANA

FIGURA 17.- CUENCAS DE LOS RÍOS DESCRITOS EN LA AAA IV HCH



Elaboración propia

6.4.1. HUARMEY

La cuenca del río Huarmey es principalmente agrícola. No cuenta con infraestructura de regulación. La infraestructura de captación de agua en el río no presenta barrajes.

TABLA 24.- BALANCE HÍDRICO DEL RIO HUARMEY EN MMC

Descripción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Oferta	16,3	36,4	64,5	33,2	8,7	3,6	2,2	1,3	0,8	0,9	1,6	7,4
Demanda	2,7	4,3	5,1	3,8	2,6	2,1	2,3	2,2	2,8	2,7	1,9	1,7
S(+)/ D(-)	13,6	32,1	59,4	29,4	6,1	1,5	-0,1	-0,9	-2	-1,8	-0,3	5,7

(ANA, 2010)

6.4.2. CASMA

La cuenca del río Casma principalmente es agrícola. No cuenta con infraestructura de regulación. La infraestructura de captación de agua en el río no presenta barrajes.

TABLA 25.- BALANCE HÍDRICO DEL RIO CASMA EN MMC

Descripción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Oferta	20,9	33,5	54,4	32,0	10,7	4,2	2,7	1,5	0,7	2,2	2,9	8,3
Demanda	2,7	4,3	5,1	3,8	2,6	2,1	2,3	2,2	2,8	2,7	1,9	1,7
S(+)/ D(-)	18,2	29,2	49,3	28,2	8,1	2,1	0,4	-0,7	-2,1	-0,5	1,0	6,6

(ANA, 2010)

6.4.3. SANTA

El río Santa es el principal río de esta AAA, no solo por poseer la cuenca de mayor superficie entre todos los ríos en este ámbito, sino por también recibir un importante aporte glaciar desde la cordillera Blanca, que es la de mayor superficie del país.

El río abastece de agua a dos importantes irrigaciones, Chavimochic y Chinecas, la primera hacia el norte y la segunda hacia el sur. Así mismo también cuenta con algunas centrales hidroeléctricas, siendo la de Cañón del Pato, la de mayor generación de energía.

La principal infraestructura construida en el río, son las bocatomas de los proyectos Chavimochic, Chinecas y la de la Central Hidroeléctrica Cañón del Pato.

FIGURA 18.- VISTA DE LA UBICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE REGULACIÓN EN LA CUENCA DEL RIO SANTA



Fuente de la imagen: google earth, fecha de imagen 09/04/2013

FIGURA 19.- VISTA DE LA BOCATOMA LA HUACA (PROYECTO CHINECAS)



Fuente: google earth, fecha de imagen 16/02/2011

FIGURA 20.- VISTA DE LA BOCATOMA CHAVIMOCHIC (PROYECTO CHAVIMOCHIC)



Fuente: google earth, fecha de imagen 16/02/2011

El Proyecto Especial Chavimochic, abastece de agua a los valles de Chao (1991), Virú (1992) y Moche (1996) y terrenos ubicados en las intercuenas entre estos valles²¹. Actualmente está en desarrollo la tercera etapa del proyecto, que proporcionará aguas al valle de Chicama e incluye el reservorio de Palo Redondo. Su bocatoma tiene capacidad de derivación de 105 m³/s.

El Proyecto Especial Chincas, abastece de agua a los valles de Santa, Lacramarca y Nepeña y terrenos ubicados en las intercuenas entre estos valles²². El alcance del proyecto considera también el valle de Casma-Sechín. El proyecto cuenta con dos bocatoma La Huaca y La Víbora, ambas ubicadas en la margen izquierda y con capacidades de derivación de 35 y 12 m³/s respectivamente.

La central hidroeléctrica Cañón del Pato inició sus operaciones en abril de 1958, con una potencia de 50 MW. Actualmente cuenta con una potencia instalada de 256 MW²³. Las licencias de uso de aguapara esta central son hasta por 79 m³/s.

Los caudales del río se miden en la estación Condorcerro.

²¹ <http://www.chavimochic.gob.pe/portal/wfrmBienvenido.aspx>, visitada el 29/04/2015

²² <http://www.pechincas.gob.pe/website/>, visitada el 29/04/2015

²³ <http://www.duke-energy.com.pe/Operaciones/Paginas/CentralesHidroelectricas.aspx>, visitada el 29/04/2015

A continuación se presenta un balance con información al año 2011, con los volúmenes de agua otorgados como licencia de uso de agua, para los valles de Santa, Lacramarca, Nepeña, Guadalupito, Chao, Virú, Moche y tierras nuevas.

Dado que aún no se han completado los proyectos Chincas y Chavimochic, parte de esta disponibilidad está aún reservada para estos proyectos.

TABLA 26.- BALANCE HÍDRICO DEL RIO SANTA EN MMC

Descripción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Oferta	241,0	231,8	257,1	248,8	112,1	46,2	36,2	33,2	34,5	54,7	101,8	185,4
Demanda	42,9	35,4	34,5	29,4	28,2	21,08	19,1	20,25	29,3	39,2	46,1	50,5
S(+)/ D(-)	198,1	196,4	222,5	219,3	83,8	25,1	17,1	12,9	5,2	15,5	55,6	134,8

Elaboración propia

6.4.4. MOCHE

La cuenca del río Moche cuenta con dos fuentes de agua superficial, las propias del río Moche y las trasvasadas desde la cuenca del río Santa, como parte del Proyecto Chavimochic.

La cuenca del río Moche, es predominantemente agrícola. No cuenta con infraestructura de regulación, únicamente el trasvase de agua del río Santa.

TABLA 27.- BALANCE HÍDRICO DEL RIO MOCHE EN MMC

Descripción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Oferta	25,4	44,1	84,6	67,4	25,4	6,7	3,0	1,7	2,0	4,4	6,6	11,6
Demanda	14,4	12,2	12,3	12,5	12,0	10,7	10,1	15,0	18,1	18,9	20,2	16,6
S(+)/ D(-)	11,0	31,9	72,3	54,9	13,4	-4,0	-7,1	-13,3	-16,1	-14,5	-13,6	-5,0

(ANA, 2010)

6.4.5. CHICAMA

Este río tiene un régimen muy irregular, entre el periodo de avenidas y el estiaje. Este valle está comprendido dentro de la III Etapa del Proyecto Chavimochic. Esta cuenca es predominantemente agrícola.

TABLA 28.- BALANCE HÍDRICO DEL RIO CHICAMA EN MMC

Descripción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Oferta	54,15	128	201,5	152,2	61,1	23,4	13,8	8,7	7,18	10,22	101,8	185,4
Demanda	61,0	76,2	91,3	66,3	49,7	36,1	32,9	32,2	33,6	38,1	38,1	47,3
S(+)/ D(-)	-6,9	51,8	110,2	85,9	11,4	-12,7	-19,1	-23,5	-26,4	-27,9	63,7	138,1

(ANA, 2010)

6.5. AAA V JEQUETEPEQUE ZARUMILLA

En este ámbito ubicado al norte del Perú, se encuentran varios de los Proyectos Especiales ejecutados por el Estado, como son Puyango-Tumbes, Alto Piura, Chira-Piura, Olmos-Tinajones y Jequetepeque - Zaña. Estos proyectos cuentan con presas de regulación y trasvases de agua, que definitivamente han alterado las condiciones naturales de los ríos, en términos hidrológicos.

TABLA 29.- CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DE LOS PRINCIPALES RÍOS EN EL AAA V JEQUETEPEQUE ZARUMILLA

NOMBRE DEL RÍO	SUPERFICIE (km ²)	CAUDAL MEDIO (m ³ /s)	CAUDAL MAXIMO (m ³ /s)	CAUDAL MINIMO (m ³ /s)
Jequetepeque	3 935,43	27,61	321,46	0,15
Chancay Lambayeque	4 022,26	27,33	465,13	1,46
Piura	10 872,09	1 156,58	4 443,70	0,00
Chira	10 534,76	4 295,78	4 826,20	16,20
Tumbes	1 806,15	112,87	1 444,24	7,73

FUENTE: ANA

En la FIGURA 21, se muestra la ubicación de las cuatro cuencas seleccionadas en este ámbito: Jequetepeque, Chancay-Lambayeque, Chira-Piura y Tumbes.

FIGURA 21.- CUENCAS DE LOS RÍOS DESCRITOS EN LA AAA JZ



Elaboración propia

6.5.1. JEQUETEPEQUE

El río Jequetepeque, cuenta con un sistema de infraestructura que permite la regulación de las aguas de este río. En el año 1987 se concluyó las obras de construcción de la presa Gallito Ciego, la que se encuentra ubicada en el mismo cauce y cuenta con un volumen útil de 400 MMC.

DIAGNOSTICO SOBRE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN EL PERU (PRIMERA FASE)

Otra estructura importante ubicada en el cauce del río es la bocatoma del canal Talambo - Zaña, esta estructura hidráulica, está ubicada en el Río Jequetepeque, aproximadamente en la progresiva Km 32+340, permite captar las aguas del río y distribuir las hacia el Canal de Empalme Guadalupe y el Canal Talambo – Zaña. La Bocatoma ha sido diseñada para captar un caudal máximo de 86 m³/s. Esta estructura cuenta con un barraje que consiste en un vertedero libre de concreto de 77,37 m de ancho y 8,90 m de alto, una esclusa de limpia y otros componentes propios de estas estructuras.

Adicionalmente, en la presa se encuentra ubicada la central hidroeléctrica del mismo nombre. El caudal de diseño de esta central es de 40 m³/s y tiene una potencia instalada de 37,4 MW. Las aguas turbinadas por la central en hora punta, son descargadas hacia un reservorio de compensación de 705 000 m³ cuya finalidad es la regulación del agua para la irrigación del valle.

FIGURA 22.- VISTA DE LA UBICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE REGULACIÓN EN LA CUENCA DEL RIO JEQUETEPEQUE



Fuente: google earth, fecha de imagen 09/04/2013

FIGURA 23.- VISTA DE LA PRESA GALLITO CIEGO



Fuente: google earth, fecha de imagen 26/09/2013

FIGURA 24.- VISTA DE LA BOCATOMA TALAMBO ZAÑA



Fuente: google earth, fecha de imagen 26/09/2013

Para el registro de caudales en el río Jequetepeque, se cuenta con estaciones hidrométricas, operadas por el Proyecto Especial Jequetepeque-Zaña (PEJEZA), a

través de las cuales registran caudales aguas arriba y aguas abajo del embalse de Gallito Ciego.

El uso principal para el agua es agrícola. El balance que se presenta en la TABLA 30 no considera la regulación de la represa, mostrando un déficit entre los meses de julio a enero y un superávit entre los meses de febrero y junio.

TABLA 30.- BALANCE HÍDRICO DEL RIO JEQUETEPEQUE EN MMC

Descripción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Oferta	71.7	140.1	246.3	180.1	71.3	28.4	14.4	7.8	7.7	19.6	29.4	41.4
Demanda	116.5	107.4	106.3	79.3	37.9	18.9	16.4	23.4	25.7	31.2	63.9	102.4
S(+)/ D(-)	-44.8	32.7	140.0	100.8	33.4	9.5	-2.0	-15.6	-18.0	-11.6	-34.5	-61.0

(ANA, 2010)

6.5.2. CHANCAY LAMBAYEQUE

El río Chancay Lambayeque, recibe mediante una obra de trasvase, los aportes de agua de la cuenca media y alta del río Chotano y la parte alta de la cuenca del Conchano. Esta cuenca también cuenta con un sistema de regulación, almacenando agua en la represa de Tinajones.

En el año 1958, entró en operación el túnel Chotano, derivando agua de la cuenca del río Chotano, hacia el río Chancay. Durante los años 1960 y 1965, se construyó la represa de Tinajones y se puso en operación, regulando los aportes de las cuencas Chancay y Chotano. A fines del año 1982 se concluyó el túnel Conchano, completándose las obras que conformaron la 1^{ra} etapa del Sistema Tinajones.

La represa de Tinajones se encuentra fuera del cauce del río Chancay Lambayeque, y es llenado a través de un canal que conduce las aguas captadas en la bocatoma Raca Rumi sobre el río.

En la TABLA 31 se muestra el balance hídrico sin considerar la regulación de caudales in los trasvases, observando que en esas condiciones muestra un déficit durante casi todo el año.

TABLA 31.- BALANCE HÍDRICO DEL RIO CHANCAY LAMBAYEQUE EN MMC

Descripción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Oferta	65,7	101,5	173,6	163,9	96,8	48,0	28,5	18,6	21,2	40,9	44,7	49,0
Demanda	187,8	153,3	210,3	132,5	82,2	45,9	41,3	31,4	35,2	46,4	56,7	79,5
S(+)/ D(-)	-122,1	-51,8	-36,7	31,4	14,6	2,1	-12,8	-12,8	-14,0	-5,5	-12,0	-30,5

(ANA, 2010)

FIGURA 25.- VISTA DE LA UBICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE REGULACIÓN Y DERIVACIÓN EN LA CUENCA DEL RIO CHANCAY LAMBAYEQUE



Fuente: google earth, fecha de imagen 09/04/2013

FIGURA 26.- VISTA DE LA BOCATOMA RACA RUMI (PRESA TINAJONES)



Fuente: google earth, fecha de imagen 04/08/2013

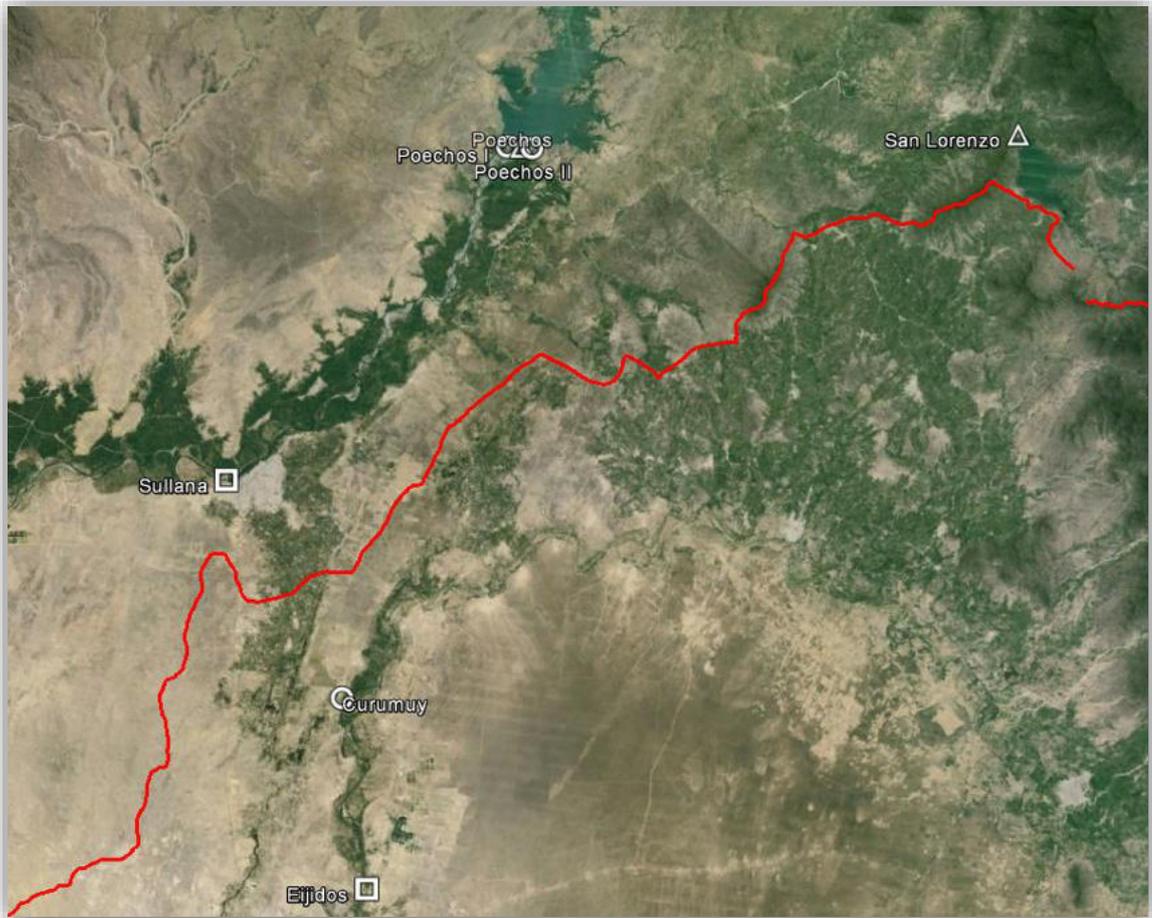
6.5.3. PIURA Y CHIRA

La cuenca del río Chira, es una cuenca transfronteriza, compartida con la República del Ecuador, donde el río es llamado Catamayo. Para este caso solo se analiza la parte de la cuenca ubicada en territorio Peruano.

En las cuencas de los ríos Chira y Piura se han desarrollado importantes obras de infraestructura hidráulica para el desarrollo de actividades agrícolas. Estas obras estuvieron a cargo del Proyecto Especial Chira-Piura. Las principales obras fueron:

- i) Derivación de las aguas del río Quiroz en 1954, mediante la toma Zamba hacia el reservorio san Lorenzo, mediante el canal Quiroz y el túnel Culqui.
- ii) Derivación de las aguas del río Chira en 1974 al río Piura, mediante una Planta de Bombeo en Montenegro, y en 1976 el Reservorio Poechos a través del canal de derivación.
- iii) Derivación de las aguas en 1985 de la Presa derivadora Los Ejidos hacia el Canal Principal “Biaggio Arbulú”.
- iv) Derivación de las aguas del río Chira al canal Norte, mediante la Presa Derivadora Sullana.

FIGURA 27.- VISTA DE LA UBICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE REGULACIÓN Y DERIVACIÓN EN LAS CUENCAS DE LOS RIOS CHIRA Y PIURA



Fuente: google earth, fecha de imagen 09/04/2013

FIGURA 28.- VISTA DE LA PRESA DERIVADORA SULLANA



Fuente: google earth, fecha de imagen 25/7/2014

6.5.4. TUMBES

La cuenca del río Tumbes, es una cuenca transfronteriza, compartida con la República del Ecuador, donde el río es denominado río Puyango. Para este caso solo se analiza la parte de la cuenca ubicada en territorio Peruano.

El río Tumbes no posee aún obras de infraestructura hidráulica, que regulen o deriven grandes cantidades de agua. Sin embargo sobre este río está previsto el desarrollo del Proyecto Especial Binacional Puyango Tumbes, el cuál consistirá en la derivación de agua del río Tumbes (sección Linda Chara en el río Puyangos, en territorio Ecuatoriano) hacia la quebrada Lajas en la cuenca del río Zarumilla, para su represamiento.

El PEBPT contempla la construcción de las siguientes obras:

- a. Construcción de la derivación y trasvase “Linda Chara”, sobre el río Puyango, en el distrito y provincia de Loja, en la República del Ecuador, hacia la quebrada Lajas, afluente del río Zarumilla.
- b. Construcción de la represa de Palmales y los canales de derivación Palmales-Tumbes (Perú) y Palmales-Arenillas (Ecuador).
- c. Represas locales, para almacenar agua de las quebradas que cruzan los canales derivadores.

6.6. EVALUACIÓN

De los ríos descritos en los ámbitos de las Autoridades Administrativas del Agua en la vertiente del Pacífico, se puede notar que la mayoría cuenta con obras de infraestructura hidráulica para el aprovechamiento de las aguas con fines de uso consuntivo y no consuntivo; esto principalmente se puede atribuir a varias situaciones:

1. El asentamiento de importantes ciudades.
2. Las condiciones propicias para el desarrollo de la agricultura (calidad de los suelos en los valles costeros y grandes extensiones de terreno en las intercuencas).
3. Accesibilidad
4. Potencial para desarrollo hidroenergético (altas pendientes en los tramos de los ríos en la cuenca alta)

El desarrollo de los grandes proyectos de infraestructura hidráulica, iniciado desde mediados del siglo pasado o antes, han tenido un enfoque orientado principalmente al máximos aprovechamiento del recurso hídrico.

En cuanto al desarrollo de infraestructura hidráulica, cada tipo de infraestructura tiene un efecto diferente; es así que en las cuencas descritas en el CAPITULO 6 se pueden encontrar los siguientes tipos de infraestructura:

- De regulación.- Compuesta por represas que almacenan agua de forma estacional u horaria.
- Trasvases de agua.- Obras que permiten conducir agua de una cuenca a otra, incrementando la cantidad de agua en esta última.
- Sin regulación.- No cuentan con obras de almacenamiento de agua.
- Bocatomas con barrajes.- Para la derivación del agua se cuenta estructuras transversales al cauce del río que permiten elevar el nivel de agua del río; estas representan una barrera artificial.
- Otras estructuras de derivación de agua.- Agrupa las obras de infraestructura hidráulica para derivar agua, pero que no cuentan con barrajes que cubran toda la sección transversal del río.

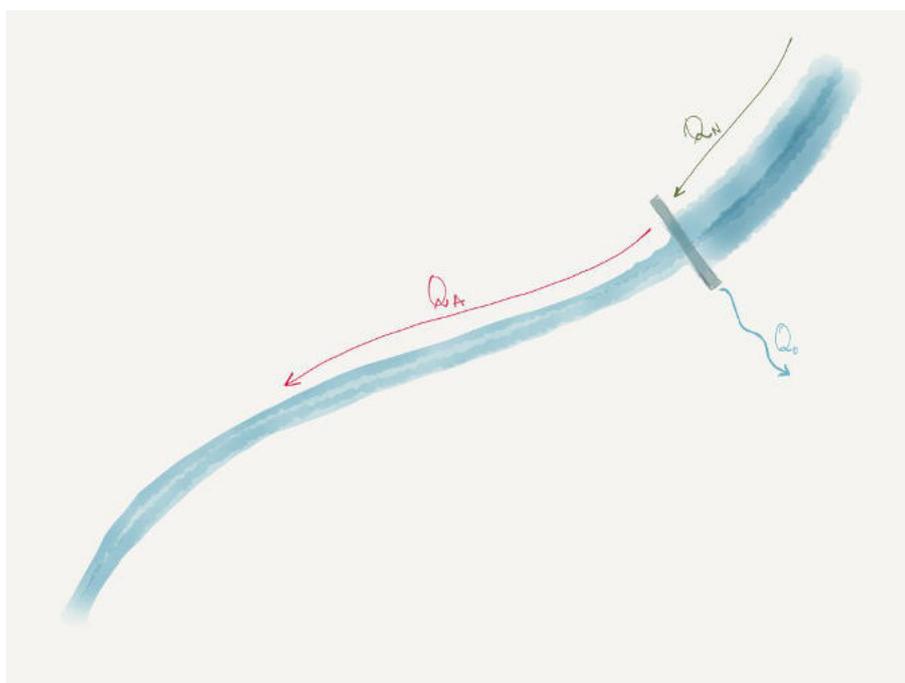
A continuación se ha tipificado en tres casos la configuración de esta infraestructura y cómo se producen alteraciones del régimen de caudales de un río, por efecto del aprovechamiento hídrico:

A. CASO I: Las derivación de agua mediante una bocatoma en un río sin regulación, genera la reducción del caudal del río aguas abajo y produce un efecto barrera por el barraje, cuando este atraviesa toda la sección transversal del río. Se describe en la FIGURA 29.

En este caso no hay regulación, por lo que el caudal que fluye hacia la bocatoma mantiene su régimen natural. En la bocatoma se derivan los caudales para su aprovechamiento consuntivo, modificándose la cantidad de agua hacia aguas abajo (Ver FIGURA 30). Además el barraje constituye una barrera para el paso de las especies acuáticas y puede tener un efecto sobre el flujo de sedimentos.

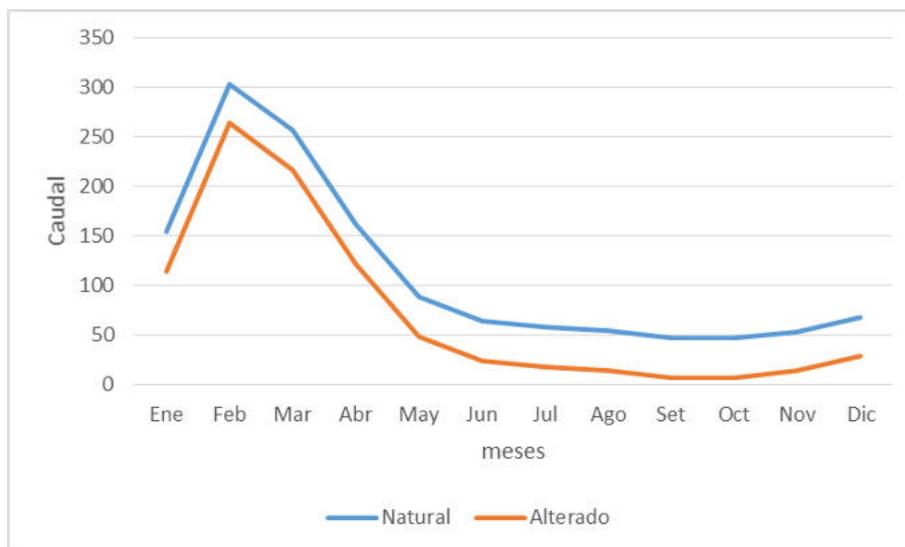
Este caso se observa en casi todas las cuencas.

FIGURA 29.- ILUSTRACIÓN DEL CASO I



Elaboración propia

FIGURA 30.- ALTERACIÓN DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO EN EL CASO I



Elaboración propia

- B. CASO II:** Una represa de regulación, altera la temporalidad de los caudales, produce un efecto barrera; altera la velocidad, profundidad y calidad del agua en el embalse e inunda zonas aledañas al cauce. Se describe en la FIGURA 31.

Una represa puede almacenar agua para regularla estacionalmente o diariamente, en ambos casos causa un efecto similar, modificando los caudales naturales, aguas abajo de la misma, principalmente reduciendo la cantidad de agua en el cauce durante el periodo de llenado e incrementando los caudales por encima de los caudales naturales durante el periodo de descarga (Ver FIGURA 32).

Además el dique de la represa constituye una barrera para el paso de las especies acuáticas, produce la inundación de las áreas colindantes al embalse, altera el flujo de sedimentos, puede alterar la calidad del agua, entre otros efectos.

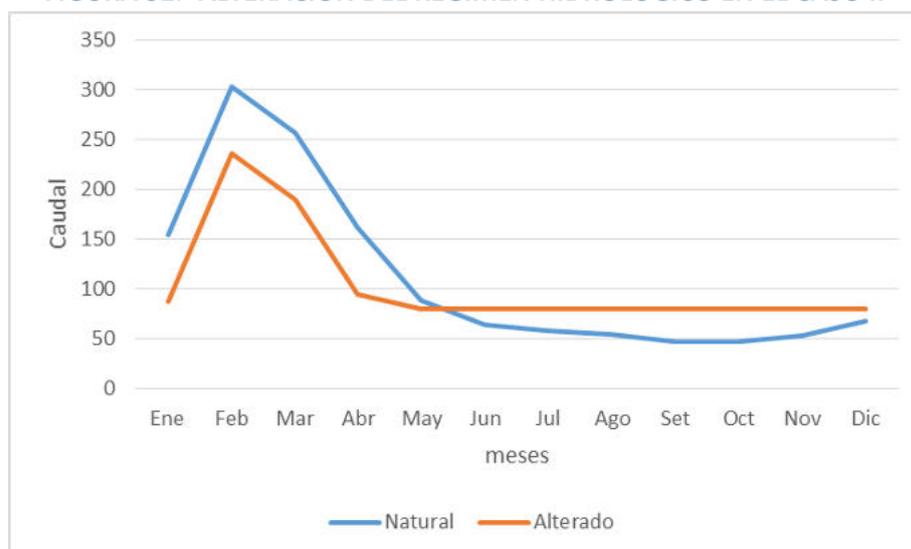
Este caso se observa en cuencas como Chira-Piura, Jequetepeque, Camaná y Chili.

FIGURA 31.- ILUSTRACIÓN DEL CASO II



Elaboración propia

FIGURA 32.- ALTERACIÓN DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO EN EL CASO II



Elaboración propia

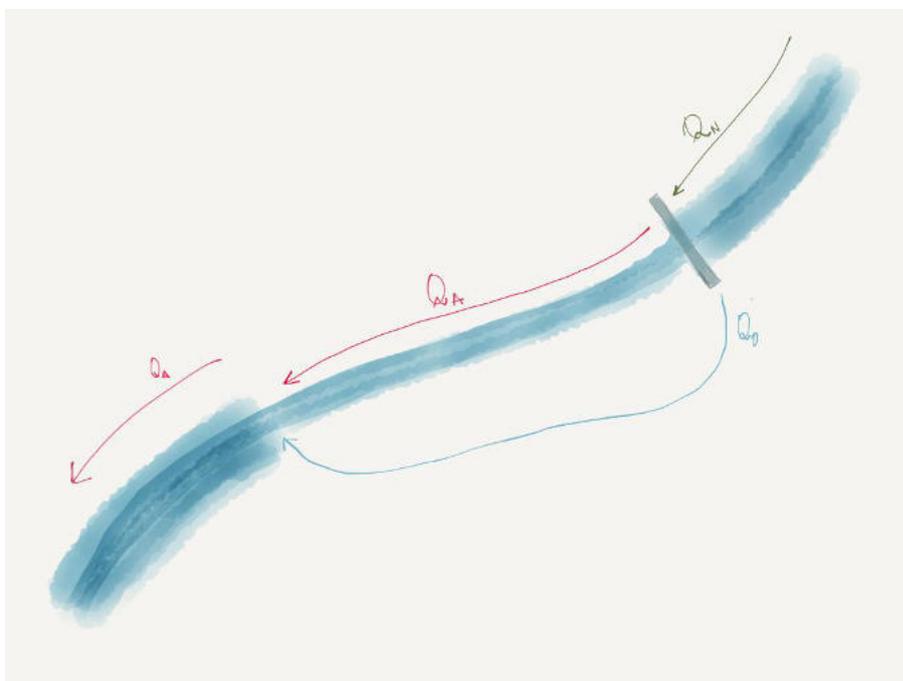
C. CASO III: La derivación y retorno del agua de un río, genera la reducción del caudal en un tramo del río, puede alterar el régimen horario luego del punto de retorno y la bocatoma produce un efecto barrera. Se describe en la FIGURA 33.

La desviación del agua en un tramo del río para su aprovechamiento no consuntivo, afecta el tramo del río entre la derivación y la descarga de retorno, reduciendo la cantidad de agua. Dependiendo de la forma de aprovechamiento del agua puede haber un efecto sobre la temporalidad de los caudales, p. ej.: en las centrales hidroeléctricas que necesitan generar mayor cantidad de energía en horas punta, acumulan el agua

durante el día, para incrementar el caudal descargado durante unas pocas horas al día, generando picos de caudal muy altos durante algunas horas cada día (Ver FIGURA 34).

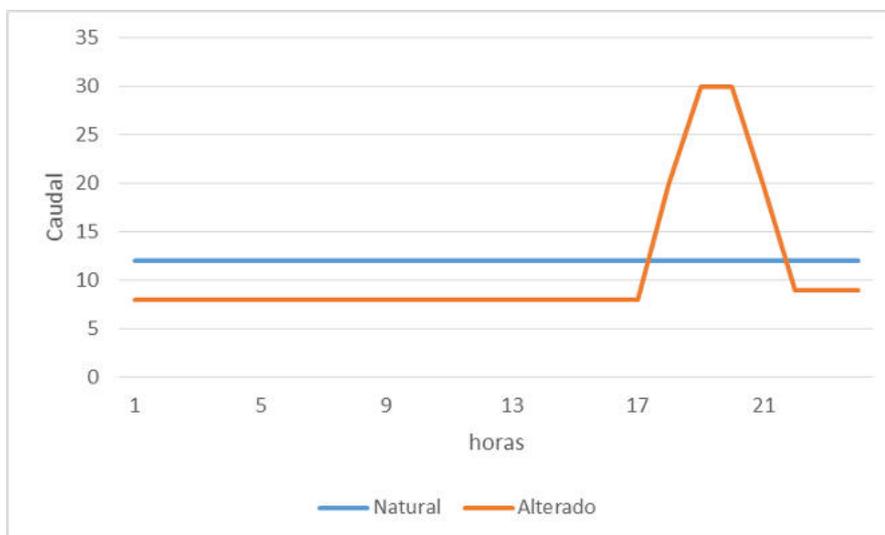
Este caso se observa en cuencas como Santa, Rímac, Cañete y Chili.

FIGURA 33.- ILUSTRACIÓN DEL CASO III



Elaboración propia

FIGURA 34.- ALTERACIÓN DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO EN EL CASO III



Elaboración propia

Los tres casos descritos muestran el tipo de alteraciones que generan los proyectos descritos en el presente capítulo, inclusive en algunas cuencas, estos tres casos se encuentran al mismo tiempo y combinados, lo que generan situaciones de alteración del régimen de caudales más complejas, como son el caso de las cuencas de Rímac y Chili.

En el caso de los trasvases, también se puede considerar una combinación de estos casos, ya que hay una reducción de caudales en la cuenca portante y un incremento en la receptora, incrementando sus caudales naturales.

Por otro lado, basados en el criterio de la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012, se realizó una evaluación respecto a la presión por el uso del agua. Conforme a la norma mexicana este indicador es la relación en porcentaje del volumen asignado más el concesionado entre la disponibilidad media anual por cuenca o acuífero. El nivel de presión se establece en función a los valores de la TABLA 32.

TABLA 32.- PRESIÓN DE USO

Presión de uso	Muy Alta	Alta	Media	Baja
	≥ 80%	≥ 40%	≥11 %	≤10 %

(Secretaría de Economía, 2012)

Para el caso de los ríos descritos, se consideró solamente la fuente de agua superficial, y las reservas de recursos hídricos vigentes. En la TABLA 33 se muestran los resultados obtenidos, observándose que de 17 ríos descritos, en 3 de ellos la presión de uso es muy alta, en 6 es alta y en 8 de ellos la presión es media y baja. En los casos en los que la presión de uso es mayor a 100%, es porque los datos consignados de demanda superan a la oferta estimada.

Lo descrito en este capítulo muestra que muchos ríos ya cuentan con alteraciones que deben haber causado impactos en sus respectivos ecosistemas acuáticos, mientras que otros aún no se encuentran muy alterados y sobre estos debería priorizarse la evaluación de caudales ecológicos.

Casualmente los ríos donde la presión es alta y muy alta, son aquellos donde hay mayor desarrollo de infraestructura hidráulica; lo cual es lógico, si consideramos que esta es necesaria para el aprovechamiento hídrico.

Otro aspecto importante es el referido a la conectividad longitudinal y lateral. Se ha identificado que existe una interrupción de la conectividad longitudinal, a través de las presas y barrajes ubicadas a lo largo de los ríos; en las cuales no se encuentra ningún tipo de estructura cuyo objetivo sea mantener esta conectividad.

De igual manera, otro aspecto identificado es la interrupción de la conectividad lateral, principalmente por la construcción de infraestructura de protección (diques y enrocados) para las áreas ocupadas para agricultura y asentamiento de las poblaciones, en las planicies de inundación de los ríos.

Los impactos sobre los ecosistemas producto de las alteraciones del régimen hidrológico, no se tratarán en el presente documento. Sin embargo, en una segunda fase se tratará de identificar cuáles fueron los impactos de la operación de muchos de estos proyectos, que algunos tienen más de 30 años de operación.

TABLA 33.- PRESIÓN DE USO DEL AGUA EN CUENCAS DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO

Cuenca	Descripción	Reserva	Total	Presión de uso (%)	Nivel de presión
Tambo	Oferta		1084.7	37	Media
	Demanda	122.01	401.1		
Camaná	Oferta		2362.9	8	Baja
	Demanda		189.1		
Ocoña	Oferta		2908.3	2	Baja
	Demanda		53.7		
Río Grande	Oferta		140.9	118	Muy Alta
	Demanda		166.6		
Ica	Oferta		569.0	148	Muy Alta
	Demanda		843.5		
Pisco	Oferta		941.6	43	Alta
	Demanda	120.00	403.5		
Cañete	Oferta		1757.1	19	Media
	Demanda		335.8		
Mala	Oferta		591.7	18	Media
	Demanda		107.0		
Chancay - Huaral	Oferta		590.9	40	Alta
	Demanda		234.6		
Pativilca	Oferta		1381.5	38	Media
	Demanda		531.2		
Huarmey	Oferta		184.9	18	Media
	Demanda		34.2		
Casma	Oferta		206.1	17	Media
	Demanda		34.2		
Santa	Oferta		2970.5	99	Muy Alta
	Demanda	2531.47	2927.4		
Moche	Oferta		364.9	47	Alta
	Demanda		173.0		
Chicama	Oferta		1174.1	51	Alta
	Demanda		602.8		
Jequetepeque	Oferta		954.5	76	Alta
	Demanda		729.3		
Chancay - Lambayeque	Oferta		1400.8	79	Alta
	Demanda		1102.5		

Elaboración propia

CAPITULO 7. METODOLOGÍAS

Una revisión global del estado presente de las metodologías de caudal ambiental reveló la existencia de 207 metodologías individuales, registradas en 44 países, en seis regiones del mundo (Tharme, 2003).

Estados Unidos ha estado al frente del desarrollo y aplicación de metodologías para prescribir caudales ambientales, usando el 37% del conjunto global de técnicas.

Arthington (2012) señala que las técnicas para la evaluación de los requerimientos de caudales ambientales van desde el simple uso de registros de variables hidrológicas para establecer caudales mínimos y de avenidas, hasta procesos de modelamientos sofisticados que relacionan cambios en las descargas de los ríos con las respuestas geomorfológicas y ecológicas a escala de especies, comunidades y ecosistemas.

Tharme (2003) agrupó las metodologías en seis categorías (hidrológicas, de índices hidráulicos, de simulación de hábitat, holísticas, combinadas y otras). A continuación en la TABLA 34 se presenta una tabla con la clasificación de las metodologías, basadas en la propuesta de dos autores.

TABLA 34.- CATEGORÍAS DE MÉTODOS PARA DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES AMBIENTALES

Categoría	Tharme (2003)	Dyson et al. (2003)
1	Hidrológica	Tablas de consulta
2	Índices hidráulicos	Análisis de escritorio
3	Simulación de hábitat	Modelización de hábitat
4	Holísticos	Análisis funcional
5	Combinados	
6	Otros	

Fuente: Arthington, 2012

7.1. MÉTODOS HIDROLÓGICOS

Estos métodos son métodos de escritorio y solo pueden ser empleados si existe una estación de medición con un periodo razonable de registros de caudales cerca al área de interés.

Estos constituyen la proporción más grande del número total de metodologías registradas (30%, seguida de cerca por metodologías de simulación de hábitat), con un total de 61 diferentes indicadores hidrológicos o técnicas aplicadas a la fecha (Tharme, 2003).

En la TABLA 35 se muestra un conjunto de estos métodos, los cuales son de fácil uso, y de costo mínimo; sin embargo, no son muy confiables para la estimación de umbrales ecológicos, ya que son métodos regionales, basados en una pequeña muestra de datos de un lugar en particular (Conservation Ontario, 2005).

TABLA 35.- RELACIÓN DE METODOS HIDROLÓGICOS

NEW ENGLAND AQUATIC BASEFLOW METHOD	60% DURATION FLOW METHOD
MEAN MONTHLY FLOW METHOD	10 % MEAN ANNUAL DISCHARGE METHOD
25 % MEAN ANNUAL FLOW METHOD	90 % EXCEEDED FLOW METHOD
HOPPE METHOD	NORTHERN PLAINS METHOD
LYON'S METHOD	TESSMAN METHOD
TENNANT METHOD	7 DAY X YEAR LOW FLOW (7QX) METHOD

Fuente: (Conservation Ontario, 2005)

Reiser *et al* (1989, citado por Tarme, 2003) resaltó que el segundo método más usado en Norte América es el de Tennant (Montana). Desde entonces, se ha convertido en el método más comúnmente aplicado en el mundo. Si bien superficialmente es un método con un enfoque estándar, el método desarrollado en Estados Unidos por Tennant (1976) y el US Fish and Wildlife Service, difiere de muchos otros métodos hidrológicos en la considerable colección de datos de hábitat, hidráulicos y biológicos que fue involucrada en su desarrollo.

A continuación se presenta una breve descripción de cada método, tomado del estudio “*Establishing Environmental Flow Requirements for Millhaven Creek*” (Conservation Ontario, 2005):

- **MÉTODO DE NEW ENGLAND AQUATIC BASEFLOW**

El caudal recomendado se basa en la mediana de los caudales medios mensuales de febrero, abril, mayo y agosto. Para los meses de octubre a febrero, se recomienda la mediana del caudal de febrero. Para los meses de marzo a mayo se recomienda la mediana de Abril/Mayo. Para los meses de junio a setiembre se recomienda la mediana de agosto.

- **MÉTODO DE NORTHERN PLAINS**

El caudal recomendado se basa en los caudales medios mensuales. El caudal recomendado es el caudal que excede el 90% del tiempo durante cada mes en particular.

- **MÉTODO DEL 60% DE DURACIÓN**

El flujo recomendado es el caudal que excede el 60% del tiempo durante todo el periodo de registro.

- **MÉTODO DEL 10 % DEL CAUDAL MEDIO ANUAL**

El caudal recomendado es el 10% del caudal medio anual.

- **MÉTODO DEL 25 % DEL CAUDAL MEDIO ANUAL**

El caudal recomendado es el 25% del caudal medio anual.

- **MÉTODO DEL 90 % DE EXCEDENCIA**

El flujo recomendado es el caudal que excede el 90% del tiempo durante todo el periodo de registro.

- **MÉTODO DE HOPPE**

Este método divide el caudal recomendado en tres categorías, desove, alimentación, cobertura y avenidas. La recomendación para el desove es el caudal que excede el 40% del tiempo durante el periodo de registro; la recomendación para alimentación y cobertura es el caudal que excede el 80% del tiempo y la recomendación para la descarga de avenida es el caudal que excede el 17% del tiempo.

- **MÉTODO DEL CAUDAL MEDIO MENSUAL**

Este método se basa en tratar de mantener el caudal promedio histórico a escala mensual. El caudal recomendado para cada mes es el caudal promedio mensual del periodo de registro. Si existe un registro histórico lo suficientemente extenso, esta sería una técnica preferida. Esta puede ser empleada por lo menos para mostrar los cambios en la cuenca.

- **MÉTODO DE TESSMAN**

Esta es una extensión del método de Tennant, y se basa en una combinación de caudales medios mensuales y caudal medio anual. Si el caudal medio mensual es mayor que el 40% del caudal medio anual, entonces la recomendación es el 40% del caudal medio mensual. Si el caudal medio mensual es menor que la media anual, entonces el caudal recomendado es el 40% de la media anual. Si el caudal medio mensual es menor al 40% del caudal medio anual, el caudal recomendado es el caudal medio mensual.

- **MÉTODO DE TENNANT**

Este método está basado en el caudal medio anual, y dividido en 8 categorías y dos estaciones. En la TABLA 36 se presenta de forma ordenada los criterios de este método.

Para octubre a marzo, el caudal recomendado para una descarga de avenidas de 48 horas es de 200% del caudal medio anual, las condiciones óptimas están entre 60 y 100% de la media anual, para condiciones sobresalientes al 40%, condiciones excelentes el 30%, condiciones buenas 20%, medias o de degradación el 10%, condiciones mínimas el 10%, condiciones de severa degradación menos del 10%.

De abril a setiembre, el caudal de descarga de avenidas es 200% de la media anual, para condiciones óptimas de 60 a 100%, condiciones sobresalientes 60%, condiciones excelentes el 50%, condiciones buenas el 40%, condiciones medias o de degradación el 30%, condiciones mínimas el 10%, y condiciones de degradación severa menos del 10%.

TABLA 36.- REGIMEN DE CAUDAL PARA PECES, RECREACIÓN Y RECURSOS AMBIENTALES RELACIONADOS

Descripción narrativa de los caudales*	Régimen de caudal base recomendado	
	Oct-Mar **	Abr-Set **
De avenida o máximo	200% del caudal medio anual	
Rango óptimo	60% - 100% del caudal medio anual	
Sobresaliente	40%	60%
Excelente	30%	50%
Bueno	20%	40%
Medio o degradante	10%	30%
Pobre o mínimo	10%	10%
Degradación severo	10 % del caudal medio anual a cero	

* Una descripción más apropiada de las condiciones generales del caudal para todos los parámetros listados se encuentran en el artículo científico (Tennat, 1976)

** Los periodos se basan en el comportamiento hidrológico en la zona donde fue desarrollado el método (Estados Unidos).

Fuente: (Tennat, 1976), traducción propia

- **MÉTODO DE CAUDAL BAJO 7 DÍAS X AÑO (7QX)**

Este método es más intensivo que los otros métodos, pero aún se basa en la misma base de información, que los otros métodos. Este método es usado extensivamente para estimar caudales bajos alrededor del mundo, pero no es el mejor método para estimar caudales bajos desde un punto de vista ecológico, al no tener una base científica para hacer eso. Ha sido usado primariamente para predecir, estadísticamente, la probabilidad

de tener la suficiente cantidad de agua en una corriente para diluir los efluentes tratados de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

La forma típica de predecir caudales $7QX$ (donde X es la longitud del tiempo de interés – 1 día, 3 días, 7 días, 30 días, etc.) es calcular un caudal para cada año de registro (el caudal mínimo promedio sobre la longitud del tiempo de interés) y ejecutar un análisis estadístico en estos datos.

7.2. MÉTODOS DE ÍNDICES HIDRÁULICOS

De las 23 metodologías hidráulicas reportadas, estas representan apenas el 11% del total global, la mayoría fue desarrollada para recomendar caudales para pesca de salmones de importancia económica en los 60s y 70s, según Stalnaker y Arnette y Tharme (1976, 1996, citados por Tharme, 2003), han sido sustituidas por metodologías de simulación de hábitat más sofisticadas en años recientes o absorbidas en metodologías holísticas (Tharme, 2003).

El método hidráulico más comúnmente aplicado mundialmente, y el tercero más usado en Norte América más de una década atrás, según Reiser *et al* (1989, citado por Tharme, 2003), es el método del perímetro mojado.

A continuación se describen tres métodos hidráulicos (Conservation Ontario, 2005).

- MÉTODO DEL TRANSECTO ÚNICO

Este método usa secciones transversales individuales, y asume que si hay una adecuada cobertura sobre los rápidos de la corriente, entonces hay una adecuada cantidad de agua para la supervivencia en otras áreas.

- MÉTODO DEL PERÍMETRO MOJADO

Este método toma secciones transversales y usa la ecuación de Manning para crear una relación elevación-descarga en el sitio. El método es generalmente preciso, pero debe ser confirmado y calibrado usando mediciones de campo. La finalidad del método es mantener la cobertura de agua sobre 60-70% del perímetro mojado de la sección transversal.

- MÉTODO DEL MODELO HIDRÁULICO

Un modelo hidráulico puede ser configurado para un tramo, para modelar una sección entera del río. Es similar a las metodologías antes descritas, pero esta toma un mayor número de secciones transversales a lo largo del cauce y crea un modelo tridimensional del sistema. El método es típicamente usado para la delimitación de áreas de inundación, pero en años recientes se ha empleado para modelar caudales bajos.

7.3. SIMULACIÓN DE HÁBITAT

Estos métodos consideran los cambios en el hábitat físico con la variación del caudal combinado con información sobre las preferencias de hábitat de especies para determinar la cantidad de hábitat disponible para un rango de caudales. La metodología más conocida y de mayor aplicación es el IFIM.

- INSTREAM FLOW INCREMENTAL METHODOLOGY - IFIM

Este es uno de los métodos más conocidos. Esta metodología fue desarrollada en los años 70 por científicos físicos y biológicos en el U.S. Fish and Wildlife Service.

IFIM está basado en el análisis del hábitat para organismos que viven en las corrientes, bajo tratamientos alternativos de manejo; y fue diseñada para cuantificar los impactos ambientales.

Esta metodología traslada la línea base hidrológica a una descripción del hábitat disponible o usable presente durante un periodo histórico. A partir de esta descripción, se identifican las mejoras e impactos resultantes de las propuestas de esquemas de aprovechamiento hídrico.

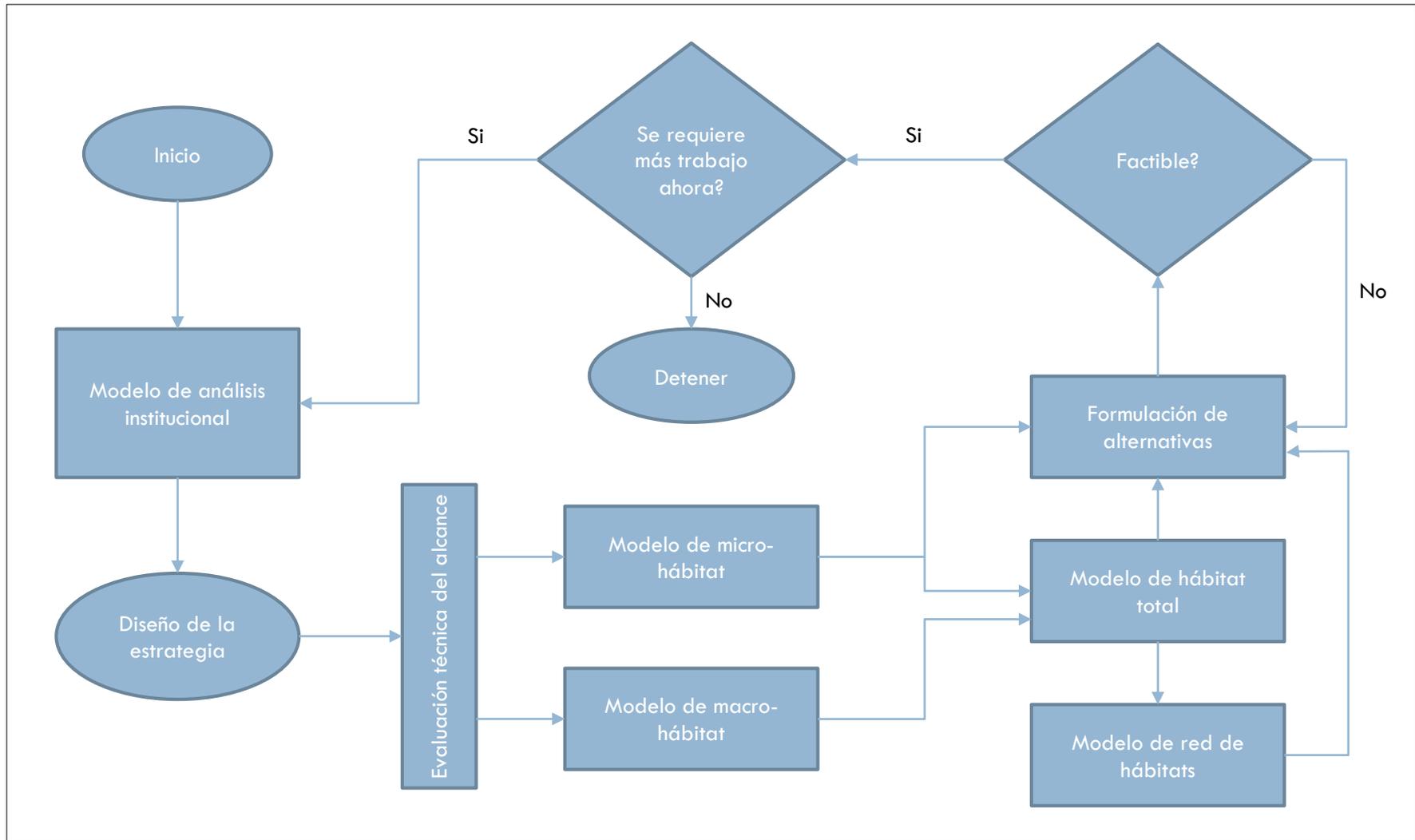
El IFIM se desarrolla en cinco fases secuenciales: identificación del problema, planeamiento del estudio, implementación del estudio, análisis de alternativas y solución del problema. Dentro de esta metodología general, el modelo de simulación está específicamente diseñado para calcular la cantidad de hábitat disponible para una determinada especie en función del caudal circulante.

El modelo de simulación de micro hábitat comúnmente empleado en el IFIM, es el PHABSIM. Sin embargo hay otros métodos empleados como el EVHA (Evaluation de l'habitat physique des poissons en rivière) desarrollado por el Lyon Laboratory of Quantitative Hydroecology del Cemagref o el RHABSIM (Riverine HABitat SIMulation) desarrollado por Thomas R. Payne and Associates.

El IFIM permite responder preguntas como: ¿Qué cantidad de hábitat está disponible el XX% del tiempo?, ¿Cuál es el valor medio del hábitat? ¿Qué podría pasar al hábitat disponible si el caudal se redujera en XX% en determinados meses?

En la FIGURA 35, se muestra un diagrama de flujo general del proceso del IFIM.

FIGURA 35.- VISIÓN GENERAL DEL IFIM



Fuente: (Stalnaker, et al., 1995), traducción propia

7.4. HOLÍSTICAS

Los enfoques holísticos a diferencia de otros métodos que se enfocan en un aspecto específico, como una especie de pez, una condición hidráulica o un porcentaje de un valor de caudal medio; este trata de considerar todo el ecosistema, usando toda la información disponible; incluso, hasta puede hacer uso de otros métodos.

- BUILDING BLOCK METHODOLOGY - BBM

Esta es una metodología desarrollada en Sudáfrica, tuvo su origen en dos grandes talleres de especialistas en evaluación de caudales ambientales, donde partes de este empezó evolucionando en la forma de los enfoques de “Cape Town” y “Skukuza” (King & O’Keeffe, 1989; Bruwer, 1991).

La metodología asume:

1. Los caudales son una característica normal de un río específico, no importa que tan extremos, variables o impredecibles puedan ser, son a los que las especies se encuentran adaptadas y a las que pueden sobrevivir. Por otro lado caudales que no son característicos de estos ríos constituyen alteraciones al ecosistema y pueden cambiar sus características.
2. La identificación de los componentes más importantes del régimen natural y su incorporación como parte del régimen de caudales modificado facilitaría el mantenimiento de la biota y el funcionamiento natural del río.
3. Cierta clase de caudales influyen la geomorfología del río más que otros. Identificar estos caudales y su incorporación en el régimen de caudales modificados ayudaría a mantener la estructura del cauce y la diversidad de biotopos físicos.

La metodología cuenta con tres fases:

1. Preparación del taller

Un conjunto estructurado de actividades es seguido para recolectar y mostrar la mejor información disponible en el río, para la consideración de los participantes en el taller. Las coordinaciones de las actividades toman lugar muy temprano en el proceso a través de una reunión de planificación BBM y actividades de seguimiento. A continuación se muestra la secuencia de actividades realizadas por los especialistas previo al taller:

- Nombramiento de un coordinador del estudio

- Determinación de la integridad presente de la zona de hábitat que podrían verse afectados por el desarrollo
- La celebración de la Reunión de Planificación
- Identificación de tramos y sitios representativos dentro del área de estudio
- Finalización de un levantamiento social en la zona de estudio
- Determinación de la importancia de la zona de estudio
- Determinación de la clase de gestión ecológica para el río en la zona de estudio
- Descripción del régimen de caudal virgen y diario
- Topografía y análisis hidráulico de las secciones transversales del cauce en cada sitio
- Evaluación de las características geomorfológicas del área de estudio
- Evaluación de los requerimientos pasados, presentes y futuros de la composición química del agua en el área de estudio
- Completación de las colectas biológicas en los puntos seleccionados en todo el área de estudio y de revisión de literatura
- Para ríos efímeros y sustrato de arena, análisis de la hidrogeología en cada sitio.

2. El taller

Cada Taller BBM involucra gestores de agua, ingenieros y científicos fluviales involucrados en la primera parte de la metodología. Un coordinador y facilitadores experimentados en BBM guían a los participantes hacia el consenso y un régimen de caudal ambiental para el río (Ver FIGURA 36). El taller consiste en cuatro sesiones principales.

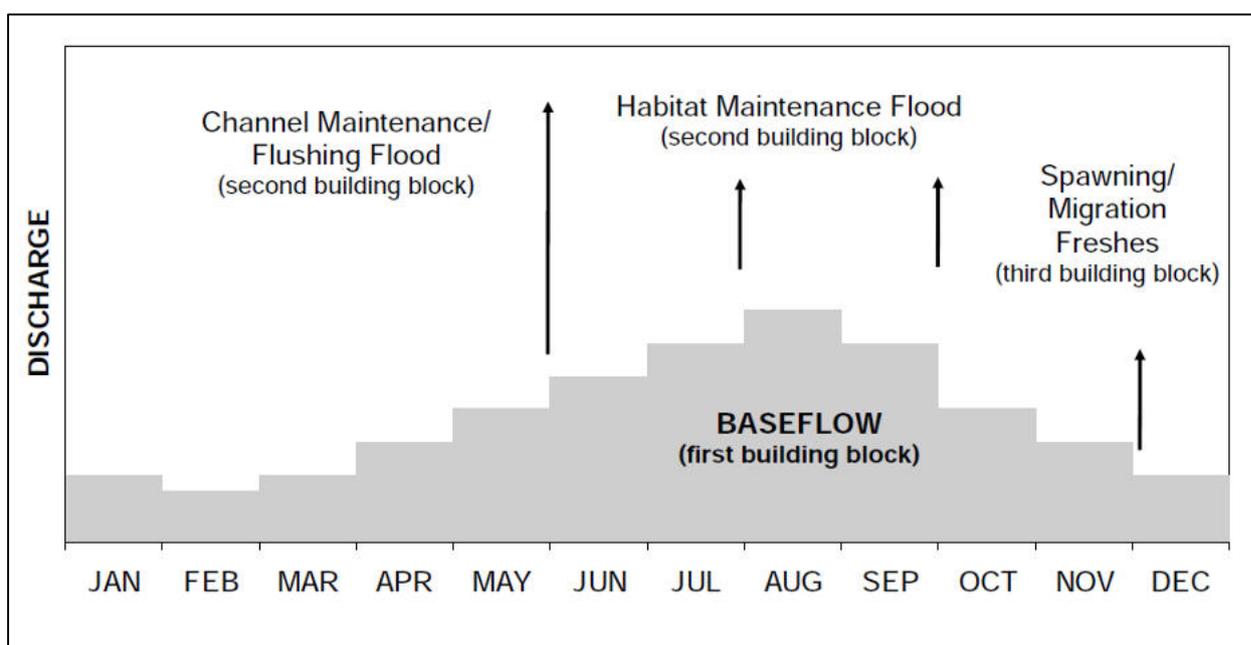
- Sesión 1: una visita a cada sitio por el equipo completo
- Sesión 2: el intercambio de información
- Sesión 3: recopilación de los requerimientos de caudal ambiental
- Sesión 4: la sesión final del taller

3. Vinculando las preocupaciones ambientales y de ingeniería

Fuera de la BBM, el régimen de flujo descrito en el taller se incorpora en un análisis de rendimiento hidrológico. Esto revela si el régimen de caudal ambiental se puede cumplir sin conflicto con potenciales usuarios consuntivos. Si existe la posibilidad de conflictos, pueden crearse escenarios por parte del equipo de BBM, sobre las posibles consecuencias para el funcionamiento del río de los flujos que no cumplen con el régimen de caudales ambientales.

Si se toma la decisión de no cubrir parte o la totalidad del régimen de caudales ambientales, los especialistas de BBM serán capaces de asesorar sobre la manera menos dañina para manejar los caudales remanentes en el río y diseñar un programa de monitoreo apropiado.

FIGURA 36.- REGIMEN DE CAUDAL AMBIENTAL HIPOTÉTICO CREADO USANDO BBM



Fuente: (Fresh Water Research Unit - University of Cape Town, 2008)

- **DOWNSTREAM RESPONSE TO IMPOSED FLOW TRANSFORMATIONS - DRIFT**

DRIFT tiene algunos atributos importantes (King, et al., 2004):

1. Provee un enfoque holístico para la evaluación de caudales ambientales, porque abarca todas las partes del régimen de caudales intra-anual e inter anual, y todas las partes vivientes y no vivientes del ecosistema fluvial desde la fuente hasta el mar.
2. Es un enfoque basado en escenarios, combinando datos, experiencias de un equipo multidisciplinario de científicos especialistas en ríos, y todo otro conocimiento local en el río en cuestión, para proveer predicciones de como el río puede cambiar con la manipulación de caudales.

3. Predice aún más los impactos sociales y económicos de estos cambios sobre el río en los usuarios de propiedades comunes que subsisten con los recursos del río.
4. Todos los datos y conocimientos utilizados en la compilación de los escenarios se almacenan en una base de datos que se puede utilizar para crear cualquier número de escenarios y que también actúa como un recurso en su propio derecho en las respuestas relacionadas con el caudal de los ríos.
5. Se basa en una creciente gama de software a la medida que permite que gran parte de la aplicación de DRIFT sea automatizada.

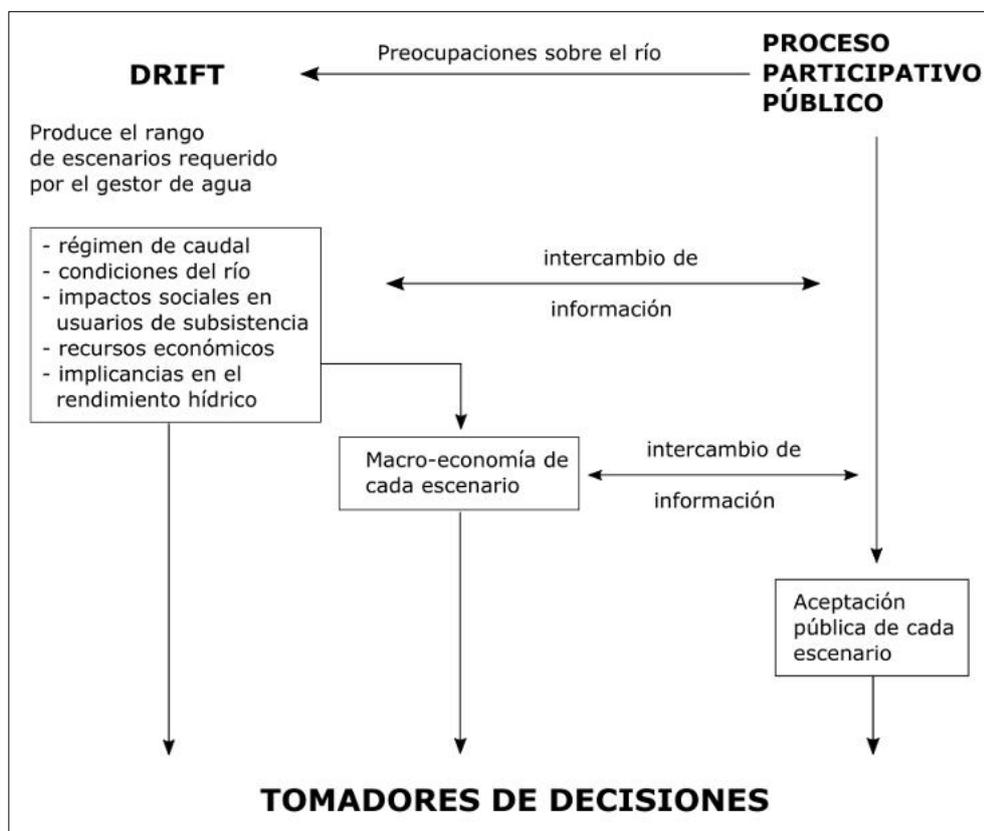
Al igual que otros enfoques holísticos, DRIFT es esencialmente una herramienta de gestión de datos, permitiendo que los datos y conocimientos sean utilizados de manera ventajosa en un proceso estructurado. Su fundamento central es que las distintas partes del régimen de flujo provocan diferentes respuestas del ecosistema fluvial.

Por lo tanto, la eliminación de una parte del régimen de caudal afectará el ecosistema de manera diferente que la eliminación de otra parte. Además, se supone que:

- Es posible identificar y aislar las diferentes partes del régimen de caudales de una larga serie histórica de datos hidrológicos diarios;
- es posible describir de forma aislada las probables consecuencias biofísicas de la eliminación parcial o total de cualquiera de estas partes;
- las partes del régimen de caudales y sus consecuencias vinculadas pueden ser re-combinadas de varias maneras, para describir la condición del río en cualquier régimen de caudal de interés (la parte biofísica del escenario);
- los impactos sociales pueden ser descritos para cada condición del río (la parte socioeconómica del escenario).

Dos actividades aliadas deben ocurrir en paralelo a la aplicación DRIFT pero fuera de ella (FIGURA 37). En primer lugar, una evaluación de las consecuencias más amplias de cada escenario de caudales se debe hacer para ilustrar los aspectos macroeconómicos relacionados, como la pérdida o ganancia de las tierras agrícolas de regadío, el potencial para el desarrollo industrial y urbano, y el costo del agua para los usuarios consuntivos. En segundo lugar, un proceso de participación pública (PPP) debe correr paralela a DRIFT lo largo de su aplicación.

FIGURA 37.- LA INTERDEPENDENCIA DE DRIFT, UN PROCESO DE PARTICIPACIÓN PÚBLICA Y LA EVALUACIÓN MACROECONÓMICA EN UNA PROPUESTA DE DESARROLLO HÍDRICO



Fuente: (King, et al., 2004), traducción propia

DRIFT consta de cuatro módulos principales (FIGURA 38).

1. El primero, o módulo biofísico, se utiliza para describir la naturaleza actual y el funcionamiento del ecosistema y el desarrollo de la capacidad predictiva de cómo éstas cambiarán bajo una gama de diferentes manipulaciones de caudal. Se crea una base de datos de los cambios relacionados con los caudales preestablecidos.
2. El segundo, o módulo sociológico, se utiliza para identificar a los usuarios de subsistencia en riesgo por las manipulaciones del caudal (la población en riesgo: PAR), y cuantificar sus vínculos con el río.
3. En el tercer módulo, las salidas de los dos primeros se unen para producir los escenarios biofísicos y de subsistencia.
4. El cuarto módulo aborda los costos de mitigación y compensación.

CAPITULO 8. EVALUACIÓN DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN LOS PRINCIPALES RIOS DEL PAIS

En este capítulo se describirá algunos casos conocidos antes de la promulgación de la Ley 29338; y las experiencias y observaciones de lo que actualmente sucede posterior a su promulgación.

8.1. RESOLUCIONES CENTALES HIDROELECTRICAS

Antes de la promulgación de la ley de Recursos Hídricos, solo se tiene como referencia algunos casos explícitos de determinación de caudales ecológicos relacionados directamente al otorgamiento de derechos de uso de agua son los casos del río Chira y el río Santa.

Los otros casos conocidos son aquellos en los que se estableció un caudal ecológico en los estudios de Impacto Ambiental de proyectos de irrigación o hidroenergéticos.

8.1.1. EMITIDOS DURANTE LA VIGENCIA DEL D.L. 17752

– CASO RIO CHIRA

Con la Resolución Administrativa N° 526-2005-GOB.REG.-PIURA-DRA-P-AACH-S.ATDRCH, del 26/09/2005, en su artículo segundo literal d), se resolvió que:

- “En las Estaciones de Otoño e Invierno cuando el caudal Ecológico mínimo es de 10 m³/seg, la Central Hidroeléctrica Poechos I dispone de 4 m³/seg por la salida de fondo del reservorio Poechos; pudiendo éste ser concentrado; y descargado entre las 18 y 23 horas hacia el cauce del río Chira.”
- “En las Estaciones de Verano y Primavera y supeditado a la disponibilidad de los Recursos Hídricos, el caudal Ecológico puede llegar hasta 30 m³/seg; para lo cual la Central Hidroeléctrica Poechos I puede disponer de hasta 24 m³/seg por la salida de fondo del reservorio Poechos; pudiendo éste ser continuo o concentrado y descargado entre las 18 y 23 horas hacia el cauce del río Chira.”

En este caso se observa como el régimen de caudal ecológico ha sido adecuado a la operación de la central hidroeléctrica ubicada en la presa Poechos; siendo conocido que estas rápidas variaciones horarias de caudal tienen impactos sobre los ecosistemas, ya que no reflejan el comportamiento natural del régimen hidrológico en este río.

Posteriormente con Resolución Ministerial N° 01497-2006-AG, del 15/12/2006, se estableció el caudal de 5 m³/s, como flujo mínimo que debe discurrir

permanentemente por el río Chira, en su tramo comprendido entre la salida del embalse Poechos y su desembocadura en el Océano Pacífico.

A pesar que esta última resolución establece una permanencia de caudal en el cauce, se conoce que aún se realiza la concentración de caudales por parte de la central hidroeléctrica.

– CASO RIO SANTA

Mediante Decreto Supremo N° 003-2009-AG del 08.FEB.2009, se otorgó la Reserva de Recursos Hídricos provenientes de la cuenca del río Santa para los Proyectos Especiales Chavimochic y Chinecas. En el artículo 2° de este dispositivo se precisa que el volumen del Proyecto Especial Chinecas (1 287,62 MMC), incluye el caudal ecológico para el tramo comprendido entre la bocatoma Condorcerro y desembocadura al mar, el mismo que no deberá ser menor a un caudal continuo de 5 m³/s, equivalente a 157,68 MMC anuales.

Así mismo la Central Hidroeléctrica Cañón del Pato cuenta con un caudal ecológico establecido en su Estudio de Impacto Ambiental aprobado con Resolución Directoral N° 424-2001-EM-DGAA, de 8 m³/s para el tramo comprendido entre la bocatoma y la descarga de aguas turbinadas de la C.H. Cañón del Pato.

– CASO RIO APURÍMAC

Este caso está ligado al desarrollo del Proyecto Majes II y la descripción presentada ha sido tomada de Del Castillo & Llerena (2012).

El criterio utilizado en el Estudio de “Actualización de Impacto Ambiental y de Gestión Ambiental de la Represa Angostura”, elaborado por ECSA Ingenieros (en el año 2006), es de 10% del caudal medio anual, es decir 1.14 m³/s, en base a una serie de datos hidrológicos de más de 50 años. Este estudio fue aprobado mediante la Resolución Gerencial N° 021-06-INRENA-OGATEIRN, de fecha 01.MAR.2006, por la Oficina de Gestión Ambiental Transectorial, Evaluación e Información de Recursos Naturales (OGATEIRN) del Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) del Ministerio de Agricultura.

Por otro lado en ejecución de una sentencia judicial, en el año 2010 se elaboró el estudio “Confrontación de Oferta y Demanda de la Cuenca del Apurímac al Rio Salado”, equivalente a un estudio de balance hídrico, elaborado por la empresa Agua y Agro Asesores Asociados S.A.C., empleando un criterio hidráulico y la trucha como especie referente, propone un caudal ecológico de 1.374 m³/s; este estudio fue aprobado por Resolución Jefatural N° 507-2010-ANA de la Autoridad Nacional del Agua.

Asimismo, también en ejecución de la sentencia anteriormente mencionada, mediante el “Estudio de Impacto Ambiental de la Represa de Angostura y de Gestión Ambiental a Nivel Definitivo”, elaborado por CESEL S.A. utilizando un método holístico, aprobado por el órgano ambiental competente, la Dirección General de Asuntos Ambientales Agrarios del Ministerio de Agricultura, mediante Resolución General N° 049-10-AG-DVM-DGAA, del 16.JUL.2010, establece entre otros aspectos un caudal ecológico de 2.40 m³/s.

La diferencia de los valores caudales ecológicos mencionados anteriormente, se sustentan en diferentes criterios o métodos empleados, pero todos ellos (1,14; 1,374; 2,40 m³/s) fueron aprobados por órganos competentes, adscritos al Ministerio de Agricultura.

8.1.2. EMITIDOS DURANTE LA VIGENCIA DE LA LEY 29338

Desde la emisión de la Ley de Recursos Hídricos, se vuelve un requerimiento legal asegurar el caudal ecológico, antes del otorgamiento de un derecho de uso de agua.

En este sentido, se observa como dentro de los procedimientos de otorgamiento de derechos de uso de agua, se incluyen en los estudios que acompañan las solicitudes, estudios o cálculos para la determinación del caudal ecológico.

Durante estos años, diferentes estudios de caudal ecológico ingresaron a la institución como parte de diferentes procedimientos: i) otorgamiento de derechos de uso de agua, ii) opinión vinculante de instrumentos de gestión ambiental y iii) aprobación de estudios de caudal ecológico.

La falta de ordenamiento de estos trámites y la falta de comunicación entre las direcciones de línea generó contradicciones entre los pronunciamientos de ANA. Produciéndose situaciones en las que se emitieron opiniones diferentes para el mismo proyecto, o para el mismo proyecto el administrado proponía caudales ecológicos diferentes en cada trámite. Esto se fue corrigiendo en el último año (2015), mediante una coordinación más activa entre las tres direcciones de línea involucradas (DGCRH, DARH y DCPRH); y también a nivel normativo, mediante la aprobación mediante Resolución Jefatural N° 007-2015-ANA del Reglamento de Procedimientos Administrativos para el Otorgamiento de Derechos de Uso de Agua y de Autorización de Ejecución de Obras en Fuentes Naturales, y la Promulgación de la Ley N° 30327 de la Promoción de las Inversiones para el Crecimiento económico y el Desarrollo Sostenible.

La mayor cantidad de estudios presentados corresponden a proyectos de centrales hidroeléctricas; principalmente para la emisión de opinión favorable a sus

instrumentos de gestión ambiental y aprobación de estudios de aprovechamiento hídrico.

Desde el 2009, solo un proyecto cuenta con Licencia de Uso de Agua, donde explícitamente se establece un caudal ecológico; y corresponde a la Central Hidroeléctrica El Platanal. El caudal ecológico determinado fue de 1,0 m³/s.

La mayoría de los estudios presentados han realizado sus cálculos empleando el 10% del caudal medio anual y en algunos casos han empleado métodos de simulación de hábitat. En el primer caso los métodos no consideran aspectos biológicos y en el segundo solamente se enfocan en una especie de pez; en ninguno de los casos su enfoque es hacia el ecosistema.

En el año 2012, como resultado de reuniones de trabajo y ante la presión de dar trámite a un gran número de expedientes acumulados, donde se requería emitir opinión sobre las propuestas de caudal ecológico, se elaboró el siguiente criterio:

- Para cursos de agua con caudales medios anuales menores a 20 m³/s, el caudal ecológico será como mínimo el 10% del caudal medio mensual para la época de avenidas, y para la época de estiaje será de un 15% del caudal medio mensual.
- Para cursos de agua con caudales medios anuales iguales o mayores a 20 m³/s y menores o iguales a 50 m³/s, el caudal ecológico se determinará como porcentaje del caudal medio mensual siendo este del 10% para la época de avenidas, y para la época de estiaje será de un 15% del caudal medio mensual.
- Para cursos de agua con caudales medios anuales mayores a 50 m³/s, el caudal ecológico corresponderá al 10% del caudal medio mensual para todos los meses del año.

Este criterio fue sustentado mediante Informe Técnico N° 023-2012-ANA-DCPRH-ERH-SUP-GPT, y comunicado a las direcciones de línea mediante Memorándum Múltiple N° 018-2012-ANA-DCPRH-ERH-SUP, en julio de 2012.

Sin embargo, este criterio como muchos métodos hidrológicos, carecía de un sustento que vincule los aspectos biológicos. En tal sentido, su empleo requería mucho criterio por parte del evaluador, ya que su uso en situaciones donde se encontraran ecosistemas o especies de valor, no podría ser justificado.

Por lo que, basado en el Informe Técnico N° 015-2014-ANA-DCPRH-ERH-CLI/FCC, mediante Memorándum Múltiple N° 025-2014-ANA-DCPRH/ERH, de agosto de 2014, se recomendó no aplicar la metodología provisional en aquellos casos en los que existan ecosistemas de alto valor ambiental, social, económico y/o cultural para la población.

Un aspecto observado es que en los casos en los que se empleó métodos de simulación de hábitat, los valores obtenidos fueron, en muchos casos, menores al 10% de la media anual. En algunos casos se observaron propuestas que representaban el 1% del caudal medio anual; que si bien esto no es un indicador que permita comparar las metodologías, si permite ver que las metodologías pueden dar como resultados valores muy diferentes entre sí.

Mientras que Tennat (1976), señalaba que con el 10% del caudal medio anual los ecosistemas se degradaban; los resultados de otras metodologías señalarían que valores menores si son factibles. Claro está, que estas comparaciones solo podían hacerse previa evaluación de la aplicación de estos métodos en los estudios presentados.

Por ejemplo, en los estudios realizados mediante métodos de simulación del hábitat, en algunos estudios se pudo detectar una falta de rigurosidad al momento de aplicar el método. Principalmente en la aplicación de estos métodos no se realizó un análisis previo sobre la viabilidad de su empleo. Desde la caracterización física del micro-hábitat hasta la determinación de las curvas de preferencia de las especies seleccionadas, presentaron múltiples deficiencias. Además, la interpretación errónea de los resultados, ha generado que muchos proyectos presenten valores de caudal ecológico relativamente bajos con respecto a los valores medios mensuales históricos. Esto se puede observar en los informes técnicos de revisión de estos estudios elaborados por los especialistas de la ANA.

Otro aspecto importante para el desarrollo de los estudios de caudal ecológico, está relacionado con la definición del área de influencia de los proyectos y que definen el alcance de los mismos. En el caso de los proyectos hidro-energéticos se han presentado dos tipos de centrales: las de paso y las de pie de presa. En el caso de las centrales de paso el área de estudio se ha establecido en el tramo del río entre la derivación y retorno del agua al cauce natural; mientras que en el de pie de presa en un corto tramo aguas arriba y aguas abajo de la presa.

En ambos casos esta definición del área de influencia del proyecto se torna insuficiente para una evaluación integral de los impactos del proyecto sobre el ecosistema. No se suele evaluar el impacto hacia aguas arriba de la presa, por efecto del embalse generado, ni el impacto hacia aguas abajo producto de la generación de energía en hora punta (aguas abajo de la descarga de las centrales de paso o de las centrales de pie de presa); incluso no se evalúa los efectos sobre otros ecosistemas como los humedales y ecosistemas costeros, que requieren de agua dulce y nutrientes.

En vista a estos defectos encontrados es que actualmente se están desarrollando lineamientos para la elaboración de caudales ecológicos, donde se busca establecer el contenido que deben tener los estudios de caudal ecológicos,

basados en un conocimiento mínimos de los procesos físico, químicos y biológicos en los ríos.

Finalmente también es importante señalar, que como resultado de múltiples reuniones de trabajo, se ha concluido que existe poco conocimiento sobre lo que implica el caudal ecológico. Por los privados, en la mayoría de los casos, es visto como una restricción para el desarrollo de sus proyectos y desarrollan sus estudios por ser necesarios para determinar la disponibilidad hídrica, buscando siempre minimizar su valor; y por otro lado también hay desconocimiento por aquellos responsables de emitir opinión para la aprobación de estos estudios, por lo que muchas veces han sido aprobados a pesar de las deficiencias de los estudios.

CAPITULO 9. LECCIONES APRENDIDAS INTERNACIONALMENTE

En el estudio elaborado por Hirji y Davis (2009) para el Banco Mundial, se señala que una de las lecciones claves es el alto costo financiero, social, en la reputación y político asociado al no comprometerse (o hacerlo tarde) con una completa evaluación de caudales ambientales cuando los proyectos se están preparando. La evidencia, aunque limitada, es que el costo de conducir una evaluación de caudales ambientales para nuevos desarrollos de infraestructura es usualmente es bajo, mientras que el costo de reequipar la infraestructura existente para incrementar la capacidad y proveer la flexibilidad para los caudales ambientales puede ser muy alto.

Así mismo, consideran como otra lección importante el vínculo crítico entre el caudal ambiental y los medios de vida de las comunidades ribereñas.

A partir de 17 casos de estudio que fueron seleccionados para un análisis en profundidad se identificaron las lecciones de incorporar los caudales ambientales en las políticas de recursos hídricos, planes de cuencas, nuevos proyectos de infraestructura y de rehabilitación y reoperación de infraestructura existente. El análisis incluyó 8 casos que fueron apoyados por el Banco Mundial (Hirji & Davis, 2009).

9.1. INCLUSIÓN DE CAUDALES AMBIENTALES EN LAS POLÍTICAS DE RECURSOS HÍDRICOS

Del análisis de cinco casos de estudio de políticas encontraron que la inclusión de los caudales ambientales en las políticas puede proveer de lo siguiente:

- Sustento legal para asignación de agua al medio ambiente
- Inclusión de provisiones de agua para el medio ambiente en los planes de recursos hídricos de cuenca
- Evaluación de todas las partes relevantes del ciclo del agua cuando se realizan evaluaciones de caudales ambientales
- Un método o métodos para establecer objetivos ambientales en los planes de cuencas
- Atención, en ambos, recuperación sistemas con sobreasignación de agua y protección de sistemas no estresados.
- Requerimientos claros para el involucramiento de los grupos de interesados.
- Una autoridad independiente para auditar su implementación.

- Un mecanismo para voltear términos cargados de valores en procedimientos operativos.

9.2. INCLUSIÓN DE CAUDALES AMBIENTALES EN LAS POLÍTICAS DE RECURSOS HÍDRICOS

Muchas lecciones emergieron de análisis de cuatro planes de recursos hídricos de cuencas:

- Reconocimiento del caudal ambiental en la legislación y políticas de recursos hídricos provee importante respaldo para incluir el caudal ambiental en los planes de cuencas.
- Hay una necesidad de demostrar los beneficios de implementar la asignación de agua para el medio ambiente luego que los planes se han implementado.
- El término “caudal ambiental” puede ser contraproducente si no se ha explicado en una etapa temprana.
- Métodos participativos necesitan ser adaptados para encajar con la capacidad de los grupos interesados.
- Un rango de técnicas de evaluación de caudales ambientales es necesario para encajar con diferentes circunstancias.
- El monitoreo ecológico es esencial para proveer información para la gestión adaptativa.

9.3. INCLUSION DE CAUDALES AMBIENTALES EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA

Cuatro nuevas presas y cuatro proyectos de restauración fueron revisados por los investigadores para obtener las lecciones en evaluación e implementación de caudales ambientales.

- Mejoras ingenieriles usualmente tienen que combinar con cambios en las operaciones para proveer el volumen de agua necesario para restauraciones mayores en el ecosistema.
- Inclusión de caudales ambientales en políticas de recursos hídricos simplifica la aplicación de evaluaciones de caudales ambientales a nivel de proyecto.
- Resultados ambientales necesitan ser vinculados de cerca con los resultados sociales y económicos.
- Las evaluaciones de caudales ambientales deberían ser conducidas para todos los componentes del ciclo hidrológico.

- Profesionales en recursos hídricos entrenados de forma tradicional pueden encontrar difícil de comprender conceptos de caudales ambientales.
- Planes de recursos hídricos proveen un punto de referencia para la asignación de agua durante la evaluación del proyecto.
- Un monitoreo activo es necesario para reforzar las decisiones de asignación de caudales y emprender una gestión adaptativa.
- Es importante presentar la información en términos que sean comprensibles para los tomadores de decisiones.
- Estudios económicos pueden dar soporte a los argumentos para la asignación de agua aguas abajo.
- Las evaluaciones de caudales ambientales aún no se integran plenamente dentro de los estudios de impacto ambiental.
- El costo de conducir evaluaciones de caudales ecológicos constituye una fracción pequeña del costo del proyecto.
- Los estudios de impacto ambiental no siempre han o adecuadamente identificado asuntos asociados con las provisiones de agua aguas abajo.

CAPITULO 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presentan algunas conclusiones obtenidas a partir de lo descrito en este documento y algunas recomendaciones para continuar el trabajo de establecer los caudales ecológicos en el país.

10.1. CONCLUSIONES

1. El desarrollo de infraestructura hidráulica en los ríos de la costa, donde se han implementado las grandes irrigaciones, han estado enfocadas principalmente al aprovechamiento del recurso hídrico y por lo general no consideraron en su desarrollo, aspectos sobre conservación de ecosistemas, que se hayan traducido en la determinación de un caudal ecológico. Esto se evidencia, en los balances hídricos donde no hay un componente de caudal ecológico.
2. El caudal ecológico es introducido en la LRH, a partir de la promulgación de esta en el año 2009; sin embargo existen antecedentes en ríos como Chira y Santa, donde se establecieron caudales ecológicos con anterioridad a la promulgación de la Ley de Recursos Hídricos; sin embargo estos no estuvieron considerados en el proyecto desde su inicio.
3. Para cada tipo de aprovechamiento hídrico se genera un tipo de impacto. Es así que a medida que en un río se encuentra más de un tipo de aprovechamiento, los impactos se van acumulando y complejizando. Es así que tenemos cuencas como el Chili, Rímac y Chira-Piura, donde el aprovechamiento hídrico es más intensivo y por lo tanto las alteraciones al régimen hídrico son más complejas; y por otro lado cuencas como Ocoña donde la presión aún es baja y no se observan alteraciones significativas en el régimen hidrológico.
4. La conectividad es otro impacto a resaltar en las cuencas donde la presión es muy alta y presentan mayor desarrollo de infraestructura. En muchos ríos se encuentran bocatomas, algunas con barrajes fijos a lo ancho de todo el cauce, las cuales funcionan como barreras; así mismo, también se evidencia una discontinuidad en la conectividad lateral (con las planicies de inundación), principalmente por restringir el cauce del río mediante obras de defensa ribereña (diques y enrocados) y el aprovechamiento de las áreas de las planicies de inundación para la agricultura y del asentamiento de la población.
5. Para los nuevos emprendimientos de proyectos hidráulicos, principalmente hidroeléctricas, los titulares de estos proyectos, en aplicación de la Ley de Recursos Hídricos, han propuesto caudales ecológicos mediante diferentes metodologías, con

la finalidad de determinar la disponibilidad hídrica para sus proyectos; sin embargo, la mayoría de estos estudios contienen una serie de deficiencias, que van desde la carencia de objetivos específicos definidos para el caudal ecológico hasta la incorrecta aplicación de los métodos e interpretación de los resultados.

10.2. RECOMENDACIONES

1. Es importante dar mayor impulso a generar conocimiento sobre los ecosistemas y su relación con el régimen natural de caudales, de lo contrario no será posible cumplir con los objetivos del caudal ecológico definidos en la LRH.
2. Para tal efecto, será necesario crear un espacio de coordinación multisectorial y académico, en la que también puedan participar la sociedad civil y sector privado, que permita consolidar el conocimiento existente, desarrollar nuevos conocimientos, planificar e implementar actividades que nos permitan determinar los caudales ecológicos conforme lo señala la LRH.
3. Es necesario promover la capacitación de los profesionales, no solo de la ANA, sino también de los sectores privados, dado el poco conocimiento generalizado sobre esta temática.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA Y CITADA

- ANA, 2010. *Recursos Hídricos en el Perú*. Primera ed. Lima: Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos.
- ANA, 2011. *Evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Chancay-Huaral*, Lima: Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos.
- Arthington, A., 2012. *Environmental Flows (Saving Rivers in the Third Millenium)*. California: University of California Press.
- Auble, G., Friedman, J. & Scott, M., 1994. Relating riparian vegetation to present and future streamflows. *Ecological Applications*, Issue 4, pp. 544-554.
- Bogan, A., 1993. Freshwater: bivalve extintions (Mollusca: Unionida): a search for causes. *American Zoologist*, Issue 33, pp. 599-609.
- Boon, P. & Raven, P. eds., 2012. *River Conservation and Management*. Chichester: Wiley-Blackwell.
- Bren, L., 1992. Tree invasion of an intermittent wetland in relation to changes in the flooding frequency of the River Murray, Australia. *Australian Journal of Ecology*, Issue 17, pp. 395-408.
- Bruwer, C. (., 1991. *Flow Requirements of Kruger National Park Rivers*. Department of Water Affairs and Forestry, Technical Report TR1 49, Pretoria: Department of Water Affairs and Forestry.
- Bunn, S. & Arthington, A., 2002. Basic Principles and Ecological Consequences of Altered Flow Regimes for Aquatic Biodiversity. *Environmental Management*, 30(4), pp. 492-507.
- Bush, D. & Smith, S., 1995. Mechanism associated with decline of woody species in riparian ecosystems of the Southwestern US. *Ecological Monographs*, Issue 65, pp. 347-370.
- Chien, N., 1985. Changes in river regime after the construction of upstream reservoirs. *Earth Surface Processes and Landforms*, Issue 10, pp. 143-159.
- CONAGUA, 2012. *NORMA MEXICANA NMX-AA-159-SCFI-2012 - Que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas*, D.F.: CONAGUA.
- Connor, W., Gosselink, J. & Parrondo, R., 1981. Comparison of the vegetation of three Louisiana swamp sites with different flooding regimes. *American Journal of Botany*, Issue 68, pp. 320-331.
- Conservation Ontario, 2005. *Establishing Environmental Flow Requirements for Millhaven Creek*, Ontario: Conservation Ontario.
- Copp, G., 1989. The habitat diversity and fish reproductive function of floodplain ecosystems. *Environmental Biology of Fishes*, Issue 26, pp. 1-27.
- Cushman, R., 1985. Review of ecological effects of rapidly varying flows downstream from hydroelectric facilities. *North American Journal of Fisheries Management*, Issue 5, pp. 330-339.
- Daniels, R., 1960. Entrenchment of the willow drainage ditch, Harrison County, Iowa. *American Journal of Science*, Issue 258, pp. 161-176.
- Del Castillo, L. & Llerena, C., 2012. *Análisis del marco legal e institucional sobre los caudales ecológicos/ambientales en el Perú*, Quito: UICN.

Duncan, R., 1993. Flood disturbance and the coexistence of species in a lowland podcarp forest, south Westland, New Zealand. *Journal of Ecology*, Issue 81, pp. 403-416.

Fausch, K. & Bestgen, K., 1997. Ecology of fishes indigenous to the central and south-western Great Plains. En: F. Knopf & F. Samson, edits. *Ecology and conservation of Great Plains vertebrates*. New York: Springer-Verlag, pp. 131-166.

Fenner, P., Brady, W. & Patten, D., 1985. Effects of regulated water flows on regeneration of Fremont cottonwood. *Journal of Range Management*, Issue 38, pp. 135-138.

Fresh Water Research Unit - University of Cape Town, 2008. *Environmental Flow Assessments for Rivers: Manual for the Building Block Methodology (Updated Edition)*. Cape Town: s.n.

Gehrke, P. y otros, 1995. River regulation and fish communities in the Murray-Darling river system, Australia. *Regulated Rivers: Research & Management*, Issue 11, pp. 363-375.

Ginot, V. y otros, 1998. *EVHA Guide Méthodologique*. Lyon: s.n.

Gippel, C., Marsh, N. & Grice, T., 2012. *Flow Health: Software to Assess Deviation of River Flows from Reference and to Design a Monthly Environmental Flow Regime – Technical Manual and User Guide Version 2.0*. Brisbane: International Water Centre; Yorlb Pty Ltd.; Fluvial Systems Pty Ltd.

Gippel, C. y otros, 2011. *River health assessment in China: comparison and development of indicators of hydrological health*. ACEDP Australia-China Environment Development Partnership, *River Health and Environmental Flow in China*. Brisbane: The Chinese Research Academy of Environmental Sciences, the Pearl River Water Resources Commission and the International WaterCentre.

Gordon, N. D. y otros, 2004. *Stream Hydrology - An Introduction for Ecologists*. Second Edition ed. s.l.:John Wiley & Sons, Ltd.

Hammer, T., 1972. Stream channel enlargement due to urbanization. *Water Resources Research*, Issue 8, pp. 1530-1540.

Harms, W. y otros, 1980. The effects of flooding on the swamp forest in Lake Oklawaha, Florida. *Ecology*, Issue 61, pp. 1412-1421.

Hirji, R. & Davis, R., 2009. *Environmental Flows in Water Resources Policies, Plans and Projects (Case Studies)*, Washington DC: The World Bank.

Hirji, R. & Davis, R., 2009. *Environmental Flows in Water Resources Policies, Plans and Projects (Findings and Recomendations)*, Washington DC: The World Bank.

Horton, J., 1977. The development and perpetuation of the permanent tamarisk type in the phreatophyte zone of the Southwest. En: *General Technical Report nr RM-43*. s.l.:USDA Forest Service, pp. 124-127.

INRENA, 2004. *Propuesta de asignación de agua en bloque para la formalización de derechos de uso de agua en el valle de Jequetepeque regulado – Informe Final*, Lima: INRENA.

INRENA, 2004. *Propuesta de asignación de agua en bloques - Volúmenes mensuales y anual para el valle del Chira*, Lima: INRENA.

INRENA, 2004. *Propuesta de asignaciones de agua en bloque - Volúmenes anuales y mensuales para la formalización de los derechos de uso de agua en el valle de Camaná*, Lima: INRENA.

DIAGNOSTICO SOBRE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN EL PERU (PRIMERA FASE)

INRENA, 2004. *Propuesta de asignaciones de agua en bloque - Volúmenes anuales y mensuales para la formalización de los derechos de uso de agua en el valle de Pisco*, Lima: INRENA.

INRENA, 2004. *Propuesta de asignaciones de agua en bloque (volúmenes anuales y mensuales) para la formalización de los derechos de uso de agua en los Valles Chili regulado y Chili no regulado del Programa de Formalización de Derechos de Uso de Agua - PROFODUA*, Arequipa: INRENA.

INRENA, 2004. *Propuesta de asignaciones de agua en bloque (volúmenes anuales y mensuales) para la formalización de los derechos de uso de agua-Valle de Chancay – Lambayeque (Informe Final)*, Lima: INRENA.

INRENA, 2006. *Propuesta de asignación de agua en bloque (volumenes anuales y mensuales) para la formalización de los derechos de uso de agua en el valle de Nazca*, Lima: INRENA.

INRENA, 2007. *Evaluación de los Recursos Hídricos en la Cuenca del río Ocoña*, Ocoña: INRENA.

INRENA, 2007. *Propuesta de asignaciones de agua superficial en bloques (volumenes anuales y mensuales) para la formalización de los derechos de uso de agua - Valle de Huarmey y Culebras*, Lima: INRENA.

Johnson, W., 1994. Woodland expansion in the Platte River, Nebraska: patterns and causes. *Ecological Monographs*, Issue 64, pp. 45-84.

Junk, W., Bayley, P. & Sparks, R., 1989. The flood pulse concept in the river-floodplain systems. *Canadian Special Publication of Fisheries And Aquatic Sciences*, Issue 106, pp. 110-127.

King, J., Brown, C., Paxton, B. & February, R., 2004. *Development of DRIFT, a scenario-based methodology for environmental flow assessments*, Cape Town: Southern Waters Ecological Research and Consulting, University of Cape Town.

King, J. & O'Keeffe, J., 1989. Looking to the future - South Africa's requirements. En: A. Ferrar, ed. *Ecological Flow Requirements for South African Rivers*. S. Afr. Nat. Sci. Prog. Rep. No 162. Pretoria: Foundation for Research Development, CSIR, p. 118.

Kingsolving, A. & Bain, M., 1993. Fish assemblage recovery along a riverine disturbance gradient. *Ecological Applications*, Issue 3, pp. 531-544.

Kondolf, G. & Curry, R., 1986. Channel erosion along the Carmel River, Monterey County, California. *Earth Surface Processes and Landforms*, Issue 11, pp. 307-319.

Kupferberg, S., 1996. Hydrologic and geomorphic factors affecting conservation of a riverbreeding frog (*Rana boylei*). *Ecological Applications*, Issue 6, pp. 1332-1344.

Leopold, L., 1968. *Hydrology for urban land planning: a guidebook on the hydrologic effects of land use*. Reston (VA): US Geological Survey. Circular nr 554.

McKinney, M., 1990. Instream Flow Policy in Montana: A History and Blueprint for the future. *Public Land Law Review*, Issue 11, pp. 81-133.

Meffe, G., 1984. Persistence and stability of fish and invertebrate assemblages in a repeatedly disturbed Sonoran Desert stream. *American Midland Naturalist*, Issue 117, pp. 177-191.

Meitzen, K. M., Doyle, M. W., Thoms, M. C. & Burns, C. E., 2013. Geomorphology within the interdisciplinary science of environmental flows. *Geomorphology*, Issue 200, pp. 143-154.

- Montgomery, W. y otros, 1983. Spring migratory synchrony of salmonid, catostomid, and cyprinid fishes in Rivière á la Truite, Québec. *Canadian Journal of Zoology*, Issue 61, pp. 2495-2502.
- Moyle, P., 1986. Fish introductions into North America: patterns and ecological impact. En: H. Mooney & J. Drake, edits. *Ecology of biological invasions of North America and Hawaii*. New York: Springer-Verlag, pp. 27-43.
- Naesje, T., Jonsson, B. & Skurdal, J., 1995. Spring flood: a primary cue for hatching of river spawning Coregoninae. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, Issue 52, pp. 2190-2196.
- Nesler, T., Muth, R. & Wasowicz, A., 1988. Evidence for baseline flow spikes as spawning cues for Colorado Squawfish in the Yampa River, Colorado. *American Fisheries Society Symposium*, Issue 5, pp. 68-79.
- Nilsson, C., 1982. Effects of stream regulation on riparian vegetation. En: A. Lillehammer & S. Saltveit, edits. *Regulated rivers*. New York: Columbia University Press, pp. 93-106.
- OSINERGMIN, 2013. *Compendio de centrales de generación eléctrica del sistema interconectado nacional despachado por el comité de operación económica del sistema*, Lima: OSINERGMIN.
- PEJEZA, 2012. *Inventario de la Infraestructura Hidráulica Mayor de Riego y Drenaje. Yonán (Cajamarca): Proyecto Especial Jequetepeque – Zaña*, Yonán: PEJEZA.
- Perkins, D. y otros, 1984. The effects of groundwater pumping on natural spring communities in Owens Valley. En: R. Warner & K. Hendrix, edits. *California riparian systems: ecology, conservation, and productive management*. Berkeley (CA): University California Press, pp. 515-527.
- Petts, G., 1984. *Impounded rivers: perspectives for ecological management*. New York: John Wiley & Sons.
- Petts, G., 1985. Time scales for ecological concern in regulated rivers. En: J. Craig & J. Kemper, edits. *Regulated streams: advances in ecology*. New York: Plenum Press, pp. 257-266.
- Poff, N. L. y otros, 1997. The Natural Flow Regime. A paradigm for river conservation and restoration. *BioScience*, 47(11).
- Power, M., 1992. Hydrologic and trophic controls of seasonal algal blooms in northern California rivers. *Archiv für Hydrobiologie*, Issue 125, pp. 385-410.
- Prestegard, K., 1988. Morphological controls on sediment delivery pathways. En: D. Walling, ed. *Sediment budgets*. Wallingford (UK): IAHS: International Association of Hydrological Sciences Publication nr 174, pp. 533-540.
- Prestegaars, K. y otros, 1994. Spatial variations in the magnitude of the 1993 floods, Raccoon River Basin, Iowa. *Geomorphology*, Issue 10, pp. 169-182.
- Reily, P. & Johnson, W., 1982. The effects of altered hydrologic regime on tree growth along the Missouri Rivers in North Dakota. *Canadian Journal of Botany*, Issue 60, pp. 2410-2423.
- Rood, S., Mahoney, J., Reid, D. & Zilm, L., 1995. Instream flows and the decline of riparian cottonwoods along the St. Mary River, Alberta. *Canadian Journal of Botany*, Issue 73, pp. 1250-1260.
- Scheidegger, K. & Bain, M., 1995. Larval fish in natural and regulated rivers: assemblage composition and microhabitat use. *Copeia*, Issue 1995, pp. 125-135.

DIAGNOSTICO SOBRE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN EL PERU (PRIMERA FASE)

- Scott, M., Auble, G. & Friedman, J., 1997. Flood dependency of cottonwood establishment along the Missouri River, Montana, USA. *Ecological Applications*, Issue 7, pp. 677-690.
- Sear, D., 1995. Morphological and sedimentological changes in a gravel-bed river following 12 years of flow regulation for hydropower. *Regulated Rivers: Research & Management*, Issue 10, pp. 247-264.
- Secretaría de Economía, 2012. *Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012*. México D.F.: s.n.
- Shankman, D. & Drake, D., 1990. Channel migration and regeneration of bald cypress in western Tennessee. *Physical Geography*, Issue 11, pp. 343-352.
- Sinclair Knight Merz; Cooperative Research Centre for Freshwater Ecology; Freshwater Ecology (NRE); Lloyd Environmental Consultants, 2002. *The FLOWS Method. A method for determining environmental water requirements in Victoria.*, Victoria: Department of Water Resources and Environment.
- Sparks, R., 1992. Risks of altering the hydrologic regime of large rivers. En: J. Cairns, B. Niederlehner & D. Orvos, edits. *Predicting ecosystems risk. Vol XX. Advances in modern environmental toxicology*. Princeton (NJ): Princeton Scientific Publishing Co, pp. 119-152.
- Sparks, R., 1995. Need for ecosystems management of large rivers and their floodplains. *Bioscience*, Issue 45, pp. 168-182.
- Stalnaker, C. y otros, 1995. *The Instream Flow Incremental Methodology. A Primer for IFIM.*, Washington: National Biological Service.
- Stanford, J. y otros, 1996. A general protocol for restoration of regulated rivers. *Regulated Rivers: Research & Management*, Issue 12, pp. 391-414.
- Stevens, L., Schmidt, J. & Brown, B., 1995. Flow regulation, geomorphology, and Colorado River marsh development in the Grand Canyon, Arizona. *Ecological Applications*, Issue 5, pp. 1025-1039.
- Stromberg, J., Tiller, R. & Richter, B., 1996. Effects of groundwater decline on riparian vegetation of semiarid regions: the San Pedro River, Arizona, USA. *Ecological Application*, Issue 6, pp. 113-131.
- Stromberg, J., Tress, J., Wilkins, S. & Clark, S., 1992. Response of velvet mesquite to groundwater decline. *Journal of Arid Environment*, Issue 23, pp. 45-58.
- Taylor, D., 1982. Eastern Sierra riparian vegetation: ecological effects of stream diversion. En: *Mono Basin Research Group Contribution nr 6, Report to Inyo National Forest*. s.l.:s.n.
- Tennat, D. L., 1976. Instream Flow Regimens for Fish, Wildlife, Recreation and Related Environmental Resources. *Fisheries*, Volumen 1, pp. 6-10.
- Tharme, R., 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*, Issue 19, pp. 397-441.
- Travinchek, V., Bain, M. & Maceina, M., 1995. Recovery of a warmwater fish assemblage after the invitation of a minimum-flow released downstream from a hydroelectric dam. *Transactions of the American Fisheries Society*, Issue 124, pp. 836-844.
- UICN, 2003. *Caudal, elementos esenciales de caudales ambientales*. San José: UICN-ORMA.

Valentin, S., Wasson, J. & Philippe, M., 1995. Effects of hydropower peaking on epilithon and invertebrate community trophic structure. *Regulated Rivers: Research & Management*, Issue 10, pp. 105-119.

Ward, J. & Stanford, J., 1979. *The ecology of regulated streams*. New York: Plenum Press.

Williams, G. & Wolman, M., 1984. Downstream effects of dams on alluvial rivers. En: Reston (VA): US Geological Survey. Professional Paper nr 1286.

Williams, J., 1996. Lost in space: minimum confidence intervals for idealized PHABSIM studies. *Transactions of the American Fisheries Society*, Issue 125, pp. 458-465.

Wootton, J., Parker, M. & Power, M., 1996. Effects of disturbance on river food webs. *Science*, Issue 273, pp. 1558-1561.

APÉNDICE A: LEGISLACION SOBRE CAUDALES ECOLÓGICOS

LEY 29338 – LEY DE RECURSOS HÍDRICOS

Artículo III.- Principios

1. Principio de valoración del agua y de gestión integrada del agua

El agua tiene valor sociocultural, valor económico y valor ambiental, por lo que su uso debe basarse en la gestión integrada y en el equilibrio entre estos. **El agua es parte integrante de los ecosistemas y renovable a través del ciclo hidrológico.**

3. Principio de participación de la población y cultura del agua

Promueve programas de educación, difusión y sensibilización, mediante las autoridades del sistema educativo y la sociedad civil, **sobre la importancia del agua para la humanidad y los sistemas ecológicos**, generando conciencia y actitudes que propicien su buen uso y valoración.

6. Principio de sostenibilidad

El Estado promueve y controla el aprovechamiento y conservación sostenible de los recursos hídricos **previniendo la afectación de su calidad ambiental y de las condiciones naturales de su entorno, como parte del ecosistema donde se encuentran.**

El uso y gestión sostenible del agua implica la integración equilibrada de los aspectos socioculturales, ambientales y económicos en el desarrollo nacional, así como la satisfacción de las necesidades de las actuales y futuras generaciones.

10. Principio de gestión integrada participativa por cuenca hidrográfica

El uso del agua debe ser óptimo y equitativo, basado en su valor social, económico y ambiental, y su gestión debe ser integrada por cuenca hidrográfica y con participación activa de la población organizada. **El agua constituye parte de los ecosistemas y es renovable a través de los procesos del ciclo hidrológico.**

Artículo 53.- Otorgamiento y modificación de la licencia de uso

El otorgamiento, suspensión o modificación de una licencia de uso de agua se tramita conforme al procedimiento establecido en el Reglamento.

Para ser otorgada se requiere lo siguiente:

2. 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;

REGLAMENTO DE LA LEY 29338

Título V - Capítulo VIII CAUDALES ECOLÓGICOS

Artículo 153º.- Caudal ecológico

- 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.
- 153.2. En cumplimiento del principio de sostenibilidad, la Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente, establecerá los caudales de agua necesarios que deban circular por los diferentes cursos de agua, así como, los volúmenes necesarios que deban encontrarse en los cuerpos de agua, **para asegurar la conservación, preservación y mantenimiento de los ecosistemas acuáticos estacionales y permanentes**.
- 153.3. Los **caudales ecológicos** se mantienen **permanente en su fuente natural**, constituyendo una **restricción** que se impone con carácter general a todos los usuarios de la cuenca, quienes no podrán aprovecharlos bajo ninguna modalidad para un uso consuntivo
- 153.4. En caso de emergencia de recursos hídricos por **escasez**, se **priorizará el uso poblacional** sobre los caudales ecológicos.
- 153.5. Los caudales ecológicos se fijarán en los **planes de gestión** de los recursos hídricos en la cuenca. Para su establecimiento, se realizarán estudios específicos para cada tramo del río.
- 153.6. Los **estudios de aprovechamiento hídrico** deberán **considerar los caudales ecológicos** conforme con las disposiciones que emita la Autoridad Nacional del Agua.

Artículo 154º.- Características del caudal ecológico

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.

Artículo 155º.- Metodología para determinar el caudal ecológico

Las metodologías para la determinación del caudal ecológico, **serán establecidas por la Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente**, con la participación de las autoridades sectoriales competentes, en función a las particularidades de cada curso o cuerpo de agua y los objetivos específicos a ser alcanzados.

REGLAMENTO DE ORGANIZACION Y FUNCIONES DE LA AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA

TÍTULO II – DE LA ESTRUCTURA ORGÁNICA

CAPÍTULO VI – DE LOS ÓRGANOS DE LÍNEA

Artículo 33º.- Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos

- c. **Proponer normas, en materia de** delimitación de fajas marginales y **establecimiento de caudales ecológicos**. Asimismo, supervisar a los órganos desconcentrados en la implementación de estas normas.

CAPÍTULO VII – DE LOS ÓRGANOS DESCONCENTRADOS

Artículo 36º.- Funciones de las Autoridades Administrativas del Agua

- s. **Aprobar** la delimitación de las fajas marginales y **caudales ecológicos**.

APÉNDICE B: RELACIÓN DE CUENCAS EN EL AMBITO DE CADA AUTORIDAD ADMINISTRATIVA DEL AGUA

Autoridad Administrativa del Agua	Nombres de las Cuencas
Caplina Ocoña	De la Concordia
	Hospicio
	Lluta
	Caplina
	Ushusuma
	Caño
	Sama
	Mauri
	Locumba
	Ilo-Moquegua
	Honda
	Tambo
	Quilca-Vitor-Chili
	Camaná
	Ocoña
	Pescadores - Caraveli
Chaparra Chincha	Cháparra
	Chala
	Honda
	Yauca
	Acarí
	Grande
	Ica
	Pisco
Cañete Fortaleza	Topará
	Cañete
	Omas
	Mala
	Chilca
	Lurín
	Rímac
	Chillón
	Chancay - Huaral
	Huaura
	Supe
	Fortaleza
Huarmey Chicama	Huarmey
	Culebras
	Casma

DIAGNOSTICO SOBRE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN EL PERU (PRIMERA FASE)

Autoridad Administrativa del Agua	Nombres de las Cuencas
	Nepeña
	Lacramarca
	Santa
	Huamansaña
	Virú
	Moche
	Chicama
Jequetepeque Zarumilla	Jequetepeque
	Zaña
	Chancay Lambayeque
	Motupe
	Olmos
	Cascajal
	Piura
	Chira
	Bocapan
	Tumbes
	Zarumilla
Marañón	Santiago
	Cenepa
	Chinchipe
	Alto Marañón III
	Alto Marañón II
	Alto Marañón I
	Utcubamba
	Alto Marañón IV
	Crisnejas
	Alto Marañón V
Amazonas	Morona
	Pastaza
	Tigre
	Nanay
	Napo
	Putumayo
	Manití
	Tahuayo
	Itaya
	Carhuapanas
	Petro