





---

# **SISTEMAS DE INFORMACIÓN E INSTRUMENTOS TÉCNICOS PARA LA GESTIÓN DEL AGUA**

**Resultados de investigación del programa  
SIDAGUA en la Cuenca Pucara, Bolivia**

---

Queda rigurosamente prohibida sin autorización escrita del titular del Copyright, bajo las sanciones previstas por las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la fotocopia y el tratamiento informático.

Primera Edición, agosto 2014

Autor: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua  
Telf.: +591 4 4762380 y 82  
(E-mail): [centroagua@centro-agua.org](mailto:centroagua@centro-agua.org)  
pagina web: [www.centro-agua.org](http://www.centro-agua.org)  
Cochabamba - Bolivia

Depósito Legal: 2 - 1 - 1341 - 14  
ISBN: 978 - 99954 - 766 - 3 - 2

Diseño Tapa: Erik Soria Vargas T.G.K.  
Diagramación: Jakeline Sejas C. T.G.K.

Impreso en Talleres Gráficos "Kipus" Telfs.: 4731074 - 4582716, Cochabamba  
Printed in Bolivia

## PRESENTACIÓN

Este libro, titulado “**Sistemas de Información e Instrumentos Técnicos para la Gestión del Agua en la Cuenca Pucara**”, es el resultado final del Programa SID-AGUA (Desarrollo de un sistema demostrativo de apoyo a la gestión de recursos hídricos en la cuenca Pucara, Bolivia). El Programa SID-AGUA fue concebido y diseñado por los profesores Agustí Pérez-Foguet de la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC) y Alfredo Durán Núñez del Prado de la Universidad Mayor de San Simón (UMSS), y financiado por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el desarrollo (AECID).

El Programa SID-AGUA se planteó como objetivo central la incidencia en la política hídrica a través del desarrollo de sistemas de información e instrumentos técnicos de apoyo a la planificación y gestión del recurso hídrico. Con base en este ambicioso objetivo, se acordaron varias etapas secuenciales de investigación participativa entre los años 2009 y 2013, que con el soporte de herramientas de modelación, proveyesen información y mayor conocimiento sobre los procesos hídricos en la cuenca Pucara, con la finalidad de que estos resultados facilitasen que la investigación científica se convierta paulatinamente en un instrumento real de apoyo a la gestión pública, a la vez que proporcionen insumos para debates más amplios y consistentes en torno a procesos de planificación participativa, regulación hídrica o manejo de conflictos.

Para ello, equipos de docentes-investigadores de la UMSS y la UPC, con el apoyo de investigadores junior y tesis, desarrollaron una serie de herramientas y estudios específicos sobre la cuenca Pucara. Los resultados de este esfuerzo conjunto se refleja en el contenido de este libro.

Esperando que su lectura sea de utilidad, solo nos queda agregar que la experiencia de investigación compartida tanto entre los docentes-investigadores de ambas Universidades, así como con los diversos actores

locales que fueron parte de este proceso, ha sido plenamente beneficiosa para el ensamble de nuevos programas de investigación que dan continuidad al SID-AGUA, y que en opinión de los autores, se generan en un nuevo escenario de mayor colaboración, coordinación e interacción con los actores sociales y políticos locales, regionales y nacionales, lo cual nos permite aseverar que el Programa SID-AGUA ha cumplido su principal objetivo.

### **LOS AUTORES**

Cochabamba, 30 de julio de 2014

# Capítulo 1

## INTRODUCCIÓN

*Vladimir Cossío  
Cristina Yacoub  
Alfredo Durán  
Agustí Pérez -Foguet*

Durante los últimos años la gestión del agua se ha convertido en uno de los temas de mayor preocupación a nivel mundial ante el crecimiento de la demanda para diferentes usos y la contaminación del agua, provocados por el crecimiento poblacional y el crecimiento económico de los países. De esa manera, el enfoque de gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) se ha promocionado como la alternativa para resolver estos problemas, a través de una mejora de la gestión del agua a nivel de cuencas, a nivel de jurisdicciones político-administrativas o la combinación de ambas, enfoque que ha sido adoptado por muchos países, entre estos Bolivia.

El programa SID-AGUA nace con el propósito de contribuir a la puesta en práctica de este enfoque de gestión integrada, adoptado en la política hídrica boliviana principalmente a través del Plan Nacional de Cuencas (PNC). El mencionado enfoque ha sido ya ampliamente criticado por tratarse de un “conjunto de buenas

intenciones” sin una clara propuesta de cómo podría implementarse en la práctica. De esa manera, y más concretamente, la generación de la información necesaria para la implementación de un enfoque GIRH enfatizada por la Alianza Mundial del Agua (GWP) y la consecuente utilización de esta información en procesos relacionados con la adopción de este enfoque, se constituyeron en la preocupación que dio origen al programa SID-AGUA.

SID-AGUA es un programa coordinado por la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC), y financiado por AECID entre los años 2009 y 2013. Se ejecutó en Bolivia, en sociedad con la Universidad Mayor de San Simón (UMSS), a través del Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA).

El objetivo general del programa fue el de contribuir al desarrollo de instrumentos técnicos de apoyo que faciliten procesos de generación de conocimiento sobre el ciclo del agua, y de planificación y toma de decisiones para la gestión participativa de cuencas. De esa manera se buscaba que sus resultados constituyan insumos para la consolidación de un enfoque y una estrategia de gestión integrada de recursos hídricos en Bolivia. Adicionalmente, el programa pretendía aportar bases conceptuales y metodológicas útiles para el PNC, del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, el cual promueve la adopción de un enfoque GIRH para la gestión del agua en Bolivia.

Debido a la modalidad de financiamiento anual de este tipo de proyectos por parte de la AECID, el SIDAGUA fue ejecutado en 4 fases separadas, pero manteniendo cuatro líneas de acción:

- *Equipamiento*: Fortalecimiento de las capacidades de investigación de la UMSS a mediano y largo plazo a través del equipamiento informático y la adquisición de equipos para el análisis de calidad de agua y para estudios y mediciones hídricas en campo.

- *Investigación:* Implementación de investigaciones sobre la dinámica de las aguas superficiales y subterráneas a nivel de cuenca en cuanto a su calidad y cantidad, y sobre instrumentos técnicos de apoyo a la planificación y toma de decisiones en relación al uso y la gestión del agua.
- *Capacitación:* Capacitación de profesionales del agua, instituciones locales y organizaciones de usuarios sobre la temática del proyecto.
- *Difusión:* Difusión de los resultados logrados y actividades realizadas, principalmente a nivel local.

Las actividades realizadas a lo largo del programa en relación a las cuatro líneas de acción mencionadas, se resumen en la Tabla 1.1.

Un aspecto importante que se destaca en el proyecto es que el financiamiento para equipamiento (primera línea de acción descrita en la Tabla 1.1) corresponde aproximadamente al 50 % del monto gastado por el programa, con lo cual se ha logrado una mejora sustancial del equipamiento con el que cuenta la UMSS para realizar investigaciones en diferentes aspectos relacionados con el agua. Por otra parte, como resultados de la ejecución trabajos de investigación se han generado muchos reportes de investigación que todavía no fueron publicados y se mantienen como documentos internos del proyecto (reportes de investigación).

El proyecto se ha concentrado en la generación de información útil para poder entender la problemática del agua a nivel de cuenca, enfatizando la difusión de esta información, contribuyendo así al desarrollo de capacidades locales para una mejor gestión de los ciclos del agua en las cuencas. Para ello, se ha generado y procesado información, utilizando y desarrollando diversas herramientas y metodologías de inventariado, monitoreo y modelación. Además, se ha trabajado en la difusión y promoción de su utilización por parte de diferentes públicos, principalmente actores locales vinculados al ciclo del agua en la cuenca e investigadores.

Líneas de acción	Fase I (2009-2010)	Fase II (2010-2011)	Fase III (2011-2012)	Fase IV (2012-2013)
<i>Equipamiento</i>	Equipamiento de laboratorio de simulación y cálculo informático Equipos para medición de calidad de agua en campo	Equipos complementarios para el laboratorio informático Equipos básicos para análisis de calidad de agua Equipos para mediciones hidricas en campo Estaciones meteorológicas Equipos para nueva infraestructura de laboratorio de cálculo informático	Equipos complementarios para el laboratorio informático Equipos de análisis de calidad de agua Equipos para mediciones hidricas en campo Estaciones meteorológicas Mobiliario y equipos para nueva infraestructura de laboratorio de cálculo informático	Equipo de prospección geofísica
<i>Investigación</i>	Estudio de mapeo de puntos de agua (WPM) en Tiraque y Punata (Recolección de información) Estudio de hidrología superficial Aplicación del WPI en Tiraque	Estudio de mapeo de puntos de agua (WPM) en Tiraque y Punata (Análisis de datos y reporte) Monitoreo de la calidad de agua (Análisis de fuentes de agua y subcuencas, Estudio de riesgos de contaminación) Balance hídrico preliminar de la cuenca Uso sostenible de los RRHH subterráneos en el abanico de Punata	Monitoreo de calidad del agua (Metodología modelo SWAT de la cuenca, Análisis de pesticidas por subcuenca) Inventario de pozos profundos en el abanico de Punata Experiencias de modelación hídrica en Bolivia Modelación hidrogeológica del abanico de Punata (recolección de información) Recarga de agua en el Abanico de Punata (recolección de información) Usos del agua subterránea en Punata (Recolección de información) Desempeño de las organizaciones de agua potable en Punata y Tiraque.	Monitoreo de calidad del agua (Elaboración de línea base ambiental, Análisis de pesticidas por subcuenca) Balance hídrico ajustado de la cuenca Modelación SWAT de hidrología superficial Estudio sobre recarga artificial de aguas subterráneas en el abanico de Punata Modelación hidrogeológica del abanico de Punata (análisis de información y reporte) Recarga de agua en el Abanico de Punata (análisis de información y reporte) Dinámica de los sistemas de agua de río en Punata y Tiraque (Recolección de información)
<i>Capacitación</i>	Curso-taller sobre utilización del modelo SWAT (juntamente con técnicos del Banco Mundial "BM")	Curso sobre utilización del modelo SWAT (para investigadores UMSS) Curso de capacitación sobre análisis de la calidad del agua (para investigadores UMSS) Capacitación sobre WPM (con técnicos municipales)	Curso sobre utilización del modelo SWAT (para investigadores UMSS) Capacitación sobre WPM (con técnicos municipales) Entrega de informes cortos a sistemas de agua potable inventariados como parte del WPM	Capacitación sobre aspectos básicos en relación al aprovechamiento de aguas subterráneas (con usuarios de pozos el valle alto) Taller de presentación de enfoque y resultados de investigación en aguas subterráneas (Organizado por el municipio de Cliza)
<i>Difusión</i>	Taller "Modelación hidráulica e Hidrológica y Sistemas de Alerta Temprana para la Prevención de Riesgos de Inundación" (presentación del programa)	Entrega de informes cortos a sistemas de agua potable inventariados como parte del WPM Participación en taller "contaminación y gestión de aguas y suelos en relación a la actividad minera" (UTO, Colectivo CASA)	Talleres de presentación de resultados parciales de estudios de aguas subterráneas en Punata WPM en Tiraque (artículo presentado en congreso de Cadiz) Gestión del agua en la cuenca Pucara (Capítulo de libro)	Taller de presentación y entrega de resultados sobre investigaciones en Aguas subterráneas (Punata) Contaminación de aguas subterráneas por nutrientes (Ponencia congreso de riego y drenaje Sucre)

La UMSS (a través del Centro AGUA y el Lab. de Hidráulica), la UPC (a través de su Centro de Cooperación para el Desarrollo, y

distintos departamentos y grupos de investigación), así como diversos socios locales, han identificado la cuenca Pucara como caso piloto en el cual desarrollar conjuntamente propuestas acorde con el concepto de “cuenca pedagógica” que se deriva del PNC (PCI 2008). La cuenca Pucara tiene una larga historia de desarrollo de recursos hídricos vinculada al aprovechamiento de aguas superficiales para riego a través de varias represas a partir de los años 50. Posteriormente, a partir de los años 70, se desencadena un proceso de aprovechamiento de aguas subterráneas a través de pozos profundos, destinados al riego y al agua potable. Por otra parte, en términos socioeconómicos, la cuenca está ligada a las poblaciones de Tiraque y Punata, ambas poblaciones muy importantes a nivel regional en términos de producción agrícola y pecuaria. Todos estos aspectos han hecho de la cuenca un caso de estudio interesante en relación con la GIRH. Cabe destacar que el Centro AGUA de la UMSS ha desarrollado en la cuenca una serie de proyectos sobre el tema del agua, complementarios entre sí, y que comparten parte del enfoque del PNC: la generación de conocimientos y el desarrollo de capacidades locales.

Considerando el propósito general del proyecto: “desarrollo de sistemas de información e instrumentos técnicos que permitan generar conocimiento y desarrollar capacidades necesarias para la planificación de la gestión del agua a nivel de la cuenca”, y el contexto nacional de ejecución de políticas hídricas en Bolivia, el documento reflexiona críticamente sobre las acciones desarrolladas y los resultados logrados como parte de las actividades de investigación desarrolladas en el programa SIDAGUA.

El capítulo II del libro ofrece un contexto general de la zona de estudio del programa, empezando por el nivel nacional de políticas hídricas y terminando en el contexto y características locales particulares de la cuenca Pucara. En los capítulos subsiguientes se abordan temáticas particulares relacionadas con los temas de investigación desarrollados a lo largo del programa. Así en el

capítulo III se discute la dinámica de la hidrología superficial de la cuenca en relación con su aprovechamiento para riego y el proceso de “cierre de la cuenca”. El capítulo IV discute el proceso de investigación de las aguas subterráneas en el abanico de Punata, a partir de los enfoques y metodologías utilizadas y los resultados logrados. En el capítulo V se encontrará una discusión sobre el tema de monitoreo de la calidad de agua a nivel de cuenca, a partir de resultados concretos obtenidos en la cuenca Pucara.

El capítulo VI analiza la aplicación de metodologías para la evaluación de las características de la provisión de agua y saneamiento a nivel municipal, a partir de la aplicación del mapeo de puntos de agua y encuestas en los municipios de Tiraque y Punata. El capítulo VII discute la aplicación del enfoque de derecho humano al agua en Bolivia a partir de datos obtenidos en el municipio de Tiraque.

Por último, en el capítulo VIII se reflexiona sobre los resultados y los impactos del programa en relación con la gestión integrada del agua, y se plantean algunas lecciones aprendidas sobre el proceso de investigación que ha seguido el programa.

Esta publicación está destinada a profesionales que trabajan en temas de gestión de agua, profesionales que trabajan en entidades públicas que gestionan o participan en la gestión de agua y autoridades y otros tomadores de decisiones en diferentes niveles de gobierno, los cuales pueden nutrirse de los conocimientos generados por el programa SID-AGUA y de las lecciones aprendidas en el transcurso del desarrollo de sus actividades.

# Capítulo

## 2

### CONTEXTO DE LA ZONA DE ESTUDIO

*Vladimir Cossío*  
*Cristina Yacoub*

Como se indicó anteriormente, en esta publicación se hace un análisis de las metodologías aplicadas como parte del componente de investigación del programa SIDAGUA. Este capítulo pretende dar una descripción detallada del contexto físico, social y económico de la zona de estudio del programa, que ayude al lector a tener una perspectiva adecuada para la lectura de los siguientes capítulos. Adicionalmente, se pretende que la información brindada permita establecer criterios más amplios para la referencia, comparación o réplica de las metodologías y resultados presentados en el libro en otros contextos.

Concretamente, el SIDAGUA estableció como zona de trabajo la cuenca Pucara, ubicada en el “Valle Alto” del departamento de Cochabamba, Bolivia (ver Mapa 2.1). A continuación describimos el contexto de la cuenca Pucara, empezando por las políticas públicas nacionales en relación al agua y el manejo de cuencas y los antecedentes sobre manejo de información y modelación a nivel nacional, para luego describir las características más importantes de la cuenca de estudio.

### Mapa 2.1 Ubicación de la zona de estudio



Fuente: Elaborado en base a información de getamap, 2013; educar, 2013; y mirabolivia, 2013

## 2.1 Contexto nacional

El contexto nacional ha sufrido cambios importantes a partir del gobierno de Evo Morales. El año 2006 se crea el ministerio del agua al cual “se transfieren competencias sobre agua, anteriormente repartidas en varios ministerios, además de que se crean entidades con participación social que son parte de la estructura organizativa del ministerio” (Cossío 2009, p. 4). Este ministerio contaba con tres viceministerios: Viceministerio de Servicios básicos, Viceministerio de Riego y Viceministerio de Cuencas y Recursos Hídricos. La estructura del ministerio del agua se modifica el 2009 adoptando su denominación actual, Ministerio de Medio Ambiente y Agua, y modificando los viceministerios que formaban parte de este: Agua Potable y Saneamiento Básico, Recursos Hídricos y Riego, y viceministerio de Medio Ambiente, Biodiversidad, Cambios Climáticos y de Gestión y Desarrollo Forestal (Bolivia, Ministerio de Medio Ambiente y Agua 2013)

Un antecedente importante de la ejecución del programa SIDAGUA fue la formulación del Plan Nacional de Cuencas (PNC) por parte del Viceministerio de Cuencas y Recursos Hídricos, el cual -aunque posteriormente cambio de nombre- mantuvo la ejecución del PNC como parte de su política. El PNC promueve una visión integral de la gestión del agua, planteando que en el futuro esta debe expresarse en todos los programas y proyectos sectoriales relacionados al uso y conservación de los recursos hídricos del país (Bolivia, Viceministerio de Cuencas y Recursos Hídricos 2006). El PNC es el eje central que articula los objetivos y programas con el enfoque de GIRH, su objetivo es:

La promoción y el fortalecimiento de la gestión integrada de los recursos hídricos y el manejo integrado de cuencas en Bolivia bajo modalidades de participación y autogestión, como sustento del desarrollo humano y ambiental sostenible, desde la perspectiva de las culturas y sistemas de vida locales. (Bolivia, Viceministerio de Cuencas y Recursos Hídricos 2006, p. 34).

Establece además que “la unidad básica de planificación y gestión de los recursos hídricos y ambientales es la cuenca, que relaciona los espacios de la gestión pública y social” (ibídem, p. 23)

Como parte de este plan se formula el Programa de Cuencas Pedagógicas (PCP) “como instrumento de aprendizaje que permita a al VRHR y a las instituciones operadoras del PNC, afinar sus estrategias, metodologías y herramientas de intervención y seguimiento” (Ministerio de Medio Ambiente y Agua 2012, p. 13). La cuenca Pucara es una de las 6 cuencas seleccionadas a nivel nacional, en las cuales se empezará a ejecutar este programa.

Por otra parte el año 2006 se aprueban los reglamentos de la Ley de Riego (Ley 2878) con lo cual se pone en vigencia la Ley que había sido promulgada el año 2004. Esta ley se crea como un nuevo instrumento legal para la gestión del riego en el país, pero también introduce disposiciones en relación con el manejo de las cuencas hidrográficas, haciendo referencia a la formación de “directorios locales de cuenca” (Ley 2878, 2004), promoviendo de este modo la planificación del uso del agua y el desarrollo del riego a nivel de cuenca.

La ley de riego crea además un marco institucional nuevo para la gestión del riego en el país, en el que se destaca la creación del Servicio Nacional de Riego (SENARI) a nivel nacional y los Servicios Departamentales de Riego (SEDERI) a nivel de cada departamento. Estas son instancias de planificación y toma de decisiones sobre políticas sectoriales que incluyen además de la participación del Estado, la participación de representantes de organizaciones de regantes y organizaciones campesinas (ibídem, p. 2-3).

La promoción de la aplicación de la GIRH así como del enfoque de cuenca como unidad de planificación a nivel de políticas nacionales, queda entonces enmarcado dentro de los planes y las leyes mencionadas. En el ámbito académico, la aplicación de estos planes y leyes comenzó a demandar el tomar acciones principalmente con relación al manejo de información y la modelación de recursos

hídricos como herramientas de apoyo a la toma de decisiones sobre la gestión y aprovechamiento del agua a nivel de cuenca y con un enfoque de GIRH, las cuales se constituyeron en los temas principales que abordó el programa SIDAGUA.

Contar con información sobre aspectos fisicoquímicos (meteorológicos, hidrológicos, geológicos, geomorfológicos, etc.) en relación al agua, es una primera necesidad que surge cuando se planea realizar acciones con un enfoque de GIRH. En Bolivia existen carencias muy grandes en relación con la información hídrica. Existe una red meteorológica concentrada principalmente en las ciudades capitales y ciudades intermedias, pero pocas estaciones en zonas más remotas y específicamente en la parte alta de las cuencas hidrográficas, las cuales pueden tener mucha importancia a nivel hidrológico. Por otra parte, la información hidrométrica es muy escasa y está muy dispersa en espacio y tiempo. Lo mismo sucede con la información sobre calidad del agua, la cual se encuentra en entidades de prestación de servicios sobre este tema, no existiendo una entidad que cuente con información sistematizada a nivel nacional o departamental. En relación con el agua subterránea la información es aún más escasa y dispersa. Entonces, la preocupación por la falta de información sobre los aspectos fisicoquímicos del agua en Bolivia se considera un aspecto muy relevante.

En relación con la modelación de recursos hídricos, un primer diagnóstico realizado como parte del programa (Iriarte 2012), muestra que el uso de la modelación de recursos hídricos en Bolivia es todavía muy incipiente. Las instituciones que más utilizan modelos hídricos son las académicas, principalmente con fines de investigación y no necesariamente dando respuesta a las políticas existentes. En general, profesionales de ingeniería vinculados al tema tienen conocimientos y utilizan modelos hídricos (sobre todo modelos de hidrología superficial) en especial en el ámbito de la formulación de proyectos de aprovechamiento de agua. Los más utilizados son los modelos que tienen bajo requerimiento de datos,

por ejemplo, los modelos hidrológicos TEMEZ y HEC HMS. Por otro lado se ha encontrado también que existe muy poca experiencia en la utilización de modelos para aguas subterráneas, la cual ha sido generada a través de la ejecución de investigaciones (proyectos de investigación y tesis) por diferentes universidades del país. No se han encontrado experiencias sobre modelación de la calidad de agua en el país, las experiencias que existen se concentran en iniciativas supranacionales de monitoreo de calidad de agua como la del monitoreo de la calidad del agua y la contaminación de la cuenca del río de la Plata (ver p.ej. Sabóia 2005).

Asimismo, el diagnóstico realizado por el SIDAGUA destaca dos problemas principales relacionados con la implementación de la modelación de recursos hídricos en Bolivia (Iriarte 2012). En primer lugar resalta como principal problema la escasez de datos necesarios. Por una parte, los datos meteorológicos con que se cuenta normalmente, no tienen series largas de tiempo, además de que no tienen ningún tratamiento previo. Un problema aún mayor es la falta de datos hidrométricos. Debido a ello, es una práctica común la validación de modelos de hidrología superficial comparando los resultados obtenidos con resultados de cuencas de características similares en las cuales se tengan algunas mediciones, confiando así una incertidumbre muy elevada a la modelación.

En segundo lugar, existe una falta de capacidades para implementar modelaciones. La gran mayoría de los profesionales que hacen modelaciones analizan los resultados tratando de optimizar los resultados obtenidos en función al software utilizado, sin realizar modificaciones en el código fuente, que podrían permitir hacer que los modelos se adecuen mejor a las condiciones particulares de la zona del país que está siendo estudiada. No se han identificado instituciones en el país que se dediquen a la realización de pruebas y adaptación de modelos hídricos.

Es en base al análisis de este contexto y con la intención de aportar a mejorar esta situación, que el programa SIDAGUA

planteó la ejecución de acciones para la generación de información a nivel de cuenca y de capacitación de personal en el manejo de información y en la utilización de algunas herramientas de modelación hídrica.

## **2.2 Cuenca Pucara**

De acuerdo al Atlas de los andes norte y centro, la cuenca hidrográfica Pucara atraviesa ecosistemas de puna húmeda y valles interandinos (Secretaría General de la Comunidad Andina, 2009) desde su cabecera en divisoria de aguas de la vertiente amazónica hasta su desembocadura en el valle de Punata. En la priorización de cuencas del valle alto realizada por la Prefectura del Departamento de Cochabamba, la cuenca Pucara es la de mayor importancia en términos biofísicos y socioeconómicos, por los asentamientos poblacionales, la importancia agropecuaria y los recursos hídricos existentes (AGROSIG 2007 citado por Durán 2009).

La cuenca Pucara es una cuenca rural ubicada en el Valle Alto de Cochabamba, que tiene una rica y compleja historia de desarrollo y aprovechamiento de recursos hídricos [...] Como resultado de este proceso histórico se han constituido una diversidad de sistemas de riego de diferentes escalas, así como pequeños sistemas para consumo doméstico, cada uno con sus correspondientes fuentes de agua, infraestructura hidráulica, áreas de servicio y grupos de usuarios (Delgado y Durán 2012, p. 117).

Paulatinamente, casi todas las fuentes de agua y los propios sistemas a los que corresponden han sido mejorados (embalses, trasvases de agua, obras de toma, canales, estanques, sistemas de tubería, etc.). Asimismo, desde los años 70, comenzó un acelerado proceso de explotación de aguas subterráneas a la salida de la cuenca (el abanico aluvial de Punata). (Ibíd)

A través de la historia, se han sucedido negociaciones sobre agua que involucran en la mayoría de los casos a los usuarios de riego, la mayoría de estas derivó en acuerdos de utilización de fuentes de

agua en la cuenca que persisten en la actualidad. Sin embargo en este proceso también se han producido situaciones de conflicto, en la mayoría de los casos a raíz del cuestionamiento de acuerdos establecidos en relación a derechos de agua (Cossío et al 2010, p. 45-46), los cuales llevaron a la modificación de los mismos. Estos aspectos confieren a la cuenca una gran complejidad.

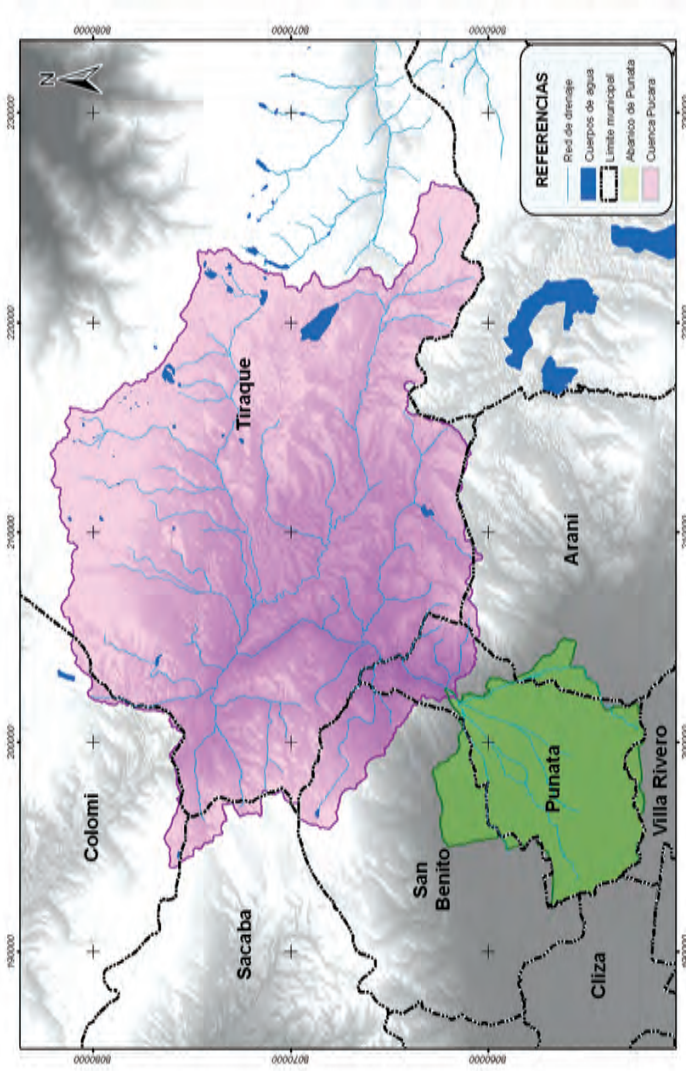
La complejidad mencionada también se refleja en la forma en que se han establecido muchos sistemas de riego en la cuenca, y la influencia que esto tiene en la delimitación de la cuenca, ya que se rebasan tanto los límites de la cuenca hidrográfica como los límites de división política entre municipios. Este aspecto es importante también cuando se analiza la provisión de agua para consumo doméstico (ver Capítulo 6) que es responsabilidad de los municipios dentro de su jurisdicción, dejando en segundo plano los límites de la cuenca hidrográfica. En el caso de las aguas subterráneas (analizado en el Capítulo 3) su utilización está relacionada con la cuenca hidrogeológica del acuífero de Punata cuyos límites tampoco coinciden con los límites municipales (ver Mapa 2.2).

La cuenca hidrográfica Pucara, pertenece a la región mesoandina de la provincia Tiraque (municipio de Tiraque), y abarca también pequeñas partes de los municipios de Punata, San Benito, Sacaba y Colomi. La cuenca tiene una extensión aproximada de 440 Km<sup>2</sup> y tiene una altitud de 4200 msnm en la parte más alta y 2800 msnm en la parte más baja (punto de salida de la cuenca) (Cruz, 2008).

La cuenca hidrogeológica del Abanico de Punata (ver Mapa 2.2) depende de la recarga que se produce a partir de los escurrimientos de la cuenca hidrográfica Pucara, “se encuentra ubicada al Extremo Nor Este del Valle Alto, su mayor porcentaje se ubica dentro del municipio de Punata, pero pequeñas partes de esta se ubican también en los municipios de Arani, San Benito y Villa Rivero” (Delgadillo y Duran 2012, p. 118). El acuífero abarca un superficie aproximada de 87 Km<sup>2</sup> (Rojas y Montenegro 2007, p. 34). En la zona existen 204 pozos perforados en funcionamiento que se

utilizan para el Riego y Agua potable y en un pequeño número para usos industriales (Mayta 2012, p. 15).

**Mapa 2.2 Cuenca hidrográfica, cuenca hidrogeológica y límites municipales**



*Fuente: Elaborado en base a información cartográfica y bases de datos del programa SIDAGUA.*

A partir de las consideraciones mencionadas, investigadores del Centro AGUA proponen utilizar el concepto de “cuenca hidrosocial” como una forma de considerar las relaciones sociales y las complejidades descritas en la delimitación de una cuenca. Este concepto plantea:

“delimitar la cuenca en función de los límites físicos (fuentes de agua, infraestructura de aprovechamiento, áreas de influencia de los sistemas, etc.) y las “redes socio-hídricas” que se establecen en “procesos de desarrollo hídrico (iniciativas locales, intervenciones) ocurridos marcando *historias particulares que configuran esta cuenca hidrosocial encontrando equilibrios temporales pero sujetos a situaciones de conflicto y resolución continuos*, pudiéndose este espacio contraerse o expandirse en el tiempo”. (Durán y Delgadillo 2012, p. 111-114).

La consideración del concepto de cuenca hidrosocial en el caso de la cuenca Pucara lleva a establecer una delimitación más amplia de la cuenca, dándole mayor importancia a las relaciones socio-hídricas entre usuarios del agua, lo cual hace que se incluyan zonas fuera de la cuenca hidrográfica con las que se tienen acuerdos de uso del agua y a partir de las cuales se trasvasa agua a través de infraestructura construida. Por otra parte incluye también el área de influencia de las aguas que “se producen” en la cuenca, en este caso el abanico de Punata (ver Mapa 2.3).



En los siguientes capítulos, se podrá apreciar que los temas se desarrollan delimitando las zonas de estudio en base a la cuenca hidrográfica (capítulos 3 y 5), la cuenca hidrogeológica de Punata (capítulo 4) y los límites municipales de Punata y Tiraque (capítulos 6 y 7). Sin embargo, en todos los casos estas delimitaciones no son completamente adecuadas físicamente. La cuenca Pucara cuenta con varios trasvases a partir de cuencas vecinas, lo cual afecta el flujo superficial en la cuenca hidrográfica así como la calidad del agua. Consecuentemente también afecta a la cuenca hidrogeológica de Punata, que se recarga a partir del escurrimiento de la cuenca hidrográfica Pucara. Por otra parte, los límites municipales circunscriben a los usuarios de agua dentro de estos, ignorando de cierto modo las relaciones que existen con usuarios de otros municipios, con los cuales pueden estar aprovechando la misma fuente de agua, como por ejemplo en el caso del acuífero de Punata (ver Mapa 2.2), o tener acuerdos establecidos para el uso del agua, como en el caso de los sistemas de riego en Punata que utilizan fuentes de agua ubicadas en Tiraque o conducen aguas de sus sistemas a través del territorio de este municipio.

### **2.3 Referencias bibliográficas**

AGROSIG (2007). Priorización de cuencas en el Valle Alto de Cochabamba, Prefectura de Cochabamba, Cochabamba.

Bolivia, Viceministerio de Cuencas y Recursos Hídricos (2006). Plan Nacional de Cuencas (PNC): Marco Conceptual y Estratégico. La Paz, Ministerio del Agua.

Bolivia, Ley de promoción y apoyo al sector riego para la producción agropecuaria y forestal. Ley N° 2878 del 8 de octubre de 2004. La Paz, Honorable congreso nacional.

Cossío, V. (2009). El marco institucional de la gestión del agua en Bolivia. Documento de capacitación Proyecto GovAgua. Cochabamba, Centro AGUA-UMSS.

Cossío, V.; Bustamante, R.; Skielboe, T. (2010). Conflict and Cooperation in local water governance-inventory of local water-related events in Tiraque District, Bolivia. DIIS Working Paper 2010: 11. Copenhagen, DIIS.

Cruz, R. (2008). Estudio hidrológico de la micro-región Tiraque Valle. Reporte de investigación proyecto Compitiendo por el agua. Centro AGUA, UMSS. (no publicado)

Delgadillo, O.; Durán, A. (2012). La Cuenca Hidrosocial: Una aproximación conceptual y metodológica para la gestión del agua en cuencas *En*: Quiroz, F.; Durán, A. y Delgadillo, O. (Eds.) Aguas Arriba, Aguas Abajo. Luces y sombras de la gestión integral de los recursos hídricos: Reflexiones desde la investigación aplicada. La Paz, Plural editores.

Iriarte, J. (2012). Sistematización de experiencias en modelación de recursos hídricos en Bolivia (Departamentos de La Paz y Cochabamba). Reporte de investigación proyecto SIDAGUA. Cochabamba, Centro AGUA UMSS. (no publicado)

Mayta, A. (2012). Disponibilidad de agua subterránea en el Abanico de Punara. Reporte de investigación proyecto SIDAGUA. Cochabamba, Centro AGUA UMSS. (no publicado)

Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2013). Disponible desde: <http://www.mmaya.gob.bo/#> [Acceso febrero 2013].

Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2012). Programa “Cuencas Pedagógicas” (Documento de propuesta). La Paz, MMAyA-PNC.

Rojas, F.; Montenegro, E. (2007). Potencial hídrico superficial y subterráneo del abanico de Punata. Reporte de investigación Proyecto: “Escenarios Futuros de uso de agua, como herramienta de planificación del aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos en Punata (P01BA002). Cochabamba, Centro AGUA UMSS.

Saboia, A. (coord.) (2005). Calidad de agua y la contaminación (Monitoreo y evaluación). Informe final, Programa marco para la gestión sostenible de los recursos hídricos de la cuenca del plata, en relación con los efectos hidrológicos de la variabilidad y el cambio climático. Comité Intergubernamental Coordinador de los países de la Cuenca del Plata (CIC Plata). Disponible desde: <<http://cicplata.org/marco/pdf/informes/191205/componenteII/ii5n.pdf>> [Acceso marzo 2013]

Secretaría General de la Comunidad Andina (Ed.) (2009). Atlas de los andes del norte y centro. Lima, Nanuk EIRL.

# Capítulo

## 3

### DINÁMICA DE CAUDALES Y CONTROL DE AGUA PARA RIEGO EN LA CUENCA PUCARA

*Rigel Rocha*  
*Jordi Pascual*  
*Jorge Iriarte*

#### 3.1 Introducción

No cabe duda que la modelación de los flujos de agua es una herramienta muy útil para el entendimiento de los procesos hidrológicos y la posterior planificación de la gestión y uso de los recursos hídricos en una cuenca. En este sentido, para el caso de la cuenca Pucara se planteó el entendimiento de la complejidad de su ciclo hidrológico, a partir del estudio de la dinámica del régimen hídrico de la cuenca en función de los procesos de intervención y control del agua para riego, teniendo en cuenta los cambios históricos en el territorio.

En el marco de las acciones implementadas en la cuenca Pucara, el Centro AGUA desarrolló anteriormente 3 estudios en esta temática. Rojas y Montenegro (2007) y Cruz (2009), realizaron el estudio de la hidrología de la cuenca Pucara, centrandos sus esfuerzos en la determinación de la oferta potencial de agua de la cuenca. Posteriormente, considerando la importancia de incluir los procesos de control de agua para riego en el análisis hidrológico, Cruz (2010

y 2011) estructuró un modelo de gestión de agua de la cuenca aplicando el modelo *Mike Basin*<sup>1</sup>, posibilitando el análisis histórico del régimen hídrico de la cuenca. Si bien se lograron importantes avances con el establecimiento del modelo *Mike Basin* para la cuenca Pucara, las limitaciones en el uso del software, al ser un software especializado y costoso, limitaron su mayor desarrollo y aplicación en los procesos de planificación y gestión del agua en la cuenca.

Considerando lo anterior, sobre la base de un análisis comparativo de los modelos hidrológicos utilizados en Bolivia, se decidió utilizar el modelo *SWAT 2005*, en su interface *ArcSWAT*<sup>2</sup>, realizando la simulación hidrológica para cuatro periodos del desarrollo de la Cuenca Pucara. Se incorporaron al modelo de simulación, criterios y datos que hacen a la dinámica del control de agua para riego, resultando en el establecimiento de tres escenarios de simulación de flujos y control de agua de la cuenca. El análisis de estos escenarios permitió visualizar y contabilizar los cambios históricos de los diferentes tipos de flujo de agua en la cuenca, evidenciando el proceso de cierre que sufre la cuenca Pucara, como producto de la trayectoria desarrollada.

En la siguiente sección se discuten los conceptos centrales que orientaron el trabajo realizado. Posteriormente, en la sección 3 se describe la metodología aplicada para el establecimiento de los escenarios de simulación, para luego en la sección 4 presentar de manera ilustrativa los resultados logrados en el presente trabajo. Finalmente en la última sección se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio realizado, poniendo especial énfasis en las lecciones aprendidas en la aplicación de la metodología.

### **3.2 Dinámica de los flujos de agua en cuencas altamente intervenidas**

El riego ha jugado un rol muy importante en el desarrollo de la cuenca Pucara. Considerando la elevada variabilidad e

---

<sup>1</sup> Modelo Mike Basin del DHI

<sup>2</sup> ArcSWAT versión 2.3.4 para ArcMap 9.3

impredictibilidad (tiempo y espacio), de las precipitaciones pluviales y caudales naturales de agua en la cuenca, los pobladores han realizado una serie de intervenciones en el ciclo natural del agua, controlando los caudales de los ríos de la cuenca y trasvasando importantes caudales de agua provenientes de cuencas vecinas, con el principal objetivo de regar sus parcelas de cultivo localizadas en la parte alta (Tiraque) y baja (Punata) de la cuenca. En este contexto de cuenca altamente intervenida, los estudios y modelaciones de los flujos superficiales de agua aumentan significativamente su complejidad, por las dificultades que implica la incorporación de este tipo de procesos no-naturales de control de agua.

El estudio de los procesos hidrológicos en cuencas intervenidas requiere entender estos procesos en el marco del desarrollo de la cuenca a lo largo de la historia, es decir, entender cómo es que una cuenca ha llegado a ser como es en el presente. En este sentido, es importante desarrollar los modelos de simulación hidrológica en términos de la *trayectoria de la cuenca*, vinculando los escenarios simulados de caudales de agua con las acciones de control sociotécnico del recurso. La trayectoria de una cuenca comprende las interacciones de largo plazo entre las sociedades y su medio-ambiente, centrándose en el desarrollo y gestión del agua y sus recursos de tierra asociados (Molle, 2003).

En consecuencia, en el presente estudio, la modelación realizada incluye además de los procesos hidrológicos naturales, las acciones humanas para gestionar y usar los recursos hídricos disponibles, convirtiendo el ciclo hidrológico en un “ciclo hidrosocial” (Budds, 2012). Es en este sentido que, para la simulación hidrológica se definieron tres periodos históricos de la trayectoria de la cuenca Pucara delimitados por eventos y acciones determinantes en la concepción de los escenarios de la cuenca:

- a) ***Periodo de control comunal (1953-1978)***, caracterizado por la implementación de diversas acciones, por parte de las comunidades campesinas, para mejorar antiguos embalses y

construir nueva infraestructura hidráulica. Después de la reforma agraria (1953), los campesinos organizados en comunidades campesinas tomaron el control de la tierra y las fuentes de agua anteriormente en propiedad de los hacendados. Con la distribución de tierras y agua se intensificó la producción agropecuaria, incrementando la demanda de agua para riego, por lo que las comunidades se vieron en la necesidad de buscar nuevas alternativas de dotación de agua para riego, siendo la construcción de embalses la opción preferida.

- b) *Periodo de intervención estatal I (1978-1992)***, caracterizado por la intervención estatal planificada de los sistemas de riego campesinos orientada al mejoramiento de la infraestructura de los antiguos sistemas. En respuesta a las múltiples demandas de incremento del suministro de agua para riego de las comunidades campesinas de la cuenca, se originó el proyecto Tiraque-Punata en el marco del PRAV<sup>3</sup>, que permitió entre otras cosas, el mejoramiento de 6 embalses y la construcción del embalse de mayor tamaño: Titora Khocha.
- c) *Periodo de intervención estatal II (1992-2011)***, caracterizado por las múltiples intervenciones estatales aisladas de sistemas de riego campesinos orientadas principalmente al mejoramiento y construcción de embalses y otras obras hidráulicas.

Así pues, la construcción y mejoramiento de las infraestructuras hidráulicas desarrolladas en la cuenca Pucara durante los últimos 60 años han permitido incrementar en más de 3 veces la oferta de agua para riego (Cáceres, 2009; Cruz, 2011; Delgadillo & Lazarte, 2007). Como resultado de este proceso histórico de control de agua para riego, la mayor parte del agua disponible ya está asignada y es

---

<sup>3</sup> PRAV: Programa de Riego Altiplano/Valles

aprovechada por los pobladores de la cuenca. Prácticamente, en el periodo seco (Abril-Octubre), no existe caudal natural libre de agua superficial en la cuenca, resultando en el virtual *cierre temporal de la cuenca* (Molle, Wester et al., 2007)(Molle, Wester et al., 2007). El *cierre de la cuenca* es un proceso donde la sustracción de agua para propósitos humanos se aproxima o excede la cantidad de agua disponible renovable (Molle et al., 2007; Seckler, 1996). Mientras la cuenca se aproxima al cierre, no existe la posibilidad de capturar y asignar “*agua nueva*”, la gente llega a ser cada vez más dependiente de los escasos recursos disponibles y la competencia por el recurso se intensifica. Este hecho, requiere que la simulación hidrológica diferencie los flujos de agua de la cuenca cuantificando las proporciones de flujos de agua disponibles y comprometidos.

### 3.3 Metodología

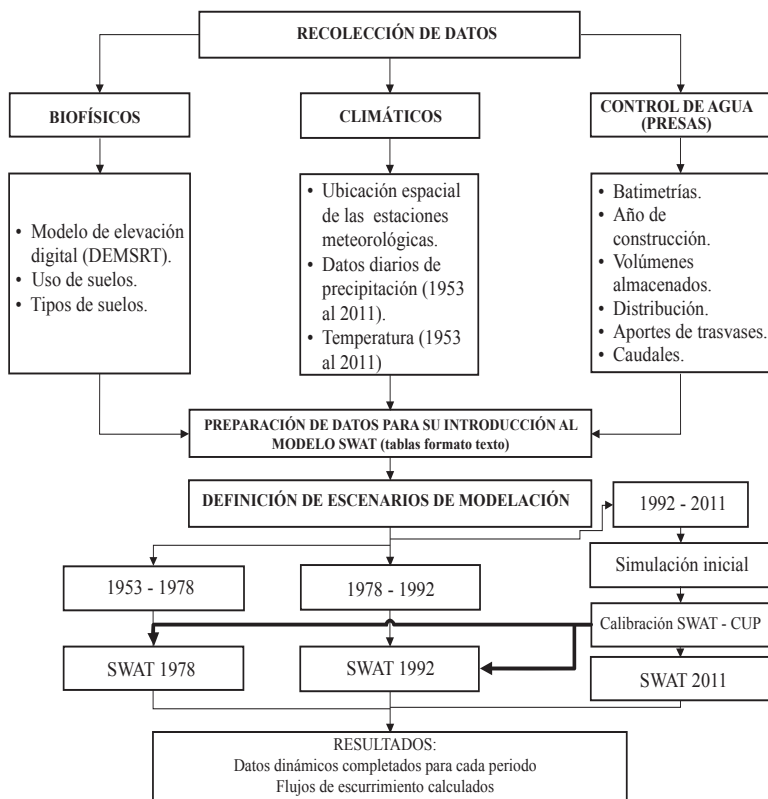
Considerando que existe una amplia diversidad de modelos para simular la hidrología de una cuenca, previamente al inicio del estudio, se realizó un exhaustivo análisis comparativo de los modelos aplicables a las condiciones de la zona y que son mayormente utilizados en el contexto boliviano. De acuerdo a Iriarte (2012), los modelos de hidrología superficial que más se aplican en Bolivia son: CHAC SIMULA (TEMEZ), HEC-HMS, MIKE (MIKE BASIN, MIKE 11, MIKE SHE), SWAT y WEAP.

Primeramente se descartó el uso de los modelos MIKE debido al alto costo de adquisición de su licencia, aspecto que limita la aplicación de este tipo de modelos en cuencas Bolivianas. El modelo WEAP reúne varias de las condiciones requeridas, pero su escasa difusión en el contexto boliviano limitó su aplicación. El modelo HEC-HMS fue descartado, pese a ser un modelo hidrológico muy aceptado en el sector y permitir una simulación continua, debido a que su diseño está orientado principalmente al cálculo de eventos extremos, alejándose del objeto de estudio. Así la elección quedó entre el CHAC-SIMULA y el SWAT. Mientras que el primero es un modelo conceptual y agregado, el segundo es

determinista y semi-distribuido, habiéndose optado por el SWAT, debido a que la disponibilidad de datos en la cuenca (datos de climatología y suelos disponibles, y poca información de caudales de los ríos) permite un mejor ajuste del modelo.

El modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), fue desarrollado por el Servicio Agrícola de Investigación (ARS) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). El modelo permite usar un paso de tiempo diario y es semi-distribuido espacialmente, a partir de la definición de Unidades de Respuesta Hídrica (HRU, por sus siglas en inglés), que son las unidades computacionales usadas por el modelo, consideradas homogéneas en cuanto a pendiente del terreno, tipo de suelo y uso del suelo. Para el desarrollo del presente estudio se utilizó el Modelo SWAT 2005, en su interface ArcSWAT, en el entorno ArcGIS 9.3.

El análisis de la dinámica de los caudales y control de agua en los tres períodos de la trayectoria de la cuenca Pucara, requirió el establecimiento de 3 escenarios relacionados correspondientes a cada periodo (1953-1978; 1978-1992; y 1992-2011). En consecuencia, los datos ingresados al ArcSWAT variaron para cada uno de los periodos de simulación. La metodología general seguida incluyó el desarrollo de 6 etapas: recolección de datos, preparación de datos, definición de escenarios, simulación inicial, calibración y procesamiento final de resultados. La Figura 3.1 ilustra el desarrollo de las 5 etapas antes mencionadas.

**Figura 3.1. Esquema de la metodología aplicada**

### 3.3.1 Recolección de datos

Para la recolección de datos se recurrió principalmente a la Base de Datos de la Cuenca Pucara gestionada por el Centro AGUA. Para cada uno de los 3 periodos de estudio, se recolectaron 3 tipos de datos:

#### a) *Datos Biofísicos:*

- Modelo de elevación digital; procesado sobre la base de imágenes de la misión topográfica de radar (SRTM) con resolución de 90 metros.

- Mapa de uso de suelos; a partir de la reclasificación del mapa de zonas de producción dominantes (ZSPDs), elaborados por Rocha y Mayta (2007), y Mayta y Alfaro (2009).
- Mapa de tipo de suelo; extractado del estudio de zonificación agroecológica realizado por Paredes (2003), el cual fue reclasificado de acuerdo a las unidades requeridas por el SWAT (unidades taxonómicas).

**b) Datos climáticos:** Se recolectaron datos diarios de precipitación y temperatura (máximas y mínimas) para el periodo 1953 - 2011. Cabe mencionar que en las primeras décadas no existen series completas de datos, por lo que fueron completados por el modelo a través del generador climático.

**c) Datos de control de agua:**

Datos de volúmenes de agua de los embalses; a partir de la información del inventario nacional de presas (PROAGRO, 2010) y el estudio de gestión de sistemas de riego de la cuenca Pucara (Cáceres, 2009).

Datos de uso de agua del río; sobre la base de los datos de caudales históricos de las tomas de Toralapa y Millu Mayu, extractados de la base de datos de la cuenca Pucara.

### **3.3.2 Preparación de datos**

La preparación e ingreso de datos para el modelo SWAT se realizó por distintas vías, en función de la información de entrada. Así, los datos biofísicos fueron ingresados usando ArcGIS como interface de entrada, y sus principales características fueron definidas (o modificadas) en la base de datos de SWAT a través de Microsoft Access. El resto de información, que en general son series temporales de datos (climáticos, control de agua, etc.), fueron ingresados a través de archivos de texto (.txt) de formato definido. Así, por un lado se prepararon las capas de información biofísica

para ser introducidas en el modelo, definiendo algunas de sus características en la base de datos asociada, y por otro se prepararon las series temporales de datos de acuerdo al formato requerido por el modelo SWAT, mencionado en el documento de soporte del programa (Arnold et al., 2011).

Como es habitual, las series climáticas no estaban completas al 100%, por lo que los datos faltantes fueron rellenados por el generador climático incluido en el programa. Para el correcto funcionamiento de dicho generador se calcularon un conjunto de parámetros estadísticos (medias, desviaciones estándar y otros) a partir de datos disponibles en cada una de las estaciones climáticas.

### **3.3.3 Definición de escenarios**

La definición de los 3 escenarios se realizó en función del proceso de intervención y control de agua en la cuenca. Considerando la dinámica de la construcción y mejoramiento de la infraestructura de control hidráulico (embalses) a lo largo de los tres periodos, se estableció inicialmente el modelo para el tercer periodo (1992 al 2011), considerando el escenario para el último año del periodo (2011), en el cual la totalidad de los embalses existentes ya se encuentran desarrollados. A partir de este escenario, se modificaron las características de los embalses en términos del año de construcción y la variación de su capacidad de almacenamiento, llegando a constituir los otros dos escenarios (1978 y 1992) correspondientes a los dos periodos restantes.

### **3.3.4 Simulación inicial**

Una vez definidos los escenarios se procedió a ingresar los datos al modelo inicial (1992-2011), para luego realizar la primera corrida del modelo. Esta primera corrida se realizó con el propósito de verificar la existencia de errores durante el cargado de datos, y para analizar de manera preliminar, la coherencia de los caudales superficiales de salida.

### 3.3.5 Calibración

Considerando que se disponen de muy pocos datos hidrométricos, el proceso de calibración se realizó con datos de caudales obtenidos del modelo de gestión de agua de la cuenca Pucara, desarrollado en MIKE BASIN (Cruz, 2011). El proceso de calibración se desarrolló con el software SWAT-CUP, con el algoritmo SUFI2 (*Sequential Uncertainty Fitting*). Los valores estadísticos resultantes de la calibración para el periodo 1992 a 2011 se muestran en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1. Valores estadísticos resultantes de la calibración del modelo para la Cuenca Pucara**

<i>Parámetro estadístico</i>	<i>Sesgo porcentual (PBIAS)</i>	<i>Nash –Sutcliffe (NSE)</i>	<i>RMSE-Desv. Estandar (RSR)</i>
<i>Periodo 1992 - 2011</i>	-35.8	0.75	0.50
<i>Interpretación según Moriasi et. al. (2007)</i>	<i>No satisfactorio</i>	<i>Bueno</i>	<i>Bueno</i>

Los parámetros NSE y RSR son aceptables, sin embargo el PBIAS se encuentra fuera de los rangos de aceptación, lo cual indica que la tendencia de los datos simulados es menor o mayor que la de los datos observados. Sin embargo, considerando las limitaciones de los datos observados reales, este parámetro es aceptable como una primera aproximación (se considera satisfactorio a partir de -25). El hecho de no contar con los suficientes datos de caudales medidos para realizar la calibración, se constituye en una importante limitante del estudio, por lo que los resultados del modelo deben usarse como tendencias de respuesta de la cuenca más que como valores precisos, debido a la incertidumbre asociada.

### 3.3.6 Procesamiento final de resultados

Una vez calibrado el modelo inicial, se procedió a establecer los otros dos modelos para los periodos 1953-1978 y 1978-1992,

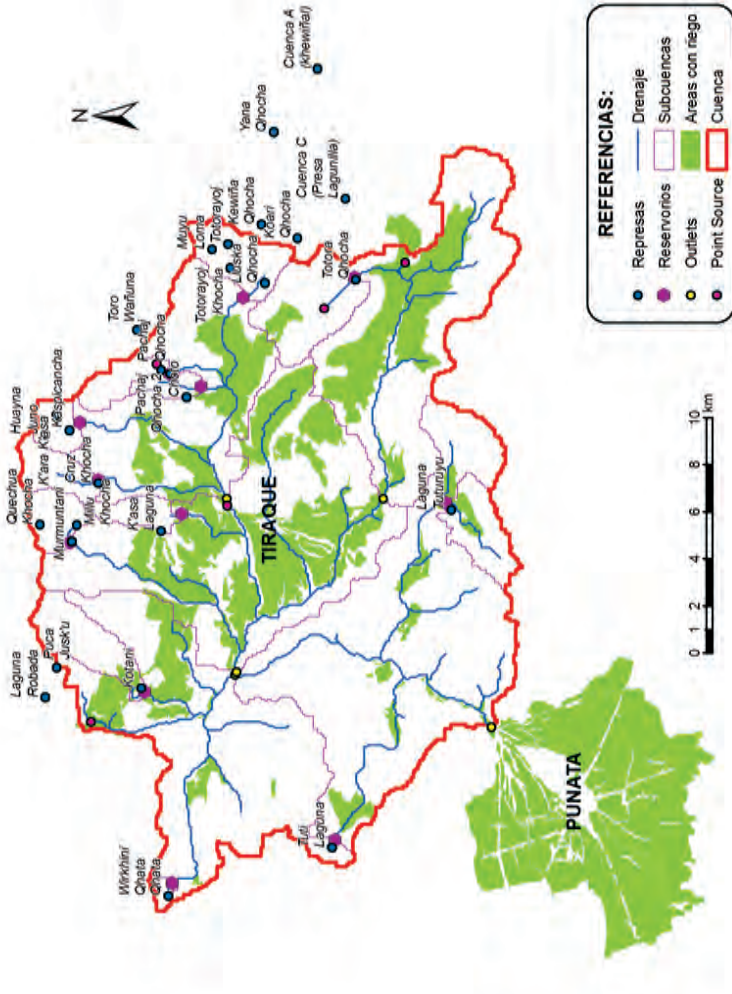
llegando finalmente a generar los tres escenarios de análisis con sus respectivos flujos de escurrimiento calculados. Se debe tener en cuenta la falta de precisión de los datos obtenidos, y entender estos como tendencias y no como datos simulados reales.

### **3.4 Modelando la dinámica de la trayectoria de la Cuenca Pucara**

Tal como se mencionó anteriormente, la cuenca Pucara tiene una larga historia de desarrollo del riego. A lo largo del tiempo, los pobladores de la cuenca han realizado diversos tipos de intervenciones en el ciclo hidrológico, llegando a controlar importantes caudales de agua para regar sus cultivos. El análisis histórico de esta serie de interacciones hombre-tecnología-agua, permitió diferenciar tres periodos en la trayectoria de la cuenca Pucara, llegando a estructurar un modelo con tres escenarios de flujo y control de agua superficial.

Cabe notar que el modelo incluye los caudales de agua trasvasados de cuencas vecinas que ingresan a la cuenca Pucara para alimentar embalses localizados en esta, además de los caudales de agua de embalses localizados fuera de la cuenca que ingresan sus aguas para riego en la cuenca. El Mapa 3.2 ilustra el esquema del modelo inicial estructurado, donde se pueden observar los puntos de entrada (inlets) y salida (outlets) de agua de la cuenca para el periodo 1992-2011.

Mapa 3.2. Mapa esquemático del modelo SWAT estructurado en la cuenca para el periodo 1992-2011



A manera de ejemplo, en las siguientes secciones se describen los resultados hallados a partir de la modelación de los escenarios de flujo y control de agua para cada uno de los periodos de la trayectoria de la cuenca Pucara, para luego analizar dichos escenarios en el marco del proceso de cierre que sufre la cuenca.

### **3.4.1 Periodos de la trayectoria de la cuenca Pucara**

La contabilización de la dinámica de los caudales que fluyen en la cuenca, permite diferenciar claramente los tres periodos identificados. La tabla 3.2 sintetiza la contabilización de los diferentes caudales para cada uno de los periodos. En términos de ingresos de agua, se puede ver que los ingresos de agua por precipitación pluvial se han ido incrementando con el tiempo, registrándose un incremento de 17.3 hm<sup>3</sup>/año del primer al segundo periodo, y de 1.1 hm<sup>3</sup>/año del segundo al tercer periodo. No obstante, la cantidad de agua ingresada a la cuenca por trasvases se ha incrementado de 1.9 a 10.1 hm<sup>3</sup>/año en todo el periodo de estudio, producto principalmente de las intervenciones promovidas por el estado.

Por el lado de las salidas (y/o uso) de agua, el caudal de agua controlado para riego en la cuenca se ha incrementado en 360%, lo que ha resultado en una disminución del volumen anual de agua de escorrentía que sale de la cuenca hidrográfica entre el segundo y tercer periodo, de 45.7 a 44.0 hm<sup>3</sup>/año, pese al incremento del ingreso de agua (precipitación y trasvases). Cabe mencionar que alrededor del 14% del caudal total anual que sale de la cuenca corresponde al agua de riego comprometida a los regantes de Punata y que es utilizado con mayor intensidad en la época de estiaje (Abril-Octubre). Considerando que menos del 10% del total de agua que fluye en la cuenca se registra en la época de estiaje, la reducción del caudal de salida afecta seriamente a los sistemas de riego que dependen del río Pucara en Punata.

**Tabla 3.2. Etapas de la trayectoria de desarrollo de la Cuenca Pucara**

Periodo	Periodo de control comunal (1953 - 1978)	Periodo de intervención estatal I (1978 - 1992)	Periodo de intervención estatal II (1992 - 2011)
Caudal de ingreso por Precipitación (hm <sup>3</sup> /año)	213,3	230,6	231,7
Caudal de ingreso por Trasvase (hm <sup>3</sup> /año)	1,9	10,1	10,1
Caudal controlado para riego (hm <sup>3</sup> /año)	5,9	19,3	21,4
Caudal consumido: evaporación, infiltración, percolación y otros (hm <sup>3</sup> /año)	172,2	175,8	176,5
Caudal de salida cuenca hidrográfica (hm <sup>3</sup> /año)	37,1	45,7	44,0
Caudal de salida comprometido Punata (hm <sup>3</sup> /año)	5,2	6,4	6,2
Caudal de salida libre (hm <sup>3</sup> /año)	31,9	39,2	37,8

A continuación se describen brevemente las principales acciones de control de agua en los tres periodos estudiados:

***a) Periodo de control comunal (1953-1978):***

En este periodo las comunidades campesinas, por acción propia y con el apoyo técnico y financiero de agencias gubernamentales, lograron controlar y mejorar un total de 7 embalses, que junto con los sistemas de río, lograron captar un total de 5,9 hm<sup>3</sup>/año, de los cuales 1.15 hm<sup>3</sup>/año correspondían al embalse Laguna Robada, que trasvasa agua desde la zona de Aguirre para el riego de tierras en Punata.

***b) Periodo de intervención estatal I (1978-1992)***

A partir de la intervención del PRAV y el desarrollo del proyecto Tiraque-Punata se realizó el mejoramiento de 6 embalses antiguos y la construcción del embalse de mayor tamaño: Totora Khocha (construido sobre un embalse antiguo). Sumando el mejoramiento de otros 8 embalses pequeños en forma aislada, hasta 1992 se establecieron un total de 14 embalses. La cantidad de agua controlada

para riego en este periodo se incrementó a 19.3 hm<sup>3</sup>/año, de los cuales 10.1 hm<sup>3</sup>/año correspondían a trasvases de agua de 5 embalses. Cabe mencionar que el embalse Totorá Khocha fue diseñado y construido con una capacidad de 22 hm<sup>3</sup>, pero sin embargo simplemente logró almacenar un promedio de 6.1 hm<sup>3</sup>/año.

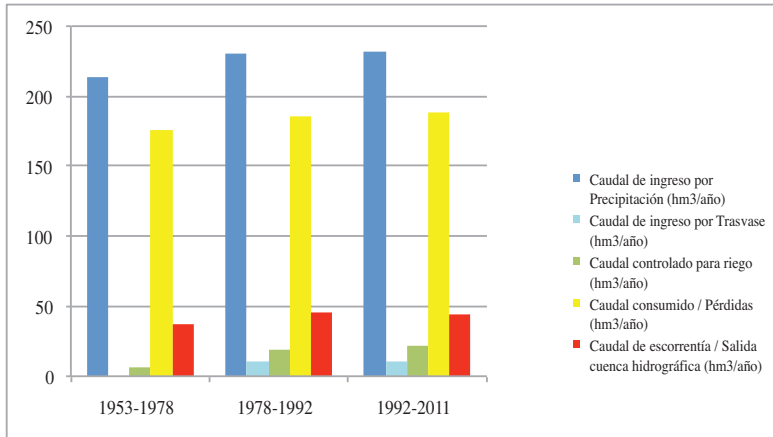
### ***c) Periodo de intervención estatal II (1992-2011)***

En este periodo, a partir de múltiples intervenciones estatales aisladas, se mejoraron otros 10 embalses, haciendo un total de 24 embalses establecidos. En total se logró controlar para riego 21.4 hm<sup>3</sup>/año, de los cuales 10.1 hm<sup>3</sup>/año (47%) correspondían a trasvases de cuencas vecinas. Producto de las múltiples intervenciones, el caudal de agua de escorrentía que sale de la cuenca disminuyó de 45.7 a 44 hm<sup>3</sup>/año, registrando una disminución de 1.7 hm<sup>3</sup>/año.

#### **3.4.2 El proceso de cierre de la cuenca Pucara**

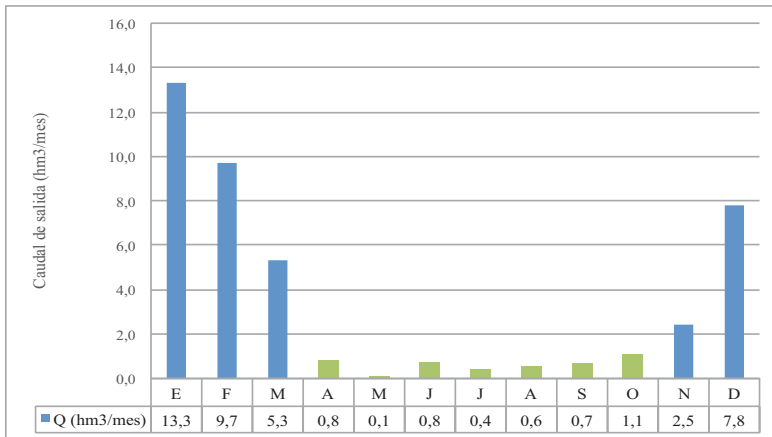
Como resultado de la trayectoria descrita en la anterior sección, la cuenca Pucara se encuentra en proceso de cierre pese al significativo incremento de agua trasvasada a la cuenca. Analizando la figura 3.3, se puede apreciar que si bien la cantidad de agua controlada se ha triplicado en el periodo de estudio, únicamente se ha logrado controlar el 33% del total de agua que fluye superficialmente en la cuenca. Cabe mencionar que el 16% corresponde al agua trasvasada de cuencas vecinas.

**Figura 3.3. Dinámica de caudales de agua en tres periodos de la trayectoria de la cuenca Pucara**



Sin embargo, analizando la dinámica anual de los caudales de agua en la cuenca, se puede observar que el 89,6% de la cantidad de agua de escorrentía que sale de la cuenca, corresponde a los flujos de agua registrados entre Noviembre y Marzo (5 meses). En la Figura 3.4 se observa la dinámica anual de los flujos de agua libre que salen de la cuenca en el tercer periodo. Entre Abril y Octubre todo el caudal de agua que sale de la cuenca es aprovechado para riego en Punata, por lo que, prácticamente, en estos 7 meses la cuenca está cerrada y no hay flujo de agua superficial que no sea utilizado en la cuenca. Este hecho, sumado con la creciente demanda de agua para riego en la parte alta y baja de la cuenca, hace que se ejerza una fuerte presión sobre los recursos hídricos disponibles, por lo que cualquier nueva acción de control de agua en la cuenca resulta en afectaciones a los otros sistemas de aprovechamiento de agua y al ciclo hidrológico de la cuenca en su conjunto.

**Figura 3.4. Dinámica anual de caudales de salida de agua de la cuenca Pucara para el periodo 1992-2012**



De acuerdo a los lineamientos tradicionales del desarrollo hídrico, la cantidad de agua que fluye libremente y que sale de la cuenca hidrográfica (37.8 hm<sup>3</sup>/año, 1992-2011), podría ser controlada y aprovechada para satisfacer las necesidades de la población local. Sin embargo es necesario considerar que entre Noviembre y Marzo gran parte del flujo mensual de agua se produce en un reducido número de eventos de lluvia, que generan grandes caudales en los ríos, por lo que difícilmente podrían ser captados y/o aprovechados.

### 3.5 Conclusiones

La modelación temporal y espacial de caudales y control de agua, provee valiosa información para el análisis profundo y detallado de la dinámica de los flujos de agua en una cuenca intervenida, posibilitando un mejor entendimiento de los ciclos hidrosociales desarrollados a lo largo de la trayectoria de la cuenca. La construcción de escenarios, diferenciando y contabilizando los cambios de entradas y salidas de agua en la cuenca, relaciona los procesos naturales del ciclo hidrológico con los procesos sociales

de control de agua, permitiendo una mayor aproximación a la realidad de los caudales de agua simulados.

Ante la diversidad de modelos disponibles, el modelo SWAT aparece como válido para la cuenca Pucara. Como puntos fuertes de dicho modelo cabe destacar su carácter continuo en el tiempo y semi-distribuido en el espacio, así como los módulos específicos para su aplicación en cuencas agrícolas altamente intervenidas (represas). Por el contrario, sus mayores limitaciones son la relativa complejidad en el uso del software y la elevada cantidad de datos de entrada requeridos. En referencia a los datos requeridos, estos no siempre se encuentran disponibles en las cuencas de Bolivia, con vacíos de información en aspectos como datos climáticos históricos, datos de control de agua (caudales trasvasados, caudales aprovechados y prácticas de uso de agua) y datos hidrométricos para la calibración, siendo la falta de estos últimos la mayor limitación del presente estudio.

Los resultados logrados en el estudio realizado, justifican plenamente la orientación del proceso de desarrollo del riego en la cuenca Pucara, en cuanto a la construcción de embalses se refiere. La construcción de embalses permite almacenar agua en el periodo de lluvias para luego utilizarla en la época seca. Sin embargo, al estar estos embalses ubicados en la parte alta de la cuenca, se limita la superficie de captación por lo que se tiene que recurrir al trasvase de aguas de cuencas vecinas para poder ampliar los embalses. Finalmente, el proceso de cierre de la cuenca Pucara, condiciona las futuras acciones de intervención en riego en la cuenca, debido principalmente al incremento de la dependencia entre los diferentes usos y usuarios del agua de la cuenca.

### **3.6 Referencias bibliográficas**

Arnold, J. G., Kiniry, J., Srinivasan, R., Williams, J. R., Haney, E. B., & Neitsch, S. L. (2011). *Soil and Water Assessment Tool: Input/Output file documentation (Version 2009)* (p. 643). Texas: Texas A&M University System.

Budds, J. (2012). La demanda, evaluación y asignación del agua en el contexto de escasez: un análisis del ciclo hidrosocial del valle del río La Ligua, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 152, 167–184.

Cáceres, W. (2009). *Gestión de sistemas de riego Cuenca Hidrográfica Pucara*. *Gestión* (p. 68). Cochabamba.

Cruz, R. (2009). Estudio hidrológico de la micro-región Tiraque Valle. Cochabamba.

Cruz, R. (2010). *Asignación del agua en la microregión Tiraque Valle* (p. 38). Cochabamba.

Cruz, R. (2011). *Modelo de Gestión del Agua de la Cuenca Pucara* (p. 36). Cochabamba, Bolivia.

Delgadillo, O., & Lazarte, N. (2007). *Gestión de los sistemas de aprovechamiento de agua en el municipio de Punata* (p. 69). Cochabamba.

Iriarte, J. (2012). *Sistematización de experiencias en modelación de recursos hídricos en Bolivia (Dptos. La Paz y Cochabamba)* (p. 25). Cochabamba.

Mayta, A., & Alfaro, V. (2009). *Uso actual de tierra. Cuenca hidrográfica Pucara* (p. 36). Cochabamba.

Molle, F. (2003). Development Trajectories of River Basins: A Conceptual Framework. *Water Management*. Colombo.

Molle, F., Wester, P., Hirsch, P., Murray-rust, H., Paranjpye, V., Pollard, S., & Zaag, P. Van Der. (2007). River basin development and management. In D. Molden (Ed.), *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture* (pp. 585–624). London, United Kingdom: Earthscan.

PROAGRO. (2010). *Inventario Nacional de Presas Bolivia 2010* (p. 410). La Paz, Bolivia: Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, Programa de Desarrollo Agropecuario Sustentable.

Rocha, R., & Mayta, A. (2007). *Dinámica del cambio del uso de tierra en Punata (1983-1996-2005)* (p. 40). Cochabamba.

Rojas, F., & Montenegro, E. (2007). Potencial hídrico superficial y subterráneo del abanico de Punata. Cochabamba.

Seckler, D. (1996). The new era of water resources management: From dry to wet water savings. *Management*. Colombo, Sri Lanka. doi:10.3910/2009.003

# Capítulo

## 4

### INVESTIGACIÓN EN AGUAS SUBTERRÁNEAS EN PUNATA-BOLIVIA:

#### Enfoque, métodos, resultados y aprendizajes

*Alfredo Durán,  
Agustí Pérez - Foguet,  
Cristina Mecerreyes,  
Jhylmar Ortiz,  
Aníbal Mayta*

#### 4.1 Introducción

El presente capítulo describe la problemática del agua subterránea en el abanico de Punata en el Valle Alto de Cochabamba, Bolivia. Una de las características principales de la problemática radica en el continuo incremento de la perforación de pozos sin la existencia de un marco que ordene el proceso de explotación, situación que conduce a conflictos entre usuarios, y que está generando una serie de impactos ambientales no controlados (descenso de niveles freáticos y contaminación de acuíferos, como puntos principales), así como diversas preocupaciones socioeconómicas e institucionales sobre el futuro de las aguas subterráneas, entre los diversos actores y sectores socioeconómicos de la cuenca.

Bajo esta perspectiva, el programa de investigación en aguas subterráneas implementado en el marco del SIDAGUA, ha generado una base de información inicial que incluye un inventario de los pozos perforados en Punata actualizado en el año 2012, el cual, tomando en cuenta dos inventarios anteriores (1998, 2005), muestra la evolución que ha tenido la explotación de aguas subterráneas a lo largo de los últimos 15 años.

El inventario ha permitido determinar las características principales de los pozos como ser: la ubicación geográfica, características de construcción (profundidad, ubicación de filtros, diámetro y materiales usados), tasas de bombeo y otros parámetros hidráulicos. Se han realizado además varias investigaciones sobre las características de los acuíferos identificando zonas con buenas condiciones de recarga. Se ha establecido una red de monitoreo formada por 27 pozos, con la finalidad de evaluar las fluctuaciones en niveles freáticos y caudales, recogiendo información mensual y procesando los datos de un año natural (2012). Estas investigaciones han sido complementadas por modelaciones del sistema de flujo de agua subterránea.

El conjunto de estudios ha sido coordinado con instituciones y organizaciones locales, y los resultados han tenido varios efectos. Por un lado, han generado un gran interés en los actores locales por conocer más sobre el estado de las aguas subterráneas, debido a las ya evidentes manifestaciones de sobre-explotación de los acuíferos. Por otra parte, ha permitido establecer, junto con las instituciones implicadas, nuevos proyectos en el marco de otros nuevos programas de investigación: el Programa de Cuencas Pedagógicas del Vice-Ministerio de Recursos Hídricos y Riego (VMRHR) y el Programa GIRH-UMSS SIDA, que prevé la realización de estudios doctorales en la cuenca Pucara, y específicamente una investigación doctoral en el abanico de Punata. Asimismo se está iniciando un nuevo proyecto sobre aguas subterráneas en el Municipio de Cliza

en un consorcio con la Universidad de Calgary (Canadá), la Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca y el Centro AGUA de la UMSS, con el apoyo del Municipio de Truro (Canadá), “ciudad hermana” de Cliza, y financiamiento del IDRC.

En este nuevo marco de trabajo, los actores nacionales y regionales, así como los gobiernos municipales y las organizaciones de usuarios locales, son partícipes de procesos de desarrollo de conocimientos y capacidades que en conjunto, se espera que brinden mejores herramientas y perspectivas para un entendimiento más completo de la dinámica de las aguas subterráneas en Punata. Gracias a él, se podrá incidir en la implementación consistente de la gestión integrada de recursos hídricos subterráneos a nivel local y nacional, así como desarrollar mayores capacidades de gestión en los actores locales.

### **Contexto del aprovechamiento de aguas subterráneas en Punata**

Punata, “la Perla del Valle” como se la conoce, es una de las provincias emblemáticas de los Valles de Cochabamba, tanto desde la perspectiva cultural y de las tradiciones de la región, como por sus características productivas sustentadas en el aprovechamiento de agua. Punata constituye la parte baja o salida de la denominada “cuenca hidrosocial Pucara” en la cual el Centro AGUA de la UMSS, con apoyo de la UPC y el financiamiento de AECID, así como de otros socios institucionales, ha desarrollado una serie de investigaciones con el objetivo de contribuir a la implementación de la política hídrica boliviana.

Punata tiene una intensiva agricultura bajo riego, diversidad de sistemas productivos, tecnologías de riego ancestrales y peculiares modalidades de gestión de agua, todo ello en el complejo contexto político, social, económico y ambiental que presenta la Bolivia actual. Desde la perspectiva del desarrollo de recursos hídricos,

organizaciones de regantes de Punata y sus pares de Tiraque (en la parte alta de la cuenca Pucara), desde tiempos antiguos han establecido una serie de acuerdos, a veces en consenso, a veces en el marco de conflictos, para el aprovechamiento de las fuentes de agua superficiales.

Desde los años 70 se realizaron varias intervenciones para incrementar la oferta de aguas superficiales, a través de la construcción de nuevas represas y la mejora de embalses antiguos. Sin embargo, dicho proceso fue insuficiente para satisfacer las crecientes demandas de agua generadas por los procesos de intensificación agrícola, ya que al incrementar la disponibilidad de agua se cambiaron paulatinamente las tecnologías de producción a secano a un sistema de producción bajo riego, que junto con la ampliación de áreas bajo riego en la zona y el establecimiento de nuevos asentamientos poblacionales, con sus respectivas necesidades de agua para consumo doméstico, generaron un incremento de las demandas de agua.

Como resultado, a mediados de los años 70 se inició un programa de perforación de pozos profundos, pero no fue hasta los años 90 que cambió la escala del aprovechamiento del agua subterránea. Hasta entonces, el uso de aguas subterráneas provenía del aprovechamiento de vertientes y de pozos someros excavados, los cuales complementaban, especialmente durante el estiaje, la oferta de las aguas superficiales que llegan a Punata por el río Pucara.

En los años 90 se incrementó drásticamente la perforación de pozos, inicialmente para riego, y paulatinamente con fines de consumo doméstico. A la fecha, hay pozos para riego, otros son de consumo doméstico exclusivamente y algunos son para usos domésticos y productivos simultáneamente, además de algunos nuevos pozos para uso industrial.

Este proceso de creciente aprovechamiento del agua subterránea ha puesto en primer plano preocupaciones sobre la sobreexplotación de los acuíferos locales, junto con una sensación de inseguridad sobre el futuro abastecimiento de agua para múltiples propósitos, lo cual ha configurado un escenario de potenciales conflictos entre organizaciones de usuarios.

La zona de estudio comprende el Abanico Aluvial de Punata, indicado en el Mapa 2.3 (capítulo II) y ubicado en la región del Valle Alto de Cochabamba. Geográficamente, se halla entre las coordenadas 17°29'43" y 17°35'36" de Latitud Sur y 65°46'56" y 65°52'42" de Longitud Oeste, a una altitud comprendida entre los 2705 y 2723 msnm y una extensión de 87 km<sup>2</sup> (Rojas y Montenegro, 2007). El Abanico Aluvial se encuentra en su mayor porcentaje dentro de la primera sección municipal de Punata y en menor porcentaje sobre los municipios de Arani, Villa Rivero y San Benito. Está situado en la desembocadura de la cuenca del río Pucara a la zona del valle, y por ello la población tiene una dependencia directa de las aguas superficiales (tanto flujo base como aguas de embalses situados en la parte alta de la cuenca) que llegan por el río, así como de las aguas subterráneas que infiltran en el abanico.

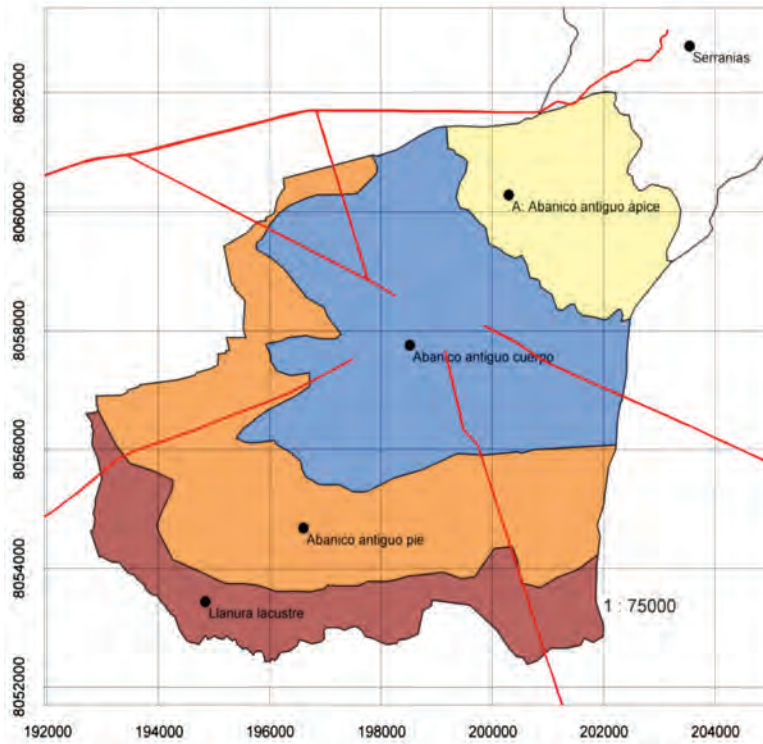
Los usos principales del agua son el riego y el consumo doméstico, además de nuevos usos emergentes, consecuencia del proceso de urbanización que sufre Punata.

### **Características físicas del abanico de Punata**

Los suelos de Punata se formaron a partir de deposiciones de origen aluvial y deposiciones lacustres, identificándose dos unidades geomorfológicas claramente diferenciadas: abanico aluvial y llanura lacustre. Según estudios realizados por el CLAS (2002), los suelos se distinguen de acuerdo a estas unidades geomorfológicas, tal como se ilustra en la Figura 4.1.

- ***Abanico antiguo ápice:*** Son suelos de poco a moderado desarrollo con texturas que van de franco arenoso a franco arcilloso, poco a moderadamente profundos, con una pedregosidad moderada. Si bien en esta unidad geomorfológica los suelos no son muy desarrollados, es muy productiva por el acceso a riego.
- ***Abanico antiguo cuerpo:*** Son suelos moderadamente desarrollados, de textura franco a franco arcilloso. Son suelos productivos pero en la actualidad presentan ciertas limitaciones en cuanto a su uso por la falta de agua de riego.
- ***Abanico antiguo pie:*** Son suelos desarrollados, de textura arcillosa, profundos, salinos-sódicos, con zonas con problemas marcados de drenaje. Es una unidad que por problemas de falta de riego y salinidad su carácter productivo se ve reducido.
- ***Llanura lacustre:*** Corresponde a una unidad con pendientes casi planas y suaves donde los suelos presentan drenaje interno imperfecto y drenaje externo lento. La presencia de sales es marcada debido principalmente a problemas de drenaje y al transporte de aguas con alto contenido de carbonatos. Actualmente esta unidad presenta serios problemas de drenaje lo que repercute directamente en procesos de salinización que limitan su uso.

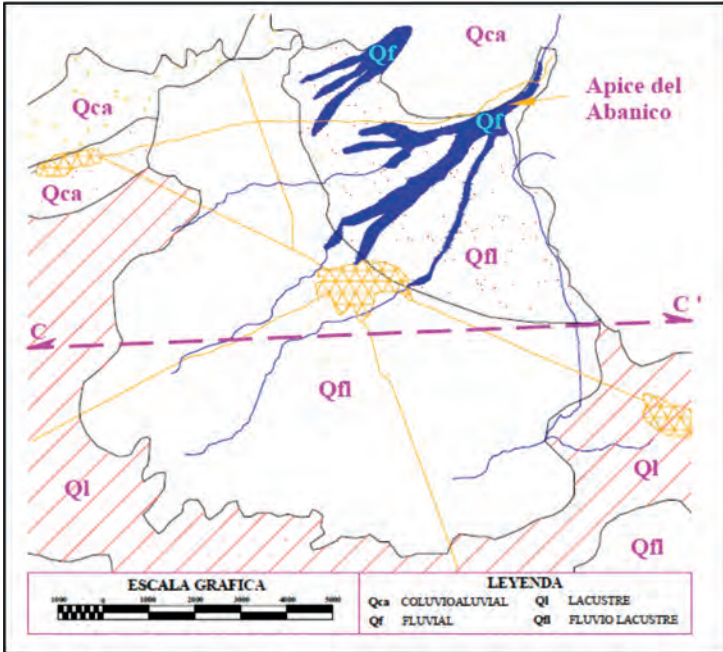
**Figura 4.1. Mapa de unidades geomorfológicas del abanico de Punata**



*Fuente: CLAS (2002)*

En la Figura 4.2 se muestran las unidades hidrogeológicas del abanico aluvial de Punata.

**Figura 4.3. Unidades hidrogeológicas del abanico de Punata**



*Fuente: SALZGITTER CONSULT GMBH, 1985.*

Según el PIRHC (1978), las unidades estratigráficas con sus correspondientes características hidrogeológicas para la cuenca del Valle Alto, se han originado en el Holoceno y el abanico de Punata presenta principalmente depósitos fluviales (Qf), caracterizados por materiales de grano grueso formados por cantos rodados, pedrones, gravas, con contenido de arenas y arcillas, formando abanicos aluviales y depósitos de cauce de río. La permeabilidad de estos materiales varía de regular a muy buena. Estos depósitos constituyen la zona de recarga de las cuencas. Los pozos en estos materiales pueden producir hasta 10 l/s de agua de muy buena calidad. La mejor

expresión de estos depósitos la constituye el abanico de Punata.

El clima de la zona es semiárido, caracterizado por un periodo de lluvias entre Noviembre y Marzo, y un periodo de estiaje prolongado. La Tabla 4.1 muestra los valores medios de los principales parámetros meteorológicos en la región. Se dispone de datos de sólo 6 años de la estación Chaupisuyo de 1989 al 1995, que es una estación situada en el centro del abanico aluvial. La razón de esta escasez de datos es que la estación fue desmantelada y ninguna institución asumió la reposición de equipos para continuar con mediciones, debido al riesgo de nuevos robos. A la fecha, existe una nueva estación meteorológica automática instalada por el Centro AGUA, con registros del último año.

**Tabla 4.1. Datos climáticos promedio Chaupisuyo-periodo 1989-1995**

Mes	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)		Humedad Relativa (%)	Horas sol	Velocidad del viento (m/s)
		Max.	Min			
Enero	79,6	20,6	9,6	55	5,35	1,1
Febrero	50,3	20,2	8,3	56	6,34	1,2
Marzo	31,4	20,1	7,5	55	6,88	1,2
Abril	14,3	20,1	5,9	52	7,21	1,5
Mayo	0,9	20,7	2,5	47	8,35	1,1
Junio	0,9	19,4	0,5	44	7,71	1,4
Julio	0,5	19,2	0,7	45	7,88	1,5
Agosto	6,2	20,2	3,0	47	8,18	1,8
Septiembre	5,1	22,7	7,9	49	7,64	2,3
Octubre	12,2	23,4	10,0	50	6,61	2,3
Noviembre	30,5	22,3	9,1	48	7,02	1,9
Diciembre	62,6	22,0	10,1	50	6,14	1,4
Total/Promedio	294,7	20,9	6,2	49,8	7,1	1,6

*Fuente: Estación Meteorológica Chaupisuyo*

No obstante, utilizando datos de estaciones meteorológicas vecinas y situadas alrededor del abanico de Punata para el análisis de la precipitación pluvial, los resultados son los siguientes:

**Tabla 4.2 Precipitaciones anuales de las estaciones en el Abanico de Punata**

<b>Año</b>	<b>Arani</b>	<b>San Benito</b>	<b>Paracaya</b>	<b>León Rancho</b>	<b>Chaupisuyo</b>
1986	467.1	598.7	412.0	455.0	342.0
1987	352.9	400.7	320.8	425.0	345.0
1988	337.5	432.6	422.7	338.0	311.1
1989	236.1	239.8	238.6	230.2	217.2
1990	294.6	406.6	356.5	312.1	317.6
1991	171.5	397.9	316.3	325.9	312.1
1992	291.3	317.0	382.3	342.9	297.9
1993	299.5	387.1	364.8	315.8	359.8
1994	272.8	295.3	232.3	295.2	247.1
1995	290.2	311.0	259.5	332.8	285.6
1996	615.9	372.2	***	416.0	354.0
1997	390.2	477.0	***	356.0	324.0
1998	299.0	342.0	***	256.0	240.0
1999	509.7	391.7	***	***	***
2000	354.2	297.5	***	***	***
2001	***	456.1	***	***	***
2002	***	276.2	***	***	***
2003	***	476.5	***	***	***
2004	***	346.5	***	***	***
<b>Prom.</b>	<b>348.2</b>	<b>380.1</b>	<b>330.6</b>	<b>338.5</b>	<b>308.3</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>112.9</b>	<b>8508.0</b>	<b>69.2</b>	<b>64.0</b>	<b>49.0</b>

*Fuente: Rojas & Montenegro, 2007*

## 4.2. Marco conceptual

Dada la gran demanda social en torno a la escasez de agua y las crecientes restricciones<sup>1</sup> para continuar la extracción de agua subterránea sin control, así como para orientar investigaciones que permitan generar mayor información y al mismo tiempo un mejor entendimiento de los procesos del agua subterránea en el abanico de Punata, por parte de los diversos actores involucrados en la problemática, se planteó un balance hídrico sencillo, el cual considera los procesos de recarga y almacenamiento en el acuífero como la oferta de agua, estando la demanda constituida por el aprovechamiento de agua a través de pozos profundos. La Figura 4.3 expresa dicho balance-Oferta y Demanda- en un contexto de gestión del conocimiento para la incidencia política.

<sup>1</sup> Tanto las Asociaciones de usuarios como los Gobiernos municipales han comenzado a poner restricciones a la antes libre perforación de pozos. Pese a no existir una normativa específica, se están aplicando algunos criterios (por ejemplo densidad de pozos o grado de escasez de agua en una determinada zona) y ordenanzas (distancias mínimas entre pozos) para reducir y/o limitar la perforación de pozos nuevos.

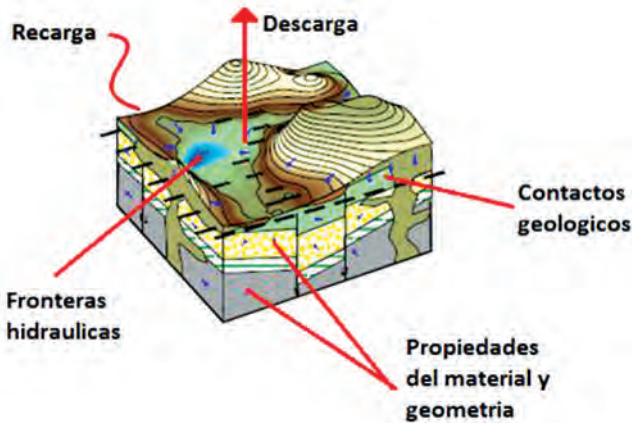
**Figura 4.3. Marco conceptual del balance hídrico subterráneo**



*Fuente: Elaboración propia.*

La figura siguiente expresa este enfoque conceptual del balance hídrico en una representación del abanico aluvial de Punata (Ortiz, 2013).

**Figura 4.4. Modelo conceptual del abanico de Punata**



*Fuente: Ortiz, 2013 (Modificado de Garfias, 2010)*

La estimación de la demanda se basa en la información colectada de los pozos existentes, la cual incluye datos sobre número de pozos, caudales de bombeo y tiempos de operación, además de un análisis sobre las condiciones de gestión y tipos de uso que se

realizan en los diversos pozos. Este tipo de información demanda esencialmente mediciones en campo, mapeo, seguimientos al agua y entrevistas a diferentes tipos de usuarios.

Al ser el agua subterránea un recurso no visible desde la superficie, la estimación de la oferta es más complicada en relación al agua superficial, y requiere no solo de equipo especial para la toma de datos, sino de una base teórica más compleja. Es importante disponer de una estimación de parámetros como la conductividad hidráulica, la transmisividad y el almacenamiento específico del acuífero, como base para estimar el flujo subterráneo y el almacenamiento potencial.

Por otro lado, es necesario dar continuidad a las tareas de monitoreo de los niveles estáticos, con el fin de analizar el régimen de flujo para diferentes periodos, y de esta manera comprender el efecto de la recarga en la fluctuación de niveles. Sin embargo, por el tamaño del abanico aluvial, las mediciones y la frecuencia de éstas han tenido que estar sujetas a un balance entre el grado de precisión requerido y la escala de trabajo más conveniente, a fin de poder generar información que refleje con la suficiente aproximación, el comportamiento de las aguas subterráneas durante ciclos anuales en el ámbito del abanico como unidad de análisis.

Por otra parte, la gestión de la información y del conocimiento generado a través de la investigación, debe ser incorporado en agendas educativas, ya sea vía currículas universitarias de pre y posgrado, pero especialmente en procesos de capacitación de actores y tomadores de decisiones. Este es un proceso paulatino pero de gran importancia para el posicionamiento de la investigación como herramienta de gestión.

Finalmente, la posibilidad de influir en políticas hídricas, planificación, regulación, y en general en la toma de decisiones, es otra aspiración del programa de investigación. Este es también un proceso paulatino pero que puede tener un importante impacto en la transformación de las modalidades y enfoques de gestión del agua.

En base a este marco conceptual se diseñaron y ejecutaron distintas investigaciones en aguas subterráneas durante los dos últimos años.

### **4.3 Estudios anteriores**

En 1968 la Compañía General de Geofísica de Francia (CGG), llevó a cabo una investigación geofísica de la cuenca Punata-Cliza (cuenca del Valle Alto), y GEOBOL realizó un mapeo geológico preliminar de las cuatro principales cuencas de los Valles: de Cochabamba, de Santiváñez, de Sacaba y de Punata-Cliza (GEOBOL, 1978). También en el año 1978, se presentó el Proyecto Integrado de Recursos Hídricos en Cochabamba (PIRHC, 1978) que incluyó un conjunto de estudios hidrogeológicos. Posteriormente el Proyecto de Riego Intervalles (PRIV) en 1990 efectuó el Balance Hídrico del Proyecto Inter-Valles (García, 1990). En 1994 CORDEP-DAI realizó el Balance Hídrico Subterráneo para el Abanico de Punata-Cliza (López Bakovic, 1994). El último estudio data de 1998 y estuvo a cargo del Estudio para el Control y la Protección de las Aguas Subterráneas en el Valle Alto (CPAS-SERGEOMIN, 1998). Sin embargo, casi todos los estudios hidrogeológicos se realizaron a una escala que cubría todo el Valle Alto, con escasa información detallada sobre las condiciones hidrogeológicas puntuales de las distintas zonas.

Pese a que en diversos estudios se hicieron estimaciones del balance hídrico subterráneo, la falta de información al nivel de detalle necesario ha determinado la escasa confiabilidad en los datos generados (Ros, 2011), y por tanto, siempre ha sido una incógnita el verdadero potencial de aprovechamiento del agua subterránea, tanto a nivel regional como a nivel local. En la siguiente tabla se sintetizan los resultados de los diferentes balances hídricos efectuados, los cuales muestran claramente las discrepancias en torno a la oferta de agua (la recarga y almacenamiento subterráneo), así como la evolución de la demanda, con crecientes volúmenes de aprovechamiento en el tiempo.

**Tabla 4.3 Balances hídricos subterráneos realizados**

TABLA COMPARATIVA GENERAL (Datos en Hm <sup>3</sup> )	PIRHC	PRIV	CORDEP-DAI	CPAS	Centro AGUA 2012
RECARGA TOTAL	6.0-7.0	13.1	9.53	4.3	-
DESCARGA TOTAL	5.4-5.9	9.14	6.2	12.1	16.76
CAMBIO DE ALMACENAMIENTO	0.1,-1.6	3.96	3.33	-7.8	-16.76

PIRHC: Programa de Investigación en Recursos Hídricos-Cochabamba

PRIV: Programa de Riego Inter-Valles

CORDEP-DAI: Corporación de Desarrollo Productivo-Dirección de Desarrollo Alternativo

CPAS: Convenio para la Evaluación de Aguas Subterráneas en el Valle Alto

*Fuente:* Modificado de Ros i Domingo 2007, con datos del Centro AGUA, 2012 y otros.

Montenegro y Rojas (2007), efectuaron una primera modelación del ciclo anual de las aguas subterráneas de Punata generando estimaciones de la recarga. La escasa disponibilidad de datos históricos y de datos medidos en campo como base para la modelación, determinó que ambas estimaciones de las tasas de recarga y almacenamiento sean simplemente ejercicios sin posibilidad de calibración o ajuste a condiciones reales.

Desde el punto de vista de la demanda de agua, en las décadas anteriores se realizaron dos inventarios de pozos profundos en el abanico de Punata (Ríos, 1998; Lazarte, 2005). Los datos principales recogidos en los inventarios son: uso del agua, año de perforación, profundidad perforada, profundidad entubada, diámetro, nivel freático (estático), nivel dinámico, profundidad de bombeo y potencia de la bomba. Sin embargo en ninguno de los estudios se logró determinar el volumen global de agua extraída de

los pozos, ya que la información obtenida sobre caudales y tiempo de operación de los pozos fue insuficiente para estimaciones a nivel del abanico.

Por otra parte Durán (1997), efectuó un análisis de la gestión campesina y los usos del agua subterránea a nivel de 7 comunidades de Punata, analizando los criterios campesinos en los procesos de diseño, intervención y funcionamiento de sistemas de riego con pozos profundos, con énfasis en las estrategias de gestión de agua y producción bajo riego, y sus implicaciones en la demanda de agua subterránea.

Sin embargo, el conjunto de estudios e información generado a través de las últimas 3 décadas, no ha permitido alcanzar un nivel de planificación y regulación de la explotación de aguas subterráneas, sea a cargo de los gobiernos Municipales o de las organizaciones de usuarios de pozos (riego y consumo doméstico).

#### **4.4. El proyecto SIDAGUA: investigaciones realizadas**

##### **4.4.1. Sobre la oferta de agua: recarga del acuífero principal**

El año 2011 se realizó un estudio (aún inconcluso) orientado a estimar el flujo subterráneo y las condiciones de la recarga en el ápice del abanico aluvial de Punata, en el entendido de que esta es la zona de mayor recarga. Para ello, se desarrolló un modelo matemático que permite describir el acoplamiento de las aguas superficiales y subterráneas a lo largo del curso del río. Se efectuó la caracterización y conceptualización hidrogeológica de la parte baja del río y se definió un tramo del río para la toma de datos hidrogeológicos primarios, principalmente conductividad hidráulica y transmisibilidad, las cuales permitirían determinar las fluctuaciones de nivel del agua subterránea y los caudales sub-superficiales en el río.

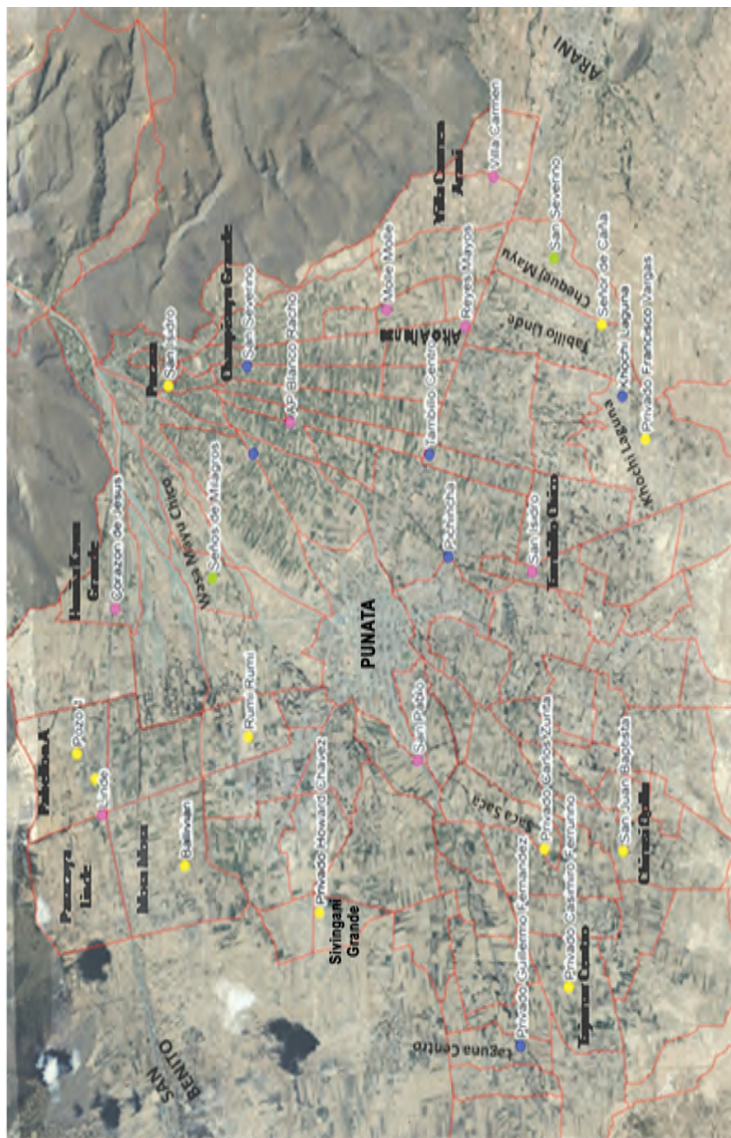
A partir de la modelización del proceso de recarga e interacción del acuífero con el curso del río, se ha iniciado la modelización del acuífero y la simulación del flujo subterráneo. La aplicación del modelo es de utilidad para analizar el comportamiento del acuífero

frente a diferentes escenarios, de manera que permita evaluar la disponibilidad de agua del acuífero ante distintos periodos pluviométricos, y por tanto ante la ocurrencia de periodos de sequía.

Paralelamente, en convenio con el Programa de Maestría en Gestión Integral de Aguas Subterráneas de la Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca, un equipo de dos estudiantes ha realizado la simulación de la recarga del acuífero usando Visual MODFLOW, a fin de determinar criterios y variables para un mayor control y protección del acuífero (Medinaceli, 2011; Hernández, 2011). La metodología utilizada en este estudio está basada en el inventario de pozos y la identificación de las posibles fuentes y zonas de recarga y descarga, y se busca complementar la información geológica con datos obtenidos a través de informes de pozos perforados (diseño de filtros, registros eléctricos, estratigrafía, análisis de muestras), además de estudios geofísicos como la Tomografía eléctrica en 2D y los SEVs (Sondeos Eléctricos Verticales). Elaborando cortes geológicos a partir de la recopilación de la información obtenida y la implementación de una red de monitoreo utilizando piezómetros, se realizó el monitoreo de los niveles (piezométricos y dinámicos) de los pozos de manera mensual. Estos métodos, complementados con la recopilación de información de las características del subsuelo, permitieron estimar los parámetros hidráulicos iniciales de conductividad hidráulica, transmisibilidad, coeficiente de almacenamiento y con todo ello se realizó una estimación de las tasas de recarga por diferentes métodos.

Las dos investigaciones son complementarias, en el primer caso el área de estudio corresponde a una porción de río ubicada en el ápice del abanico aluvial. En el segundo caso, se modeló todo el abanico y se realizaron las mediciones de los niveles piezométricos en 27 pozos de monitoreo distribuidos de acuerdo a la configuración espacial del abanico aluvial. En esta selección también se han considerado criterios desde la perspectiva de los usos del agua, contactos establecidos y acceso al pozo en el abanico.

Mapa 4.1. Red de pozos de monitoreo de niveles freáticos



Fuente: Mayta, 2012.

Por otra parte Ortiz (2013), efectuó otro estudio orientado a analizar el comportamiento de las aguas subterráneas en un sector de K'uchu Punata, cercano al ápice del abanico y con un área de estudio de 10.2 km<sup>2</sup>. Utilizando un modelo de flujo subterráneo en régimen permanente, para distintos escenarios de explotación para así conocer su comportamiento estimativo a futuro, el estudio buscaba contribuir a la gestión de recursos hídricos subterráneos. Para tal fin se realizó una recopilación de información hidrogeológica basada en informes técnicos de perforación de pozos, para determinar el modelo conceptual del acuífero previo al modelaje numérico.

Los resultados muestran que el acuífero se encuentra ubicado en la cabecera de un abanico aluvial antiguo, las unidades hidroestratigráficas están comprendidas por sedimentos Cuaternarios con diferente granulometría como arcillas, limo, arena fina a gruesa y bolones. Los espesores de los sedimentos oscilan entre 50 a 150 m. Para efectos del modelo numérico, se asumió el basamento hasta 180 m de profundidad, debido a que los registros de las descripciones litológicas de los pozos llegan hasta esa profundidad.

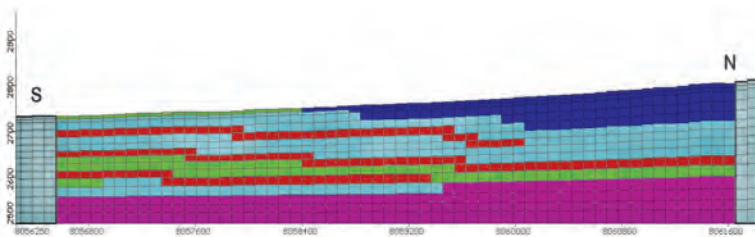
El principal parámetro hidráulico analizado fue la conductividad hidráulica, obteniéndose una combinación de valores de K que indican que el acuífero es semiconfinado. Los valores de K determinados a través de la metodología descrita, dan los siguientes órdenes de magnitud para la zona apical del abanico (Figura 4.5):

**Figura 4.5. Valores de Conductividad Hidráulica en el abanico de Punata**

Conductivity						
Zone	Kx [m/d]	Ky [m/d]	Kz [m/d]	Active	Distribution Array	
1	8.64E-10	8.64E-10	8.64E-11	<input checked="" type="checkbox"/>		
2	1.4	1.4	1.4	<input checked="" type="checkbox"/>		
3	3.5	3.5	0.35	<input checked="" type="checkbox"/>		
4	6.2	6.2	6.2	<input checked="" type="checkbox"/>		
5	0.0864	0.0864	0.0864	<input checked="" type="checkbox"/>		
6	8.64E-5	8.64E-5	8.64E-6	<input checked="" type="checkbox"/>		

Hydraulic conductivity in Z-direction Value = 0.0864

Export    Reset Order    Clean Up    Advanced >>    OK    Cancel



Fuente: Ortiz, 2013.

La figura muestra que en los estratos superiores de la zona apical del abanico, los valores de K son altos ( $K > 10$  m/día), y se reducen paulatinamente hasta valores de permeabilidad media (entre 3 a 6 m/día) a profundidades entre 20 y 60 m. Los valores de K disminuyen progresivamente a medida que aumenta la distancia desde el ápice del abanico y se incrementa la profundidad ( $0,01 < K < 1$  m/día). Aunque estos parámetros no han sido medidos en campo, sino estimados a través de modelación, dan una idea del orden de magnitud de la capacidad de transporte del agua

subterránea, y pueden brindar indirectamente valores de Transmisividad (T) y Coeficiente de almacenamiento (S).

Para el modelaje del acuífero se utilizó el programa Visual ModFlow. La calibración del modelo se realizó para dos condiciones diferentes, en estado natural y en condición actual de bombeo. La implementación del modelo matemático como herramienta de estudio ha permitido conocer el comportamiento del agua subterránea, para establecer los caudales óptimos de bombeo. Para ello se realizó el análisis de dos escenarios, el primero con los caudales actuales y el segundo que propone la disminución de caudales en un 25%, a fin de garantizar el rendimiento sostenible del acuífero.

La mayor limitación de los estudios realizados es que no se dispone de datos de años anteriores, es decir, no hay series históricas que permitan dar mayor confiabilidad a los resultados generados, por tanto aun no es posible establecer comparaciones entre distintos tipos de año meteorológico.

Destacamos que estas investigaciones son muy exigentes en tiempo, logística, coordinación con los actores locales (organizaciones propietarias de los pozos), equipamiento y capacidades de los investigadores. Por el otro lado, son los primeros estudios realizados en base a mediciones sistemáticas y con equipos adecuados, lo que permite establecer al menos los principales criterios de comportamiento del acuífero.

#### **4.4.2 Sobre la demanda: inventario de pozos**

Ros (2011) recopiló la información disponible en relación al inventario de pozos al inicio del proyecto SIDAGUA, y en base a esto presentó un análisis simplificado para estimar el balance a nivel de comunidad y la interacción entre pozos.

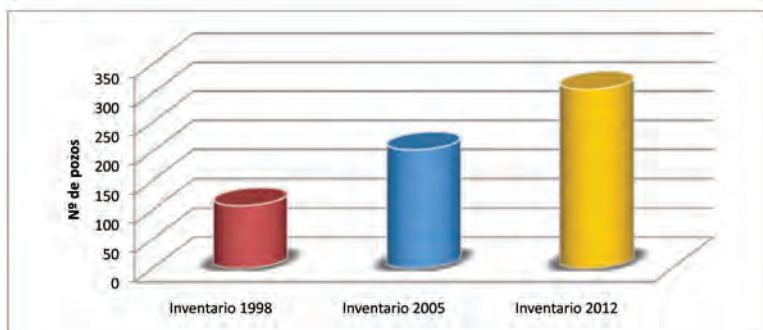
Posteriormente, entre Enero y Abril del 2012, el inventario de pozos en Punata fue actualizado (Mayta, 2012). Para la recolección

de información se recorrieron todas las comunidades que corresponden al abanico de Punata. En dicho recorrido se verificaron los pozos del anterior inventario y además se identificaron nuevos pozos perforados. Para el llenado de las fichas correspondientes se realizaron entrevistas a las personas que tenían un mayor conocimiento sobre los pozos. La metodología usada para la recolección de la información se orientó a establecer la ubicación de los pozos y sus condiciones de operación actuales, obteniéndose posteriormente sus datos técnicos (profundidad y diseño del pozo, diámetro, profundidad de bombeo y tipo de bomba).

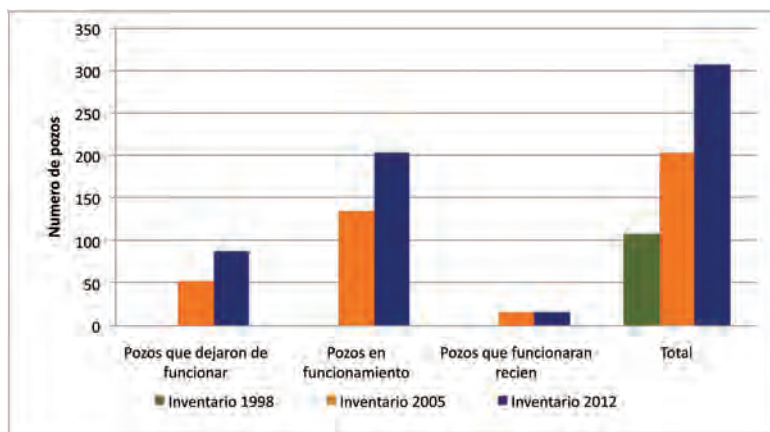
Los otros parámetros obtenidos fueron los caudales y tiempos de operación. Dado que existen más de 200 pozos actualmente en operación, y muchos de estos pozos tienen características que hacen difícil la medición de caudales (por ejemplo tuberías enterradas), la obtención de estos datos fue solamente parcial. Tampoco se pudo hacer una campaña de monitoreo permanente de los caudales, como sería deseable, debido a los requerimientos logísticos y de coordinación necesarios con los actores locales, a veces celosos de su información y del acceso a sus pozos.

La determinación de los tiempos de operación se basó principalmente en entrevistas y en el registro de las horas de funcionamiento que se realiza en casi todos los pozos. La época es un factor importante en relación a los tiempos de operación, ya que los tiempos de bombeo en periodo lluvioso son muy variables, al contrario de lo que ocurre en el estiaje, con tiempos fijos de bombeo.

**Figura 4.6. Síntesis de los inventarios de pozos realizados**



Inventarios	Nº pozos registrados	Incremento
Inventario 1998	108	108
Inventario 2005	95	203
Inventario 2012	104	307
<b>Total</b>	<b>307</b>	



Estado actual de los pozos	Inventario 1998	Inventario 2005	Inventario 2012
Pozos que dejaron de funcionar		52	87
Pozos en funcionamiento		135	204
Pozos que funcionaran recién		16	16
<b>Total</b>	<b>108</b>	<b>203</b>	<b>307</b>

*Fuente: Mayta 2012.*

**Tabla 4.4 Uso de agua en pozos de funcionamiento, inventario 2005 y 2012**

Uso del agua	Inventario 2005		Inventario 2012	
	Nº	%	Nº	%
Agua potable	51	25	76	25
Riego	66	33	113	37
Mixto (AP y Riego)	11	5	11	4
Industrial	7	3	5	2
Abandonados	52	26	87	28
En construcción	16	8	16	5
<b>Total</b>	<b>203</b>	<b>100</b>	<b>308</b>	<b>100</b>

*Fuente: Mayta 2012.*

Los resultados principales de estos inventarios, resumidos en la Figura 4.6 y en la Tabla 4.4, muestran la evolución e importancia que el aprovechamiento de agua subterránea tiene y ha tenido para satisfacer las diferentes necesidades que demanda la población del Abanico de Punata. El inventario del 2012 indica que los pozos para riego siguen siendo los más numerosos con 113 pozos (55%) del total que se encuentran en funcionamiento, para uso doméstico existen 76 pozos (37%), para ambos usos (uso doméstico y riego) un total de 11 pozos (5%) y finalmente 5 pozos (2%) son destinados para uso industrial. Haciendo una comparación con el inventario del 2005, se observan importantes incrementos de pozos para riego (47 nuevos pozos) y agua potable (25 nuevos pozos), y una disminución de los destinados a usos industriales (de 7 a 5). No obstante, también se observa un importante incremento de los pozos abandonados, fenómeno que ya se había observado en el inventario del 2005, como se explica mas adelante.

Los caudales de explotación de los pozos son variables de acuerdo a la ubicación espacial en el Abanico Aluvial y también según el tipo de uso. Normalmente en la parte media del Abanico se producen los mayores caudales y en las partesapical y distal del Abanico, caudales bajos. Los caudales fluctúan de uno a veinte

litros por segundo. Normalmente los pozos destinados para riego tienen caudales por encima de los 3 l/s y los pozos de agua potable caudales por debajo de 4 l/s. En base a los datos del inventario, se ha estimado que el volumen de agua extraída en todo el Abanico de Punata es mayor a 16.7 millones de m<sup>3</sup> (año 2011). La Tabla 4.5 resume la distribución mensual de este volumen.

**Tabla 4.5 Volumen total extraído del Abanico de Punata (año 2011)**

Meses	Enc	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Volumen (m <sup>3</sup> *1000)	846	587	632	1087	1417	1519	1702	1793	1774	1856	1787	1755	16755

*Fuente: Mayta, 2012.*

Según el estudio de Ríos (1998), la extracción de agua subterránea para el periodo 97/98 fue de 11.6 millones de m<sup>3</sup>. Comparando con la información del 2012 (16.7 millones m<sup>3</sup>) se puede señalar que la extracción de agua subterránea se incrementó en 5.1 millones de m<sup>3</sup> anuales (44% en 14 años). Sin embargo, pese al incremento de nuevos pozos en la zona, de 108 pozos en 1998 a 205 actualmente en funcionamiento, el volumen no se ha duplicado, como se podría pensar al casi duplicarse la cantidad de pozos. Esto se explica por la paulatina disminución de los caudales de operación, efecto del descenso freático y la competencia entre pozos.

Finalmente, se ha constatado que la mayor cantidad de agua explotada asciende progresivamente desde Julio hasta Noviembre. Esta época corresponde a los meses de mayor demanda de agua de riego para los cultivos y también mayor temperatura (Octubre y Noviembre); la mayoría de los pozos funcionan a su máxima capacidad en esta época.

#### **4.4.3 Resultados Metodológicos e Información Generada**

Toda la información recolectada se sistematizó en una base de datos. La ubicación espacial de los pozos se realizó sobre un mapa base elaborado por la zona de estudio. La información cartográfica fue almacenada en un Sistema de Información Geográfica (ArcGIS

9.3), el cual permitió la elaboración de los mapas temáticos. La base de datos, el SIG y los reportes van a seguir siendo trabajados y su utilización coordinada con distintos actores. De hecho, el VMRHR ya ha recibido una copia de los mapas de pozos, en base a lo cual han efectuado un ejercicio para definir ciertos criterios para la regulación de pozos en el abanico de Punata.

En los nuevos programas de investigación que ejecuta la UMSS (Programa GIRH y Proyecto de Cuenca Pedagógica Pucara), esta información se espera sea la base para desarrollar un sistema de información que sea funcional a procesos de planificación de los gobiernos municipales de Tiraque y Punata.

#### *Información generada con las modelaciones del acuífero*

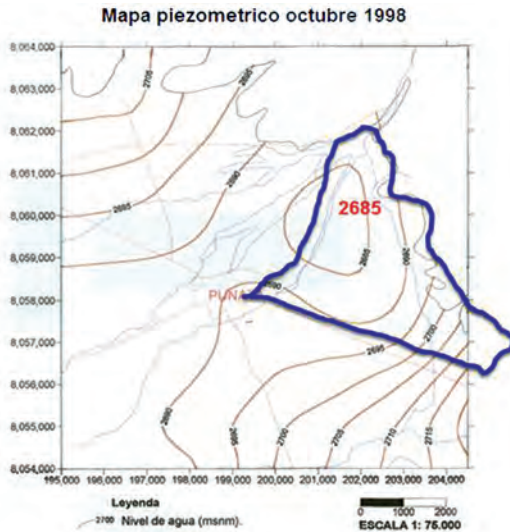
Las actividades de investigación, toma de datos y los primeros resultados de investigación muestran algunas características interesantes del acuífero de Punata. Una primera constatación es la alta capacidad de infiltración que presenta el ápice del abanico, principal área de recarga, con valores muy elevados de conductividad hidráulica y transmisibilidad (función de la profundidad de los estratos de acuíferos). Al constituir esta zona la desembocadura del río Pucara, los procesos geológicos y de aporte de material grueso durante siglos, han determinado tales cualidades, que son muy importantes para la sostenibilidad del aprovechamiento de aguas subterráneas.

Esta condición da pautas para pensar en posibles acciones de mediano y largo plazo tendientes a preservar las condiciones hidrogeológicas del ápice del abanico, pero además considerar acciones adicionales para incrementar la recarga. Si bien no se ha podido cuantificar el déficit de balance hídrico, se ha constatado la dinámica de usos crecientes y descenso del nivel freático. Y de hecho, una de las investigaciones complementarias en el programa de investigación en aguas subterráneas se orienta a documentar experiencias de recarga artificial de acuíferos, con miras a plantear algún posible proyecto sobre este tema en el futuro mediato, probablemente en el marco del programa de cuencas pedagógicas del VMRHR.

La información recabada acerca de la hidrogeología local y las características de los pozos (principalmente perfiles de pozos y su profundidad, que alcanza hasta los 150 m) también da pautas sobre la elevada capacidad de almacenamiento de agua en el acuífero. Por otro lado Ortiz (2013), en su modelación en régimen estacionario para realizar un análisis del potencial hídrico subterráneo ante diferentes escenarios de explotación, plantea la modificación de caudales de bombeo, con la finalidad de mitigar el efecto de la sobreexplotación en la zona del ápice del abanico.

Uno de los principales resultados se presenta en la figura siguiente (Figura 4.7), donde se observa el descenso de agua a nivel regional, comparando el mapa piezométrico del año 1998 de CPAS con los niveles piezométricos resultado del modelo calibrado en régimen estacionario para el año 2011. Cabe señalar que el modelo estuvo basado en la medición de niveles piezométricos de 11 pozos distribuidos en el área de estudio.

**Figura 4.7. Descenso de los niveles piezométricos - periodo 1998 - 2011**





Descenso aproximado 15 metros en 13 años  
1,15 metro por año

*Fuente: Ortiz 2013.*

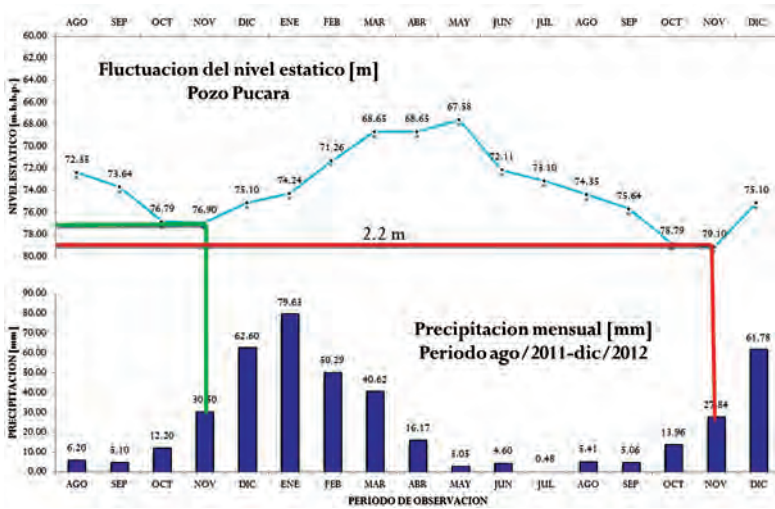
En la figura anterior se pueden observar los cambios del nivel estático entre 1998 y 2011, con un descenso de 15 metros que representa un promedio 1.15 m/año, fenómeno que además se traduce en una modificación de las direcciones de flujo del agua subterránea, a causa de los efectos de bombeo en los pozos.

Pese a que los datos de distintas investigaciones muestran que existe un descenso del nivel freático del orden de 1 a 2 metros por año dependiendo de la zona, la alta capacidad de recarga y la relativamente gran dimensión del abanico aluvial determinan que durante un año lluvioso, el nivel freático ascienda varios metros y ello facilita que posteriormente funcionen de forma sostenida los más de 200 pozos.

La Figura siguiente muestra la fluctuación de los niveles estáticos a nivel mensual en el ápice del abanico (ejemplo del pozo Pucara), en el cual los niveles de noviembre 2011 y noviembre 2012 muestran un descenso de 2.2 m. En consecuencia, al margen de eventuales ascensos del nivel freático en periodos de lluvia, se puede concluir

que existe un descenso anual considerable a nivel regional y que el acuífero responde a los eventos de lluvia en un periodo de tiempo corto. Es decir, el acuífero posee un alto grado de reacción a las precipitaciones y grandes potenciales de recarga, pero esta capacidad de almacenamiento también representa riesgos, ya que también indica que el acuífero es vulnerable ante una explotación intensa.

**Figura 4.8. Variación anual en el nivel piezométrico del Pozo Pucara**



Fuente: Ortiz, 2013.

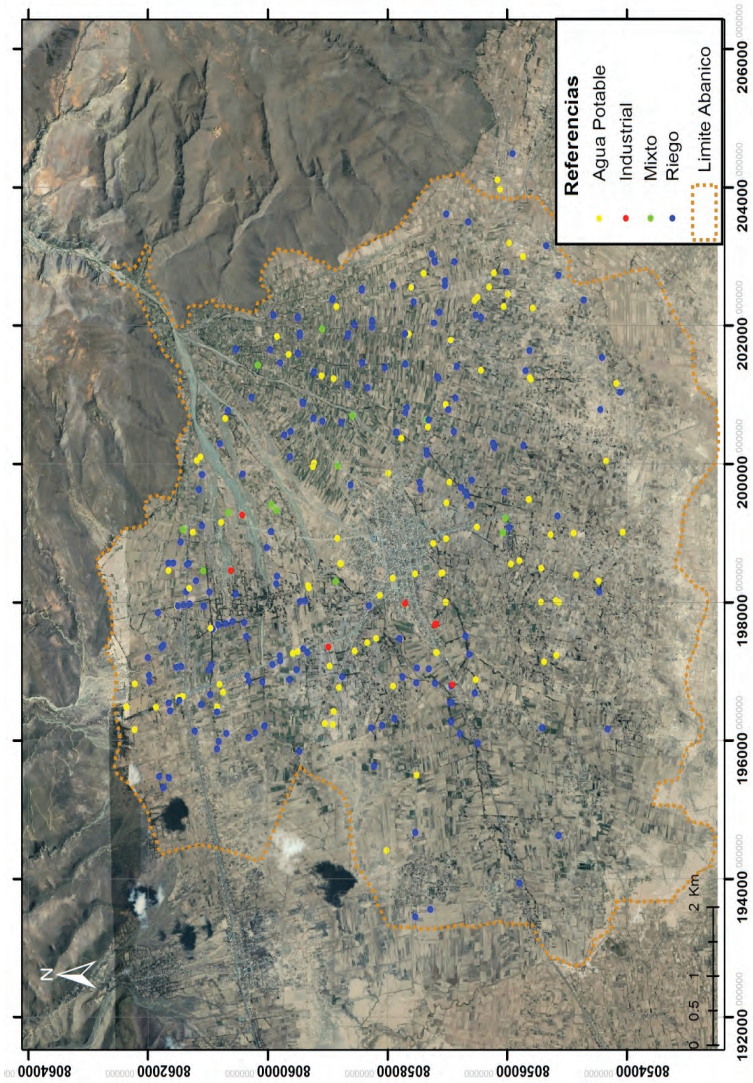
Los datos generados en el monitoreo de niveles freáticos han facilitado entender varias características del abanico. La primera es la correspondiente a las zonas de recarga (con una mayor variación anual del nivel freático) y descarga (con menor variación). Este simple hecho ha permitido a los actores locales empezar a discutir posibles previsiones que deberían tomarse durante los próximos años. Asimismo, el monitoreo del primer año ha permitido analizar como ocurre el proceso de recarga y descarga en el acuífero. Al tomarse datos de los niveles freáticos simultáneamente en 27 pozos

a lo largo y ancho del abanico, la comparación temporal y zonal permite observar el comportamiento del acuífero en términos estacionales y espaciales. Esta información es también muy importante para los actores locales porque facilita la comprensión sobre la disponibilidad general del agua en el acuífero, y muestra datos mas claros sobre el potencial y limitaciones existentes en las distintas zonas del abanico. Un factor importante es el interés de los actores locales en la información generada, y el aun mayor interés en que se continúen con estas investigaciones, ya que las aguas subterráneas son desde hace varios años ya, la principal fuente de agua para Punata. Pese a que una gran debilidad es la inexistencia de datos históricos que permitan analizar el proceso de aprovechamiento de aguas subterráneas en Punata, hay una conciencia mucho mayor entre la población sobre la importancia de contar con información confiable sobre las condiciones del acuífero.

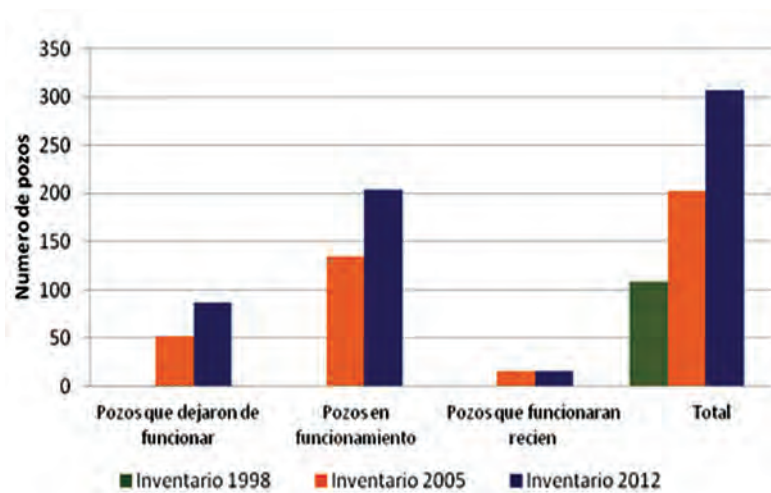
#### *Información generada con el inventario de pozos*

El inventario de pozos ha permitido establecer la situación actual de la explotación de aguas subterráneas, cuya síntesis se expresa en la Figura 4.9. Comparando con la información obtenida de los anteriores inventarios, Ríos (1998) identificó 108 pozos, en el segundo inventario realizado el año 2005 (Lazarte, 2007), se registraron 203 pozos y en el último inventario (Mayta, 2012) se registró un total de 308 pozos, es decir un incremento de 202 pozos en 14 años de los cuales 105 pozos corresponden al periodo de los últimos 7 años, lo que significa un incremento de alrededor de 15 pozos nuevos por año. Estos datos sintetizan la problemática: descenso significativo y continuo del nivel freático a lo largo del tiempo, reducción de los caudales de bombeo, crecientes interferencias entre pozos adyacentes, compactación del suelo (subsistencia) producto del vacío generado por el descenso de niveles y preocupaciones sobre la posible contaminación del acuífero.

Mapa 4.2. Mapa del inventario de pozos 2012



*Fuente: Mayta, 2012.*

**Figura 4.9 Estado de pozos perforados (año 2012)**

*Fuente: Elaboración propia.*

Un aspecto que resalta analizando los dos últimos inventarios es la cantidad de pozos que han dejado de funcionar en los últimos 7 años; un total de 37 pozos (algo más de 5 pozos por año). Hay diversas razones que explican esta situación. Por un lado se atribuye la reducida vida útil de algunos pozos a la falta de estudios hidrogeológicos y a que las empresas perforadoras muchas veces realizan el diseño de un pozo basándose en datos empíricos y sin efectuar estudios mínimos de geología o sondeos eléctricos que den mayor seguridad en la captación de agua. Otro factor reportado por los usuarios es que algunas veces hay deficiencias en la construcción de pozos, lo cual resulta en escasos caudales de bombeo, o agua con demasiados sedimentos (especialmente crítico en sistemas de agua potable). En otros casos los pozos de riego con el pasar de los años disminuyeron su caudal, ya sea por descenso de los niveles freáticos o por colmatación de finos en el prefiltro (filtro de gravilla) que ocasiona el taponamiento de los filtros, llegando a caudales no aptos para riego. Algunos de estos pozos pasaron

a ser aprovechados para agua potable y otros han sido abandonados. Otros pozos, principalmente al sur del Abanico de Punata, nunca fueron usados porque el agua nunca tuvo una calidad aceptable, consecuencia de un mal diseño de los pozos en una zona con gran aporte de sedimentos finos o del uso de bombas sobredimensionadas que producen un efecto de succión mayor que llena de sedimentos el agua. Finalmente algunos pozos dejaron de funcionar por derrumbes alrededor del pozo, producidos por el reacomodo del suelo en los vacíos generados a partir del bombeo de materiales limo-arcillosos. Algunas veces han ocurrido accidentes en procesos de mantenimiento (por ejemplo la caída de la tubería de la bomba al fondo del pozo), lo cual ha inhabilitado algunos pozos como fuente de agua.

De todas formas, la información generada en el inventario ha sido muy valiosa para las dirigencias y autoridades locales y para los intentos de regulación del aprovechamiento de aguas subterráneas. Ha permitido iniciar una discusión que va alcanzando niveles mas altos de gobierno, lo cual ha tenido diversos efectos: por un lado se pretende ampliar el análisis de la información a fin de determinar otros parámetros de interés, como por ejemplo la densidad de pozos, como una medida que permita emitir recomendaciones sobre distancias mínimas entre pozos; o la determinación de zonas con mayor potencial de aprovechamiento y/o zonas de mayor riesgo de contaminación.

Es decir, hay una clara intención en las autoridades de dar continuidad al programa de investigación iniciado por el SIDAGUA, pero con la participación de otros actores locales y externos. Por ejemplo, hay el interés de JICA (Japón), de implementar un programa de investigación hidrogeológica con apoyo técnico y financiero en consorcio con el Vice-Ministerio de Recursos Hídricos y Riego (VMRHR) y la UMSS; asimismo, el proyecto de cuencas pedagógicas de la cuenca Pucara a ser implementado por el VMRHR y la UMSS como parte del Plan Nacional de Cuencas tiene el componente de aguas subterráneas como uno de sus ejes temáticos. También cabe destacar que el Programa de Investigación en Gestión Integral de Recursos Hídricos a ser ejecutado durante los próximos 5 años en el

marco de un convenio de cooperación con SIDA (Suecia), tiene como zona de trabajo la cuenca Pucara y entre los estudios de Doctorado a realizarse está el correspondiente a aguas subterráneas.

En síntesis, se ha generado un escenario muy interesante desde la perspectiva de investigación científica: hay una real posibilidad de asumir cierto liderazgo en la discusión e influir en la toma de decisiones, al tiempo de develar paulatinamente el “misterio” de las aguas subterráneas, es decir no solamente proveer información fiable, sino generar un mejor entendimiento del ciclo de las aguas subterráneas en los Valles de Cochabamba.

## **4.5 Lecciones Aprendidas**

Este proceso de investigación ha generado varios aprendizajes en distintos ámbitos. Siguiendo la lógica del marco conceptual planteado para el balance hídrico subterráneo, estas lecciones pueden agruparse en 4 campos temáticos: i) el marco conceptual, ii) el desarrollo metodológico, iii) la incidencia política, y iv) la gestión del conocimiento.

### **4.5.1 Marco conceptual**

Puede decirse que un marco conceptual cumple dos funciones en los procesos de investigación. Por un lado da la orientación teórica necesaria para analizar temas complejos y por otro establece los criterios y conceptos centrales que van a permitir una interpretación mas profunda de los resultados de investigación.

En este sentido, el marco conceptual es una herramienta muy importante para la investigación, y concretamente, en lo que concierne al proyecto de investigación en aguas subterráneas del Programa SIDAGUA, ha cumplido el rol orientador y analítico esperado. En el caso particular de las investigaciones sobre aguas subterráneas en el abanico de Punata, estas integran aspectos relacionados con la recarga (oferta de agua) y la descarga (función de la demanda), con un enfoque socio-técnico que permite analizar no solamente los aspectos hidrogeológicos e hidráulicos, sino además los procesos y mecanismos

de gestión del agua, así como las estrategias y acciones concretas que ponen en práctica los actores locales.

Sin embargo consideramos que es necesario incorporar mas claramente aspectos ambientales, no solo en relación a los efectos de una sobre-explotación de pozos, sino también a los procesos de contaminación de los acuíferos, tanto por el vertido de residuos sólidos en lechos de ríos o en proximidades de pozos, como por el creciente flujo de aguas residuales en diversos sectores del abanico, consecuencia de nuevos asentamientos urbanos o prácticas agrícolas. Es de particular importancia el tomar en cuenta a los pozos abandonados como potenciales focos de contaminación directa. Debería considerarse como parte de las medidas de gestión, el sellado y clausura definitiva de varios de estos pozos, por los riesgos que acarrea su permanencia en el campo.

Por tanto, será necesario seguir afinando y desarrollando dicho marco conceptual, especialmente en lo relacionado a la integración de enfoques teóricos y metodológicos, pero este trabajo debe entenderse como parte del proceso de investigación futuro.

#### **4.5.2 Desarrollo metodológico**

La experiencia de investigación en aguas subterráneas llevada a cabo en el abanico de Punata, ha consistido en la articulación de diferentes tipos de metodologías y sus correspondientes enfoques, y el mérito del SIDAGUA es que ha posibilitado el desarrollo paulatino y muchas veces dificultoso de herramientas de modelación en un equipo de investigadores con escasas capacidades previas en este tema.

Sin embargo, la modelación fue siempre entendida como una herramienta más dentro del rango de posibilidades metodológicas, en algunas de las cuales el Centro AGUA tiene gran experticia, particularmente en trabajos de toma de datos en campo y en el relacionamiento interactivo con actores locales. Esta combinación de enfoques ha ampliado en gran medida las habilidades metodológicas

del equipo de investigadores, pero tal vez más importante aún, ha puesto a los actores locales en contacto directo con diversas posibilidades metodológicas. De esta forma se ha hecho más fácil la familiarización con los diversos tipos de productos de la investigación: bases de datos, mapas, datos, reportes, etc.

En consecuencia, se ha logrado un proceso interactivo de discusión que permite llevar los resultados de investigación a un plano de toma de decisiones. En otras palabras, la importancia que se asigna a las aguas subterráneas en Punata ya tiene un correlato en el grado de involucramiento de los actores locales de una manera proactiva y demandante de mayor información y conocimiento.

Otro aspecto metodológico relevante es la constatación, por parte de los actores institucionales, de la importancia de la investigación y de la toma de datos. Anecdóticamente, hace unos años era impensable pretender obtener información de los pozos. Actualmente, los propios usuarios son proclives a suministrarla. En todo caso, la escasez de datos actuales disminuye el potencial de los procesos de modelación y deja aún muchas dudas en relación a los posibles escenarios de aprovechamiento de agua.

Por otro lado, los datos generados permiten rápidamente tener una adecuada comprensión sobre parámetros hidrogeológicos básicos y sobre el comportamiento de los acuíferos. El efecto combinado de ambos factores ha determinado una demanda inmediata de mayor información. De ahí la necesidad de continuar programas de monitoreo de pozos: dinámica y procesos de recarga, flujos superficiales y fluctuación de niveles freáticos, sondeos geofísicos y descripción estratigráfica de la litología, variación de caudales, densidad de pozos, dirección de flujos subterráneos, pruebas de bombeo acompañadas de descripciones estratigráficas para definir la transmisividad, coeficiente de almacenamiento y la conductividad hidráulica, etc., que permitan ir validando y mejorando constantemente el modelo conceptual y los modelos físicos a utilizarse.

En general, los trabajos no solo de modelación, sino en general de investigación hídrica, pueden permitir alcanzar un balance hídrico de la cuenca, o en este caso de la cuenca hidrogeológica. Ello es deseable siempre y cuando la información utilizada para dicho balance sea suficiente en cantidad y calidad. Pero si ese no es el caso, como en el abanico de Punata, existe el riesgo de que los valores generados parcialmente sean tomados como valores absolutos por los pobladores. Esta situación ya se ha repetido varias veces en otras situaciones y por ello, el manejo de la información, la forma como se reportan los resultados y en general, los mensajes que se dan a los actores locales, es un tema muy delicado.

### **4.5.3 Incidencia política**

Ya se han mencionado varios de los logros “políticos” del subprograma de investigación en aguas subterráneas. Sin embargo, la investigación en aguas subterráneas es particularmente costosa, pues además de los costos usuales de investigadores y logística, se requieren equipos que generalmente son muy caros y de difícil acceso y manejo. Por tanto, dar continuidad a escala mayor a un programa de investigación en aguas subterráneas, puede acarrear desafíos institucionales y financieros difíciles de sobrellevar.

Esto es relevante pues están en marcha una serie de esfuerzos para incrementar puntos de medición, tanto meteorológica como hídrica en diversos espacios no solo de la cuenca Pucara, sino en otros ámbitos del departamento. Este proceso es encarado por el nuevo Servicio Departamental de Cuencas (SDC) dependiente de la Gobernación, y se vislumbran diversos tipos de alianzas institucionales para este propósito: SDC, Universidades, organizaciones de usuarios, gobiernos municipales, ONG’s, etc. Es de prever entonces que se ejercerá una creciente presión sobre las unidades académicas con competencias y capacidades en el tema, presión que no siempre estará correspondida con los recursos necesarios para hacer frente a dichas demandas.

Las crónicas dificultades institucionales y financieras que confrontan las Universidades pero también las agencias de gobierno, para realizar investigación de forma seria y sostenida, y por el otro lado las expectativas sobre información y conocimiento, pero especialmente las urgencias por “soluciones” que demandan los actores locales, pueden constituir una amenaza para el posicionamiento de la investigación como una herramienta de gestión y apoyo en la toma de decisiones.

Por ello, en la planificación estratégica y en las acciones futuras es necesario tener cautela y plantear mecanismos institucionales y financieros para que programas de investigación en aguas subterráneas tengan los respaldos necesarios, y con ello puedan dar garantías sobre la calidad de la investigación.

#### **4.5.4 Formación en Hidrogeología**

Pese a la gran oferta de programas de formación profesional en las Universidades bolivianas, existe un notorio déficit de profesionales expertos en aguas subterráneas. La formación en este complejo campo temático está aún muy parcelada. En Bolivia en general, en las carreras de Geología, casi todas orientadas hacia el sector minero, hay algún grado de formación hidrogeológica, aunque claramente insuficiente para las demandas del correspondiente mercado laboral. La única Maestría en aguas subterráneas es la que ofrece la Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca, con apenas una versión ejecutada.

En las carreras de Ingeniería Civil existe también cierto grado de formación en el tema de Hidráulica subterránea, pero descontextualizado de otros campos de conocimiento como la Hidrogeología y gestión de recursos hídricos. En Ingeniería Agrícola, carreras que solo existen en la UMSS y la Universidad Técnica de Oruro, se brinda también cierto nivel de capacitación en el tema.

Sin embargo no existe ninguna entidad educativa que plantee una propuesta de formación profesional integral vinculado a un mercado de trabajo, pese a que un alto porcentaje de los proyectos hídricos de pequeña escala en Bolivia tienen como fuente de agua las aguas subterráneas. Profesionales trabajando como diseñadores, empresas de perforación de pozos, ONG's, investigadores universitarios, oficiales de gobierno, por citar algunos campos importantes, se forman empíricamente.

Del otro lado, existen muy limitados estudios serios y detallados sobre aguas subterráneas, lo cual unido a la crónica ausencia de información, impide una formación más práctica y sobre situaciones reales. Por ello, casi toda la formación impartida se basa más en ejercicios teóricos y muy poco en experiencias concretas.

Y a todo ello se suma la dificultad de implementar procesos de capacitación continua a nivel local, por los altos requerimientos de personal especializado, tiempo de dedicación, material didáctico, requerimientos logísticos y otras necesidades que plantea los procesos educativos.

No obstante, es en ese contexto que hay que dar respuesta a los desafíos de la capacitación en un tema altamente estratégico. En tal perspectiva, los diseños curriculares deben considerar con atención el marco institucional existente, a fin de que, con los recursos disponibles, pueda empezar a generarse la capacitación de nuevos profesionales con las capacidades necesarias, así como difusión de la información y del conocimiento adquirido.

Este proceso es paradójicamente un proceso sin fin, en el cual la investigación aplicada nos lleva un paso más adelante, y de repente caemos en la cuenta de que lo avanzado es apenas la introducción a nuevas dificultades y desafíos en la búsqueda de conocimiento y capacidades.

Pero por poco que parezca lo hecho hasta ahora, al mirar atrás, los investigadores involucrados nos damos cuenta de lo mucho que

hemos aprendido. Ahora solo resta que compartamos ese conocimiento, aún sabiendo que ello nunca será fácil.

#### **4.6 Referencias Bibliografía**

Alarcón, J. (1986). Situación de los turnados de riego en pozos profundos que cuentan con la infraestructura física. En: “El riego en Cochabamba”, Mesa Redonda sobre Riego. V. Ricaldi y R. Cleveringa, eds. Cochabamba; pp 61-70.

Alvarado, J.; Camacho, A.; Díaz, J.; Gonzales, C.; A.M. van der Gun, J.; Huaranca, R.; Perry de Louw, Revollo, A.; Ríos, R.; Villegas, E. (1998) Estudio para el control y la protección de las aguas subterráneas en el Valle Alto. Informe Técnico CPAS, BO 014901/01.

Arce, A. (1993). Balance hídrico en el cultivo de maíz para choclo bajo condiciones de riego tradicional en Punata. Tesis de Grado. PRIV, Cochabamba, Bolivia.

CLAS. (2002). Diagnóstico y Evaluación Territorial (Plan de Ordenamiento Territorial Municipio de Punata) Prefectura de Cochabamba, Unidad de Ordenamiento Territorial y Limites, Cochabamba.

CORDECO (1993). Plan General de Riego del Valle Alto. Tomos 1 y 2. MACA, SUBDESAL, CORDECO, CES, GTZ.

Delgadillo, O.; Lazarte, N. (2007). Inventario de pozos perforados en el Abanico de Punata. Reporte de investigación Centro AGUA, P01BA002.

Durán, A. (1997). Criterios campesinos en el diseño de sistemas de riego con aguas subterráneas en el abanico de Punata. Tesis MSc. Wageningen University. The Netherlands.

Gamboa, E. (1986). Sistema de Riego con aguas subterráneas. En: “El riego en Cochabamba”, Mesa Redonda sobre Riego. V. Ricaldi y R. Cleveringa, eds. Cochabamba; pp 21-44.

Gandarillas, H. Et al (1992). Dios da el agua; ¿qué hacen los proyectos? Manejo de agua y organización campesina. HISBOL-PRIV. Cochabamba, Bolivia; pp 9-83.

García, E. (1990). Balance hídrico del Proyecto de Riego Inter-Valles. PRIV-GTZ, Cochabamba, Bolivia.

GEOBOL (1978). Investigaciones de aguas subterráneas en las cuencas de Cochabamba. Informe Técnico 1. PNUD-GEOBOL. Cochabamba, Bolivia; pp 1-176.

Hernández, C. (2011). Propuesta tesis Maestría. Maestría en Hidrogeología y Recursos Hídricos – Proyecto SIDAGUA. USFX. Chuquisaca. (no publicado)

Lazarte, N. (2007) Sistematización de la información sobre la gestión de los sistemas de aprovechamiento de agua en el Abanico de Punata. Trabajo dirigido UMSS.

López Bakovic, I. (1994) Balance Hídrico Subterráneo para los Abanicos de Punata y Cliza. Informe Técnico CORDEP-DAI.

Mayta, A. (2012). Disponibilidad de agua subterránea en el abanico de Punata. Reporte de investigación. Proyecto SIDAGUA. Cochabamba.

Medinaceli, W. (2011). Propuesta tesis Maestría. Maestría en Hidrogeología y Recursos Hídricos – Proyecto SIDAGUA. USFX. Chuquisaca. (no publicado)

Ortiz, J. (2013). Análisis del potencial hídrico subterráneo, en la zona de K'juchu Punata, mediante modelación con Visual Modflow. Tesis De grado. Universidad Católica Boliviana-UCB. Cochabamba.

PDAR (1995). Informe de rehabilitación de pozos para riego en los Valles de Cochabamba. Programa de Desarrollo Agrícola Regional. Cochabamba, Bolivia.

PRIV-GTZ (1996). Informe de Hidrometeorología. Sistema de riego Punata-Tiraque. Paracaya, Cochabamba, Bolivia; 17 pp.

Proyecto Integrado de Recursos Hídricos Cochabamba (PIRHC); (1978). Informe Técnico GEOBOL. Cochabamba.

Ríos, R. (1999) Problemática socio-técnica de la explotación de las aguas subterráneas en el Abanico de Punata. Tesis de Grado. PEIRAV-UMSS. Cochabamba.

Rojas, F (2006) Caracterización global de la hidrología con fines de determina la oferta potencial de agua para el Abanico de Punata. Boletín. Cochabamba.

Rojas, F.; Montenegro, E. (2007) Potencial hídrico superficial y subterráneo del Abanico de Punata. Reporte de investigación Centro AGUA, P01BA002. Cochabamba.

Ros, J. (2011) Uso sostenible de los recursos hídricos subterráneos en el abanico de Punata, Bolivia. Tesis de grado. Proyecto SIDAGUA - Universitat Politècnica de Catalunya.



# Capítulo 5

## **LA CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA PUCARA: Potencialidades y limitaciones para establecer un sistema de monitoreo**

*Oscar Delgadillo  
Cristina Yacoub  
Luis Pérez  
Raúl Ampuero*

### **5.1 Introducción**

La temática de calidad del agua en la cuenca Pucara fue abordada con el objetivo de generar conocimiento sobre la situación actual de la cuenca en términos de calidad del recurso, con la perspectiva de establecer una red de monitoreo que permita iniciar acciones orientadas a la gestión integral de los recursos hídricos.

Desde su abordaje inicial en el marco del Proyecto GIRH (2009-2011), mediante un estudio prospectivo (Ampuero y Torres, 2009), los argumentos que mostraron la necesidad de monitorear la calidad del agua en la cuenca Pucara y ampliar el ámbito geográfico de intervención fueron (Delgadillo y Durán, 2011):

- La cuenca hidrográfica Pucara produce los escurrimientos superficiales que generan varios sistemas de riego principalmente en el abanico de Punata y Tiraque.

- Existe una relación hídrica indivisible entre la cuenca hidrográfica Pucara (aguas arriba) y el abanico de Punata (aguas abajo), que ha permitido alimentar una historia larga en torno a la gestión y desarrollo del agua (sobre todo riego), resultado del cual en la parte alta se hallan ubicadas las represas y trasvases más importantes para Punata y Tiraque.
- El aporte de las aguas superficiales del río Pucara así como del agua de las represas Totorá Khocha, Laguna Robada y Lluska Khocha-Muyu Loma transportada por el lecho del río a la recarga de los acuíferos en el abanico de Punata, es fundamental. Resulta cada vez más crítica la relación entre aguas superficiales y la recarga de aguas subterráneas, dada la creciente intensidad de uso del agua subterránea en Punata (Delgadillo y Lazarte, 2007) provocado por el incremento de la demanda. El fenómeno ya se expresa en un aparente descenso, paulatino pero constante, de los niveles freáticos (Rojas y Montenegro, 2007).
- Los procesos mencionados se asocian a escenarios cada vez más graves de contaminación del agua en la parte alta de la cuenca (Tiraque) y a lo largo del río Pucara. Este problema se torna especialmente crítico en Punata, por la contaminación de aguas no sólo superficiales, sino también subterráneas. Es claro y evidente que cualquier evento o situación (extracciones de agua, contaminación de fuentes y/o cursos de agua, etc.) que acontezca aguas arriba afectará directamente aguas abajo.

Al tornarse la calidad del agua en uno de los ejes temáticos centrales del Proyecto SIDAGUA, se realizaron varios estudios complementarios (SIDAGUA, 2010; Ampuero, 2011a; Ampuero, 2011b; Pérez et al, 2011, Pérez, 2011; Pérez, 2012; Heredia, 2012), fortaleciendo la idea de monitorear la calidad del agua en la cuenca, para luego poder definir y realizar las acciones pertinentes para mitigar, corregir o frenar procesos de contaminación crecientes, que podrían afectar la salud hídrica de la cuenca, tomando en cuenta a los municipios como actores centrales. Por tanto, los monitoreos fueron

orientados hacia la generación de información, así como el desarrollo de herramientas de apoyo a la toma de decisiones para los municipios.

Estos estudios complementarios abordaron diferentes aspectos: la identificación de las principales fuentes de contaminación en la cuenca, enfatizando la contaminación de aguas subterráneas por pesticidas, la gestión de residuos urbanos y sus consecuencias en términos de calidad del agua en la cuenca, los avances de monitoreos sobre calidad del agua en la cuenca (que debido a los altos costes, tienen un proceso de ejecución menor al deseado en muchos casos), y las posibilidades de aplicación del modelo SWAT. En el diagnóstico de la problemática ambiental, y en relación a ser abordada utilizando la modelación SWAT, se ha constatado una insuficiencia general de datos que permitan asegurar, de forma seria y reflexiva, la presencia de contaminación en los cuerpos de agua en la cuenca Pucara. Sin embargo, se han encontrado fuertes indicios de procesos contaminantes, determinando que aquellos resultantes en acumulación de nutrientes en la salida de la cuenca, seguidos por la presencia de bacterias, son los que generan mayor riesgo. Ante la relativa mayor escasez de datos e indicios sobre contaminación por pesticidas, se ha definido la complementación de estudios referentes a este tema. En el mismo diagnóstico, durante la recopilación de información, ha destacado la mayor cantidad de datos disponibles para la sub-cuenca Toralapa. Es necesario recalcar que el SWAT es esencialmente un modelo hidrológico, por lo cual demanda que todas las variables de entrada deban estar relacionadas con las hidrológicas.

Entonces, tomando en cuenta las consideraciones anteriores, el objetivo de este capítulo es mostrar la situación de la calidad de los recursos hídricos en la cuenca Pucara, a partir de una revisión exhaustiva de los trabajos realizados sobre el tema, orientados al monitoreo de la cuenca Pucara. En base a la información recabada, se buscó analizar y discutir las particularidades, potencialidades y limitaciones de establecer un sistema de monitoreo de la calidad del agua para ambos municipios, tomando en cuenta el enfoque de cuencas.

Este capítulo se centra en cuatro aspectos centrales:

- Un diagnóstico de las posibles fuentes de contaminación en la cuenca y sus posibles impactos en el medio ambiente.
- La comparación de los resultados obtenidos en los análisis de los datos del monitoreo con la normativa existente (Ley de medio ambiente 1333; Normativa boliviana para consumo humano, NB-512; y Guía de la FAO para la calidad del riego).
- Un análisis de la distribución de contaminantes en la cuenca Pucara.
- Finalmente, una reflexión sobre las principales limitaciones metodológicas y operativas, que han condicionado los alcances en el tema de calidad del agua en la cuenca Pucara, así como sus perspectivas futuras.

## **5.2 Aspectos conceptuales necesarios**

Existen varios enfoques desde los cuales se puede estudiar la calidad de un cuerpo de agua. Éstos se reflejan en la elección de los parámetros analizados en las muestras de agua, así como en la misma toma de muestras. En el presente caso, las tomas de muestra y realización de análisis no han seguido criterios uniformes, principalmente por realizarse en estudios separados, con diferentes objetivos y tiempos de muestreo. Entonces, es conveniente realizar una breve explicación de los parámetros considerados y su significado de manera holística.

La calidad del agua presente en una cuenca es el resultado de lo que acontece en la misma (clima, vegetación) y del “viaje” del agua a través de suelos, vegetación y áreas urbanas, por tanto los parámetros que muestran la calidad del agua, son resultado del contacto entre el agua y los medios por los cuales circula. Entonces, se pueden seleccionar los parámetros a ser evaluados según la probabilidad de contacto del agua con posibles fuentes contaminantes, lo cual es función de las particularidades de la cuenca. De la misma forma, el uso que se le da al cuerpo de agua,

es otro criterio más para la selección de parámetros, pero esta vez en función de las limitaciones que representa su presencia en el agua. Así, y considerando que se usaron ambos criterios durante los trabajos en la cuenca Pucara, se ha optado por agrupar los parámetros evaluados según su fuente más probable de origen, complementándolos con su significado en función de su uso.

Un primer grupo está formado por (1) ***parámetros básicos***, los cuales dan una idea bastante general de la calidad del cuerpo de agua, y son importantes para cualquier tipo de uso. Éstos son el pH, la conductividad eléctrica y la turbidez. El pH del agua es neutro o casi neutro; las variaciones respecto a este valor indican contacto del agua con medios ácidos o alcalinos. De la misma forma, la conductividad eléctrica da una idea respecto al contenido de sales disueltas en el agua, cuyo origen puede ser natural o antrópico.

Valores extremos de pH indican acidez o alcalinidad del agua, lo cual limita seriamente cualquier tipo de uso, por conferirle al agua un elevado poder corrosivo y la posibilidad de modificar las condiciones naturales del cuerpo receptor. En el caso de la conductividad eléctrica, contenidos elevados de sales limitan o imposibilitan su uso como agua para consumo humano por el mal sabor. En el caso del riego, representan un aporte de sales al suelo, lo cual puede significar la degradación del suelo, reduciendo notablemente su potencial productivo.

(2) ***Parámetros referidos a materia orgánica, nutrientes y de contaminación microbiológica***. El contacto del agua con materia orgánica significa la realización de procesos de hidrólisis y descomposición de la misma, con la correspondiente afectación de la calidad del agua. Dicha descomposición incorpora compuestos de carbono orgánico y varios nutrientes al cuerpo de agua. La estabilización de los compuestos de carbono implica el consumo de oxígeno del cuerpo de agua, por lo que la medida del oxígeno disuelto en el agua, o de la cantidad de oxígeno demandada (consumida) por el agua proporciona datos sobre la calidad general

del agua y precisa si el origen de su contaminación es el contacto con materia orgánica. Algunos nutrientes pueden ser originados por el lavado de fertilizantes, el uso de detergentes o algunos procesos industriales. En los estudios realizados en la cuenca Pucara, se han medido el oxígeno disuelto, la demanda bioquímica de oxígeno, cuatro formas de compuestos nitrogenados, fosfatos y sulfuros.

Valores altos de estos parámetros (presencia de materia orgánica) no representan limitaciones importantes para su uso en riego. Sin embargo, es común que los procesos de descomposición de materia orgánica incluyan agentes patógenos al ser originados por desechos de metabolismo, lo cual limita cualquier uso que suponga contacto directo con personas.

Por lo tanto, la contaminación microbiológica generalmente significa limitaciones para usos del agua que implican contacto con el humano. Los microorganismos son tan variados y se encuentran en cantidades tales en el agua, que se ha optado por identificar y cuantificar especies indicadoras, mismas cuya presencia implica una gran probabilidad de encontrar varias otras especies patógenas. En ese sentido, y considerando el contexto rural de la cuenca, se consideran de mayor importancia las especies cuyo origen sea la contaminación fecal. Dentro de éstas, el parámetro más común en la cuenca fue el de coliformes fecales en el agua y, en algunos casos, de coliformes totales. Cabe aclarar que estos son indicadores de contaminación bacteriana, siendo escasos los datos sobre otro tipo de microorganismos del mismo origen e importancia (p.ej. parásitos).

(3) *Parámetros de sustancias tóxicas y contaminantes.* Este grupo engloba algunos elementos específicos, cuya presencia implica grandes posibilidades de contaminación, además de una elevada toxicidad. Esto último hace referencia a que cantidades mínimas de dichos contaminantes pueden limitar el uso del agua. Entre sus principales características está su alta persistencia en el ambiente debido a su estabilidad química y, por lo tanto, su capacidad de acumulación. Los compuestos y elementos analizados

en la cuenca Pucara fueron los carbonatos, bicarbonatos, calcio, magnesio, sodio, potasio, manganeso y hierro.

### **5.3 Metodología**

Los resultados presentados en este capítulo están basados en datos levantados en la cuenca Pucara, durante varios estudios realizados en el marco de los proyectos GIRH y SIDAGUA (2009-2012). La zona estudiada comprende parte de la cuenca hidrográfica Ch'ullkumayu, la cuenca hidrográfica Pucara y el abanico aluvial de Punata, territorio localizado en su mayor parte dentro los municipios de Tiraque y Punata.

Los estudios realizados sobre la calidad de los cuerpos de agua, en el marco de los proyectos de investigación anteriormente señalados, estuvieron basados en la toma de muestras de agua puntuales, en puntos concretos definidos previamente, obteniéndose datos específicos de monitoreo en la cuenca en un momento dado.

Los criterios utilizados y que primaron para la selección de los puntos de toma de muestras y monitoreo, estuvieron basados principalmente en el uso de las fuentes de agua (consumo doméstico, riego, mixto), así como en su ubicación dentro la cuenca. Los datos de calidad del agua obtenidos mediante el mapeo de puntos de agua se limitan a fuentes y/o sistemas para consumo humano en todo el territorio de los municipios de Tiraque y Punata. Por tanto, su alcance no incluye el conjunto de la cuenca en términos ambientales, aunque cabe destacar que espacialmente fue exhaustivo. En el caso de los ríos, la definición de sub-cuencas (Cruz, 2009), fue un criterio importante para la ubicación de los puntos de muestreo, y en el caso de las represas su capacidad y área de servicio.

Desde la primera prospección (Ampuero y Torres, 2009) hasta la última evaluación realizada a finales del 2010 (Ampuero, 2011b), los estudios se han orientado hacia el monitoreo de la calidad del agua en la cuenca, aunque no ha existido continuidad en las mediciones. En los diferentes estudios realizados, varios aspectos

han ido cambiando o han sido añadidos y los énfasis han sido diferentes. El aspecto económico así como las capacidades instaladas en Bolivia para realizar algunos análisis complejos y específicos (p. ej. pesticidas) primó en la decisión final sobre los parámetros a ser analizados. También ha cambiado la forma de su determinación y con ella su precisión. En contrapartida, se ha incrementado la cobertura geográfica. El ámbito geográfico para realizar los estudios se ha incrementado, después del primer estudio, por la necesidad de entender las relaciones hídricas entre la parte alta y la parte baja de la cuenca. Asimismo, los parámetros físicos, químicos y microbiológicos no han sido los mismos en todos los estudios. Los datos consignados en los estudios fueron levantados a finales de los años 2008, 2009 y 2010, respectivamente.

En la tabla 5.1, se resume los cambios realizados, los énfasis de los estudios, los tipos de fuentes de agua evaluados, la cobertura geográfica, los periodos de levantamiento de información, así como los parámetros considerados en los diferentes estudios realizados.

El diagnóstico de las fuentes de contaminación en la cuenca Pucara (Tiraque-Punata) centró su atención en la identificación de las principales fuentes de contaminación así como sus posibles impactos en la cuenca. Se inició con una revisión de la información secundaria que contribuyó en la identificación preliminar de los puntos de contaminación. En base a ello se realizaron entrevistas a los responsables de agua, saneamiento y medio ambiente de los municipios de Tiraque y Punata, respectivamente. Asimismo, se realizó un recorrido de campo para localizar y describir los puntos de contaminación encontrados, por medio de entrevistas y charlas informales con pobladores aledaños, conociendo también su percepción sobre los problemas causados por el punto de contaminación.

Con relación al abordaje de la modelación de la calidad del agua en la cuenca Pucara se realizó una investigación minuciosa sobre la aplicabilidad del modelo SWAT en la cuenca a partir de un relevamiento del estado de la información existente para alimentar el

modelo, en base al cual, se analizó la información disponible para definir el problema a abordar con la modelación de calidad de aguas en la cuenca Pucara, recogiendo y analizando la información existente.

**Tabla 5.1. Aspectos sobre la metodología empleada en los estudios de calidad de agua**

Característica	EVALUACION 1 (2009)	EVALUACION 2 (2009-2010)	EVALUACION 3(2011)
Área considerada para la evaluación	Cuenca hidrográfica Pucara	Municipios de Tiraque Valle y Punata (abanico aluvial)	Cuenca Pucara (cuenca hidrográfica Pucara, parte Ch'ullkumayu y abanico aluvial Punata)
Nº de puntos evaluados	20	292	36
Periodo de muestreo	Noviembre 2008	Septiembre 2009 a Enero 2010	Diciembre 2010
Medición	Laboratorios	Laboratorios portátiles y Equipos de campo	Laboratorios
Tipos de fuentes de agua evaluados	Aguas superficiales (represas, lagunas, ríos, arroyos), aguas sub-superficiales (galerías filtrantes) y aguas subterráneas (vertientes y pozos)		
Usos principales de las fuentes de agua evaluados	Riego, consumo humano y mixto	Principalmente consumo humano	Riego, consumo humano y mixto
<b>Parámetros físicos, químicos y microbiológicos medidos</b>			
pH	X	X	x
Temperatura	X	X	x
Conductividad Eléctrica (CE)		X	x
Potencial de óxido reducción			x
Salinidad			x
Sólidos disueltos totales	X		x
Turbidez		X	x
Alcalinidad			x
Carbonatos	X		x
Bicarbonatos	X		x
Dureza Total	X		x
Calcio	X		x
Magnesio	X		x
Cloro libre		x	
Cloruros	X		x
Nitritos	X	x	x
Nitratos	X	x	x
Sulfatos	X		
Sodio	X		x
Potasio	X		x
Fosfatos		x	
Fósforo			x
Oxibilidad al permanganato			x
Demanda Química de Oxígeno (DQO)			x
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	X		
Coliformes Totales			x
Coliformes fecales ( <i>Escherichia Coli</i> )	X	x	x
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>			x

*Fuente: Elaborado en base a Ampuero y Torres (2009, SIDAGUA - Water Point Mapping (2010); Ampuero (2011b)*

En cuanto al análisis de la información recolectada, el primer paso fue su organización en función de los tres tipos de contaminantes modelados por SWAT. El segundo paso ha sido la clasificación de la información sobre contaminación en función del tipo de datos aportados en: percepciones, datos cualitativos y datos cuantitativos. En el caso de las encuestas, ha sido necesario un procesamiento estadístico e interpretación para su clasificación. Finalmente, se han ubicado geográficamente los datos e información disponibles, considerando las sub-cuencas definidas por Cruz (2009), y se los ha valorado en función del riesgo ambiental que suponen, considerando las bases que proporciona la Ley de Medio Ambiente 1333 y algunas particularidades de la cuenca.

## **5.4 Resultados**

### **5.4.1 Fuentes de contaminación e impactos**

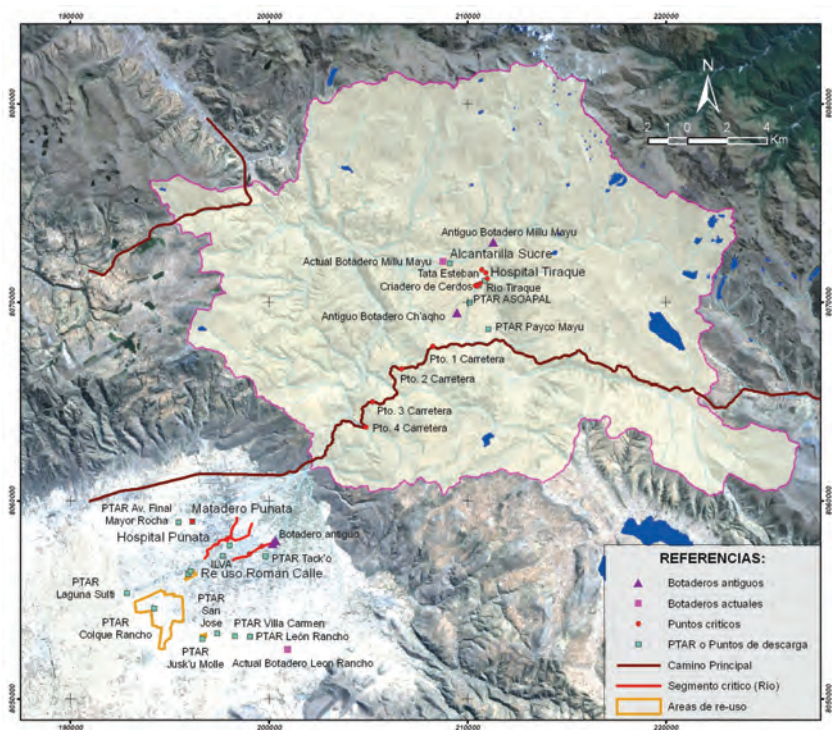
Las fuentes de contaminación de los recursos hídricos se encuentran dispersas en toda la cuenca (en ambos municipios). Sin embargo, la contaminación provocada en la parte alta y media de la cuenca (municipio de Tiraque), tiene un efecto directo sobre los recursos hídricos aprovechados en la parte baja (municipio de Punata).

De acuerdo al diagnóstico realizado tres son las actividades antrópicas identificadas en la cuenca Pucara (municipios de Tiraque y Punata), que se constituyen en las principales fuentes de contaminación: los botaderos de basura, las descargas de aguas residuales y, el uso de agroquímicos en la producción agrícola.

(1) *Los botaderos de basura* (Mapa 5.1) se han convertido en fuentes de contaminación de los recursos hídricos debido a la inadecuada e improvisada localización de los puntos de vertido. Los botaderos se encuentran ubicados en su mayoría cerca de ríos principales o en zonas de ladera, donde la basura es arrastrada en la época lluviosa hacia los cauces próximos, debido a la escorrentía. La no separación de la basura urbana agrava esta situación ya que provoca la producción de lixiviados en los botaderos. A esto se suma

que una gran parte de la población urbana y peri-urbana bota comúnmente su basura a la vera de los caminos principales (carretera), ríos o quebradas, estableciendo puntos fijos como pequeños botaderos, con las consecuencias posteriores de contaminación de los recursos hídricos.

### Mapa 5.1 Localización de los botaderos de basura, plantas de tratamiento de aguas residuales y principales puntos de vertido de aguas residuales



Fuente: Ampuero 2011a.

Existe presión de la población próxima a los diferentes puntos de vertido críticos, que demanda cerrarlos debido a su afectación por los malos olores, presencia de plagas y por constituirse en focos

de infección para su salud. Asimismo, cabe indicar que existen proyectos para implementar vertederos municipales con las condiciones necesarias para una adecuada gestión de la basura, que podrían resolver varios problemas relacionados a la disposición de basura en las zonas urbanas de la cuenca.

En cuanto a la disposición de basura en zonas rurales, se observa que la basura es acumulada en algunos lugares, al no existir sistemas de recojo, y luego es eventualmente quemada, o arrojada directamente a las quebradas o ríos. En las partes altas de la cuenca, se puede predecir que la basura ubicada en zonas de ladera será arrastrada por la escorrentía e irá a parar a los cursos de agua.

(2) En el mapa 5.1 también se puede apreciar la ubicación de todas las plantas de tratamiento de *aguas residuales* (PTARs) y algunos *puntos de vertido* identificados en la cuenca. Es de hacer notar que también existen vertidos clandestinos de curtiembres, chicherías, lavaderos de autos, etc., que no están consignados en el mapa pero por su origen son fuentes peligrosas de contaminación, además de afectar la eficiencia de tratamiento de las PTARs existentes. La mayoría de las PTARs, sólo incluyen hasta un tratamiento secundario, y varias de ellas están siendo operadas por la misma población de las comunidades donde están ubicadas, a pesar de que esta labor es competencia directa de los municipios. Las comunidades asumen estas tareas por el hecho de que luego reutilizan estas aguas en actividades agrícolas. En algunos casos se bombean aguas sin tratar directamente desde las cámaras de la red de alcantarillado hasta la red principal de conducción de aguas residuales (p. ej. comunidad de Román Calle en Punata). También es de destacar que la mayoría de plantas de tratamiento están funcionando inadecuadamente, es decir, arrojando efluentes que no cumplen la normativa de vertido (Camacho, 2005; Lizarazu, 2010; Pérez et al., 2011). A pesar de ello, y sin importar la inadecuada calidad de los efluentes, la gente está reusando para el riego de algunos cultivos, como la alfalfa y el maíz. En la Tabla 5.2 se puede observar la cobertura de los sistemas de saneamiento en la cuenca Pucara.

**Tabla 5.2 Cobertura de sistemas de saneamiento en la cuenca Pucara**

Sistema de saneamiento	Tiraque		Punata	
	Urbano	Rural	Urbano	Rural
Alcantarillado (%)	25	0,5	96	20
Otros sistemas (%)	9	35,5	3,8	51
Al aire libre (%)	66	64	0,2	29

*Fuente: Pérez et al. (2011)*

La tabla 5.2 nos muestra la disposición final de las excretas en la cuenca. Resalta que la cobertura en la zona rural es muy baja en ambos municipios (Tiraque y Punata), por lo tanto, el porcentaje de sistemas de evacuación al aire libre y otros sistemas (baños con descarga, pozos ciegos) es elevado. A pesar de la dispersión de estas formas de disposición final, el riesgo de contaminar cuerpos de agua aumenta en toda la cuenca, sobre todo en el periodo de lluvias, por el arrastre que pudiesen sufrir las deposiciones fecales. A esto hay que sumar que los efluentes resultantes de las PTARs no son adecuados, lo cual incrementa el riesgo de contaminación a nivel de los usuarios, cultivos, suelo, así como de los consumidores de productos agrícolas producidos con estas aguas.

(3) En la cuenca Pucara, tanto en la parte alta, media y baja, existen zonas de producción agrícola intensiva con el uso descontrolado de *agroquímicos*. No obstante, aún no se han presentado denuncias formales en relación con efectos de la contaminación por agroquímicos. La capacidad receptora de la cuenca es otro factor a tener en cuenta, es decir, no existe evidencia de que exista una contaminación severa de los recursos hídricos. Sin embargo, el fenómeno de acumulación de contaminantes en toda la cuenca es un factor que debe considerarse, primeramente en el estudio de la posible situación actual de afectación de la cuenca, y posteriormente en la planificación de medidas para evitar una situación más dramática respecto a la contaminación.

Es de hacer notar que la gestión de los residuos sólidos y líquidos es abordada sectorialmente, con varias limitaciones y en medio de una incierta percepción del riesgo por parte de las autoridades municipales y los pobladores locales. Por tanto, los recursos hídricos en la cuenca Pucara se encuentran vulnerables a la contaminación, y no se están aplicando medidas de protección. El manejo integral del tema debe ser una prioridad para las autoridades locales.

#### **5.4.2 Calidad de los cuerpos de agua en la cuenca Pucara**

En general, de acuerdo a los estudios de referencia realizados, los cuerpos de agua de la cuenca Pucara son catalogados como fuentes de agua con buena salud ambiental. Es posible encontrar represas, vertientes, ríos y pozos con clasificación de cuerpos de agua Clase A, con algunas excepciones en algunas fuentes de agua específicas y en parámetros concretos. A continuación se describen los índices de calidad de agua que indican alguna limitación o problema para su uso (riego o agua para consumo). Posteriormente, se presenta una tabla resumen con el máximo, mínimo y promedio de los valores obtenidos para todos los parámetros analizados (Tabla 5.3.).

##### ***Contenido de sales solubles***

Los parámetros e indicadores del contenido de sales solubles en los cuerpos de agua utilizados fueron la Conductividad eléctrica (CE), la Salinidad efectiva (SE) y el Potencial de hidrogeno (pH).

Los índices relacionados con el contenido de sales tanto en represas, vertientes, ríos y pozos se encuentran por debajo de los límites de tolerancia, lo cual permite aseverar que el riesgo de salinidad que tienen los recursos hídricos en ésta cuenca es mínimo. Se han encontrado, valores medios de contenido de sales en algunas fuentes de la parte media-baja y baja (abanico de Punata) de la cuenca: vertiente Sacabambilla Baja, pozo 2 Pabellón A y pozo Sr. de San José.

##### ***Efecto probable del sodio sobre las características físicas del suelo***

Para determinar el efecto probable del sodio sobre las características físicas del suelo, se recurrió a algunos indicadores:

Relación de Adsorción de Sodio (RAS), Porcentaje de Sodio Soluble (PSS) y el Carbonato de Sodio Residual. Conjugado con la Conductividad Eléctrica (CE) se puede determinar la Clase. En la tabla 4.3 se consignan los valores máximos, mínimos y el promedio de estos indicadores.

De acuerdo a los resultados obtenidos, las fuentes de agua tendrían un efecto mínimo sobre las características físicas de los suelos cuando sean utilizadas en riego. Su clasificación corresponde a C1S1, presentan bajo contenido de sales y bajo contenido de sodio. A excepción de una muestra de agua que corresponde al pozo 2 de la comunidad Pabellón A del municipio de Punata (parte baja de la cuenca) que presenta salinidad media (C2) y bajo contenido de sodio (S1). Los valores del CSR indican a tres fuentes de agua con clasificación condicionada (río Pucara, el pozo 2 de la comunidad Pabellón A y el pozo Señor de San José). La vertiente de Sacabambilla Baja, está clasificada como no recomendable para riego, por el riesgo de sodificar el suelo (por el alto contenido en sodio).

### ***Indicadores de calidad biológica y bioquímica del agua***

Para poder apreciar la calidad microbiológica y bioquímica del agua se han utilizado varios parámetros e indicadores: el Oxígeno Disuelto (OD), la Demanda Química de Oxígeno (DQO), la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Coliformes Totales y Coliformes Fecales. En la tabla 4.3 se consignan los valores máximos, mínimos y el promedio de estos parámetros e indicadores.

Aproximadamente un 50 % de las fuentes de agua estudiadas presentan valores por encima de lo recomendado en las normas utilizadas para la clasificación del agua. En general, se puede indicar que en la parte alta de la cuenca se encuentran las fuentes de agua que no tienen problemas con estos indicadores, mientras las concentraciones van aumentando a medida que se va descendiendo en la cuenca.

Los valores de estos indicadores son alarmantes en términos de riesgo para la salud humana, considerando que las muestras de agua

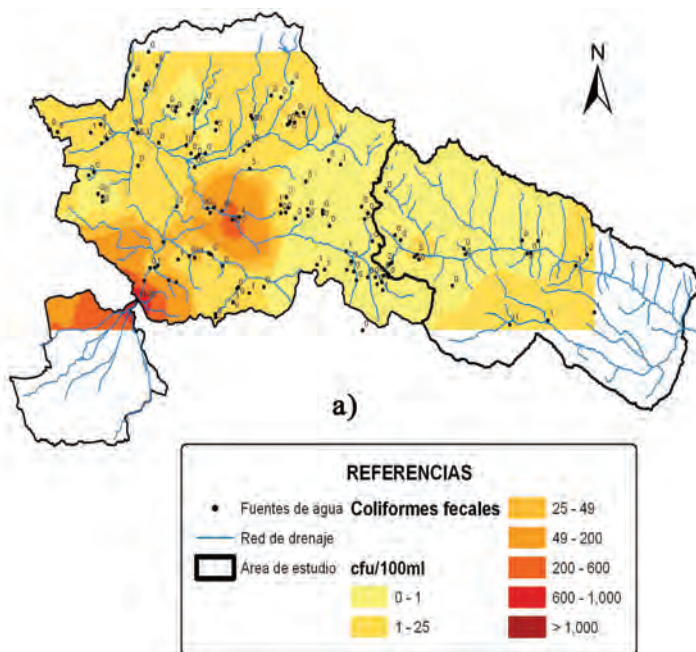
corresponden a fuentes de agua para consumo doméstico de varias comunidades en la cuenca Pucara. Esto amerita un monitoreo permanente del comportamiento de estos indicadores en la cuenca.

**Tabla 5.3. Valores medidos para los parámetros indicadores de contaminación en la cuenca y los valores límite de la Ley 1333**

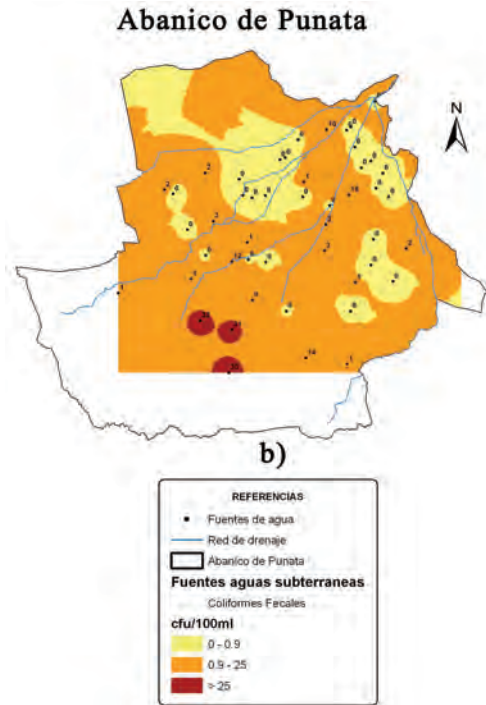
Parámetro	Unidad de medida	Concentración			n°	Clasificación según el tipo de agua			
		Máxima	Mínima	Promedio		A	B	C	D
pH		9,8	5,8	7,3	348	6 - 8,5	6 - 9	6 - 9	6 - 9
Conductividad Eléctrica (CE)	µmhos/cm	1324	7,5	159,5	348	-	-	-	-
Potencial Redox	mV	55	-165	-25	34	-	-	-	-
Salinidad	mg NaCl/L	609	7	72	35	-	-	-	-
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	mg/L	795	7	94	36	1000	1000	1500	1500
Turbidez	UNT	37	0	7	36	<10	<50	<100 a <2000***	<200 a <10000***
Alcalinidad	mg CaCO <sub>3</sub> /L	172	12	56	36	-	-	-	-
Carbonatos (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	17	0	1	47	-	-	-	-
Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> )	mg/L	178	12	58	47	-	-	-	-
Dureza Total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	76	8	29	47	-	-	-	-
Calcio (Ca <sup>2+</sup> )	mg/L	21	0,0	6,1	47	200,00	300,00	300,00	400,00
Magnesio (Mg <sup>2+</sup> )	mg/L	17	0,1	3,4	47	100c. Mg	100c. Mg	150c. Mg	150c. Mg
Cloruros (Cl <sup>-1</sup> )	mg/L	339	0,1	8,5	33 9	250c. Cl	300c. Cl	400c. Cl	500c. Cl
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	0,19	0,00	0,02	32 7	<1.0c. N	<1.0c. N	<1.0c. N	<1.0c. N
Fosfatos(PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	4	0,25	0,59	29 1	-	-	-	-
Nitratos(NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> )	mg/L	31,00	0,99	62,86	33 6	20.0c. NO <sub>3</sub>	50.0c. NO <sub>3</sub>	50.0c. NO <sub>3</sub>	50.0c. NO <sub>3</sub>
Sodio (Na <sup>+</sup> )	mg Na/L	43,70	0,92	5,57	47	200	200	200	200
Potasio (K <sup>+</sup> )	mg K/L	10,11	0,78	2,78	47	-	-	-	-
Fósforo (P <sup>2+</sup> )	mg P/L	1,67	0,06	0,35	37	-	-	-	-
Oxibilidad al permanganato	mg O <sub>2</sub> /L	0,90	0,02	0,45	36	-	-	-	-
Salinidad Efectiva (SE)	me/lt	1,97	0,07	0,46	11	-	-	-	-
Salinidad potencial (SP)	me/lt	0,69	0,06	0,21	11	-	-	-	-
Relación de Adsorción de Sodio (RAS)		2,18	0,10	0,32	47	-	-	-	-
Porcentaje de Sodio Posible (PSS)		61,8	5,8	21,5	47	-	-	-	-
Índice de Magnesio	%	60,0	28,6	41,8	11	-	-	-	-
Carbonato de Sodio Residual (CSR)	me/lt	2,6	-0,2	0,4	47	-	-	-	-
Sólidos disueltos	g/lt	0,20	0,02	0,07	11	-	-	-	-
Sólidos totales	g/lt	1,20	0,02	0,21	11	-	-	-	-
Oxígeno disuelto	mg O <sub>2</sub> /lt	6,4	5,2	6,0	5	<80% sat.	<70% sat.	<60% sat.	<50% sat.

En la figura 5.1, se puede apreciar la concentración de coliformes fecales espacialmente en la zona urbana de Tiraque y en la salida de la cuenca hidrográfica Pucara (Figura 5.1-a) y en la parte distal del abanico de Punata (Figura 5.1.-b), demostrando la relación de la presencia de coliformes fecales con los asentamientos humanos. Lo más preocupante es el incremento de los valores a la salida de la cuenca, ya que al ser esta la zona de recarga de las aguas subterráneas del abanico aluvial de Punata, podría convertirse con el tiempo en un problema por la contaminación de este recurso vital del que depende una gran cantidad de pozos para la provisión de agua para consumo humano.

**Figura 5.1 Concentración espacial de Coliformes Fecales en la cuenca Pucara**



*Fuente: En base a datos del estudio de Mapeo de Puntos de Agua SIDAGUA (2009-2010)*



*Fuente: En base a datos del estudio de Mapeo de Puntos de Agua  
SIDAGUA (2009-2010)*

***Contaminación de cuerpos de agua con nutrientes (Nitratos y fosfatos)***

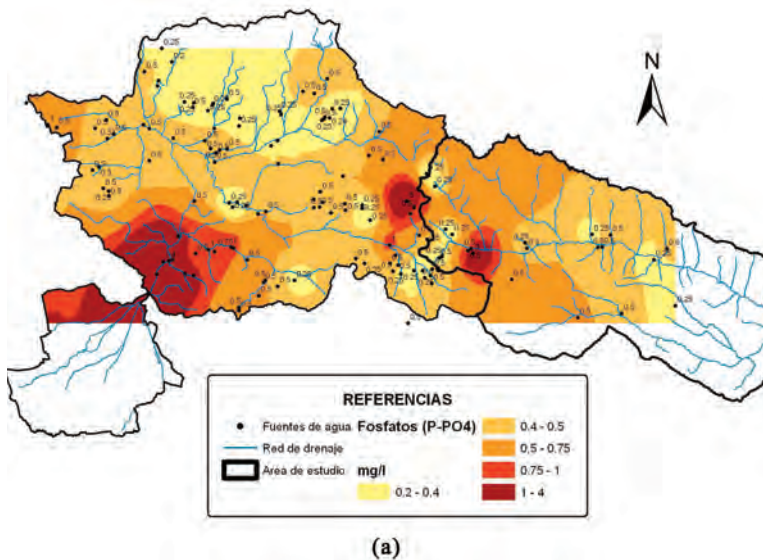
El proceso de generación, transporte y contaminación de cuerpos de agua en la cuenca Pucara es complejo y no se tienen todos los elementos para poder explicar adecuadamente estos procesos (pocos datos, toma de muestras de agua puntuales, necesidad de actualización, cuenca extensa con gran variedad morfológica de suelos, entre otros). Sin embargo, es posible mostrar una fotografía sobre la calidad de los cuerpos de agua superficiales y expresarlos en mapas correspondientes a un momento concreto. Los datos fueron tomados de varios estudios que tuvieron algunas limitaciones

en cuanto a precisión, temporalidad y espacialidad (Ampuero y Torres, 2009; SIDAGUA, 2010; Ampuero, 2011b; Heredia, 2012).

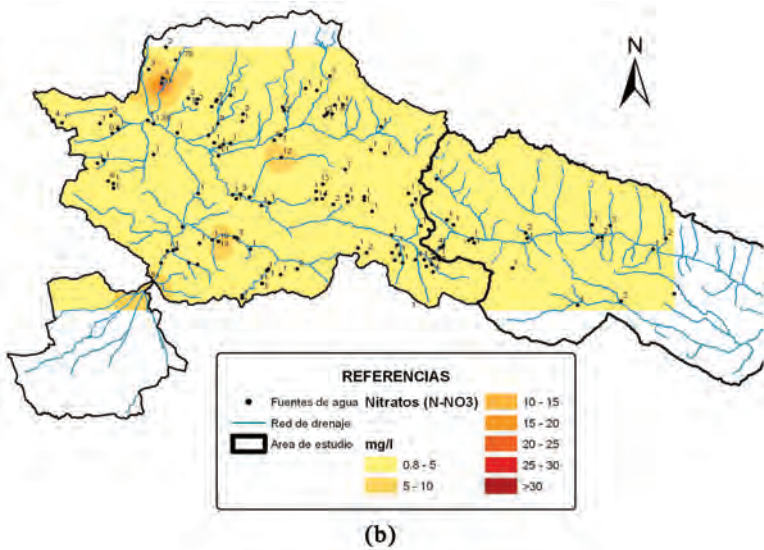
Es necesario aclarar que se ha optado por elaborar dos mapas con diferentes escalas: uno para las cuencas Pucara y Ch'ullkumayu, y otro para el abanico de Punata, porque esta última es la zona más densamente poblada, lo que ha significado que tiene una mayor densidad de sistemas de agua potable -mediante pozos- y, por tanto, gran cantidad de datos en una superficie más pequeña que las demás cuencas.

A continuación se muestran los mapas resultantes de contenidos de nitratos (Figura 5.2 a) y fosfatos (Figura 5.2 b) para la parte alta y media de la cuenca hidrográfica Pucara (Tiraque).

**Figura 5.2 Niveles de nitrato y fosfato en aguas superficiales en la parte alta y media de la cuenca hidrográfica Pucara (Tiraque)**



*Fuente: En base a datos del estudio de Mapeo de Puntos de Agua SIDAGUA (2009-2010)*



*Fuente: En base a datos del estudio de Mapeo de Puntos de Agua SIDAGUA (2009-2010)*

Los límites entre rangos han sido escogidos aplicando los criterios explicados a continuación. En el caso de los nitratos, según la FAO, valores por debajo de 5 ppm no representan ningún problema para la agricultura, valores entre 5 y 30 ppm reflejan un problema creciente de nitratos en el agua, y valores superiores a 30 ppm indicarían una fuerte contaminación de la fuente de agua. La Ley de Medio Ambiente utiliza valores límite que son compatibles con la escala empleada: valores por debajo de 20 mg/l permiten su uso para riego y agua potable, valores entre 20 y 50 tienen restricciones para su uso en riego y no se permitiría su uso para consumo humano sin algún tratamiento físico o químico, y valores mayores a 50 indicarían contaminación de la fuente de agua, limitando seriamente su uso en agua potable y riego, además de impedir su uso para la piscicultura.

Para el caso de los fosfatos, los límites para los rangos han sido escogidos según lo dispuesto por la Ley de Medio Ambiente. En

ella se establece que las aguas con contenidos menores a 0,4 mg/l no tienen ninguna restricción en su uso. Las que contengan fosfatos entre 0,4 y 0,5 mg/l tienen restricciones para su uso en riego, y no se permite su uso como agua de consumo humano. Las que contengan fosfatos entre 0,5 y 1 mg/l expresan un problema creciente y, finalmente, las mayores a 1 mg/l indicarían una seria contaminación de la fuente de agua.

De forma general, se puede afirmar que en las aguas superficiales y sub-superficiales de la cuenca existen aportes de nutrientes, especialmente de fosfatos, provenientes de actividades humanas y de origen natural, en ese orden de importancia.

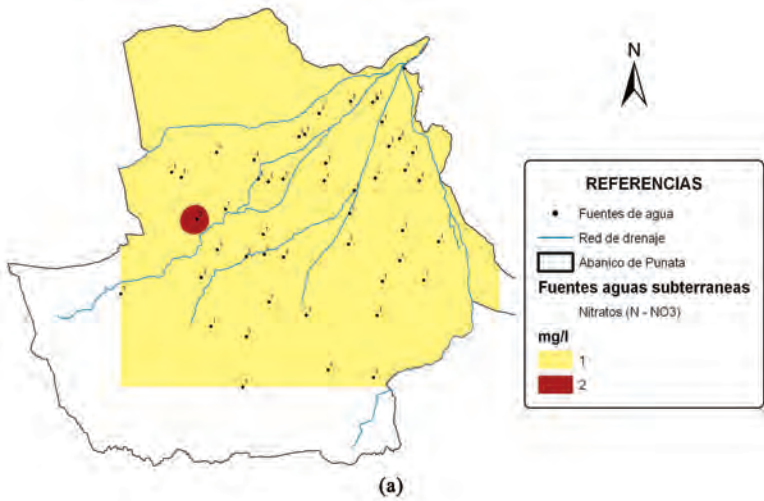
A continuación, se presentan mapas de nutrientes (Figuras 5.3a y 5.3b) elaborados con muestras puntuales de aguas subterráneas del abanico de Punata (parte baja de la cuenca Pucara). Es necesario aclarar que las muestras de agua fueron tomadas de los tanques de almacenamiento previos a su distribución y no directamente de los acuíferos.

La información sobre la configuración de el/los acuífero/s subterráneos de Punata aún es incierta. Sin embargo, debe llamar la atención los altos contenidos de fosfatos en las fuentes de agua cercanas al ápice del abanico. De forma concordante con lo afirmado por Rojas y Montenegro (2007), es altamente probable que su origen sean las filtraciones del río Pucara, y procesos de acumulación favorecidos por la magnitud de los aportes en el agua del río durante largo tiempo. También es destacable que, aparentemente, los nitratos no presentan un comportamiento similar (acumulativo), pudiendo deberse a la existencia de una capa de menor permeabilidad que favorece la desnitrificación, entre otras causas.

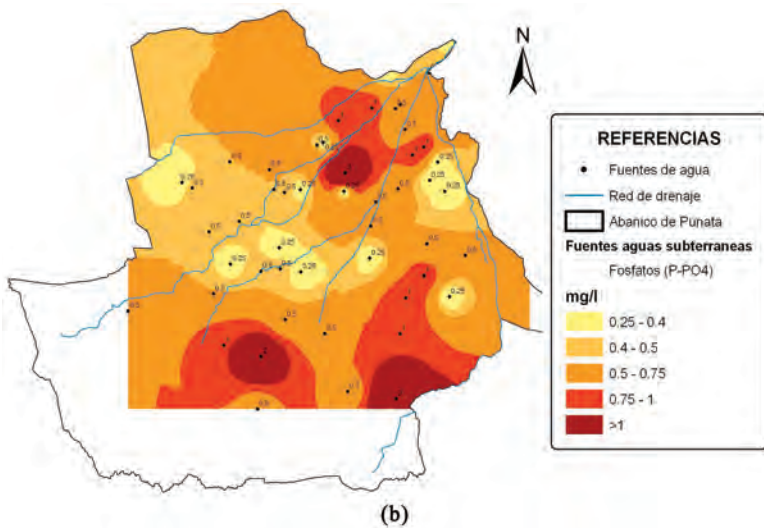
Sin embargo, no se da la misma situación en el caso del fosfato. El hecho de que presente niveles crecientes en las aguas superficiales y subterráneas implica diversos procesos de acumulación y posterior liberación en los suelos a lo largo de

bastante tiempo. De la misma forma, varias muestras de agua sobrepasan los niveles legales, restringiendo su uso. En líneas generales se puede decir que el fosfato aún no representa un riesgo de contaminación de los cuerpos de agua especialmente grave, aunque sí demuestra la influencia de las aguas residuales domésticas y agrícolas sobre los acuíferos en la cuenca Pucara. Se hace énfasis en que la fuente más probable de fosfatos son los fertilizantes, por tratarse de lugares que no cuentan con sistema de alcantarillado, lo que significa que la incorporación de fosfatos se realiza mediante fuentes difusas. No hay que olvidar que los detergentes contenidos en las descargas de aguas residuales domésticas son también fuentes de fosfatos, aunque se estima que la proporción es menor al uso de fertilizantes en la cuenca.

**Figura 5.3 Niveles de nitrato y fosfato en aguas subterráneas en el abanico de Punata (parte baja de la cuenca)**



*Fuente: En base a datos del estudio de Mapeo de Puntos de Agua SIDAGUA (2009-2010)*



*Fuente: En base a datos del estudio de Mapeo de Puntos de Agua SIDAGUA (2009-2010)*

### 5.4.3 Distribución de los contaminantes en la cuenca Pucara

Las represas y las vertientes localizadas en la parte alta de la cuenca Pucara, tienen aguas de buena calidad desde el punto de vista físicoquímico y microbiológico. Esta condición se viene deteriorando según se va descendiendo en la cuenca y el agua va atravesando por centros poblados, identificándose como principal amenaza a la contaminación microbiológica por coliformes fecales. En la parte baja de la cuenca (abanico de Punata), es posible (todavía) encontrar pozos que presentan agua apta para el consumo humano (Clase A).

Las actividades económicas en la cuenca (agricultura y ganadería) podrían ser también factores de aporte de materia orgánica e inorgánica a las fuentes de agua, debido al uso de agroquímicos y fertilizantes orgánicos (abonos). Esta es una apreciación superficial, que requiere ser estudiada con mayor profundidad, lo que se quería mostrar era que algunas fuentes de

agua si presentan contenido de materia orgánica e inorgánica y otras no, identificar las causas requiere de un estudio particular.

Concretamente, la mayor afectación a la calidad de agua en la cuenca se presenta por concentraciones de nitratos y fosfatos. Es posible identificar tres zonas críticas donde existen cantidades elevadas de ambos nutrientes: la parte alta de la subcuenca Chaqo-Millu Mayu, la salida de la subcuenca Toralapa y la salida de la cuenca completa, es decir el río Pucara.

Los niveles altos en Chaqo-Millu Mayu coinciden con los puntos críticos de vertido de basura y algunos puntos menores de aguas residuales domésticas identificados en Perez et al (2010), ambos propiciados por la cercanía de la zona urbana de Tiraque. Los niveles de ambos nutrientes expresan un problema creciente, según los parámetros de la FAO y la Ley 1333. De todas formas, los niveles obtenidos de nutrientes (fertilizantes) implican ligeras restricciones de uso del agua. La salida de la subcuenca Toralapa también presenta valores altos de nutrientes. Se aprecian dos características distintivas en los datos de esta subcuenca. Por una parte, a diferencia de Chaqo-Millu Mayu, los contenidos de nutrientes a lo largo del curso de agua se incrementan paulatinamente y continúa esta tendencia río abajo, lo que significa que hay aportes constantes, y que la capacidad de autodepuración y el factor dilución del río no son suficientes para su reducción. Por otra parte, ante la ausencia de otras fuentes puntuales de contaminación, lo más probable es que el origen de los nutrientes sea la aplicación de fertilizantes en cantidades excesivas - particularmente los artificiales- y, en menor medida, la deposición de excretas animales y humanas. Esta hipótesis cobra fuerza considerando que los niveles altos de fosfatos en el agua sub-superficial se dan solamente cuando existen aportes superiores a la capacidad de adsorción del suelo y a la utilización por las plantas durante largos periodos de tiempo.

En el río Pucara (a la salida de la cuenca hidrográfica), la explicación más plausible para los niveles altos de nutrientes en el

agua es la confluencia de escurrimientos de fuentes superficiales y sub-superficiales de agua, por ser la salida de la cuenca. Allí, destaca el nivel de fosfatos registrado, pues el agua estaría inhabilitada para su uso como agua de consumo humano y riego. Cabe recordar que las galerías filtrantes que proveen agua a una parte de la población urbana de Punata se encuentran en este sector. De la misma forma, por la configuración geomorfológica de la cuenca, es muy probable que estas aguas se estén incorporando a los acuíferos subterráneos de Punata (Rojas y Montenegro, 2007).

En el caso de los fosfatos, se han identificado además otras dos zonas que presentan altos niveles. Una de ellas está en la subcuenca Ch'ullku Mayu y la otra en la parte alta de la subcuenca Toralapa. Es posible que ambos estén relacionados mediante el trasvase que existe entre ambas zonas, lo cual tiene dos posibles explicaciones. La primera, que gran parte del aporte provendría de la cuenca Ch'ullku Mayu (ubicada aguas arriba) a través del trasvase, zona donde se estaría aplicando fertilizantes en grandes cantidades. La segunda es que en ambas zonas realizan similares prácticas de cultivo, posiblemente incluyendo aplicaciones excesivas de fertilizantes.

De forma general, es posible afirmar que las diferentes actividades antrópicas en la cuenca Pucara influyen en el contenido de nitratos y fosfatos en los recursos hídricos, especialmente aguas abajo. Aparentemente, los diversos mecanismos ambientales para depuración aún logran contener los niveles de nitratos, de forma que no constituyen un problema según la normativa actual. De hecho, los niveles se sitúan muy lejos de los que, según la OMS, afectarían la salud, aunque podrían significar algún tipo de restricción para riego según la Ley de Medio Ambiente y las recomendaciones de la FAO.

El factor de dilución en la cuenca Pucara juega un rol importante en la mejora de la calidad del agua. Esta situación se presenta por aporte de caudales de vertientes, de ríos con caudales significativos

(Toralapa, Tiraque, Millu Mayu), así como por las largadas de las diferentes represas que diluyen la salinidad y la sodicidad de los cuerpos de agua. Por ejemplo, la largada de la represa Pachaj Khocha reduce los índices de salinidad y sodicidad del agua del río Millu Mayu. Ocurre lo contrario con la demanda bioquímica de oxígeno y bacterias coliformes, ya que las concentraciones se incrementan a medida que atraviesan las poblaciones localizadas en la cuenca Pucara a pesar del factor de dilución de la cuenca (ver Figura 4.2a y 4.2b).

#### **5.4.4 Limitaciones metodológicas y operativas en la evaluación y el monitoreo**

En este acápite se aborda principalmente las limitaciones o condiciones metodológicas y operativas en la tarea de evaluar y monitorear la calidad del agua en la cuenca Pucara, desde los muestreos, los parámetros analizados, la priorización de los estudios y la necesidad de ahondar en investigación sobre los mismos.

La toma de muestras de agua de forma puntual, permite mostrar la calidad en el momento en que ha sido tomada la muestra, pero no permite entender la variación de la calidad en el tiempo. Es necesario establecer una red de monitoreo espacial y temporal, que permita tomar muestras de agua compuestas y en determinadas épocas del año (muestreo temporal). Esta proposición deberá ser analizada rigurosamente, considerando los costos de los análisis y las capacidades de las instituciones para realizar estos análisis. Por ejemplo, el empleo de equipos portátiles de análisis multi-paramétrico, permitió abarcar un espacio mayor de territorio para el monitoreo de coliformes fecales, nitratos, fosfatos y otros parámetros en los municipios de Punata y Tiraque, aunque con las limitaciones inherentes a la precisión de los equipos así como al financiamiento. Por tanto, es necesario que todos los elementos a monitorear estén acordes con los condicionantes existentes y en función a los objetivos concretos que se quiera lograr.

Un problema recurrente durante todo el periodo cubierto por la evaluación de la calidad del agua ha sido la discontinuidad en el levantamiento de datos. Esto se ha debido principalmente a la dinámica de los proyectos de investigación dentro de los cuales se han ejecutado los estudios. En algunos casos, no se han podido establecer estudios que incluyan la época seca y la época lluviosa, para poder realizar comparaciones sobre la variación de la calidad del agua en diferentes épocas. Cabe resaltar que algunos estudios han surgido de la necesidad de dar respuesta a la constante preocupación de los pobladores (principalmente usuarios de agua para consumo doméstico).

El procedimiento para la clasificación de cuerpos de agua recomendada por la normativa boliviana, establece que éste se debe realizar en base a un monitoreo temporal de los cuerpos de agua a ser clasificados y recomienda un listado numeroso de parámetros. Así, la clasificación de los cuerpos de agua según el reglamento de contaminación hídrica (Ley 1333) en términos económicos es muy costosa. Concretamente, considera 20 parámetros básicos excesivamente costosos de analizar y para muchos de estos análisis no existen las capacidades instaladas en Bolivia.

Al margen de esto, la mejora y el ajuste metodológico constante, ha permitido modificar los parámetros analizados en cada estudio. Esto ha resultado en un número variable de datos en los distintos parámetros considerados.

Es de destacar también la dependencia de laboratorios especializados para el análisis de muestras, siendo una limitación para la concreción adecuada de los estudios debido a la excesiva tardanza en la entrega de resultados. Al margen de estas limitaciones, la coordinación con usuarios, dirigentes del agua para realizar la toma de muestras de agua, se torna crucial, ya que la población es muy celosa de que gente extraña manipule los dispositivos de sus sistemas de agua.

Finalmente, hay que resaltar que los municipios están interesados en conocer la calidad del agua de abastecimiento de su población, sin embargo no asignan recursos económicos para este fin. En este aspecto hay que considerar la atomización de la prestación del servicio de agua. En general, existe un sistema de agua por comunidad, entonces monitorear diversas fuentes de agua demanda un elevado presupuesto y recursos humanos. En este tema las universidades deben plantear iniciativas con la idea de monitorear la calidad de las fuentes de agua de abastecimiento de la población. Se podría esperar apoyo institucional de las autoridades municipales aunque por el momento no existe una voluntad política explícita de abordar el tema de calidad de agua en la cuenca Pucara, expresado en el bajo destino de recursos humanos y económicos al mismo.

## **5.5 Conclusiones**

Del análisis de los resultados se pueden extraer algunas conclusiones

Las principales fuentes de contaminación de los recursos hídricos (botaderos de basura, vertidos de aguas residuales y agroquímicos) se encuentran dispersas en toda la cuenca, aunque la contaminación provocada en la parte alta y media de la cuenca (municipio de Tiraque), podrían ya estar afectando las aguas subterráneas, aprovechadas en la parte baja de la cuenca (municipio de Punata), mostrados por algunos de los indicadores presentados. La situación tiende a agravarse por la gestión sectorial de los residuos sólidos y líquidos. Esta problemática es abordada por parte de los pobladores locales, con varias limitaciones y en medio de una incierta percepción del riesgo derivado de ella.

En general, los cuerpos de agua de la cuenca Pucara, pueden ser catalogados como fuentes de agua con buena salud ambiental, con algunas excepciones en algunas fuentes de agua específicas y en parámetros concretos, sobre todo relacionados con la contaminación microbiológica (coliformes fecales) y de materia orgánica (nitratos

y fosfatos), mostrando mayor concentración en las proximidades de centros poblados y a la salida de la cuenca hidrográfica Pucara. Por tanto, los recursos hídricos en la cuenca Pucara son vulnerables a la contaminación y no se están aplicando medidas legales de protección. Esta situación tiende a agravarse si se consideran las principales fuentes de contaminación y la inadecuada gestión de los contaminantes identificados, requiriendo de un manejo integral que debe ser una prioridad para las autoridades locales.

Los diversos usuarios del agua han empezado a percibir los efectos de la contaminación producida en la parte alta de la cuenca desde hace bastante tiempo. Sin embargo, no se han establecido denuncias formales ante las autoridades locales demandando la solución a este problema. Por otra parte, no se ha podido evidenciar conflictos por la contaminación entre usuarios del agua, aunque la tendencia creciente de la contaminación ambiental registrada, podría ocasionar el inicio de algún conflicto si se percibe la contaminación y/o presentan problemas en la salud de los usuarios del agua, debido al consumo del agua contaminada o la afectación en sus cultivos.

Existen limitados esfuerzos y baja capacidad técnica para evitar y/o prevenir la contaminación de los recursos hídricos en los municipios de la cuenca. Las acciones para contrarrestar esta situación deben ser encaradas por todos los municipios que son parte o están afectados por el curso del principal río en la cuenca. En este sentido, se debe entablar acciones de manera mancomunada desarrollando planes de manejo de cuenca y gestión integrada de recursos hídricos con enfoque de cuenca, tomando en cuenta que las actividades humanas realizadas en la cuenca alta afectan a los que se encuentran en la parte media y baja.

A raíz de los estudios realizados y los hallazgos se recomienda formular y elaborar un plan de monitoreo temporal de las fuentes de agua de la cuenca Pucara, para poder clasificarlas adecuadamente de acuerdo a la normativa boliviana. Asimismo, es necesario

estudiar y monitorear las causas que provocan las concentraciones elevadas de algunos parámetros e indicadores que sobrepasaron los límites permisibles en el presente estudio y sus efectos sobre el agua y el suelo. También se recomienda identificar los posibles riesgos asociados con la salud de la población consumidora de dichas aguas. Finalmente, se debe trabajar en la búsqueda de medidas de mitigación para reducir o evitar la contaminación de las fuentes de agua.

### **5.6 Referencias bibliográficas**

Ampuero, R. (2011a). Reporte sobre las principales fuentes de contaminación en la cuenca Pucara (Tiraque y Punata): Su importancia relativa y posibles impactos. Reporte de Investigación. Proyecto SIDAGUA-Centro AGUA. Cochabamba. 33 p.

Ampuero, R. (2011b). Evaluación de la calidad de los recursos hídricos en la cuenca hidrosocial Pucara (Tiraque-Punata, Cochabamba, Bolivia). Reporte de Investigación. Proyecto SIDAGUA-Centro AGUA. Cochabamba. 32 p.

Ampuero, R.; Torres, L. (2009). Evaluación de la calidad de los recursos hídricos en la cuenca Pucara. Proyecto GIRH: Estrategias para la gestión integral de recursos hídricos en cuencas de Bolivia. Informe Técnico N° 5. Cochabamba, Bol. 56 p.

Camacho, A. (2005). Importancia de la gestión y uso actual de las aguas residuales urbanas en la producción agrícola del municipio de Punata, Cochabamba, Tesis de Maestría, Universidad de Las Palmas y Gran Canaria - Fundación Universitaria Iberoamericana. Cochabamba, Bolivia. 96 p.

Congreso Nacional de Bolivia (1992). Ley N° 1333 Ley de Medio Ambiente 1333. Promulgada el 27 de abril de 1992. La Paz, Bolivia. 129 p.

Cruz, R. (2009). Valoración de los recursos hídricos del municipio de Tiraque estudio hidrológico de la micro-región Tiraque Valle.

Informe final. Proyecto COAGUA: Compitiendo por el agua: entendiendo el conflicto y la cooperación en la gobernanza local del agua. Cochabamba, Bolivia. 68 p.

Del Callejo, I.; Vásquez, S. (2007). Proyecto de Investigación: “Escenarios Futuros de uso de agua, como herramienta de planificación del aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos en Punata”. ASDI-DICyT. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua. Cochabamba, Bolivia. 73 p.

Delgadillo, O.; Durán, A. (2009). Gestión multisectorial y los desafíos para la gestión campesina del agua. In: Jacobi, P.; De Almeida, P. (Ed.) 2009. Gobernanza del Agua y de las políticas públicas en Latinoamérica y Europa. Ed. ANABLUMME. GOVAGUA. Sao Paulo, Brasil. Volumen I. p.: 7-48 p.

Delgadillo, O.; Lazarte, N. (2007). “Inventario de pozos perforados en el abanico de Punata”. Proyecto de Investigación: “Escenarios Futuros de uso de agua, como herramienta de planificación del aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos en Punata”. ASDI-DICyT. Centro AGUA. Cochabamba, Bolivia. p. 8 p.

Delgadillo, O.; Durán, A. (2011). Informe académico final -Proyecto GIRH. Centro AGUA-UMSS. Cochabamba, Bolivia. 58 p.

Heredia, M.A. (2012). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de cuerpos de agua de la Subcuenca Ch’aki Mayu en el municipio de Tiraque. Tesis de grado. UMSS. Cochabamba. 128 p.

Lizarazu, B. (2010). Análisis sobre las necesidades de saneamiento de aguas residuales municipales en la Provincia Punata del departamento de Cochabamba. Tesis de grado. UCB. Cochabamba. 213 p.

Pérez L. (2012). Reporte metodológico sobre modelación de calidad de aguas con SWAT. Reporte de Investigación. Proyecto SIDAGUA-Centro AGUA. Cochabamba. 53 p.

Pérez, L. (2011). Definición del problema para la modelación de calidad de aguas Cuenca Pucara. Reporte de Investigación. Proyecto SIDAGUA-Centro AGUA. Cochabamba. 19 p.

Pérez, L.; Andrade, M.; Camacho, A. (2011). Gestión de los residuos urbanos en la cuenca hidrosocial Pucara. Reporte de Investigación. Proyecto GIRH y Proyecto SIDAGUA, Centro AGUA, Cochabamba. 39 p.

Rojas, F.; Montenegro, E. (2007). Potencial hídrico superficial y subterráneo del abanico de Punata. Proyecto de Investigación: “Escenarios Futuros de uso de agua, como herramienta de planificación del aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos en Punata”. ASDI-DICyT. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua. Cochabamba, Bolivia. 73 p.

SIDAGUA (2010). Base de datos del mapeo de puntos de agua de los municipios de Tiraque y Punata. Proyecto de Investigación: “Desarrollo de un sistema demostrativo de apoyo a la gestión de recursos hídricos en la cuenca Pucara, Bolivia” (Programa SIDAGUA). Centro AGUA, AECID-UPC. 2009-2010.

# Capítulo

## 6

### **METODOLOGÍAS PARA MEDIR EL ACCESO AL AGUA POTABLE Y AL SANEAMIENTO**

*Vladimir Cossío Rojas y  
Ricard Giné Garriga*

#### **6.1 Antecedentes**

Desde la Conferencia de Naciones Unidas que tuvo lugar en Mar de Plata (1977) se han sucedido una serie de compromisos por parte de la comunidad internacional para promover el acceso al agua y al saneamiento. Sin duda, uno de los más relevantes es la inclusión entre los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM; Naciones Unidas, año 2000) de una meta específica (meta 10 del objetivo 7) para reducir a la mitad, en 2015, el porcentaje de población sin acceso sostenible a estos servicios básicos. Desgraciadamente, el logro de dicha meta en las regiones más empobrecidas sigue siendo un reto inalcanzable: 780 millones de personas no tienen acceso a agua, y 2,500 millones de personas no disponen de saneamiento básico (JMP, 2012). Uno de los factores que está condicionando un progreso continuado en el aumento del nivel de servicio es la falta de un sistema de monitoreo global, que integre metodologías de levantamiento de información, técnicas analíticas, e instrumentos útiles para entender los puntos críticos de la cadena de suministro. Específicamente, que i) identifiquen los segmentos de población

más vulnerables, ii) apoyen el desarrollo de las políticas sectoriales, iii) faciliten una asignación transparente de los recursos, y que iv) midan la eficacia en la implementación de dichas políticas.

Es cierto que en los últimos años ha proliferado el diseño de nuevos instrumentos para recopilar y evaluar información relacionada con el agua y el saneamiento. Entre otros se encuentran la Encuesta de conglomerados de indicadores múltiples (MICS por sus siglas en inglés) diseñado por UNICEF (United Nations Children's Fund, 2006), el del Mapeo de Puntos de Agua (Water Point Mapping; WPM) inicialmente propuesto por la ONG WaterAid (WaterAid & ODI, 2005), la Evaluación Rápida de la Calidad del Agua de Bebida (Rapid Assessment of Drinking Water Quality, RADWQ; Howard et al., 2012) o los Planes de Seguridad del Agua (Water Safety Plans; Bartram et al., 2009). Sin embargo, estas alternativas presentan limitaciones significativas en su aplicación a contextos particulares; como por ejemplo la poca homogeneidad entre los indicadores empleados, la tipología de fuentes de información y la fiabilidad de las mismas, la escala de análisis, etc.

A nivel internacional, el Programa de Seguimiento Conjunto de la OMS y UNICEF (JMP por sus siglas en inglés), basada en el MICS, es sin duda la iniciativa más destacada. Por un lado, estandariza los indicadores que la comunidad internacional usa para medir “acceso” (JMP, 2006), y por el otro, proporciona datos actualizados sobre los niveles de cobertura (JMP, 2010, 2012). El Programa propone la definición de indicadores en base al tipo de tecnología usada (“mejorada” y “no mejorada”, ver Tablas 6.1 y 6.2), y ello permite obtener datos fiables de “acceso”. Las estadísticas por lo tanto facilitan una comparativa uniforme y armonizada entre los distintos países. Pero debido a la sencillez en el enfoque, las cifras tienden a subestimar los problemas relacionados con la provisión de los servicios por diversas razones.

Parte del problema reside en el hecho de que la presencia física de una tecnología “mejorada”, como puede ser una fuente de agua

protegida o una letrina de pozo, no siempre es un indicador adecuado de un acceso mejorado: las infraestructuras no siempre funcionan correctamente o se usan adecuadamente. Asimismo, una adecuada descripción del nivel de servicio requiere integrar otros aspectos además del tipo de infraestructura, como la calidad, la asequibilidad, la disponibilidad, etc. (Jiménez & Pérez-Foguet, 2012; Giné Garriga & Pérez Foguet, 2013).

**Tabla 6.1 Escalera del agua para la clasificación de tecnologías para el suministro de agua. Fuente: JMP (2008)**

Fuentes no mejoradas	Fuentes mejoradas	
<b>Fuentes no mejoradas de agua de consumo:</b>  Pozo excavado no protegido, manantial no protegido, carreta con un pequeño depósito o bidón, aguas superficiales (río, presa, lago, estanque, arroyo, canal, acequia) y agua embotellada.	<b>Fuentes mejoradas de agua de consumo:</b>  Grifos o caños públicos, pozos entubados o pozos-sondeo, pozos excavados protegidos, manantiales protegidos o captación de agua de lluvia.	<b>Agua entubada hasta el lugar de consumo</b>

**Tabla 6.2 Escalera de saneamiento para la clasificación de tecnologías para el suministro de agua. Fuente: JMP (2008)**

Saneamiento no Mejorado		Saneamiento Mejorado	
<b>Defecación al aire libre:</b>  Las heces humanas se desechan en campos, bosques, arbustos, cuerpos de agua abiertos, playas u otros espacios abiertos, o se desechan con los residuos sólidos.	<b>Instalaciones de saneamiento no mejoradas:</b>  Instalaciones que no garantizan condiciones higiénicas que impidan el contacto de las personas con los excrementos humanos. Las instalaciones no mejoradas incluyen las letrinas de pozo sin losa o plataforma, las letrinas colgantes y las letrinas de cubo.	<b>Instalaciones de saneamiento compartidas:</b>  Instalaciones de saneamiento aceptables en otros sentidos, pero que son compartidas por dos o más hogares. Sólo se consideran mejoradas las instalaciones que no son compartidas ni públicas.	<b>Instalaciones de saneamiento mejoradas:</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de sifón con descarga a: una red de alcantarillado; una fosa séptica; una letrina de pozo</li> <li>• Letrina de pozo mejorada con ventilación</li> <li>• Letrina de pozo con losa</li> <li>• Inodoro para elaboración de compost</li> </ul>

Otra dificultad está relacionada con la representatividad de los datos para evaluar el grado de cobertura de los servicios. En las encuestas regionales y nacionales, parte de la población, en

particular los segmentos más desfavorecidos, no se encuentra bien representada. Esto es debido normalmente a que viven en áreas de difícil acceso y que, en algunos casos, no son reconocidas oficialmente por los gobiernos. En definitiva, a pesar de la relevancia del Programa para el monitoreo del sector, la descripción que se ofrece de la realidad es demasiado simplista. Sigue siendo necesario diseñar metodologías adecuadas que generen información que permita integrar mejor la complejidad del sector, particularmente en la escala local.

En el MICS, el “hogar” es la unidad básica de muestreo (United Nations Children’s Fund, 2006), y la metodología por lo tanto se fundamenta en la selección de un número de hogares estadísticamente representativo en la zona de intervención. Para ello, se selecciona primero un número reducido de clústeres en función de su tamaño poblacional, y en cada clúster, una muestra aleatoria de casas. A partir de cuestionarios modulares se evalúan diferentes aspectos de interés, como la salud, la educación, y el nivel de vida. Este método permite definir un conjunto de indicadores socioeconómicos de la familia que posibilita, entre otros, una correcta supervisión de metas nacionales y compromisos mundiales, como por ejemplo los ODMs. Por el contrario, una de las principales limitaciones está relacionada con la misma fuente de información, siendo ésta poco fiable para entender, por ejemplo, aspectos relacionados con la gestión y el mantenimiento de los servicios, la calidad del agua, etc.

Otra metodología para evaluar específicamente el acceso al agua en un contexto rural y local es la del Mapeo de Puntos de Agua (WaterAid & ODI, 2005), implementada con éxito por agencias de cooperación y organismos no gubernamentales en varios países del África subsahariana, América Latina y Asia. Su principal objetivo consiste en mapear exhaustivamente todos los puntos de agua “mejorados” de una zona determinada, anotando las coordenadas geográficas de la fuente, y recogiendo información relativa al tipo

de punto de agua, su funcionalidad, la gestión de la fuente, su operación, mantenimiento, etc.

Una mejora de la propuesta original fue desarrollada por Jiménez y Pérez Foguet (2008), en la que se justificaba la necesidad de evaluar también la estacionalidad de la fuente y la calidad bacteriológica del agua. La información recopilada se presenta mediante mapas digitales, que permiten entender de manera visual los aspectos del servicio que requieren especial atención y las áreas geográficas más vulnerables. Como herramienta de planificación descentralizada, el WPM por lo tanto i) facilita la evaluación de acceso al agua por parte de la población, ii) pone de relieve cuestiones de equidad, y iii) proporciona información sobre la sostenibilidad de los sistemas de agua. En cambio, al centrarse en el punto de agua -y no incluir en la evaluación al usuario- no permite entender cómo afecta un nivel de servicio determinado en las prácticas higiénicas de la familia.

El presente capítulo describe una nueva metodología para obtener información relacionada con el agua, el saneamiento y la higiene, en un contexto rural y a la escala local (Giné Garriga et al., 2012). En ella, se parte del WPM para mapear las fuentes y medir el acceso al agua. Esta información luego se combina con datos obtenidos en un muestreo aleatorio de hogares para evaluar el tipo de saneamiento y las prácticas higiénicas de la familia. La metodología fue implementada en dos casos de estudio, los municipios de Tiraque y Punata, en Cochabamba (Bolivia) durante el año 2009.

## **6.2 Metodología**

Tal y como se ha introducido en el punto anterior, la metodología aplicada en estos casos integra un mapeo exhaustivo de puntos de agua con un muestreo estratificado de hogares. Los principales aspectos metodológicos a tener en cuenta son: i) delimitación de la unidad administrativa de interés (en estos casos de estudio, la

municipalidad) y de las subunidades correspondientes (el distrito), ii) auditoría de todos los puntos de agua (mejorados y no mejorados) accesibles para fines domésticos en todas las subunidades administrativas; y iii) selección aleatoria de un número estadísticamente representativo de hogares. En la Tabla 6.3 se resume el paso a paso de la metodología propuesta, que se detalla a continuación.

La primera tarea (1a), antes de empezar el trabajo de campo, consiste en delimitar territorialmente las subunidades administrativas. Hay que resaltar, en este sentido, que estas subunidades deben desempeñar un rol administrativo importante en la prestación de servicios descentralizados, con el fin de que los resultados obtenidos sean útiles para apoyar la planificación del sector. En paralelo se desarrollan los cuestionarios que se utilizarán para evaluar el nivel de servicio, tanto en la fuente de agua como en la familia (1b), en base a un conjunto limitado de indicadores fiables, pertinentes y objetivos (Tabla 6.4).

Se ha mencionado con anterioridad la necesidad de incluir aquellos indicadores aceptados internacionalmente (JMP, 2006), con el fin de promover una mayor armonización en el seguimiento del sector. Sin embargo, proponer un conjunto estándar de indicadores no parece lo más apropiado, siendo importante la participación de los actores locales para establecer una conceptualización de los indicadores que se adapte al contexto local.

**Tabla 6.3 Paso a paso de la metodología para la recolección de datos**

<p>Etapa 1: Tareas preliminares</p>	<p>1.a. Identificación y delimitación de subunidades administrativas                      1.b. Definición de indicadores y desarrollo de cuestionarios                      1.c. Capacitación a los trabajadores de campo                      1.d. Involucración de los técnicos de las administraciones locales</p>
<p>Etapa 2: Visita a todas las comunidades / poblaciones</p>	<p>1.e. Implementación de la fase piloto                      2.a. Definición de la agenda de trabajo                      2.b. Encuentro, en cada comunidad / población, con los líderes comunitarios                      2.c. Identificación de todas las fuentes de agua disponibles en cada comunidad y accesibles para fines</p>
<p>Etapa 3: Auditoría de las fuentes de agua</p>	<p>domésticos                      3.a. Visita y auditoria de todos los puntos de agua                      3.b. Lectura de las coordenadas GPS                      3.c. Análisis básico (físico-químico y</p>
<p>Etapa 4: Encuestas en los hogares</p>	<p>bacteriológico) de la calidad de agua                      4.a. Selección aleatoria de un número estadísticamente representativo en cada subunidad administrativa                      4.b. Evaluación del tipo de saneamiento y de prácticas higiénicas</p>
<p>Etapa 5: Procesamiento de datos</p>	<p>en los hogares                      5.a. Entrada de los cuestionarios en la base de datos                      5.b. Control de calidad</p>

**Tabla 6.4 Lista de indicadores para evaluar el acceso a agua, saneamiento e higiene.**  
**Fuente: Giné Garriga 2013**

	Variables	Indicadores	Justificación	Fuente de Información
Agua	Acceso a fuentes mejoradas <sup>a</sup>	% hogares con acceso a fuentes mejoradas	Según el JMP, acceder a una fuente "mejorada" es indicativo de acceso a agua potable.	Hogar
		% de hogares con un nivel de cobertura adecuado (en base al ratio estándar en el país población:punto de agua)	Este indicador muestra las (sub) unidades administrativas con peor cobertura; es decir, con menos puntos de agua en base a la población existente.	Fuente de agua
	Distancia a la fuente (km) <sup>b</sup>	% de hogares que invierten más de media hora en la recogida de agua	Existe relación entre la distancia a la fuente y el consumo del agua. Este tipo de indicadores permiten medir el impacto de cualquier intervención en el sector en relación al tiempo ahorrado en la tarea de ir a buscar agua a la fuente (siendo éste uno de los beneficios más apreciados por parte de los usuarios)	Hogar
	Persona encargada de recoger el agua <sup>c</sup>	% de hogares en los que la mujer, niño o niña / anciano o anciana asume la responsabilidad de recoger el agua	Este indicador analiza las desigualdades de género en esta tarea doméstica. También ayuda a entender los potenciales beneficiarios de una intervención en el sector.	Hogar
	Consumo de agua (fines domésticos)	Consumo de agua per cápita para fines domésticos (consumo, higiene personal e higiene doméstica)	Desde el punto de vista de salud pública, determinar el volumen de agua consumida es necesario para entender las prácticas higiénicas de una familia, aspecto crítico para la prevención de enfermedades.	Hogar
	Estado operacional de la fuente	% de puntos de agua operativos	Este indicador analiza la sostenibilidad de la infraestructura, y pone de relieve la necesidad de invertir en el desarrollo de capacidades locales para gestionar y mantener correctamente el servicio de agua potable.	Fuente de agua
	Calidad del agua (contaminación bacteriológica)	% de puntos de agua con una calidad bacteriológica aceptable	La calidad del agua es una característica crítica del suministro, específicamente la presencia de contaminación bacteriológica (coliformes fecales) u otros parámetros (pH, conductividad, turbidez y nitratos)	Fuente de agua
	Estacionalidad del recurso hídrico	% de puntos de agua no estacionales (con agua todos los meses del año)	La estacionalidad y continuidad del servicio es otro parámetro a tener en consideración. Si la estacionalidad del recurso es elevada (poca continuidad en el servicio), los usuarios tendrán a buscar otras fuentes alternativas, normalmente de calidad inferior.	Fuente de agua
	Gestión de la fuente	% de puntos de agua gestionados por un comité local de agua y saneamiento	Aspecto crítico para la sostenibilidad del servicio: buena gestión de la fuente requiere un marco institucional adecuado, que se fundamenta en la existencia de comités locales de gestión	Fuente de agua
	Mantenimiento de la fuente	% de puntos de agua con acceso local a técnicos y recambios	Aspecto crítico para la sostenibilidad del servicio. El acceso a técnicos locales y a una cadena de suministro de recambios es esencial para promover un correcto mantenimiento.	Fuente de agua

	Variables	Indicadores	Justificación	Fuente de Información
	Control financiero	% de entidades de agua con ingresos / gastos durante el último año	Aspecto crítico para la sostenibilidad del servicio. El control de gastos y de ingresos es un buen indicador de la existencia de un sistema de pago, necesario para financiar averías, reparaciones, etc.	Fuente de agua
	Nivel de servicio a los más vulnerables	% de puntos de agua donde los más vulnerables están exentos de pagar por el servicio	En términos de equidad, el acceso al servicio de los grupos más vulnerable debería ser una prioridad.	Fuente de agua / Hogar
<b>Saneamiento</b>	Acceso a saneamiento mejorado <sup>a</sup>	% de hogares con acceso a saneamiento "mejorado"	Este indicador, más allá del acceso, debería incidir en evaluar el uso de infraestructura "mejorada" de saneamiento.	Hogar
	Defecación al aire libre	% de hogares que practica la defecación al aire libre	El JMP define como saneamiento "no mejorado" la defecación al aire libre, el uso de letrinas "no mejoradas" y el saneamiento compartido. Es importante distinguir entre las diferentes categorías de saneamiento "no mejorado", ya que la estrategia para promocionar un saneamiento adecuado variará en función de esta categorización.	Hogar
	Saneamiento compartido <sup>a</sup>	% de hogares que comparten el saneamiento		Hogar
	Condiciones higiénicas de las letrinas	% de letrinas en buenas condiciones higiénicas	Independientemente del tipo de infraestructura, la condición higiénica de la letrina puede condicionar un uso continuado y evitar la propagación de enfermedades. Para ello, se pueden evaluar 4 variables: 1) limpieza general, 2) presencia de insectos, 3) privacidad, y 4) malos olores.	Hogar
<b>Higiene</b>	Dispositivo para el lavado de manos	% de letrinas con un dispositivo para el lavado de manos	La correcta evaluación del lavado de manos es compleja ya que requiere técnicas específicas. En cambio, el indicador alternativo podrá ser evaluar la existencia de dispositivos para el lavado de manos (agua, jabón o equivalente, y trapo para el secado de manos) en las inmediaciones de la letrina.	Hogar
	Tratamiento doméstico del agua <sup>a</sup>	% de hogares que tratan el agua correctamente	Tratar el agua correctamente en la casa puede mejorar substancialmente la calidad del agua, aunque esta medida tiene que ir acompañada de otras buenas prácticas en el transporte y almacenamiento del agua.	Hogar
	Deposición de heces de niños/as menores de 3 años <sup>a</sup>	% de hogares que depositan correctamente las heces de los niños/as menores de 3 años	Las deposiciones de los niños/as puede ser una causa de contaminación ambiental y uno de los factores críticos para la transmisión fecal - oral de enfermedades.	Hogar
Nota: a) Indicador del Programa de Seguimiento Conjunto de la OMS y UNICEF (JMP)				

La siguiente tarea consiste en capacitar al personal de campo que participará en la recogida de datos (1c), incluyendo, entre otros, una revisión exhaustiva de los cuestionarios, el uso de equipos GPS, y la práctica en técnicas analíticas para el análisis de la calidad del agua. A partir de este momento, la involucración de los técnicos locales del municipio es esencial, ya que permite asegurar un correcto enlace entre el trabajo del campo y las estructuras locales a nivel comunitario (1d). Una vez que el diseño de la encuesta se ha completado y el personal ha sido entrenado adecuadamente, la idoneidad de la metodología propuesta se debe validar mediante una fase piloto en un número reducido de comunidades (1e). El análisis de los resultados del piloto debe permitir reescribir y reordenar las preguntas mal formuladas, suprimir las preguntas confusas, detectar redundancia entre las variables estudiadas, etc.; en definitiva, optimizar el diseño tanto de la metodología como de los instrumentos de evaluación.

En relación a las actividades de campo, el primer paso es la elaboración de una agenda diaria en la que se programe la visita a todos los pueblos / comunidades de la zona de intervención (2a). El número óptimo de comunidades visitadas por día debería obedecer a criterios logísticos, por ejemplo el número de comunidades que se pueden completar en un día completo de trabajo. En cada comunidad, el primer paso es planificar una reunión con representantes de los comités locales de agua y saneamiento (o similares), con el fin de (2b): i) introducir los objetivos de la campaña de recogida de datos, y ii) elaborar una lista de fuentes de agua potable y/o sistemas de provisión existentes en la comunidad (2c).

El siguiente paso es visitar todos los puntos de agua listados en la etapa anterior (2c), independientemente de su estado operativo (3a). Es importante resaltar, sin embargo, que en los sistemas de agua con conexiones domiciliarias –muy importantes en cantidad y cobertura en los casos estudiados- se opta por visitar el depósito

de distribución y un número reducido de puntos privados -que se tomarán como representativos del sistema-, pues la auditoría del 100% de las conexiones complicaría significativamente la logística de trabajo. La auditoría en la fuente incluye i) la evaluación de los principales criterios operativos y de gestión del servicio, ii) la lectura de las coordenadas geográficas (3b), y iii) una analítica de la calidad del agua, mediante un kit de análisis portátil (3c).

La encuesta en los hogares se lleva a cabo en paralelo con el mapeo de puntos de agua. Idealmente, la selección de un número definido de hogares debería ser aleatoria, en base a una lista exhaustiva de las familias existentes en la subunidad de estudio. Sin embargo, no es habitual poder disponer de un listado de estas características. Si el tamaño de la población es pequeño, una alternativa puede ser desarrollar una lista ad hoc mediante la realización de un censo rápido, aunque en los casos en que la enumeración de todos los hogares es poco viable, la literatura sugiere distintas técnicas para obtener muestras lo más representativas posible (Bennett et al., 1991). Por lo general, estas técnicas implican dos etapas: la identificación de uno o varios hogares como punto/s de partida, y un método para seleccionar “n” hogares de forma sucesiva (4a). En cada hogar, la evaluación del nivel de servicio se lleva a cabo a través de un cuestionario estructurado y técnicas de observación directa (4b).

Al finalizar el trabajo de campo, como etapa esencial dentro de la rutina diaria de tareas, se procede al procesamiento de la información recopilada. Por un lado, las coordenadas geográficas se descargan del equipo y se exportan al software correspondiente (ArcGIS o equivalente); y por el otro, los cuestionarios se introducen en la base de datos (5a). Estos datos deben ser validados periódicamente (5b), por ejemplo mediante el análisis rutinario de la base de datos o con controles aleatorios sobre un número reducido de cuestionarios.

### 6.2.1 Casos de estudio

La metodología descrita en el punto anterior se ha validado mediante la implementación de dos casos de estudio diferentes, en los municipios de Tiraque y Punata, ambos localizados en el Departamento de Cochabamba, Bolivia. Tiraque está ubicado en la parte alta y media de la cuenca Pucara y su población habita en zonas onduladas y planas ubicadas entre los 2,800 y 3,800 msnm. El municipio de Punata, en cambio, está ubicado en la parte baja de la cuenca y el mayor porcentaje de su territorio se constituye de una zona plana a una altura promedio de 2,700 msnm. La Tabla 6.5 resume algunas características importantes de ambos municipios. La Tabla 6.6 resume los detalles metodológicos más destacados en cada uno de los casos de estudio.

**Tabla 6.5 Características generales de los casos estudiados**

	<b>Tiraque</b>	<b>Punata</b>
<b><i>Población</i></b>	- 21,000 habitantes (INE, 2001)	- 26,140 habitantes (INE, 2001)
<b><i>Unidades administrativas</i></b>	- 10 distritos municipales - 141 comunidades	- 5 distritos municipales - 83 comunidades
<b><i>Densidad poblacional</i></b>	- 30,5 hab./Km <sup>2</sup> (estimado en base a datos de INE, 2001)	- 303,5 hab/Km <sup>2</sup> (estimado en base a datos de INE, 2001)

### 6.3 Discusión y Resultados

En base a la metodología descrita en la sección anterior, el objetivo de la presente discusión es mostrar la validez del método para producir información relevante que, adecuadamente analizada y presentada, puede ser empleada por parte de los gobiernos locales en la definición de políticas y estrategias sectoriales. Por lo tanto, se propone en primer lugar diferentes alternativas para procesar y

visualizar los datos recogidos; sin pretender en ningún caso describir en detalle el nivel de servicio proveído en Tiraque y Punata (para más detalles, ver capítulo 7). En segundo lugar, y con el objetivo de facilitar el uso de la metodología en otros contextos, se resumen los aspectos más críticos, se identifican las limitaciones metodológicas más relevantes, y se describen las lecciones aprendidas.

**Tabla 6.6 Detalles metodológicos de los casos de estudio**

<b>Tiraque</b>	<b>Punata</b>
<p><b>Mapeo de puntos de agua</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se mapean 239 puntos de agua (145 fuentes “mejoradas” y 94 “no mejoradas”)*</li> <li>- Se realizan 230 analíticas de agua</li> </ul> <p><b>Encuestas en los hogares</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La subunidad de análisis es el distrito**. Administrativamente, Tiraque cuenta con 10 distritos.</li> <li>- Se entrevistan un total de 1,530 familias</li> <li>- En cada distrito, la precisión estadística mínima es: <math>= 0.05</math>; <math>d = \pm 0.15</math>; <math>n (\text{min}) = 86</math></li> </ul> <p><b>Trabajo de campo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El trabajo se completa en 39 días (empieza el 24 de setiembre de 2009, y finaliza el 24 de noviembre del mismo año)</li> </ul>	<p><b>Mapeo de puntos de agua</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se mapean 69 puntos de agua (63 fuentes “mejoradas” y 6 “no mejoradas”)*</li> <li>- Se realizan 62 analíticas de agua</li> </ul> <p><b>Encuestas en los hogares</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La subunidad de análisis es el distrito**. Administrativamente, Punata cuenta con 5 distritos.</li> <li>- Se entrevistan un total de 929 familias</li> <li>- En cada distrito, la precisión estadística mínima es: <math>= 0.05</math>; <math>d = \pm 0.15</math>; <math>n (\text{min}) = 86</math></li> </ul> <p><b>Trabajo de campo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El trabajo se completa en 21 días (empieza el 25 de noviembre de 2009, y finaliza el 25 de enero del 2010)</li> </ul>

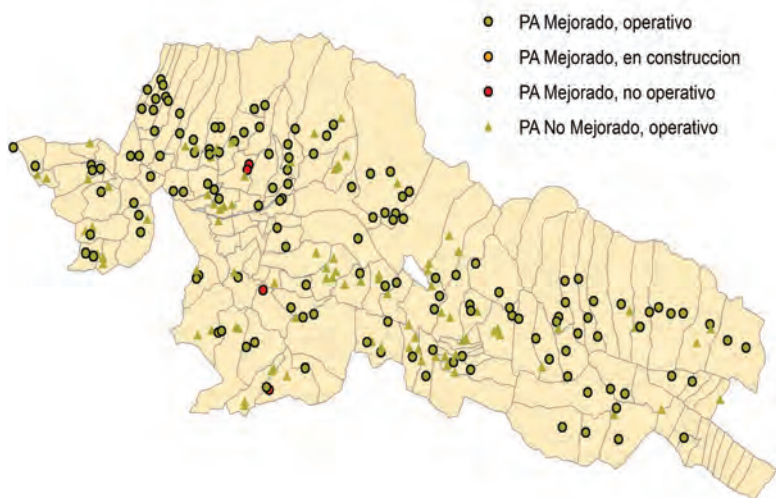
<p>- Se consolidan 2 equipos de trabajo de 3 miembros cada uno (un técnico GIS, un técnico de agua para las analíticas y un auditor), que trabajan en paralelo en comunidades distintas. Además, 1 dinamizador, al servicio de los dos equipos, se ocupa de la agenda diaria de trabajo y de los detalles logísticos. Todo el equipo trabaja bajo la supervisión de 2 técnicos (uno de la UPC y otro de la UMSS)</p>	<p>- Se consolidan 2 equipos de trabajo de 3 miembros cada uno (un técnico GIS, un técnico de agua para las analíticas y un auditor), que trabajan en paralelo en comunidades distintas. Además, 1 dinamizador, al servicio de los dos equipos, se ocupa de la agenda diaria de trabajo, y de los detalles logísticos. Todo el equipo trabaja bajo la supervisión de 2 técnicos (uno de la UPC y otro de la UMSS)</p>
<p>* Se mapearon solo puntos colectivos de agua, es decir fuentes de agua utilizadas por dos o más familias. En la zona existen familias (principalmente en el municipio de Tiraque) que cuentan con su propia fuente de agua para uso doméstico, las cuales no fueron consideradas.</p> <p>** Los distritos municipales no son importantes como proveedores de servicios –la provisión está en manos de comunidades y sistemas autónomos- pero si en la planificación de inversiones de agua y saneamiento que hacen los municipios.</p>	

### 6.3.1 Mapas, rankings y prioridades

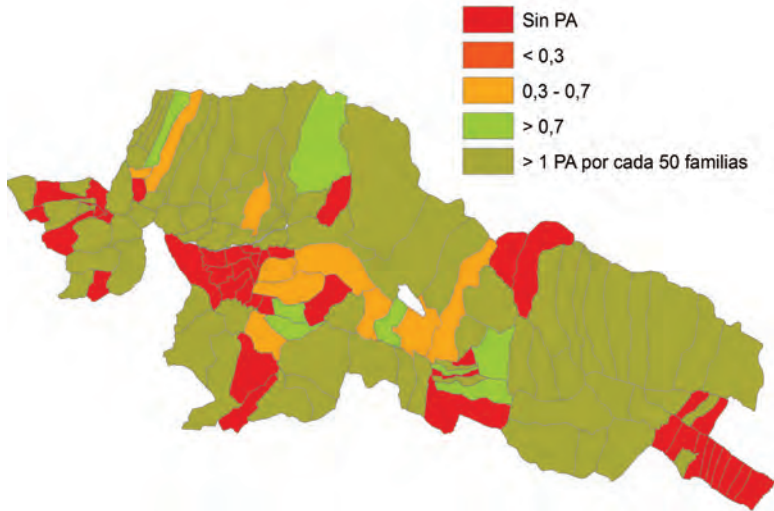
Uno de los instrumentos más eficaces para visualizar la información en una área geográfica determinada es el mapa temático, que ayuda a entender de manera rápida el contexto e identificar las zonas vulnerables (Henninger & Snel, 2002). El nivel de cobertura en agua, saneamiento e higiene puede seguir patrones muy heterogéneos en el territorio, variando significativamente entre distintas unidades administrativas; y los mapas permiten una visualización efectiva de dicha heterogeneidad (Davis, 2002). Además, facilitan la integración de datos de diferentes fuentes y de diferente naturaleza (Henninger & Snel, 2002), proporcionando una imagen coherente con la complejidad del contexto en el que se presta el servicio. Sin duda, los mapas pueden ser herramientas apropiadas para la planificación y el seguimiento de las políticas sectoriales.

El mapa de la Figura 6.1, por ejemplo, muestra la distribución espacial de las fuentes de agua mejoradas y no mejoradas en Tiraque, y pone de relieve los problemas asociados a la funcionalidad de las mismas. Se puede observar, en primer lugar, que el porcentaje de puntos de agua no mejorados es significativo (94 puntos de agua, 39,3% del total); y en segundo lugar, que prácticamente la totalidad de puntos de agua mejorados se encuentran operativos (96,5% del total). Si esta información se combina con datos demográficos, se puede preparar un mapa de densidades en base a la ratio estándar de número de usuarios por fuente de agua mejorada (Figura 6.2), que muestra el acceso al servicio en vez de la mera disponibilidad física de infraestructura. Puede observarse, en este caso, que el nivel de acceso es muy desigual en la municipalidad, con varias comunidades sin ningún punto de agua.

**Figura 6.1 Mapa de distribución de los puntos de agua y su funcionalidad. Tiraque**



**Figura 6.2 Densidad de puntos de agua mejorados, en base a la población. Tiraque**



Otro aspecto importante en los procesos de toma de decisión está relacionado con la existencia de mecanismos de transparencia en el momento de establecer necesidades y prioridades. Teóricamente, la atención pública debería centrarse en la población más vulnerable. Y con este fin, el uso de rankings puede ser de utilidad. Desde un punto de vista de equidad regional, el objetivo sería alcanzar un umbral mínimo de cobertura en cada subunidad administrativa. Pero en base a un criterio de eficiencia, uno podría priorizar aquellas subunidades con mayor número de beneficiarios potenciales, independientemente de la cobertura.

Como se ve en la Tabla 6.7, cada criterio produciría una clasificación diferente. Por ejemplo, el Distrito 8 mostraría la peor cobertura en relación al saneamiento (sólo un 1,18% de las familias), con un total de 226 familias sin acceso a ningún tipo de

infraestructura. En cambio, desde una óptica de eficiencia, el Distrito 5 sería el prioritario (470 familias sin acceso), aunque el nivel de cobertura fuera considerablemente mejor (31,8%).

**Tabla 6.7 Prioridades en el acceso al saneamiento en Tiraque**

Distrito	N°. de familias residentes	Saneamiento "mejorado"	Ranking	N°. de familias sin servicio	Ranking
Distrito 1 (3 comunidades)	185	48,00%	10	96	11
Distrito 1-A (Urbano)	600	89,72%	12	62	12
Distrito 1 -B (10 comunidades)	497	68,93%	11	154	9
Distrito 2 (13 comunidades)	682	40,80%	7	404	5
Distrito 3 (7 comunidades)	482	42,72%	8	27	7
Distrito 4 (15 comunidades)	650	32,02%	6	442	3
Distrito 5 (13 comunidades)	690	31,82%	5	470	1
Distrito 6 (14 comunidades)	347	11,65%	3	307	6
Distrito 7 (7 comunidades)	166	17,57%	4	137	10
Distrito 8 (10 comunidades)	229	1,18%	1	226	8
Distrito 9 (15 comunidades)	786	43,52%	9	444	2
Distrito 10 (10 comunidades)	452	10,06%	2	407	4

Para planificar la provisión de servicios, el criterio de equidad territorial parece más adecuado, debido a que la vulnerabilidad aumenta a medida que los índices de cobertura empeoran (Jiménez & Pérez-Foguet, 2010). De este modo, se podría destacar con colores las diferentes prioridades. En verde oscuro se destacan los distritos cuyo índice de cobertura es superior al 75%; en verde claro, el nivel de cobertura se sitúa entre el 50% y el 75%; en naranja, entre el 25% y el 50%; y en rojo, los distritos con porcentajes inferiores al 25%.

Cada lista de prioridades se podría relacionar en última instancia con determinadas acciones correctivas (p. ej., promoción del saneamiento), de modo que cada uno de los indicadores (Tabla 6.4) aparecería vinculado a una intervención concreta y a unas prioridades determinadas.

### **6.3.2 Lecciones aprendidas de la utilización de la metodología**

Los propósitos que se persiguieron en los casos de Tiraque y Punata con la aplicación del WPM, combinado con encuestas de hogares, estaban referidos a dos grandes temas: i) el interés académico de generar información, probar la metodología en diferentes contextos y analizar los resultados obtenidos, y ii) el interés práctico de contribuir a una mejora en la provisión de agua y saneamiento a nivel municipal a través de la utilización de la información generada en procesos de planificación de acciones en relación a este tema.

Sin embargo, las acciones tomadas y los resultados obtenidos en este caso muestran una predominancia del interés académico -obtener información sobre agua y saneamiento y su posterior análisis- sobre el interés práctico de contribuir a mejoras en la zona en relación con el agua y el saneamiento. Entre otros factores, esto se debe a limitaciones en el tiempo de trabajo de los investigadores en la implementación del mapeo y a la poca apertura de las municipalidades para promover la planificación e implementación de las herramientas desarrolladas, en sus procesos de toma de decisiones.

A continuación se analizan las acciones realizadas en relación a estos dos grandes propósitos planteados inicialmente.

#### **La aplicación de la metodología y el análisis de resultados**

La decisión de aplicar la metodología del WPM surgió inicialmente a raíz de la constatación de la falta de información en la zona de estudio (municipios de Tiraque y Punata), para planificar adecuadamente las acciones e inversiones en agua y saneamiento. Desde un punto de vista académico, sin duda los resultados obtenidos han permitido reflexionar sobre i) las fortalezas y debilidades de la propia metodología, ii) las dificultades encontradas durante su implementación en campo, y sobre iii) los indicadores necesarios para el análisis de la información recogida.

A continuación se discuten los puntos mencionados en función de algunas características importantes de la zona de estudio.

### *Modos de vida de la población*

Los modos de vida predominantes en la zona están relacionados principalmente con actividades agrícolas y pecuarias. Esto hace que las personas adultas en las familias estén ausentes de sus viviendas durante la mayor parte del día debido a trabajos en parcelas agrícolas alejadas, pastoreo de animales o comercio de productos agrícolas y pecuarios. Por otra parte, también existen porcentajes de migración importantes. Esto trae consecuencias para la realización de encuestas familiares, tanto para el muestreo como para la ejecución de la encuesta.

En esta zona el muestreo aleatorio de hogares debería estar basado en un listado previo de los miembros que pertenecen a la comunidad y viven efectivamente en ésta. Por otra parte, debería considerarse realizar las entrevistas en un horario en que la gente esté en sus hogares. La ejecución de las encuestas durante horarios regulares provocó que los encuestadores tuvieran dificultades para encontrar personas en sus hogares (el llenado de algunas partes de la encuesta requería la observación de las condiciones de la vivienda), y muchas encuestas se hicieron con gente que encontraban en cualquier lugar del territorio comunal para cumplir con el tamaño de muestra. En estos casos, el mejor horario parece ser al atardecer y en la noche, cuando las personas ya han regresado a sus hogares después de la jornada de trabajo. Sin embargo esto puede tener consecuencias logísticas importantes relacionadas con la desconfianza que puede provocar en las personas, y las dificultades de acceso a algunas zonas alejadas en horario nocturno.

### *Características de la gestión del agua y el saneamiento*

La metodología del WPM fue planteada inicialmente para evaluar el nivel de servicio típico en los países subsaharianos (WaterAid & ODI, 2005; WaterAid, 2010), donde la provisión del agua para

consumo doméstico se realiza a partir de fuentes comunitarias. En Punata y Tiraque, una gran mayoría de los sistemas proveen agua a un grupo definido de usuarios, que se consideran dueños del sistema, mediante conexiones domiciliarias. Esta tipología de nivel de servicio requirió la selección aleatoria de una muestra reducida de conexiones privadas en cada sistema, ya que la auditoría de todos los puntos de agua quedaba fuera del alcance del ejercicio. Otra gran diferencia fue la evaluación del derecho de uso del agua de cada fuente, así como su forma de gestión, temas que se introdujeron en los cuestionarios de manera explícita.

#### *Indicadores para el análisis de resultados y características locales*

Durante el análisis de resultados surgieron discusiones que demandan considerar un enfoque de análisis más adecuado al contexto de la zona.

Con referencia al saneamiento, el enfoque del JMP para clasificar la infraestructura en mejorada/no mejorada desde una óptica de salud pública, olvida los aspectos medioambientales, igualmente importantes. Por ejemplo, la existencia de letrinas sin protección (considerada como infraestructura mejorada) puede tener consecuencias graves en relación con la contaminación de acuíferos subterráneos, de especial relevancia en el caso de Punata, dónde la gran mayoría de sistemas de provisión de agua para consumo doméstico depende de fuentes subterráneas. En este contexto sería más adecuado considerar como infraestructura de saneamiento mejorada solo letrinas y pozos sépticos que cuenten con protección.

Otro indicador cuestionable de los sugeridos por el JMP es el referido a los sistemas de agua como infraestructura mejorada, independientemente de la calidad. La presencia de un sistema mejorado no necesariamente significa que los usuarios del mismo cuenten con agua potable. En la mayoría de los casos los sistemas mejorados solo sirven para llevar agua desde la fuente hasta las casas, sin realizar ningún tratamiento de esta. A pesar de que en

muchos sistemas se introdujeron equipos de cloración en los tanques de agua, el WPM destaca que en la mayoría de los casos éstos no se encuentran operativos.

### **Contribución a una gestión más adecuada del agua y saneamiento en los niveles municipal y de sistemas de agua**

Un primer resultado de la aplicación de la metodología, como se ha comentado en la sección anterior, es la obtención de “mapas” que permiten visualizar el nivel de servicio de agua potable y saneamiento. Más allá del mero interés de contar con información fiable para una evaluación precisa de los servicios de agua y saneamiento en los municipios, coincidimos con WaterAid (2010) en que “un mapa es solamente una pequeña pieza de mosaico dentro del compromiso más amplio y de largo plazo de influenciar la política” de agua y saneamiento en estos municipios.

En Tiraque y Punata se pretendía también que la información generada fuera información básica a ser considerada en la planificación general de desarrollo de los municipios en el marco de comités interinstitucionales, mancomunidades y otros espacios de promoción del desarrollo de los mismos. La obtención de información era, por lo tanto, una de las etapas iniciales pensadas para influir en una mejora de la gestión del agua y el saneamiento; las otras tenían que ver con promover que esta información se use en procesos de planificación de mejoras en relación con el agua y saneamiento. Inicialmente se planteaba inclusive que los mismos municipios pudieran actualizar las bases de datos cada cierto tiempo, para medir el avance de acciones realizadas tanto por ellos como por otras instituciones y los mismos usuarios de agua. Esto requería un mayor involucramiento de los municipios en todo el proceso de definición (planificación) y ejecución del mapeo y las encuestas, que no llegó a concretizarse.

Para promover la utilización de la información se entregaron las bases de datos producidas en cada municipio y se realizaron talleres

de presentación general y de discusión de los resultados obtenidos y la metodología aplicada. Sin embargo, consideramos que la utilización de la información por parte de los municipios ha sido casi nula, lo cual hace pensar que posiblemente era necesario que el programa tome acciones más directas de involucramiento o inclusive asuma el liderazgo en el proceso de planificación municipal del agua y saneamiento en los municipios de Punata y Tiraque, para garantizar la utilización de la información generada.

A nivel de comunidades y sistemas colectivos de agua se generaron fichas informativas por cada sistema de aprovechamiento de agua potable, las cuales fueron entregadas a los sistemas correspondientes en ambos municipios. A través de éstas se pretendía que las comunidades conozcan la calidad de agua de sus fuentes de aprovisionamiento y algunos problemas que podrían estar teniendo sus sistemas. Esta información era demandada por los sistemas de agua y fue muy bien recibida por sus representantes, sin embargo hasta la fecha no se conoce como está siendo utilizada en la práctica.

#### **6.4 Conclusiones**

La metodología de recolección de información sobre agua y saneamiento presentada en este capítulo permite generar mucha información que puede ser muy útil para el sector. Sin embargo, también plantea la necesidad de realizar adicionalmente un trabajo complementario, imprescindible para que esta información se utilice efectivamente como apoyo a procesos de planificación del desarrollo del agua y el saneamiento.

De esa manera, para la aplicación del WPM debe considerarse que el trabajo no concluye con el levantamiento y análisis de la información, sino que deben incluirse también actividades que permitan su utilización efectiva en forma posterior. Esto, aparte de las acciones de capacitación e incidencia a realizarse luego de obtenida la información, demanda la necesidad de ejecutar una fase

previa de planificación muy detallada que conduzca hacia el conocimiento de todas las características de la institución que utilizará después la información, considerando las características de planificación locales, las capacidades humanas y los medios existentes, y que promueva el involucramiento de dicha institución desde el inicio del proceso. Esto puede también contribuir en la construcción de indicadores de agua saneamiento e higiene más adecuados al contexto local.

Por lo anterior consideramos que esta metodología debe aplicarse no sólo en coordinación sino de forma conjunta con los municipios y en sitios donde se tenga una presencia previa importante y se pueda también garantizar una presencia posterior prolongada.

## 6.5 Referencias bibliográficas

Bartram, J., Corrales, L., Davison, A., Deere, D., Drury, D., Gordon, B., Howard, G., Rinehold, A., & Stevens, M. (2009). *Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers*. Geneva: World Health Organization.

Bennett, S., Woods, T., Liyanage, W. M., & Smith, D. L. (1991). A simplified general method for cluster-sample surveys of health in developing countries. *World Health Stat Q*, 44(3), 98-106.

Bolivia, Instituto Nacional de Estadística (INE) (2001). *Censo Nacional de Población y Vivienda*. La Paz: INE. Disponible desde: <http://www.ine.gob.bo/comunitaria/comunitaria.aspx> [Visitado en marzo 2013]

Davis, B. (2002). *Is it possible to avoid a lemon? Reflections on choosing a poverty mapping method*. Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations.

Giné Garriga, R., Jiménez Fernández de Palencia, A., & Pérez Foguet, A. (2013). Water - Sanitation - Hygiene Mapping: an integrated approach for data collection. *Science of the Total Environment*, 463 - 464, 700 - 711.

Giné Garriga, R., & Pérez Foguet, A. (2013). Water, sanitation, hygiene and rural poverty: issues of sector planning and the role of aggregated indicators. *Water Policy*, 15, 1018 - 1045.

Henninger, N., & Snel, M. (2002). Where are the poor? Experiences with the development and use of poverty maps. Washington, D.C.: World Resources Institute.

Howard, G., Ince, M., Schmoll, O., & Smith, M. (2012). Rapid assessment of drinking-water quality: a handbook for implementation. Geneva: World Health Organization and United Nations Children Fund.

Jiménez, A., & Pérez-Foguet, A. (2008). Improving water access indicators in developing countries: a proposal using water point mapping methodology. *Water Science & Technology: Water Supply*, 8(3), 279-287.

Jiménez, A., & Pérez-Foguet, A. (2010). Building the role of local government authorities towards the achievement of the human right to water in rural Tanzania. *Natural Resources Forum*, 34(2), 93-105.

Jiménez, A., & Pérez-Foguet, A. (2012). Quality and year-round availability of water delivered by improved water points in rural Tanzania: effects on coverage. *Water Policy*, 14, 509-523.

JMP (2006). Core questions on drinking-water and sanitation for household surveys. Geneva / New York: WHO / UNICEF.

JMP (2008). Progress on Drinking Water and Sanitation: Special Focus on Sanitation. *Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation*. Geneva / New York: WHO / UNICEF.

JMP (2010). Progress on Sanitation and Drinking-water: 2010 Update. *Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation*. Geneva / New York: WHO / UNICEF.

JMP (2012). Progress on Drinking Water and Sanitation: 2012 Update. *Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation*. Geneva / New York: WHO / UNICEF.

United Nations Children's Fund (2006). Multiple Indicator Cluster Survey Manual 2005. New York: UNICEF, Division of Policy and Planning.

WaterAid (2010). Water point mapping in East Africa. Based on a strategic review of Ethiopia, Tanzania, Kenya and Uganda. London: WaterAid.

WaterAid, & ODI (2005). Learning for Advocacy and Good Practice – WaterAid Water Point Mapping. London: Overseas Development Institute.



# Capítulo

## 7

### **EL DERECHO HUMANO EL AGUA: PLANTEAMIENTOS TEÓRICOS Y METODOLÓGICOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN BOLIVIA**

*Oscar Flores y  
Rocío Bustamante*

#### **7.1 Introducción**

Bolivia fue uno de los países que le dio un impulso decisivo al proceso de aprobación de la Declaración del Agua como un Derecho Humano en la Conferencia de Naciones Unidas en Julio del 2010. Un año antes, en enero del 2009, el mismo principio había sido incluido en la nueva Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia. Sin embargo, a pesar de ser uno de los primeros países en asumir esta iniciativa, todavía existe mucho retraso en cuanto a la implementación de este derecho y el proceso de consecución ha resultado bastante lento. Se pueden mencionar varias razones para lo anterior, como el poco avance que existe en la definición de los contenidos específicos de este derecho y de las medidas concretas para lograr su implementación efectiva, lo cual ha hecho que finalmente se quede en un nivel muy discursivo y general.

Entre los aspectos que deben ser tratados en mayor profundidad, se encuentra la definición misma del derecho humano al agua, que

en Bolivia frecuentemente se confunde con el concepto de derechos de agua, generando ciertas ambigüedades que dificultan el cumplimiento del mismo. Para precisar más aún esta diferenciación así como para desagregar las dimensiones y variables que podrían ayudar a darle un seguimiento más sistemático a la realización efectiva de este derecho también se plantea una metodología de análisis a través del uso de indicadores desarrollados para este fin. A continuación a través de un caso de estudio centrado en el contexto boliviano, se muestran algunos resultados de la aplicación de esta metodología, para posteriormente pasar a delinear algunas conclusiones y lecciones aprendidas en el proceso.

Desde hace varios años que se viene realizando a nivel internacional un constante trabajo, no solo para precisar lo que implica el derecho humano al agua y al saneamiento, sino también el diseño de herramientas metodológicas que permitan darle un adecuado seguimiento al proceso de su implementación. Por diversos motivos Bolivia parece haber estado ausente de estas discusiones y todavía no ha dado muchos pasos más allá de declaraciones principistas y abstractas, o de continuar avanzado en las políticas de gobierno que continúan haciendo lo mismo que antes pero bajo el nuevo discurso del derecho humano al agua. Por esto es importante tener precisiones conceptuales y metodológicas, y en ese sentido, considerar críticamente algunos de los avances logrados en contextos internacionales que pueden resultar útiles para encontrar caminos que permitan llegar de forma más segura hacia la implementación efectiva del derecho.

## **7.2 Antecedentes**

El derecho humano al agua, según el concepto manejado por las Naciones Unidas, es el derecho de todos a disponer de agua suficiente, salubre, aceptable y asequible para el uso personal y doméstico (United Nations, 2002), es decir, se trata de un derecho a la provisión del servicio de agua que debe ser garantizado por el Estado (o cualquier autoridad pública competente) (Irujo, 2007).

Este es un concepto diferente del de derechos de agua, que hace referencia a los *“acuerdos socio técnicos entre humanos sobre como el agua y otros recursos deben ser usados y distribuidos y sobre cómo se decide su dominio (...) los derechos de agua en los sistemas andinos son creados comunalmente y adquieren contenido – individual y colectivamente- de diversas formas”* (Boelens R. et al., 2010). Es decir que en principio los derechos de agua serían esencialmente diferentes de lo que se considera el derecho humano al agua y saneamiento, porque este último no implica derechos sobre la fuente de agua en sí, ni sobre la infraestructura del sistema, y tampoco comprende los derechos de decisión sobre la gestión y la modificación del sistema, la inclusión y exclusión de usuarios, etc. (Schlager and Ostrom E., 1992)

Sin embargo es importante destacar la diferencia entre estos dos conceptos, especialmente en lo que respecta a la exigibilidad que implica el concepto de derecho humano al agua, vinculada a la obligatoriedad que tiene el Estado para su implementación efectiva, lo cual no se aplica al tema de los derechos de agua. En este sentido, las declaraciones de la Asamblea General de Naciones Unidas (United Nations, 2010a) y del Consejo de Derechos Humanos (United Nations, 2010b) -donde se reconoce el derecho humano al agua y saneamiento- suponen un avance importante en cuanto a exigibilidad política; cuando un Estado pasa a ser parte de un tratado internacional, asume las obligaciones y los deberes, en virtud del derecho internacional, de respetar, proteger y realizar los derechos humanos. Cada Estado se encontrará en distintas situaciones en lo que respecta a disponibilidad de recursos para poder asegurarla, lo cual supone un elemento crítico a la hora de evaluar la exigibilidad política a los Estados. Sin embargo, justifica la necesidad de desarrollar mecanismos que promuevan una adecuada asignación de recursos, ofreciendo un marco conceptual y una oportunidad para avanzar en el monitoreo del sector, tarea a la que el Consejo de Derechos Humanos hace llamamiento meses más tarde (United Nations, 2011). Además, cualquier actor no estatal que desempeñe

un papel en la provisión de los servicios adquiere el papel de titular de obligaciones y como tal tiene responsabilidades en un enfoque basado en los DDHH (Langford, 2005, United Nations, 2010c) y en consecuencia sus actuaciones deben ser monitoreadas y debe rendir cuentas de las mismas.

Por tanto, a nivel internacional y nacional existe un considerable consenso acerca de la relevancia del reconocimiento del derecho humano al agua. Es importante, en especial en su implementación práctica, no confundir este concepto con el de derechos de agua. Por otro lado, a pesar de ser un tema controvertido y poco precisado, los diferentes actores implicados asumen unas responsabilidades que son en cierto modo exigibles. Por todo ello, y para lograr una implementación efectiva contar con buenos sistemas de seguimiento resulta imprescindible.

Dar seguimiento al Derecho Humano al Agua y Saneamiento en todo su conjunto exige medir indicadores en dos niveles según el tipo de obligación: por un lado lo que algunos autores (Green, 2001) consideran indicadores vinculados a la obligación de conducta (que engloba a los denominados indicadores estructurales y de proceso) y por el otro los relacionados con la obligación de resultados. Tanto los indicadores estructurales como los de proceso se focalizan en los titulares de obligaciones que como se ha comentado anteriormente, a menudo son los Estados Parte del Pacto Internacional, pero que también pueden ser de otra naturaleza tal y como se resume en la figura 7.1. Los primeros, prácticamente se encargan de dar seguimiento a la existencia de leyes, políticas e instituciones, mientras que los de proceso se focalizan en los aspectos más operativos en el entorno de las políticas. En cambio los indicadores de resultado centran su atención en los titulares de derechos, es decir, en medir de alguna forma hasta qué punto los individuos y grupos tienen garantizado, o no, el acceso a los servicios. De forma general los indicadores estructurales son de naturaleza cualitativa mientras que los de procesos y de resultados suelen ser más cuantitativos.

La Observación General 15 desarrolla el contenido normativo del Derecho Humano al Agua, el cual se ha ido precisando desde entonces. Actualmente, la experta independiente propone hablar por un lado de los cinco criterios normativos (disponibilidad, calidad, accesibilidad física, asequibilidad y aceptabilidad) y por el otro de tres transversales (no discriminación e igualdad, participación y acceso a la información y rendición de cuentas o responsabilidad) (United Nations, 2010c)

**Figura 7.1. Categorías de indicadores para el seguimiento del Derecho Humano al Agua y al Saneamiento**

Si dimensiones		Si obligación		Si tipo de indicador	Si A quien mide?
Normativas	Disponibilidad	Proteger (enfoque en violaciones)	De conducta	Estructurales	Gobierno central (Estados Parte)
	Accesibilidad física				Gobierno local
	Accesibilidad económica			Respetar (enfoque en violaciones)	De proceso
	Aceptabilidad	De resultados			Agencia de Cooperación
	Calidad				Proveedor de servicio (comunitario)
Transversales	No discriminación/igualdad	Cumplir (enfoque en realización progresiva)	De resultados	Resultados	Proveedor de servicio (privado)
	Participación y Acceso a la información				
	Rendición de cuentas				

*Fuente: elaboración propia en base al trabajo de (Felner, 2009, Green, 2001, Riedel, 2006, Roaf et al., 2005)*

### 7.2.1 El contexto Boliviano

El inicio de la gestión de gobierno de Evo Morales en el 2006, va a implicar un cambio significativo en la institucionalidad existente para la gestión del agua y los servicios básicos ya que estos adquieren una nueva relevancia en la agenda pública, la misma que comienza a manifestarse con la creación del Ministerio del Agua<sup>1</sup> y luego con la promoción de varios principios que posteriormente serán plasmados en la nueva Constitución Política del Estado (CPE) aprobada en el 2009 (Estado Plurinacional de Bolivia, 2009a). La

<sup>1</sup> A partir del 2009 Ministerio de Medio Ambiente y Agua.

institucionalidad emergente de este proceso se caracteriza además por incluir una importante participación de las organizaciones y movimientos sociales por el agua en algunas de las instancias relacionadas con las decisiones sobre derechos, proyectos de inversión, política de regulación, etc.

El marco conceptual – filosófico de la nueva agenda del agua en Bolivia está plasmado en los principios que se han establecido en la nueva Constitución Política del Estado, y que básicamente son los siguientes: i) el agua constituye un derecho humano, ii) el agua es un derecho fundamentalísimo para la vida, iii) la protección y no contaminación del agua iv) el respeto y fortalecimiento de los usos y costumbres, autoridades y formas de gestión tradicionales, v) la eliminación de las concesiones y la prohibición de la privatización, vi) la regulación con participación social vii) la protección de las fuentes de agua de los tratados de libre comercio (Artículos 20 y 372 al 377 de la CPE). Estos principios constituyen la base de las acciones, políticas, normas, etc. a desarrollarse en el sector. Al mismo tiempo es el marco en el que se plantean los desafíos de la agenda pública en relación a la gestión y uso del agua y los servicios básicos.

Con respecto a la controversia entre derecho humano al agua y derechos de agua, en Bolivia, los conceptos se utilizan a menudo indistintamente incluso en normativas o documentos de política pública. Por otra parte, en el marco normativo existen figuras como el Registro<sup>2</sup> (y en la nueva propuesta legal también la Licencia) que consolida ambos derechos en uno solo ya que reconoce el derecho a usar la fuente de agua y a la prestación del servicio a un solo sujeto

---

<sup>2</sup> En el sector de agua potable el **Registro** es el Acto administrativo por el cual el estado reconoce “los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario pertenecientes a los pueblos indígenas y originarios, a las comunidades campesinas, a las asociaciones, organizaciones y sindicatos campesinos que funcionan según usos y costumbres. El registro (...), garantiza la seguridad jurídica de sus titulares y tendrá vigencia durante la vida útil del servicio. El registro se realizará de manera colectiva, gratuita y expedita no admitiéndose a personas naturales en forma individual” (Artículo 49 de la Ley No. 2066 de Prestación de servicios de agua potable y alcantarillado sanitario).

colectivo. De esta forma los miembros de la organización a la que se le ha reconocido este derecho no son solamente usuarios, sino que se consideran derecho-habientes. Lo mismo ocurre con los sistemas titulares de Licencia<sup>3</sup> y en general con todos los sistemas de gestión autónoma, donde la inversión inicial para su construcción<sup>4</sup> ha sido hecha por los mismos usuarios. A raíz de lo anterior se han generado conflictos, principalmente con los gobiernos municipales, que en el ejercicio de su mandato para proveer el servicio han intentado intervenir en la gestión de estos sistemas en las áreas periurbanas y rurales. La denominada ‘guerra del agua’ en Abril del 2000 es un ejemplo de este tipo de conflictos.

Aunque en la Constitución Política del Estado no se hace una priorización de los usos del agua, se asume que el consumo humano esta antes que los demás usos. La recientemente aprobada Ley de la Madre Tierra (Estado Plurinacional de Bolivia, 2012) dispone asimismo que este sea el caso en su Art. 2, Inc 4) donde se indica que la regulación protección, planificación del uso y acceso se debe hacer con participación social y “*estableciendo prioridades para el uso del agua potable para el consumo humano*”. Lo que sí está claro en la norma constitucional es que el agua es un derecho fundamentalísimo para la vida (entendida en sentido amplio), por lo que “*el Estado protegerá y garantizará el uso prioritario del agua para la vida*” (Art. 374) (Estado Plurinacional de Bolivia, 2009a). En los últimos años desde la aprobación de estas normas

---

<sup>3</sup> La **Licencia** es el acto administrativo por el cual el Estado certifica que una EPSA o un gobierno municipal que presta Servicios de Agua Potable o Servicios de Alcantarillado Sanitario en forma directa, cumple con los requisitos que rigen para las Tarifas, Tasas o Cuotas y es elegible para acceder a proyectos y programas gubernamentales del sector (Art. 8, Ley No. 2066 de Prestación de servicios de agua potable y alcantarillado sanitario).

<sup>4</sup> Lo que se conoce como ‘propiedad hidráulica’ es decir la adquisición de un derecho para el uso y la exclusión de terceros que se genera de la inversión en el desarrollo hídrico (ver por ejemplo Coward, E. Walter 1986 State and locality in Asian irrigation development: the property factor, en K.C. Nobe y R.K. Sampath (eds.) Irrigation management in developing countries: current issues and approaches, Studies in Water Policy and Management No. 8, pp 491 – 508)

constitucionales se viene trabajando también en una Ley General de Agua<sup>5</sup> que especifique las implicaciones y alcances de este derecho, sin embargo la propuesta existente todavía se encuentra en discusión. A raíz de esta carencia normativa la exigibilidad del derecho solo es posible ante el Tribunal Constitucional donde ya se han presentado algunas demandas de amparo.

No obstante los avances, una problemática que ha permanecido invariable es la que tiene que ver con las necesidades de inversión (especialmente pública) en el sector y los procesos de intervención asociados a esta, en particular considerando los dos usos más importantes socialmente que son el riego y el consumo humano. Según datos de Szalachman y Collinao (2010) para el periodo 2003 – 2008 Bolivia tenía uno de los porcentajes más bajos (incluso con tendencia a la reducción) de gasto en el abastecimiento de agua en relación al PIB ya que este alcanzaba a menos del 1%. A pesar de que esto ha cambiado en los últimos años y existe un mayor porcentaje de inversión pública en el sector, todavía sigue siendo muy baja y depende en buena parte de los fondos de la cooperación financiera internacional (fondos de donación y crédito) como se evidencia en el Plan Nacional de Saneamiento Básico (Estado Plurinacional de Bolivia, 2009b)

De acuerdo al presidente Morales (La Razón, 2012)<sup>6</sup> el gobierno boliviano ha superado en un 10% la meta del milenio (Meta 7.1 sobre Medio Ambiente) establecida para la cobertura de agua potable, ya que para fines del 2012 se llegaría a un 87,52% de cobertura en el país y se espera llegar al 100%<sup>7</sup> en la gestión 2013

---

<sup>5</sup> El proyecto de Ley Marco denominado 'Agua para la Vida' es de Julio del 2012. En su Artículo 6 establece que el Derecho Humano al Agua "*es el derecho de todas las personas a disponer de agua limpia, potable, suficiente, salubre, segura, aceptable, accesible y asequible para el uso personal y doméstico, en cantidad, calidad, continuidad y cobertura*".

<sup>6</sup> En [http://www.la-razon.com/nacional/Evo-anticipa-record-historico-cobertura\\_0\\_1691230899.html](http://www.la-razon.com/nacional/Evo-anticipa-record-historico-cobertura_0_1691230899.html) (revisado el 2 de Febrero del 2013)

<sup>7</sup> Ver [http://www.radiofides.com/noticia/Sociedad/Presidente\\_dice\\_que\\_el\\_100\\_de\\_la\\_poblacion\\_ya\\_tiene\\_agua\\_potable](http://www.radiofides.com/noticia/Sociedad/Presidente_dice_que_el_100_de_la_poblacion_ya_tiene_agua_potable) (revisado el 4 de Febrero del 2013)

incidiendo especialmente en las áreas rurales. Estos datos coinciden con la información del programa de monitoreo conjunto de UNICEF y OMS. Según su último informe (Joint Monitoring Programme, 2012) existe un 12% de la población que no cuenta con un acceso mejorado al agua potable. Lo anterior implicaría un logro adelantado de los objetivos propuestos en el Plan Nacional de Agua y Saneamiento 2008 – 2015 que preveía la ampliación de la cobertura de agua potable al 90% de la población (95% urbana y 80% rural) hasta el 2015 (Estado Plurinacional de Bolivia, 2009b)

Según las líneas estratégicas de acción del PNSB 2008 – 2015, se priorizara la atención de las zonas periurbanas y las áreas rurales dispersas, así como la atención de las comunidades originarias e indígenas mediante el establecimiento de programas de apoyo específicos. Para la priorización de inversiones en el sector se plantea utilizar el IARIS o Identificador de Áreas de Inversión en Saneamiento Básico que es definido como un “*instrumento de política social para promover la equidad y transparencia en las decisiones que se adopten financieramente para acceder a recursos de inversión en saneamiento básico*” (Estado Plurinacional de Bolivia, 2009b). Los criterios que se consideran para este cálculo son: el grado de pobreza referida a áreas urbanas y rurales municipales y la cobertura de acceso a agua potable y saneamiento básico de la población de referencia.

Sin embargo, durante los últimos años uno de los principales obstáculos para el logro de los objetivos en relación al agua potable y saneamiento han sido los conflictos ocasionados por la ubicación territorial de las fuentes de agua que se encuentran en las comunidades de altura mientras que las áreas de demanda están situadas en zonas más bajas, por lo que muchos proyectos se han visto envueltos en disputas por derechos y compensaciones por el acceso a estas fuentes.

Más allá de lo planteado en la política pública en relación a la cobertura del servicio, es decir el acceso, existen también

lineamientos y normativas que tienen que ver con la asequibilidad especialmente de ciertos grupos de la sociedad para los que se han dispuesto algún tipo de subsidios, como por ejemplo la creación de la Categoría tarifaria Social – Solidaria para ancianos, huérfanos y discapacitados a cargo de instituciones públicas o privadas de asistencia social sin fines de lucro<sup>8</sup>. Aunque por otro lado, todavía persiste la tendencia a sancionar la mora en el pago del servicio con el corte, como se evidencia en las disposiciones sectoriales existentes (Ley No. 2066, Reglamento 510).

El tema que queda pendiente es el de la calidad (estándares aceptados, regulación y vigilancia, normativa sobre contaminación, etc.) ya que si bien existen disposiciones legales y políticas al respecto, no se tiene un marco institucional que se encargue de su cumplimiento. De esta forma aunque discursivamente se considera que el agua es un elemento ‘fundamentalísimo’ para la vida, el desarrollo, el medio ambiente, etc. que debe ser gestionada y usada de forma sustentable, todavía no se han tomado los pasos suficientes en esa dirección.

### **7.3 Cuestiones metodológicas**

El análisis realizado se centra en el monitoreo de indicadores de resultados en relación al acceso al agua en un contexto rural. Este tipo de indicadores normalmente se obtienen a partir de encuestas a los titulares de derechos como se ha hecho en otros trabajos desde este enfoque (Flores et al., 2012). Sin embargo, este acercamiento metodológico cuenta con ciertas limitaciones. En el citado estudio se mencionaba como principal deficiencia de la metodología desarrollada, la dificultad para ofrecer datos de calidad de agua. Además algunos expertos mencionan la necesidad de investigar los aportes al seguimiento de los diferentes elementos del derecho humano al agua que puedan ofrecer otras metodologías complementarias (United Nations, 2012). Asimismo, se ha

---

<sup>8</sup> Resolución Administrativa Regulatoria AAPS No. 180 / 2011 de 11 de Abril del 2011.

destacado a menudo la importancia de poder monitorear estas cuestiones en base a datos existentes en el territorio. En este sentido, se consideró pertinente utilizar la información recogida a partir de la aplicación de la metodología del mapeo de los puntos de agua (WPM) combinada con encuestas sobre saneamiento e higiene, implementada en el municipio de Tiraque y desarrollada en el capítulo VI de este libro para investigar el potencial de la misma en relación a ofrecer información sobre las características del acceso desde la perspectiva del derecho humano al agua.

Partiendo de los datos recogidos se desarrolló una metodología para la construcción de indicadores sencillos. Los indicadores se agregan para generar subíndices que permitan responder las dimensiones normativas que ofrece el marco conceptual del derecho humano al agua. Uno de los objetivos de la metodología era analizar la posibilidad de incluir dimensiones ofrecidas por el marco conceptual del DHA y que de alguna forma enriqueciesen la medición del acceso al agua para mejorar las capacidades de gestión municipales. En la metodología planteada a partir de los datos del WPM se han podido medir tres dimensiones normativas (disponibilidad, accesibilidad física, calidad) de las cinco propuestas por el marco conceptual del derecho humano al agua. La asequibilidad o accesibilidad económica y la aceptabilidad no se han considerado porque la información colectada no genera datos que pudiesen servir para la construcción de indicadores en relación a las mencionadas dimensiones. Se han utilizado indicadores binarios que de alguna forma permitan identificar 2 tipos de situaciones para cada dimensión según la función de valorización utilizada.

Finalmente las dimensiones se promedian para generar un índice que de alguna forma mida el acceso a partir de un único valor. Existen diferentes formas de agregar la información para la construcción de índices. En este caso se ha optado por un promedio geométrico, ya que de esta forma se evitan posibles compensaciones entre las distintas dimensiones. Esta no compensación o penalización por bajas puntuaciones es algo deseable desde un

enfoque de derechos ya que, como se ha comentado más arriba, el acceso debe asegurar de forma simultánea las distintas dimensiones del derecho.

Como se describió en el capítulo VI, además de la información generada en los puntos de agua, se recogió información en un número de casas proporcional a la población que se beneficia de los mencionados puntos. Por tanto, estas proporciones han sido utilizadas para agregar la información a nivel territorial.

#### **7.4 Resultados y discusión**

En primer lugar se muestra la figura 7.2, donde se pueden observar los resultados obtenidos al promediar la información de todo el territorio mapeado. Las dimensiones de disponibilidad, calidad y accesibilidad física, de alguna forma representan la proporción de personas que disponen de agua i) suficiente, ii) salubre y iii) accesible para el uso personal y doméstico, respectivamente. La cuarta columna muestra el valor promediado de la información de estas tres dimensiones en base a una media geométrica. Se trata del índice que se puede utilizar para visualizar el porcentaje de personas que disponen de agua que cumple de forma simultánea con los tres criterios comentados, lo cual de alguna forma es condición necesaria (pero no suficiente) para considerar que los titulares del derecho humano al agua, es decir, todos los ciudadanos, tienen el acceso al servicio garantizado. Por último, la quinta barra representa el acceso mejorado en forma de porcentaje de familias en el área de estudio que tienen un acceso mejorado tal y como es definido en el programa de monitoreo conjunto de UNICEF, OMS y (JMP).

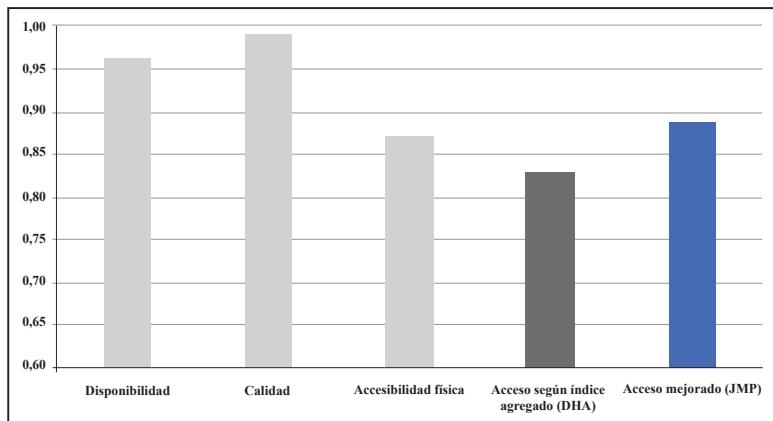
Se puede observar que el nivel de acceso en la zona es bastante elevado. En estos contextos cobra especial importancia el poder contar con varias dimensiones que de alguna forma nos permitan observar variaciones de forma diferenciada. Por este motivo, resulta relevante la medida de las tres componentes comentadas. Además, la figura 7.3 revela dos resultados destacables:

Por un lado, es interesante observar como la dimensión de calidad muestra unos niveles mayores que el acceso mejorado en base a los indicadores internacionales. En contextos rurales como el estudiado y en base al indicador de calidad utilizado (coliformes fecales), se observa con frecuencia como la calidad del agua en puntos no mejorados (como pueda ser un pozo o un manantial no protegido) es salubre, en contradicción de lo que presupone el indicador del JMP.

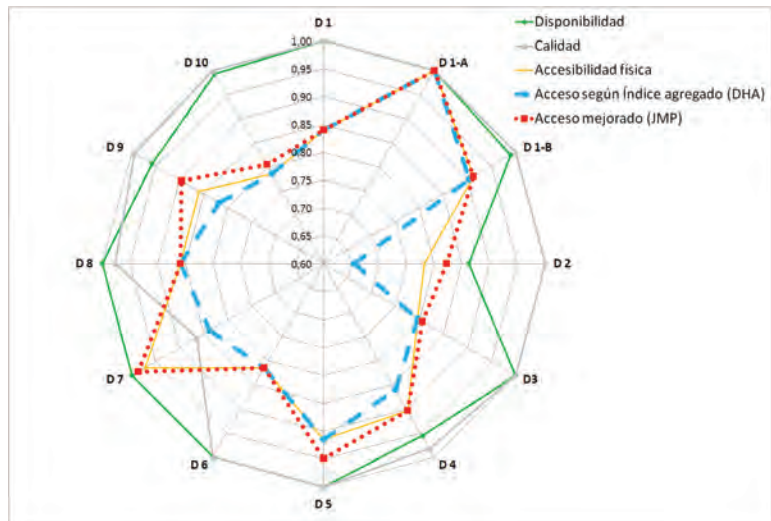
Por otro lado, parece evidente que al incluir una visión más completa de la realidad a través de las distintas dimensiones y debido al tipo de agregación utilizada (de alguna forma necesaria según los requerimientos de la definición del acceso según el derecho humano al agua), los niveles de acceso serán inferiores que aquellos ofrecidos por el indicador basado en un criterio meramente tecnológico. Además hay que tener en cuenta que este número posiblemente disminuiría si el índice hubiese sido generado incluyendo todas las dimensiones del DHA.

Tal y como se ha comentado, el reconocimiento del derecho humano al agua justifica la necesidad de desarrollar herramientas que promuevan una adecuada asignación de recursos y la metodología propuesta ofrece resultados que aportan elementos relevantes en este sentido. En la figura 7.3 se muestran los resultados del estudio desagregados en el territorio a nivel distrital. A pesar de una tendencia general de elevados niveles de acceso en lo que respecta a las dimensiones analizadas (especialmente la calidad y la disponibilidad) se observa como las dimensiones problemáticas en cada distrito no siempre son las mismas. Por ejemplo en el caso del distrito 7, la calidad es la dimensión a tener en cuenta para mejorar el nivel de servicio, mientras que la disponibilidad cobra importancia frente a la calidad en el distrito 2. Esto puede y debe ser utilizado por los gobiernos locales encargados de garantizar el acceso al servicio en el nivel local.

**Figura 7.2 Dimensiones del derecho humano aguas y el índice agregado vs acceso mejorado**



**Figura 7.3 Desagregación territorial de indicadores**



## 7.5 Conclusiones

En Bolivia se ha avanzado bastante en lo que respecta a la creación de leyes y políticas que de alguna forma apoyan el reconocimiento y asimilación del derecho humano. En países de estas características puede ser de gran utilidad para avanzar en la implementación efectiva y real del derecho humano, empezar a desarrollar e implementar metodologías como la presentada. Dicho de otro modo, a pesar de que los indicadores estructurales del país puedan arrojar avances bastante positivos, la medición de indicadores de resultado puede servir para dar seguimiento a la efectividad de las políticas o a la necesidad de mejorar los procesos. Normalmente el conocimiento de los procesos suele ser complejo, sin embargo el simple hecho de que estas cuestiones empiecen a aparecer en las agendas, de alguna forma provoca una cierta incorporación del marco conceptual y de sus implicaciones en los distintos actores del sector, lo que debería desembocar en una mejora de la gobernanza y de los sistemas de monitoreo.

Los datos recogidos por una metodología como el mapeo de puntos de agua pueden ser utilizados para la medición de algunos indicadores de resultado imprescindibles en el marco del derecho humano al agua. La metodología es de gran utilidad para ofrecer información precisa, necesaria y a un coste relativamente barato que permita conocer el nivel de servicio de individuos y grupos (especialmente relevante en el caso de la calidad de agua) (Jiménez and Pérez-Foguet, 2008). Por otro lado, algunas dimensiones del contenido normativo de este derecho humano como es el caso de la asequibilidad o la aceptabilidad, no podrán ser medidas en base a una metodología como la planteada. Para medirlas es necesario focalizar en los titulares de derechos, es decir en los ciudadanos, en vez de en los lugares de los que toman el agua, los puntos de agua. Para ello un enfoque basado en encuestas en hogares para poder conocer las percepciones y opiniones de los mencionados titulares es necesario. Por tanto, se concluye que un enfoque donde las

encuestas en hogares se complementen con un mapeo de puntos de agua puede ser relevante para mejorar la medida del acceso al agua según el marco conceptual del derecho humano.

Del estudio se concluye que el uso de los datos procedentes de una campaña de mapeo de puntos de agua bajo un enfoque basado en derechos, nos permite conocer mejor las características locales de provisión del servicio en comparación con la utilización de un único indicador de acceso basado en un enfoque meramente tecnológico, tal y como propone el JMP de UNICEF/OMS. Los Indicadores propuestos permiten apreciar la complejidad de la realidad con cierta integralidad, al considerar también las demás dimensiones. Esto será de utilidad en contextos como el analizado con niveles de cobertura bastante elevados asociados al logro de las políticas macro, pero donde al desglosar según distintas dimensiones se observan ciertas deficiencias y diferencias en el territorio. Este tipo de resultados tienen un enorme potencial en el diseño de estrategias de intervención y en los procesos de asignación de recursos, al permitir planificar intervenciones diferenciadas, más integrales y eficientes que respondan a contextos específicos.

La metodología también tiene un importante potencial a la hora de dar seguimiento a cuestiones de no discriminación e igualdad, dimensiones clave en el enfoque de derechos. A través del mapeo de los puntos de agua y haciendo uso de la georeferenciación de los mismos, se puede visualizar de forma adecuada, la existencia o no de fenómenos de discriminación territorial; desarrollar investigación en este campo es de especial relevancia según un informe reciente de la experta independiente de Naciones Unidas en materia de agua y saneamiento (United Nations, 2012)

Como línea de investigación a futuro, resulta interesante y pertinente desarrollar metodologías que combinen por un lado, el uso de indicadores de resultados que de alguna forma permiten medir y analizar la situación de los individuos como titulares de derechos y por el otro, la medición de indicadores estructurales y

de procesos vinculados a “la conducta” del Estado (y los otros agentes con responsabilidades) como titulares de obligaciones. Esto puede desembocar en instrumentos que nos permitan obtener una visión de conjunto, relevante para la toma de decisiones sobre temas como la inversión o la regulación. Por otro lado también puede ser muy útil como herramienta para fortalecer las capacidades desde la sociedad civil y las organizaciones sociales en la perspectiva de ejercer de forma más fundamentada su derecho al control social. Esto se vincula al tema de la transparencia, especialmente en relación a los indicadores de proceso que permiten hacer un seguimiento desde la sociedad civil.

## 7.6 Referencias bibliográficas

Boelens R., Getches D. & Guevara Gil A. (2010) Water Struggles and the politics of identity. IN Boelens R., Getches D. & Guevara Gil A. (Eds.) *Out of the Mainstream, Water rights, politics and identity*. Washington DC, Earthscan London, .

Estado Plurinacional de Bolivia (2009a) Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia.

Estado Plurinacional de Bolivia (2009b) Plan Nacional de Saneamiento Básico 2008 – 2015.

Estado Plurinacional de Bolivia (2012) Ley de la Madre Tierra N°. 300.

Felner, E. (2009) Closing the “Escape Hatch”: A Toolkit to Monitor the Progressive Realization of Economic, Social, and Cultural Rights. *Journal of Human Rights Practice*, 1, 402-435.

Flores, O., Jiménez, A. & Pérez-Foguet, A. (2012) Monitoring access to water in rural areas based on the human right to water framework: A local level case study in Nicaragua. *International Journal of Water Resources Development*, DOI: 10.1080/07900627.2012.757017.

Green, M. (2001) What We Talk About When We Talk About Indicators: Current Approaches to Human Rights Measurement. *Human Rights Quarterly*, 23, 1062-1097.

Irujo, A. E. (2007) The Right to Water. *International Journal of Water Resources Development*, 23, 267 - 283.

Jiménez, A. & Pérez-Foguet, A. (2008) Improving water access indicators in developing countries: a proposal using water point mapping methodology. *Water Science & Technology: Water Supply*, 8, 279-287.

JMP (2012) Progress on Sanitation and Drinking-water: 2012 Update. *Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation*. Geneva / New York, JMP.

Langford, M. (2005) The United Nations Concept of Water as a Human Right: A New Paradigm for Old Problems? *International Journal of Water Resources Development*, 21, 273 - 282.

Riedel, E. (2006) The IBSA procedure as a tool of human rights monitoring. Retrieved from [http://riedel.uni-mannheim.de/inhalt/unterdokumente/downloads/ibsa/ibsa2/2\\_the\\_ibsa\\_procedure\\_as\\_a\\_tool\\_of\\_human\\_rights\\_monitoring\\_1\\_1.pdf](http://riedel.uni-mannheim.de/inhalt/unterdokumente/downloads/ibsa/ibsa2/2_the_ibsa_procedure_as_a_tool_of_human_rights_monitoring_1_1.pdf).

Roaf, V., Khalfan, A. & LANGFORD, M. (2005) Monitoring implementation of the right to water: a framework for developing indicators. *Global issue papers No. 14*. Berlin, Heinrich Böll Foundation.

Schlager, E. & Ostrom E. (1992) Property rights regimes and natural resources: a conceptual analysis. *Land Economics*, 68 (3), 249 – 262

Szalachman, R. & Collinao, M. P. (2010) Estimaciones de gasto social en vivienda y desarrollo urbano para algunos países de América Latina y el Caribe. *Serie Media Ambiente y Desarrollo*, No. 142. Santiago de Chile, Naciones Unidas – CEPAL.

United Nations (2002) The Right to Water. E/C.12/2002/1. General Comment No. 15 of the Economic and Social Council,. New York, UN.

United Nations (2010a) Declaration on the right to water. A/RES/64/292. IN GENERAL ASSEMBLY (Ed.). New York, UN.

United Nations (2010b) Human rights and access to safe drinking water and sanitation. A/HRC/RES/15/9. New York, UN.

United Nations (2010c) Report of the independent expert on the issue of human rights obligations related to access to safe drinking water and sanitation, Catarina de Albuquerque. A/HRC/15/31. New York, UN.

United Nations (2011) Resolution adopted by the Human Rights Council. The human right to safe drinking water and sanitation. A/HRC/RES/18/1. IN HUMAN RIGHTS COUNCIL (Ed.). New York, UN.

United Nations (2012) Report of the independent expert on the issue of human rights obligations related to access to safe drinking water and sanitation, Catarina de Albuquerque. A/67/270. New York, UN.



# Capítulo

## 8

### CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

*Alfredo Durán*  
*Agustí Pérez - Foguet*  
*Vladimir Cossío*  
*Cristina Yacoub*

La aplicación de un enfoque de gestión integrada del agua, sugiere cambios en la forma de considerar la gestión del agua referidos a por lo menos tres aspectos. En primer lugar sugiere enfocar el análisis en un espacio mayor al de los sistemas de aprovechamiento de agua, ya sea este un espacio de carácter natural (cuenca), político (municipio) o territorial-organizativo tradicional. En segundo lugar sugiere la consideración de diferentes usos y sistemas de uso del agua del agua y su correspondiente interrelación dentro del espacio definido. Y, en tercer lugar, alude la inclusión del análisis de los aspectos ambientales relacionados con la gestión y el uso del agua. La consideración de los tres aspectos mencionados además en una perspectiva de sostenibilidad en el aprovechamiento del agua y equidad en su acceso, plantea la necesidad de utilizar información sobre aspectos de comportamiento físico-natural, de uso, de gestión y desarrollo hídrico, institucionales, organizativos y otros relacionados con el agua.

Es esta necesidad de generar y utilizar información que apoye procesos de gestión integrada del agua que dio origen al objetivo central del programa SIDAGUA, el cual planteaba probar diferentes

herramientas para la recolección y sistematización de información. Dentro de estas herramientas, se destacaba la utilización de la modelación hídrica por la potencialidad de esta para el manejo de gran cantidad de información, de forma ordenada y sistemática, la cual es requerida para entender diferentes procesos relacionados con la GIRH.

Una vez iniciado el programa, y considerando la cuenca hidrográfica como unidad de análisis, los requerimientos de información identificados estaban enfocados inicialmente en entender aspectos físico naturales (hidrología superficial, calidad del agua en la cuenca, hidrogeología) y características de uso del agua (uso del agua para consumo doméstico, uso del agua para riego). Posteriormente los estudios sobre aspectos físico- naturales se combinaron con aspectos de gestión del agua y desarrollo hídrico que permitieron entender mejor su dinámica, tal como se refleja en los capítulos III, IV y V, considerándose además la cuenca hidrosocial, y no solo la cuenca hidrográfica, como espacio de análisis (ver capítulo II).

Paralelamente la gran cantidad de información generada, puso en claro la necesidad de establecer un sistema de gestión de información. De esa manera se tomaron acciones para sistematizar la información en vista de su utilización posterior en procesos que se desarrollen en la cuenca. Sin embargo consideramos que la gestión de información debería permitir además su difusión hacia todos los actores interesados, realizar procesos de capacitación a diferentes niveles y la retroalimentación y complementación constante de la información que se genere sobre la cuenca, lo cual fue parcialmente desarrollado como parte del programa.

En tal sentido, en este capítulo se discute la contribución de los estudios realizados en el logro de los objetivos planteados para el programa SIDAGUA y sus impactos, considerando de manera especial la interacción del programa con actores locales a través de las diferentes investigaciones desarrolladas. La discusión se realiza alrededor de dos temas centrales: i) la generación y sistematización de información hídrica, y ii) la interacción del proyecto con diferentes actores interesados.

## 8.1 Generación y sistematización de información hídrica

El Centro AGUA ha estado ejecutando investigaciones en la zona de la cuenca Pucara desde el año 2006. Esto ha permitido obtener información sobre diversas temáticas relacionadas al agua, las cuales estaban vinculadas a los objetivos de los proyectos de investigación ejecutados. La sistematización de esta información en función a temas de investigación definidos, fue el punto de partida de la ejecución del programa SIDAGUA.

A través de la sistematización se llegó a una primera constatación: existía insuficiente información sobre las características físico-naturales del agua a nivel de la cuenca (cantidad y calidad del agua). La información con que se contaba había sido obtenida principalmente a nivel de sistemas de aprovechamiento de agua (sobre todo sistemas de riego) y de estudios de caso puntuales. Esto llevó al programa a concentrarse en primer lugar en la realización de estudios que ponían énfasis en la obtención de información cuantitativa y cualitativa sobre aspectos de hidrología superficial, hidrología subterránea y niveles de contaminación del agua a nivel de la cuenca, buscando que estos sirvan de insumos para la implementación de modelos informáticos sobre estas temáticas. De esa manera, se generó nueva información a través de inventarios de fuentes de agua, de fuentes de contaminación, de sistemas de riego y de los pozos profundos existentes en el abanico de Punata. Estos inventarios estuvieron complementados por una serie de actividades de monitoreo, mediciones puntuales, muestreos y análisis, pero también a través de la instalación de nuevas estaciones meteorológicas en la zona de estudio.

Por otra parte, la revisión de la información existente mostró también la ausencia de información suficiente sobre las características de la provisión de agua para consumo doméstico y el saneamiento. Esto condujo a la realización de un inventario específico sobre estos temas, y la evaluación de la calidad del agua que incluyó a todas las comunidades en los distintos sectores de la zona de estudio (ver capítulo VI). Los resultados de los análisis de calidad de agua para consumo doméstico que se hicieron

como parte de este inventario, se constituyeron también en información importante para el monitoreo y evaluación de la calidad del agua en la cuenca. Los principales métodos y metodologías que se utilizaron durante el programa se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 8.1. Información hídrica y metodología aplicada**

<b>Componente de información</b>	<b>Metodología</b>	<b>Métodos</b>
Recolección de información sobre agua y saneamiento	Mapeo de Puntos de Agua (WPM)	Inventariado de fuentes de agua. Encuestas en hogares (saneamiento e higiene). Mapeo
Hidrología superficial	Modelización numérica	Recolección de información secundaria Corrida de: Mike Basin, SWAT, Balance Hídrico
Calidad del agua	Monitoreo	Muestreo y análisis de agua. Inventariado de fuentes de contaminación Encuestas en hogares (manejo de la basura) Mapeo
Aguas subterráneas	Modelización numérica	Inventariado de pozos profundos Medición de caudales Monitoreo de niveles estáticos Pruebas de interferencia Pruebas de infiltración Mapeo. Utilización de MODFLOW y otros

*Fuente: Elaboración propia en base a información del programa SIDAGUA*

Los métodos utilizados estuvieron orientados a la obtención de información principalmente cuantitativa sobre los diferentes componentes mencionados. Las herramientas de modelación hídrica tienen el objetivo de simular numéricamente el comportamiento natural de una cuenca en algún aspecto, requiriendo para ello datos que permitan calibrar el modelo elaborado. En la zona de estudio, se contaban con registros de mediciones de caudales diarios a la salida de la cuenca para algunos años en la década del 90', los cuales permitieron de algún modo ajustar el modelo de hidrología superficial. Sin embargo, el hecho que las mediciones utilizadas no son actuales (varias características de la cuenca han podido cambiar durante los últimos años) y han sido tomadas por un periodo de tiempo relativamente corto, hace que este modelo sea solo referencial tanto para la cantidad como para la calidad del agua en la cuenca. Se estudió la posibilidad de instalar una estación hidrométrica pero por las características del programa esto no se pudo concretar durante su periodo de ejecución. Esta falta de datos de mediciones hidrométricas, fue la limitación principal de los estudios de modelación en la cuenca hidrográfica Pucara.

Por otra parte, aunque no fue planteado de inicio, la estrecha relación existente entre la escorrentía cuenca hidrográfica Pucara y el acuífero del abanico de Punata, la importancia de las aguas subterráneas para el consumo doméstico (claramente identificada a través del mapeo de puntos de agua realizado como parte del programa) y la preocupación local por los indicios de sobreexplotación de este acuífero, condujeron a que se preste mayor importancia al tema de aguas subterráneas a partir de la tercera etapa del programa. De manera similar a los otros dos temas, el objetivo en este caso era simular, el comportamiento del acuífero de Punata. En este caso, el tiempo necesario para la obtención de los datos requeridos y la necesidad de realizar diferentes estudios, permitieron establecer modelos preliminares de simulación del comportamiento del acuífero de Punata, que no obstante se constituyen, en una base importante para

continuar con el desarrollo de este trabajo como se indicó anteriormente (capítulo IV).

Sin embargo, es importante considerar que los modelos hídricos existentes, fueron concebidos con el objetivo de simular el comportamiento natural del agua, incluyendo todos los factores involucrados en estos procesos, por lo tanto pueden constituirse en una herramienta efectiva para evaluar la información existente y la información faltante en relación con los procesos hídricos naturales que ocurren en un espacio determinado. Así, en el caso del SIDAGUA, si bien los intentos de modelación de la cuenca no se concretaron en modelos de simulación suficientemente sólidos, si permitieron evaluar la información existente tanto en calidad como en cantidad, establecer claramente el tipo de información faltante y a partir de ello plantear necesidades futuras de investigación sobre este tema y temas relacionados.

Lo anterior condujo también a plantear la necesidad de establecer un sistema de gestión de la información que permita, inicialmente, la sistematización adecuada de la información generada a través de los diferentes estudios realizados y posteriormente, establezca un marco adecuado para la actualización y complementación de esta información. Se realizaron acciones al respecto durante las últimas etapas del proyecto, pero es un tema que para el caso de la zona de estudio, todavía requerirá bastante atención en el futuro. Si bien el enfocarse en una gestión más integrada crea una demanda importante de información en un inicio, consideramos que la generación de información debe ser vista en realidad como un proceso intrínseco a la gestión del agua en este nivel.

Los trabajos no solo de modelización, sino en general de investigación hídrica, permiten generar datos importantes en relación con diferentes problemáticas que existen a nivel de una cuenca. La validez de estos datos debe ser evaluada apropiadamente en forma previa a su difusión ya que existe el riesgo de que, por

ejemplo, valores preliminares sobre algunos parámetros sean tomados como valores absolutos por los pobladores. Esta situación ha sucedido varias veces en otras situaciones y por ello, el manejo de la información, la forma como se reportan los resultados y en general, los mensajes que se dan a los actores locales, es un tema muy delicado.

Por otra parte las crónicas dificultades institucionales y financieras para realizar investigación de forma seria y sostenida que confrontan tanto las Universidades como las agencias de gobierno en Bolivia, confrontadas con las expectativas sobre información y conocimiento, pero especialmente las urgencias por “soluciones” que demandan los actores locales, pueden crear una situación adversa para el posicionamiento de la investigación como una herramienta de gestión y apoyo en la toma de decisiones.

## **8.2 Interacción del proyecto con otros actores**

La interacción con diferentes actores fue planeada desde un inicio como una estrategia para lograr que las actividades y resultados del proyecto tengan impacto. De esa manera en un inicio se planteó la interacción del proyecto con tres niveles de actores: instancias del gobierno central, investigadores y profesionales que trabajan en temas hídricos a nivel local y nacional, y usuarios y organizaciones de agua en la zona de trabajo. Sin embargo, en el desarrollo de las actividades y la presentación puesta en discusión de resultados parciales generó también interacción con usuarios de agua y profesionales locales que se encontraban fuera del área de trabajo, como se discutirá más adelante en este acápite.

### *Actores locales*

Como puede apreciarse en los capítulos anteriores, cada uno de los temas investigados tuvo su propia dinámica aportando de forma diferenciada al objetivo de desarrollar instrumentos técnicos que faciliten los procesos de planificación y toma de decisiones para la gestión integrada del agua que se había planteado inicialmente el

programa. Dentro de esta dinámica las investigaciones realizadas buscaron la interacción con actores locales en la zona de trabajo con la intención de considerar las demandas y problemáticas locales en los estudios, lograr su participación durante la realización del trabajo de campo y promover la utilización futura de los datos generados. El único caso en que esta interacción fue muy escasa fue durante la realización del estudio de hidrología superficial, ya que este se basó principalmente en la recolección de información secundaria al no haberse podido realizar un monitoreo de caudales como parte del proyecto.

La participación efectiva de los actores locales estuvo relacionada sobre todo con su grado de interés sobre los temas investigados. Este grado de interés fue influenciado por factores como la percepción directa de problemas sobre algunos temas particulares, la necesidad de información y la posibilidad de conseguir otros proyectos a través de la información generada y su participación en el programa SIDAGUA.

El diagnóstico de la situación del agua y saneamiento concitó la atención de los usuarios y organizaciones de agua principalmente por el interés que tenían de conocer la calidad del agua que estaban consumiendo, al tratarse de sistemas de provisión de agua para consumo doméstico. En estos estudios la participación de los usuarios fue crucial, ya que facilitó el acceso a las comunidades y fuentes de agua, y la recolección de información sobre las características de los sistemas de agua potable (inventario), el saneamiento e higiene (encuesta). Los informes cortos elaborados posteriormente fueron bien recibidos por las comunidades. Estos informes contenían información sustancial sobre cada sistema de agua, entre esta los resultados del análisis de calidad del agua realizado.

En relación al mismo tema, técnicos de las alcaldías estaban interesados en contar con información sobre el agua y saneamiento que les permita mejorar los procesos de planificación sobre este

tema. Sin embargo, su participación se restringió a la asistencia a reuniones de planificación inicial y talleres de presentación y entrega de los resultados, lo que a nuestro parecer muestra en primer lugar la falta de recursos (principalmente humanos) en las alcaldías para asumir temas de monitoreo y planificación, y, en segundo lugar, que estos temas no son prioritarios para estas instancias de gobierno local como se discutió anteriormente (capítulo VI).

En relación con la calidad de agua, tomando como base los resultados de un primer muestreo de la calidad de fuentes de agua realizado en la cuenca (ver Ampuero y Torrez, 2009), y considerando el interés de las autoridades del municipio de Tiraque, se formuló un proyecto de protección de fuentes de agua que persigue el objetivo de conservar el estado de calidad de las principales fuentes de agua de la cuenca. Esta idea de proyecto fue complementada con resultados de estudios en relación con la calidad del agua realizados posteriormente (ver Capítulo V). El proyecto fue presentado y discutido con técnicos de ambos municipios, manifestando éstos su acuerdo con la ejecución de un proyecto de este tipo. Aunque se reconoció plenamente que la problemática ambiental de ambos municipios estaba totalmente relacionada, ya que el municipio de Punata recibe los escurrimientos de la cuenca hidrográfica Pucara que en su mayor parte se encuentra en el municipio de Tiraque, además de que varias fuentes de agua utilizadas para el riego de comunidades de Punata se encuentran en Tiraque, también se manifestaron las dificultades de poder financiar proyectos conjuntos, ya que la Ley de Municipalidades boliviana no permite que un municipio invierta recursos económicos fuera de su territorio, sin considerar las cuencas hidrográficas o diferentes relaciones socio-organizativas que puedan existir entre los pobladores de diferentes municipios.

La realización de estudios sobre aguas subterráneas era de mucho interés para los usuarios de pozos en la zona de Punata, donde ya se habían identificado indicios de sobreexplotación del

acuífero (ver Cossío y Ampuero, 2007). Además muchos usuarios de pozos en esta zona tienen dificultades técnicas en el mantenimiento de sus pozos, lo cual acrecentó aún más su interés en el tema.

Para la realización de estudios sobre aguas subterráneas en el abanico de Punata, se estableció un acuerdo de trabajo con la Asociación de Pozos Profundos del Valle Alto, organización que representa a los pozos para riego y mixtos ubicados en la cabecera del abanico. Una primera acción que se realizó como parte de los estudios fue la selección e instalación de tuberías en 27 pozos para la realización de un monitoreo mensual de niveles freáticos. Esto despertó muchas expectativas en los usuarios de pozos que veían como beneficioso contar con datos de niveles en sus pozos. Es así que en algunos pozos las organizaciones compraron tuberías con sus propios fondos y las instalaron en sus pozos para realizar el monitoreo de niveles.

Como puede apreciarse en lo descrito anteriormente, aunque la unidad de estudio definida para el trabajo era la cuenca, la interacción con actores locales se produjo a nivel de las instancias político-organizativas representativas de comunidades, sistemas de agua o municipios los cuales, como ya se describió anteriormente, no necesariamente consideran territorios con límites naturales como la cuenca hidrográfica o la cuenca hidrogeológica. Es decir, cada actor social discute y se preocupa por los intereses del grupo social al que representa, pero no existe una lógica de continuidad de la gestión de agua más allá del área de influencia de un sistema hídrico.

La interacción con actores locales permitió constatar en campo las limitaciones en la gestión de recursos naturales, producidas por la no coincidencia entre límites sociopolíticos y límites naturales. Esta situación tiene como efectos que, tanto en la institucionalidad municipal como en los procesos de planificación y regulación hídrica, los límites naturales hidrológicos e hidrogeológicos no sean

suficientemente considerados; y tampoco son tomadas en cuenta las inter-relaciones entre organizaciones de usuarios que utilizan las diversas fuentes de agua, cuyas decisiones son en definitiva las que moldean las modalidades y mecanismos de gestión del agua en los sistemas hídricos, los que a su vez determinan como fluirá el agua a lo largo de la cuenca Pucara.

### *Organizaciones nacionales y regionales*

La interacción del programa con el gobierno central fue planeada de inicio al estar el objetivo del proyecto enfocado en la contribución a la ejecución del Plan Nacional de Cuencas. Además, la cuenca Pucara estaba considerada dentro del Programa de Cuencas Pedagógicas, lo cual en el transcurso de la ejecución del programa SIDAGUA se concretó en el Proyecto Cuenca Pedagógica Pucara (PCP-Pucara), a ser implementado por el VMRHR y la UMSS como parte del Plan Nacional de Cuencas. Cabe destacar que, como resultado de las experiencias del programa SIDAGUA, el énfasis del PCP-Pucara está en los temas de recarga de acuíferos, tecnificación de sistemas hídricos y protección de fuentes de agua.

El tema de investigación que concitó mayor atención tanto a nivel nacional, departamental y de actores a nivel de municipios vecinos a la zona de estudio, fue el tema de aguas subterráneas. La sostenibilidad en el uso de las aguas subterráneas y el incremento continuo del uso de esta fuente de agua en los valles de Cochabamba, es una preocupación sentida en todos los niveles. Esto derivó en actividades de interacción que se produjeron durante la ejecución del programa con instancias del gobierno central, gobernación de Cochabamba, la organización departamental de regantes y municipios vecinos a la zona de estudio definida por el programa. Esta interacción se produjo a través de reuniones y talleres conjuntos que en algunos casos se concretaron en intenciones de trabajo conjunto en el futuro próximo, como en el caso de la cooperación japonesa (JICA) que implementará un

programa de investigación hidrogeológica en el valle alto de Cochabamba, en sociedad con el Vice-Ministerio de Recursos Hídricos y Riego (VMRHR) y la UMSS; o el caso de SERGEOTECMIN, entidad estatal dependiente de la gobernación de Cochabamba, que tiene planes de iniciar estudios de hidrología subterránea en todo el departamento, en coordinación con la UMSS.

En otros casos esta interacción se concretó en acuerdos y proyectos más concretos. Ese es el caso del convenio establecido con la FEDECOR (Federación departamental de regantes y sistemas comunitarios de agua potable de Cochabamba) para el desarrollo de actividades de capacitación e investigación sobre el tema de gestión y desarrollo de las aguas subterráneas en el Valle de Cochabamba, atendiendo la preocupación de esta organización sobre el tema, dada la alta demanda de perforación de pozos que persiste en los valles Alto y Central de Cochabamba. Asimismo, en el marco de trabajo con la FEDECOR se ha formulado un proyecto para establecer una normativa piloto sobre el uso de aguas subterráneas a partir del caso del abanico de Punata, considerando que el formular una normativa sobre este tema requiere de una base de información importante sobre las características naturales y de uso de este tipo de fuentes, información con la que se cuenta para en esta zona como resultado del trabajo del programa SIDAGUA.

Otro proyecto actualmente en ejecución, es el de investigación hidrogeológica en el municipio de Cliza (municipio vecino de la zona de trabajo del programa SIDAGUA) que tiene como aliados a la Universidad de Calgary (Canadá) la Federación de Municipios de Canadá (FCM), el EL Gobierno Municipal de Cliza, el Gobierno Municipal de Truro (Canadá), y el Centro AGUA, probablemente junto al Laboratorio de Hidráulica, de la UMSS. Este proyecto fue concretado a partir de reuniones y talleres de capacitación para usuarios de pozos, en los que participaron técnicos del programa SIDAGUA por invitación del municipio de Cliza, y en base a acuerdos establecidos para la realización de investigaciones de

maestría en el abanico de Punata, por parte de alumnos de la Maestría Gestión de Agua Subterránea ejecutada por la Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca, con el apoyo de la Universidad de Calgary.

Además de lo anterior, durante el año 2012 se trabajó en diseñar un nuevo programa de investigación: el Programa GIRH-ASDI-UMSS. Este programa de investigación será ejecutado en el periodo 2013-2017 en el marco de un convenio de cooperación con ASDI (Suecia), que en el tema Gestión Integral de Recursos Hídricos tiene al Centro AGUA como coordinador. En el programa participan los otros tres centros de investigación en agua de la UMSS: Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental (CASA), el Laboratorio de Hidráulica (LH-UMSS) y la Unidad de Limnología y Recursos Acuáticos (ULRA), cada centro a cargo de un tema de investigación y como contrapartes profesores de las Universidad de Lund, Linköoping y Chalmers de Suecia. Se ha definido como zona de trabajo la cuenca Pucara y tiene como su principal componente la ejecución de cuatro estudios de doctorado, además del fortalecimiento del programa de Posgrado GIRH de la UMSS y la instalación del Observatorio del Agua, plataforma institucional de debate y apoyo a la divulgación científica. Es decir, se ha diseñado el nuevo Programa GIRH sobre la base de los resultados del programa SIDAGUA, dando así continuidad a la investigación realizada durante los pasados años.

La discusión anterior nos permite afirmar que existen intenciones claras de autoridades y otros actores tanto en el nivel local, departamental y nacional para dar continuidad a las acciones iniciadas por el SIDAGUA. Consideramos que el programa SIDAGUA ha tenido éxito desde la perspectiva de generar un proceso amplio y continuado de investigación en temáticas estratégicas relacionadas al agua, y ha permitido ampliar las alianzas entre la Universidad y varios otros actores a nivel departamental y nacional, así como fortalecer vínculos con las

organizaciones locales. De esa manera se ha generado un escenario interesante desde la perspectiva de investigación científica, ya que existe una posibilidad real de asumir liderazgo en la discusión científica e influir en la toma de decisiones en relación con la gestión de agua a nivel local, regional y nacional.

Este nuevo escenario de trabajo: investigadores en continua interacción con actores políticos y sociales, y resultados de investigación siendo demandados y utilizados por estas diversas instancias del Estado y la sociedad, es tal vez el mayor impacto resultado más anhelado del Programa SIDAGUA. Se ha logrado que la investigación científica se convierta paulatina, pero de forma creciente y consistente, en un instrumento de apoyo a la gestión pública e institucional, y se ha dado un paso fundamental en la articulación entre la Academia con las fuerzas sociales y políticas de Cochabamba y nacionales.

### **8.3 Referencias bibliográficas**

Ampuero, R.; Torres, L. (2009). Evaluación de la calidad de los recursos hídricos en la cuenca Pucara. Proyecto GIRH: Estrategias para la gestión integral de recursos hídricos en cuencas de Bolivia. Informe Técnico N° 5. Cochabamba, Bol. 56 p.

Cossio, V. y Ampuero, R. (2007). Plataforma de Múltiples Grupos de Interés para la Gestión del Agua Subterránea en el Abanico de Punata, Reporte Final. Centro AGUA-UMSS, programa Concertar Intercooperation COSUDE.

## AUTORES

### **Raúl Ampuero Alcoba**

Técnico investigador en el centro de investigación y enseñanza Centro AGUA-UMSS (Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua) de la Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia. Docente invitado de pregrado y posgrado en los temas de gestión y uso del agua, usos múltiples del agua, re-uso de aguas residuales domésticas en la agricultura y calidad de agua. Ha participado en varios proyectos de investigación acción y ha realizado publicaciones sobre las temáticas de re-uso de las aguas residuales doméstica en la agricultura, gestión del agua para riego, gestión comunitaria en comités de agua potable y calidad de agua. Correo electrónico: raulampueroalcoba@gmail.com

### **Rocio René Bustamante Zenteno**

Investigadora y docente en el Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA) de la Universidad Mayor de San Simón (UMSS) en Cochabamba, Bolivia. Tiene formación profesional a nivel de Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Políticas. Posteriormente adquirió una Maestría en Sociología Rural con mención en Políticas Públicas en la Universidad de Wageningen, Holanda. Su experiencia de trabajo ha sido principalmente sobre los temas de derechos de agua y procesos de formalización, conflictos y cooperación para la gestión del agua y en general la gobernanza del agua y los servicios básicos: políticas públicas, institucionalidad y normativa en Bolivia y la región Andina. Ha participado en proyectos internacionales de investigación sobre temáticas como los derechos de pueblos indígenas (Proyecto WALIR) usos múltiples del agua (Proyecto MUS – Andes), la problemática de los sistemas periurbanos de agua y saneamiento (Proyecto NEGOWAT), plataformas de múltiples sectores de interés (MSPs), conflictos y cooperación (Proyecto GOVAGUA, Proyecto COAGUA), gestión de agua en cuencas (Proyecto GIRH), entre otros. También es miembro de varias redes de investigadores de la región Andina y el mundo en temas como la gestión del agua (CGIAB, CONCERTACIÓN), procesos de acumulación, conflictos y resistencia (Justicia Hídrica), ecología política (WATERLAT). Correo electrónico: rocio.bustamante@centro-agua.org

### **Vladimir Cossio Rojas**

Docente-investigador del Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA: [www.centro-agua.org](http://www.centro-agua.org)) de la Universidad Mayor de San Simón (UMSS), Cochabamba-Bolivia. Docente de pregrado y posgrado de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias, Forestales y Veterinaria de la UMSS en los temas de Gestión de riego y Gestión de agua. Ha participado en varios proyectos de investigación y ha realizado publicaciones sobre las temáticas de procesos de intervención en sistemas de riego, Plataformas de Múltiples Grupos de Interés en la gestión del agua, instituciones del agua, conflictos y cooperación en la gobernanza del agua y equidad en el acceso al agua. Correo electrónico: [vladimir.cossio@centro-agua.org](mailto:vladimir.cossio@centro-agua.org)

### **Oscar Delgadillo Iriarte**

Docente-investigador del Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA: [www.centro-agua.org](http://www.centro-agua.org)) de la Universidad Mayor de San Simón (UMSS), Cochabamba-Bolivia. Docente de pregrado y posgrado de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias, Forestales y Veterinaria de la UMSS en los temas de Diseño de sistemas de riego, Diseño de sistemas de aprovechamiento de agua y Evaluación de recursos hídricos. Ha participado en varios proyectos de investigación sobre uso y re-uso del agua, tecnologías de aplicación de agua, tratamiento de aguas residuales. Correo electrónico: [oscar.delgadillo@centro-agua.org](mailto:oscar.delgadillo@centro-agua.org)

### **Alfredo Durán Núñez del Prado**

Coordinador General y docente-investigador del Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA: [www.centro-agua.org](http://www.centro-agua.org)) de la Universidad Mayor de San Simón (UMSS), Cochabamba-Bolivia. Docente de pregrado en las asignaturas de Aguas Subterráneas y Manejo Integrado de Cuencas del Departamento de Ingeniería de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias, Forestales y Veterinaria. Docente de posgrado de la UMSS en los temas de Gestión Integral del Agua y Desarrollo de Recursos Hídricos. Ha participado en varios proyectos de investigación nacionales e internacionales, y ha realizado publicaciones sobre diversas temáticas relacionadas con la gestión del agua. Actualmente coordina el programa de investigación Gestión Integral de

---

Recursos Hídricos (Convenio UMSS-SIDA) y el proyecto Cuenca Pedagógica Pucara. Correo electrónico: [alfredo.duran@centro-agua.org](mailto:alfredo.duran@centro-agua.org)

### **Oscar Flores Baquero**

Es Ingeniero Químico por la Universidad de Sevilla y Máster en Ingeniería Aplicada a la Cooperación al Desarrollo por la Universitat Oberta de Catalunya. Actualmente está realizando el doctorado en Ingeniería Ambiental en la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC, <http://www.upc.edu>), donde además trabaja como personal de apoyo a la investigación. Ha trabajado en distintos proyectos de investigación que pretenden operativizar el reconocimiento del Derecho Humano al Agua y el Saneamiento en lo que respecta sus implicaciones a la hora de medir y dar seguimiento al sector agua y saneamiento tanto en el ámbito local, nacional, regional como en el internacional. Una gran parte de su investigación se desarrolla en Nicaragua. Correo electrónico: [oscar.flores.baquero@upc.edu](mailto:oscar.flores.baquero@upc.edu)

### **Ricard Giné Garriga**

Es Ingeniero Químico por la Universitat de Barcelona, máster en Ingeniería Ambiental para empresas por la Universitat Ramon Llull y máster en ingeniería ambiental y desarrollo sostenible por el Imperial College de Londres. Actualmente es investigador del Instituto universitario de investigación en Ciencia y Tecnologías de la Sostenibilidad (IS.UPC, <http://is.upc.edu>) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC, <http://www.upc.edu>). Ha participado en varios proyectos de investigación y ha realizado publicaciones académicas en el sector del agua, saneamiento e higiene, específicamente en relación a metodologías para la recolección de información en campo, al diseño de indicadores e índices para evaluar el sector, y a la sostenibilidad de las intervenciones para mejorar el acceso a estos servicios básicos. Correo electrónico: [ricard.gine@upc.edu](mailto:ricard.gine@upc.edu)

### **Jorge Iriarte Terrazas**

Consultor del Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA: [www.centro-agua.org](http://www.centro-agua.org)) de la Universidad Mayor de San Simón (UMSS), Cochabamba-Bolivia. Ha participado en varios proyectos de investigación apoyando en la elaboración y manejo de sistemas de

información geográfica (SIG) y ha realizado publicaciones sobre las temáticas de distribución de agua, cambios de uso de la tierra, geomorfología de cuencas, catastro urbano rural, modelación hidrológica. Actualmente está trabajando en la temática de riesgos de inundación y sequía. Correo electrónico: iriartejorge@gmail.com

### **Cristina Mecerreyes Espinosa**

Ingeniera Aeronáutica máster en Cooperación al Desarrollo por la Universidad de Comillas (2004-2005), especialista en Planificación de Asentamientos Humanos en Países en Desarrollo por la Escuela Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid (2005) e Hidrogeología Subterránea por la Fundación Curso Internacional de Hidrología Subterránea (FCIHS) y la Universidad Politécnica de Cataluña (2009). Tiene 10 años de experiencia en el diseño y coordinación de proyectos de agua y saneamiento en ámbito rural en África Sub-Sahariana y Latinoamérica. Ha trabajado con ONGD Ingeniería Sin Fronteras (ONGAWA) y en consultoría medioambiental para el desarrollo (Amphos 21 Consulting SL). Desde 2005 ha colaborado en actividades docentes y de investigación con varias entidades de cooperación como el Grupo de Investigación en Cooperación y Desarrollo Humano de la UPC (GREDCH) y el Instituto de Cooperación en Habitabilidad Básica (ICHAB) de la UPM. Actualmente desarrolla su trabajo como Especialista de Agua y Saneamiento para el Fondo de Cooperación en Agua y Saneamiento de la AECID en Bolivia. Correo electrónico: crismecerreyes@gmail.com

### **Jhylmar Freddy Ortiz Céspedes**

Investigador Junior del Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA: [www.centro-agua.org](http://www.centro-agua.org)) de la Universidad Mayor de San Simón (UMSS), Cochabamba-Bolivia. Ha participado en el Proyecto SID AGUA en la investigación en aguas subterráneas en el abanico de Punata. Correo electrónico [jhylmar.ortiz@gmail.com](mailto:jhylmar.ortiz@gmail.com)

### **Jordi Pascual-Ferrer**

Es Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universitat Politécnica de Catalunya y actualmente está realizando el Doctorado en Ingeniería Civil en la misma universidad. Además trabaja como personal

de apoyo a la investigación en el Instituto de Sostenibilidad (IS.UPC, <http://is.upc.edu>) de dicha institución. Ha trabajado en distintos proyectos de investigación en América Latina y Oriente Medio, principalmente en África sub-sahariana (Etiopía, Tanzania, Mozambique y Camerún). Sus intereses son la gestión de los recursos hídricos a nivel de cuenca, su modelización, los impactos que la explotación de dichos recursos puede acarrear y la participación en la gestión de dichos recursos hídricos. Correo electrónico: [jordi.pascual-ferrer@upc.edu](mailto:jordi.pascual-ferrer@upc.edu)

### **Agustí Pérez-Foguet**

“Titulado Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos y por la Universitat Politècnica de Catalunya, profesor asociado de dicha universidad, docente e investigador en la ETS de Caminos Canales y Puertos de Barcelona (ETSECCPB, <http://www.camins.upc.edu>) y en el Instituto de Sostenibilidad (IS.UPC, <http://is.upc.edu>) de materias relacionadas con la modelización matemática en ciencias aplicadas e ingeniería y con cooperación internacional, el desarrollo y la sostenibilidad. Ha participado y liderado distintos proyectos de investigación y de cooperación para el desarrollo en Oriente Medio y África, en distintas áreas relacionadas con la gestión y de los ciclos del agua y la gestión ambiental; temáticas sobre las cuales tiene diversidad de ponencias y publicaciones en revistas científicas de alto impacto. Sus principales intereses son la modelización numérica de flujos ambientales y la estadística aplicada a la toma de decisiones en gestión de bienes comunes. Correo electrónico: [agusti.perez@upc.edu](mailto:agusti.perez@upc.edu)

### **Luis Fernando Perez Mercado**

Investigador del Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua de la Universidad Mayor de San Simón (UMSS), Cochabamba-Bolivia. Ha sido docente de pregrado y de posgrado de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias, Forestales y Veterinaria de la UMSS en temas de tratamiento y reuso de aguas residuales en agricultura. Ha participado en varios proyectos de investigación y ha realizado publicaciones sobre temáticas de calidad de aguas, procesos de tratamiento, gestión de conocimiento aplicada al manejo de cuencas y gestión ambiental aplicada a los recursos hídricos. Correo electrónico: [ferpermer@yahoo.com](mailto:ferpermer@yahoo.com)

**Rígel F. Rocha López**

Docente-Investigador Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA – UMSS). Ingeniero agrónomo graduado de la Universidad Mayor de San Simón (UMSS) de Cochabamba (Bolivia), con Maestría (MSc) en Suelos y Agua (especialidad Riegos) en la Universidad de Wageningen (Holanda), y actualmente sigue el programa de Doctorado (PhD) en la misma Universidad en el tema “Desarrollo de recursos hídricos y seguridad hídrica”. Es investigador del Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA), de la Universidad Mayor de San Simón (UMSS). Trabaja principalmente temáticas relacionados con el desarrollo del riego y el uso del agua en la agricultura. Es docente de pregrado y posgrado en UMSS, en materias de riegos y de investigación, además de ser el coordinador del programa de maestría en GIRH de la UMSS. Ha sido coordinador nacional para Bolivia de los proyectos interandinos CONCERTACIÓN y PARAGUAS-RAP GIRH (en ejecución). Correo electrónico: rigel.rocha@centro-agua.org

**Cristina Yacoub López**

Es Ingeniera Química y Doctora en Ingeniería Ambiental por la Universitat Politècnica de Catalunya. Trabaja como personal de apoyo a la investigación en el Instituto de Sostenibilidad (IS.UPC, <http://is.upc.edu>) de dicha Universidad en distintos proyectos de investigación sobre la gestión del agua e impactos ambientales relacionados en América Latina. Tiene diferentes publicaciones sobre modelización hidrológica de cuencas, así como de análisis sobre la presencia de metales pesados vinculados al buen estado ecológico de los ecosistemas (evaluando agua, sedimentos fluviales y macro-invertebrados). Su tesis ha versado sobre el impacto de la industria minera en la zona andina, en distintos proyectos en Cajamarca y Puno en Perú y Cochabamba, Bolivia. Sus intereses en investigación se focalizan en la justicia hídrica, particularmente vinculado al estudio de las contradicciones y conflictos en torno a la calidad del agua, generados por (i) la distribución desigual del agua, enfocado a su calidad, y del poder de decisión sobre su gobernanza; (ii) el impacto diferencial de los procesos de degradación ambiental; (iii) y los mecanismos, estructuras y discursos de poder que los sostienen. Correo electrónico: cristina.yacoub@upc.edu

# ÍNDICE

Presentación .....	5
<b>CAPÍTULO 1</b>	
Introducción .....	7
<i>Vladimir Cossío</i>	
<i>Cristina Yacoub</i>	
<i>Alfredo Durán</i>	
<i>Agustí Pérez -Foguet</i>	
<b>CAPÍTULO 2</b>	
Contexto de la zona de estudio .....	13
<i>Vladimir Cossío</i>	
<i>Cristina Yacoub</i>	
<b>CAPÍTULO 3</b>	
Dinámica de caudales y control de agua para riego en la Cuenca Pucara .....	27
<i>Rígel Rocha</i>	
<i>Jordi Pascual</i>	
<i>Jorge Iriarte</i>	
<b>CAPÍTULO 4</b>	
Investigación en aguas subterráneas en Punata-Bolivia: Enfoque, métodos, resultados y aprendizajes .....	47
<i>Alfredo Durán,</i>	
<i>Agustí Pérez - Foguet,</i>	
<i>Cristina Mecerreyes,</i>	
<i>Jhylmar Ortiz,</i>	
<i>Aníbal Mayta</i>	

## **CAPÍTULO 5**

LA CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA PUCARA:

Potencialidades y limitaciones para establecer un sistema de monitoreo ..... 89

*Oscar Delgadillo*

*Cristina Yacoub*

*Luis Pérez*

*Raúl Ampuero*

## **CAPÍTULO 6**

Metodologías para medir el acceso al agua potable y al saneamiento ..... 121

*Vladimir Cossío Rojas y*

*Ricard Giné Garriga*

## **CAPÍTULO 7**

El derecho humano el agua: planteamientos teóricos y metodológicos para su implementación en Bolivia ..... 147

*Oscar Flores y*

*Rocío Bustamante*

## **CAPÍTULO 8**

Conclusiones y reflexiones ..... 167

*Alfredo Durán*

*Agustí Pérez - Foguet*

*Vladimir Cossío*

*Cristina Yacoub*

**AUTORES** ..... 181