

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
Parámetros físicos, químicos y microbiológicos medidos			
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

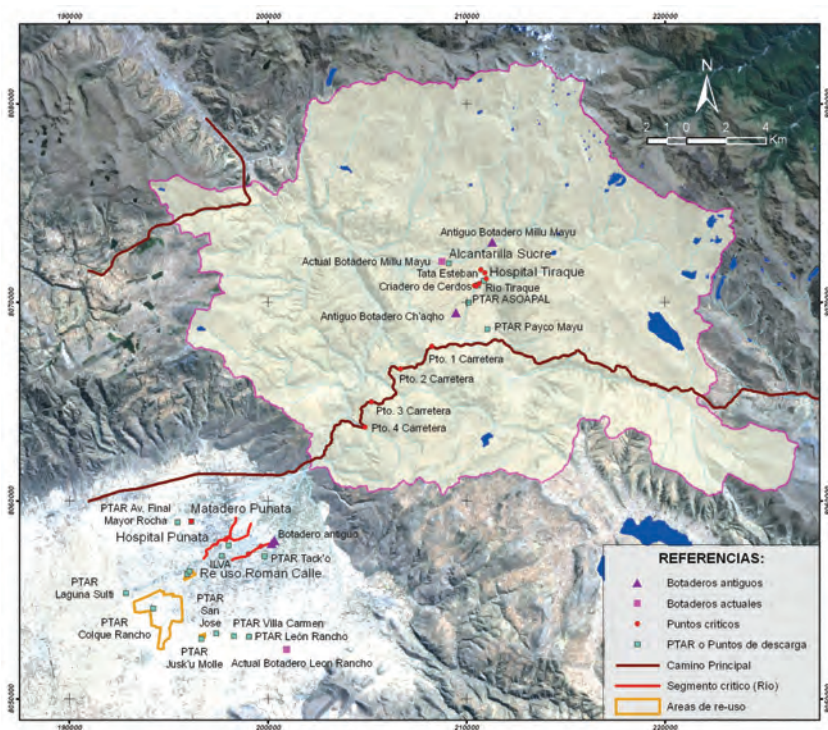
Las fuentes de contaminación de los recursos hídricos se encuentran dispersas en toda la cuenca (en ambos municipios). Sin embargo, la contaminación provocada en la parte alta y media de la cuenca (municipio de Tiraque), tiene un efecto directo sobre los recursos hídricos aprovechados en la parte baja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

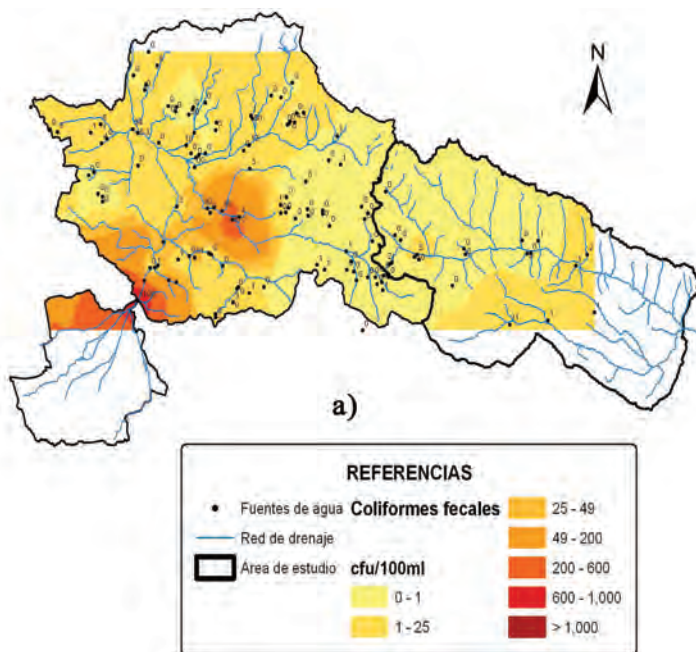
corresponden a fuentes de agua para consumo doméstico de varias comunidades en la cuenca Pucara. Esto amerita un monitoreo permanente del comportamiento de estos indicadores en la cuenca.

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

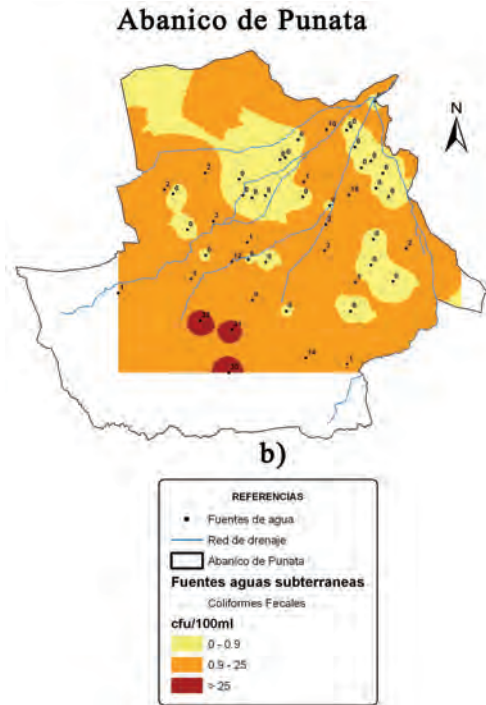
Parámetro	Unidad de medida	Concentración			n°	Clasificación según el tipo de agua			
		Máxima	Mínima	Promedio		A	B	C	D
pH		9,8	5,8	7,3	348	6 - 8,5	6 - 9	6 - 9	6 - 9
Conductividad Eléctrica (CE)	µmhos/cm	1324	7,5	159,5	348	-	-	-	-
Potencial Redox	mV	55	-165	-25	34	-	-	-	-
Salinidad	mg NaCl/L	609	7	72	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 ₃ /L	172	12	56	36	-	-	-	-
Carbonatos (CO ₃ ²⁻)	mg/L	17	0	1	47	-	-	-	-
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻¹)	mg/L	178	12	58	47	-	-	-	-
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	76	8	29	47	-	-	-	-
Calcio (Ca ²⁺)	mg/L	21	0,0	6,1	47	200,00	300,00	300,00	400,00
Magnesio (Mg ²⁺)	mg/L	17	0,1	3,4	47	100c. Mg	100c. Mg	150c. Mg	150c. Mg
Cloruros (Cl ⁻¹)	mg/L	339	0,1	8,5	33 9	250c. Cl	300c. Cl	400c. Cl	500c. Cl
Nitritos (NO ₂ ²⁻)	mg/L	0,19	0,00	0,02	32 7	<1,0c. N	<1,0c. N	<1,0c. N	<1,0c. N
Fosfatos(PO ₄ ²⁻)	mg/L	4	0,25	0,59	29 1	-	-	-	-
Nitratos(NO ₃ ⁻¹)	mg/L	31,00	0,99	62,86	33 6	20,0c. NO ₃	50,0c. NO ₃	50,0c. NO ₃	50,0c. NO ₃
Sodio (Na ⁺)	mg Na/L	43,70	0,92	5,57	47	200	200	200	200
Potasio (K ⁺)	mg K/L	10,11	0,78	2,78	47	-	-	-	-
Fósforo (P ²⁺)	mg P/L	1,67	0,06	0,35	37	-	-	-	-
Oxibilidad al permanganato	mg O ₂ /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 ₂ /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)

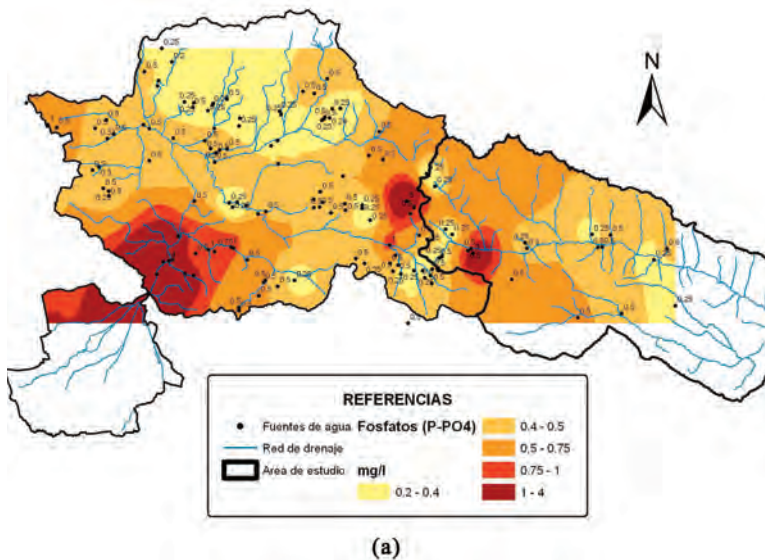
El proceso de generación, transporte y contaminación de cuerpos de agua en la cuenca Pucara es complejo y no se tienen todos los elementos para poder explicar adecuadamente estos procesos (pocos datos, toma de muestras de agua puntuales, necesidad de actualización, cuenca extensa con gran variedad morfológica 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).

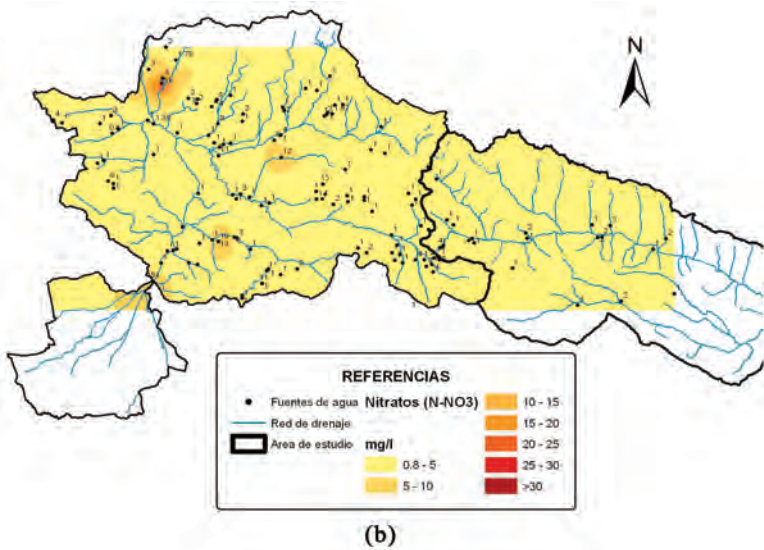
Es necesario aclarar que se ha optado por elaborar dos mapas con diferentes escalas: uno para las cuencas Pucara y Ch'ullkumayu, y otro para el abanico de Punata, porque esta última es la zona más densamente poblada, lo que ha significado que tiene una mayor densidad de sistemas de agua potable -mediante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

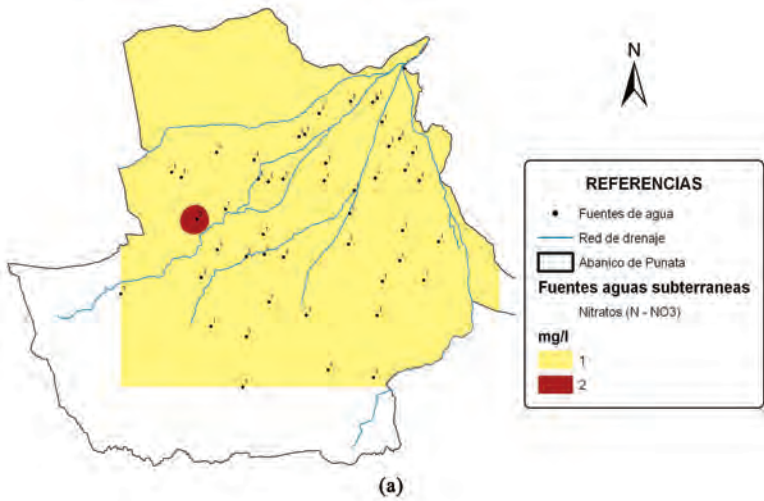
A continuación, se presentan mapas de nutrientes (Figuras 5.3a y 5.3b) elaborados con muestras puntuales de aguas subterráneas del abanico de Punata (parte baja de la cuenca Pucara). Es necesario aclarar que las muestras de agua fueron tomadas de los tanques de almacenamiento previos a su distribución 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.

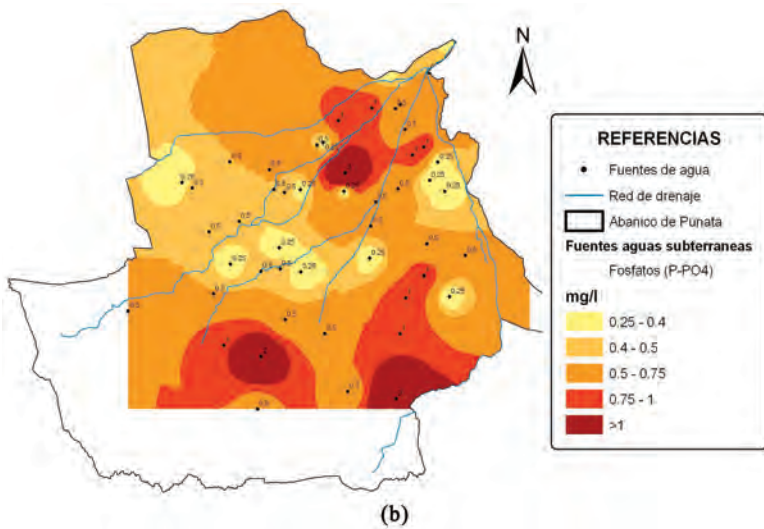
Sin embargo, no se da la misma situación en el caso del fosfato. El hecho de que presente niveles crecientes en las aguas superficiales y subterráneas implica diversos procesos de acumulación y posterior liberación en los suelos a lo largo de

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.