

Documento de trabajo  
*UCL IRDR y CAFOD proyecto financiado*  
Riesgo el agua y su gestión en la estrategia de desarrollo  
del Altiplano de Bolivia

**Informe resumido sobre el estado químico de las  
aguas en Sora Sora, Poopó, Antequera, Urmiri y  
Pazña 2013 - 2014**

Megan French  
*Instituto de Riesgos y Reducción de Desastres (IRDR)*  
*University College London (UCL)*

En colaboración con:  
Stephen J Edwards (UCL)  
Karen A Hudson-Edwards (Birkbeck)  
Jorge E Quintanilla (CEEDI)  
Natalie Alem (CENDA)

octubre 2014

**Versión revisada marzo 2015**

<b>Contenido</b>	<b>1</b>
<b>Glosario de términos empleados</b>	<b>2</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>3 - 4</b>
Figura 1 Mapa de elevación de zona de estudio y sitios de muestreo	5
Tabla 1a Límite orientative de concentraciones de calidad del agua	6
Tabla 1b Directrices y notas de Riego	7
Tabla 2 Descripción cualitativa del Índice de Calidad del Agua (CCA)	8
<b>2. ANTECEDENTES</b>	<b>9</b>
<b>2.1. Medioambientales</b>	<b>9</b>
<b>2.2. Socioeconómicos</b>	<b>9</b>
<b>2.3. Uso del agua</b>	<b>10</b>
Tabla 3 Tipo de fuente de agua	10
<b>3. METODOLOGÍA</b>	<b>10 - 11</b>
Tabla 4 La ubicación del sitio de la muestra, el tipo y las fechas de muestra	12
<b>4. RESUMEN DEL ESTADO DE LA CALIDAD DEL AGUA</b>	<b>13 - 15</b>
Figura 2 Mapa de la zona bajo estudio que muestra el CCA	17
Table 5 Resumen del estado químico para uso y de las acciones recomendadas	18 - 22
Table 6 Acciones generalizadas recomendada frente al CCA	23
<b>5. AGRADECIMIENTOS</b>	<b>24</b>
<b>6. REFERENCIAS</b>	<b>25 - 27</b>
<b>Apéndice A1-4</b> Tablas de concentraciones y CCA durante 2013 - 2014	28 - 39
<b>Apéndice B</b> Tabla de niveles de agua y caudal de los rios 2013 - 2014	40
<b>Apéndice C</b> Figuras	41
Figura C1 Niveles de agua subterránea y precipitaciones 2013-2014	
Figura C2 Gráficos que caudal de los rios (m <sup>3</sup> /s), y flujo de metales (kg/día) durante abril y julio de 2014, a los sitios de agua superficial en el área de estudio.	
Figura C3 Gráficos que muestran las concentraciones de elementos en el río Antequera.	

**Glosario de términos empleados:**

**Clase 'A':** es la más elevada clasificación de aguas para aguas receptoras y se considera agua potable sin tratamiento alguno a excepción de desinfección bacteriana (véanse los criterios en la Tabla 1a).

**Clases 'B' y 'C':** hacen referencia a las aguas para uso general que precisan tratamiento físico (y químico en el caso de la Clase C) y desinfección bacteriana para consumo humano.

**Clase 'D':** hace referencia a las aguas de calidad mínima.

**CE:** conductividad eléctrica; mide la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas. En general, se recomienda que el agua potable contenga CE <0,9 dS/m y un máximo de 1,5 dS/m (esto es, <600 ppm TSD y un máximo de 1000 ppm TSD, según las recomendaciones de la OMS (2011a) en cuanto a propiedades de sabor y palatabilidad). No se recomienda para consumo humano el agua con CE >2,5 dS/m y el agua con >10 dS/m se considera no apta para el consumo humano.

**RAS:** Relación de absorción del sodio; define la sodicidad en términos de concentración relativa de sodio (Na) en comparación a la suma de iones de calcio (Ca) y magnesio (Mg) (véase la Tabla 1b). EL RAS mide el potencial de problemas de infiltración por desequilibrio en el agua de riego.  $RAS = [Na \text{ meq/l}] / (\{[Ca \text{ meq/l}] + [Mg \text{ meq/l}] / 2\})^{1/2}$

**OD:** oxígeno disuelto (mg/L o % saturación).

**pH:** mide la acidez o basicidad del agua (en este informe). La escala de pH es 0 – 14, considerándose ácido un pH por debajo de 7, neutro uno de 7 y básico o alcalino uno por encima de 7.

**TSD:** total de sólidos disueltos.

**DAM:** drenajes ácidos de minas.

**OMS:** Organización Mundial de la Salud (véanse las directrices en la Tabla 1a).

**OAA:** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (véanse las recomendaciones sobre riego y ganadería en la Tabla 1a,b).

**CR:** Coeficiente de riesgo = relación de la media de concentración de un elemento / 'criterios A'. Donde CR>1 indica superación. Nota: Los criterios 'A' de Bolivia para As, Cd, Mn y Pb son superiores a los de la OMS (todos ellos basados en cuestiones sanitarias a excepción de Mn), por lo que el CR de estos elementos sería más elevado si se tomara en relación a las directrices de la OMS. Mientras que los criterios 'A' para B, Cu, Ni y Sb son inferiores a los que marcan las directrices sanitarias de la OMS, por lo que el CR de estos elementos sería inferior con respecto a dichas directrices (véanse la Tabla 1a y las notas correspondientes).

**CCA:** Calificación de Calidad del Agua (véase la descripción cualitativa en la Tabla 2).

## 1. INTRODUCCIÓN

Los municipios de Poopó, Antequera y Pazña, en la orilla central este del Lago Poopó se identificaron en junio de 2012 como centro principal de estudios del proyecto sobre riesgo de las aguas University College London (UCL)-Birkbeck College-Catholic Agency for Overseas Development (CAFOD)-Centro de Comunicación y Desarrollo Andino (CENDA)-Instituto de Investigaciones Químicas, Universidad Mayor de San Andrés (IIQ UMSA). Los principales ríos del municipio de Poopó son el Río Poopó, que atraviesa el pueblo de Poopó, y el Uma Purwa, que atraviesa la zona de Callipampa. Ambos desembocan en el Lago Poopó. El principal río del municipio de Antequera es el principal afluente del Río Antequera, que fluye en dirección suroeste hacia el municipio de Pazña, donde confluye con el Río Urmiri antes de convertirse en el Río Pazña, cerca del pueblo de Pazña (Figura 1).

Los datos sobre calidad química del agua (y cantidad) y los datos sociales se recopilaron entre agosto de 2013 y julio de 2014 para tratar de evaluar el riesgo del agua cuantificando y describiendo los riesgos de las aguas y la vulnerabilidad social de estas comunidades (véase CENDA, 2014, para un estudio sobre la vulnerabilidad social). Estos nuevos datos se han empleado junto con los datos de calidad del agua anteriormente recopilados en las mismas ubicaciones dentro del proyecto Catchment Management and Mining Impacts in Arid and Semi-arid South America (CAMINAR, 2013), entre junio de 2007 y mayo de 2009. Los objetivos son i) realizar recomendaciones con respecto a ciertas restricciones sobre fuentes de agua para consumo humano y animal y riego, ii) señalar las fuentes de agua adecuadas y iii) sugerir formas de tratar diversos problemas relacionados con el agua.

Por calidad del agua se entiende las características físicas (aspecto, sabor, etc.), químicas (sales, nutrientes, productos químicos de origen industrial, etc.) y biológicas (microorganismos, etc.). En este estudio nos hemos centrado en la evaluación química de los elementos derivados de la geología natural y la actividad minera y ciertos aspectos físicos. No hemos analizado los elementos químicos para uso agrícola (herbicidas, pesticidas, etc.), los derivados del petróleo y los de origen industrial (disolventes, plásticos, etc.), los empleados en tratamiento de aguas (subproductos de cloración, etc.), material orgánico (húmico, fecal, etc.) o contaminantes microbianos (patógenos acuáticos tales como la legionela (*legionella*), el criptosporidio (*cryptosporidium*), etc.). La Tabla 1 incluye todos los elementos químicos y parámetros analizados en el presente estudio, así como los valores orientativos.

Los datos químicos de 2013–2014 para 45 puntos de aguas superficiales y subterráneas (mostrados en la Figura 1, métodos incluidos en la Sección 3) se comentan en este informe con respecto a a) las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre calidad de agua potable (2011a) (con especial atención a las directrices sanitarias)

(véase la Tabla 1a), b) las recomendaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (OAA, 1985) sobre el uso agrícola no restringido del agua (véase la Tabla 1b), c) las recomendaciones de la OAA sobre ganadería (Tabla 1a) y d) los criterios de la clase 'A-D' en Bolivia sobre aguas receptoras (llamados aquí criterios 'A', 'B', 'C' o 'D') (Tabla 1a). Hemos determinado un Calificación de Calidad del Agua (CCA, véase la Tabla 2) para cada lugar de recogida de muestras como indicación relativa del estado químico total tomada como base para la recomendación de acciones (Figura 2). El Apéndice A incluye datos sobre concentración media e indicaciones sobre superación de los criterios 'A' (y de la OMS, si son inferiores a los criterios 'A') para los parámetros medidos en casa lugar. La Sección 4 incluye un resumen de hallazgos como estado general de calidad del agua y la Table 5 resume las acciones recomendadas para las distintas ubicaciones.

Entre otros aspectos importantes incluidos en este informe figuran las consideraciones específicas locales y otros aspectos sobre calidad del agua. Debe evaluarse la contaminación microbiológica en todas las aguas y llevarse a cabo un tratamiento de potabilización si se va a utilizar para consumo humano. Desde el punto de vista de la salud humana, el consumo de elementos químicos depende del volumen de agua consumido y también de la dieta y las rutas de inhalación para los residentes locales (OMS, 2011a). Así, por ejemplo, una dieta con comprenda tipos de alimentos con elevadas concentraciones de ciertos elementos (p. ej., flúor o arsénico) podrían reducir la concentración recomendada para dicho elemento a través del consumo de agua. Por el contrario, un consumo significativamente bajo de agua (~2 l / día) podría reducir la exposición y el riesgo sanitario en ciertas circunstancias. Además, no todos los elementos tienen pautas basadas en la salud (se refieren a notas Tabla 1a); muchos aspectos de la calidad del agua tienen que ver con su aspecto, sabor y olor o con la corrosión de las tuberías y los equipos, sin embargo, en altas concentraciones algunos elementos sin directrices basadas en la salud tal vez tóxicos. Nos referimos a los que tienen una referencia basado en la salud como los elementos de importancia para la salud, sino destacar que otros elementos pueden tener riesgos para la salud en concentraciones elevadas. La susceptibilidad del ganado depende del tipo y la edad del animal; por ejemplo, las aves son menos tolerantes al consumo de sal que los mamíferos. Las hembras preñadas o lactantes tienen también una tolerancia menor (OAA, 1985). Con respecto a las restricciones en el agua de riego, ha de tenerse muy en cuenta el riego en sí, el tipo de suelo y la estructura y el tipo de cosecha. Así, por ejemplo, las cosechas presentan distintas tolerancias a las sales y pueden ser más o menos sensibles a la toxicidad iónica (OAA, 1985, véase la Tabla 1b).

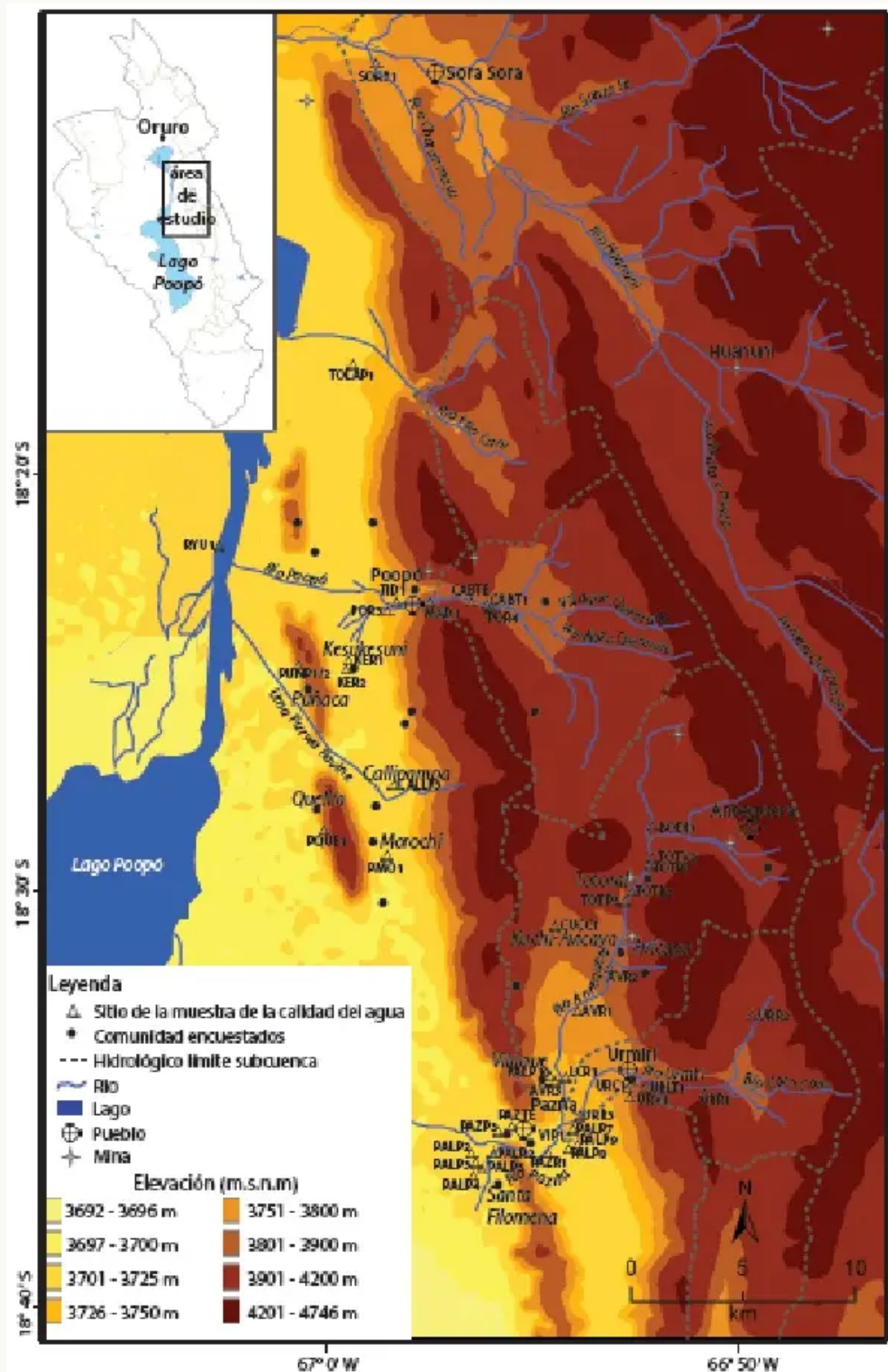


Figura 1 Mapa de elevación (m sobre el nivel del mar) que muestra la zona bajo estudio y todas las ubicaciones de recogida de muestras para el estudio de la calidad del agua (triángulos) y las comunidades estudiadas (círculos) (500 m de resolución, datos de SRTM, 2000). Consulte la Figura 2 para las localizaciones de la comunidad y CCA.

Tabla 1a Límite orientativo de concentraciones de constituyentes acuáticos e indicadores de calidad para: Criterios de Bolivia para las Clases A, B, C y 'D' para aguas receptoras, las directrices de la OMS sobre agua potable (2011a) y los límites recomendados de la OAA (OAA, 1985) para ganado y uso agrícola no restringido del agua. Todos en mg/l salvo el pH, el oxígeno disuelto (OD, % de saturación) y el CE (dS/m). Los valores en negrita indican el valor utilizado para determinar las superaciones (esto es, valores inferiores de la clase A y la OMS).

Parámetro (mg/L a menos que se establezca algo distinto)	Boliviana clase A	Boliviana clase B	Boliviana clase C	Boliviana clase D	OMS directriz	OAA recomendación para el ganado	OAA recomendación para el uso no restringido de riego (véase también el Tabla 1b)
pH	pH 6 – 8.5	pH 6 – 9	pH 6 – 9	pH 6 – 9	pH 6.5 – 8.5	---	pH 6.5 - 8.4
OD, oxígeno disuelto (% de saturación)	>80%	>70%	>60%	>50%	---	---	---
conductividad eléctrica (CE, dS/m) ①	<1.5 dS/m ①	---	---	---	(<0.9 dS/m) <1.5 dS/m ①	<5-8 dS/m (<5 las aves de corral)	<0.7 dS/m (>3 dS/m restricción grave)
Total de sólidos disueltos (TSD)	<b>1000</b>	1000	1500	1500	(600) 1000	5100 (3200)	<450 buena (>2000 restricción grave)
RAS (sin unidades) ②	---	---	---	---	---	---	0-3, CE>0.7 dS/m; 3-6, CE>1.2 dS/m ②
Cl, cloruro	<b>250</b>	300	400	500	250	---	140 (>350 grave) (como la toxicidad de iones)
F, fluoruro	0.6 – 1.7	---	---	---	1.5^	2.0	1.0
NO <sub>3</sub> , nitrato	<b>20</b>	30	50	50	50^	---	5.0 (>30 grave)
SO <sub>4</sub> , sulfato	<b>300</b>	400	400	400	500	---	500
Al, aluminio	<b>0.2</b>	0.5	1.0	1.0	0.2	5.0	5.0
As, arsénico	0.05	0.05	0.05	0.1	<b>0.01</b> ^^	0.2	0.1
B, boro	<b>1.0</b>	1.0	1.0	1.0	2.4^	5.0	0.7 (>3 grave)
Ba, bario	---	---	---	---	0.7^	---	---
Ca, calcio	200	300	300	400	---	---	---
Cd, cadmio	0.005	0.005	0.005	0.005	<b>0.003</b> ^^^	0.05	0.01
Co, cobalto	0.1	0.2	0.2	0.2	---	1.0	0.05
Cr, cromo (III)	<b>0.05</b>	0.6	0.6	1.1	0.05^^	1.0	0.1
Cu, cobre	<b>0.05</b>	1.0	1.0	1.0	2.0^	2.0	0.2
Fe, hierro	<b>0.3</b>	0.3	1.0	1.0	---	---	5.0
K, potasio	---	---	---	---	---	---	---
Li, litio	---	---	---	---	---	---	2.5
Mg, magnesio	<b>100</b>	100	150	150	---	250 (ganado 400)	---
Mn, manganeso	0.5	1.0	1.0	1.0	<b>0.4</b>	---	0.2
Mo, molibdeno	---	---	---	---	0.02	---	0.01
Na, sodio	<b>200</b>	200	200	200	200	---	69 (>206 sgrave (como la toxicidad de iones))
Ni, níquel	<b>0.05</b>	0.05	0.5	0.5	0.07^	---	0.2
Pb, plomo	0.05	0.05	0.05	0.1	<b>0.01</b> ^^	0.1	5.0
Sb, antimonio	<b>0.01</b>	0.01	0.01	0.01	0.02^	---	---
Si, sílice	---	---	---	---	---	---	---
Sn, estaño ③	<b>0.025</b> ③	---	---	---	---	---	---
Zn, zinc	<b>0.2</b>	0.2	5.0	5.0	3.0	24.0	2.0

① En general, se recomienda que el agua potable contenga CE <0,9 dS/m y un máximo de 1,5 dS/m (esto es, <600 ppm TSD y un máximo de 1000 ppm TSD, según las recomendaciones de la OMS (2011a) en cuanto a propiedades de sabor y palatabilidad). No se recomienda para consumo humano el agua con CE >2,5 dS/m y el agua con >10 dS/m se considera no apta para el consumo humano.

② Véase la Tabla 1b; el RAS recomendado por la OAA (1985) para uso de agua de riego no restringido para evitar problemas de infiltraciones depende del CE asociado y del tipo de suelo y las condiciones del mismo.  $RAS = [Na \text{ meq/l}] / ([Ca \text{ meq/l}] + [Mg \text{ meq/l}])^{1/2}$

^ Elemento de importancia para la salud en las directrices de la OMS (2011a). Directrices para otros elementos no incluidos por lo general se refieren a la aceptabilidad de sabor, olor, y descamación. (NB. La directriz Mn se basa en la evaluación del consumo y la Al en el uso de floculación para tratamiento de aguas a pesar de los posibles problemas para la salud).

^^ Valor provisional establecido por la directriz sanitaria de la OMS más elevado (esto es, según valor alcanzable) que el valor inicialmente calculado, que era inferior al nivel de cuantificación alcanzable y al ii) nivel alcanzable mediante tratamiento práctico, etc. (OMS, 2011a).

^^^ Valor provisional establecido por la directriz de la OMS dada la incertidumbre científica (OMS, 2011a).

③ Límite no estatutario recomendado por la Agencia de medio ambiente de Reino Unido (UK Environment Agency) para la protección de la vida acuática.

Tabla 1b Directrices para la evaluación del riesgo por sodio y la infiltración de aguas, así como la toxicidad iónica específica para uso agrícola<sup>1</sup> (OAA, 1985).

Problemas potenciales de riego		Grado de restricción del uso <sup>2</sup>			
Salinidad (afecta a la disponibilidad de agua para las cosechas)*:		Cero	Leve a moderado/a	Grave	
conductividad eléctrica, CE		<0.7 dS/m	0.7 – 3.0 dS/m	>3.0 dS/m	
o total de sólidos disueltos, TSD		<450 mg/L	450 – 2000 mg/L	>2000 mg/L	
Infiltración (relación de agua en suelo)**:					
si RAS =	0 - 3	cuando CE =	>0.7 dS/m	0.7 – 0.2 dS/m	<0.2 dS/m
	3 - 6		>1.2 dS/m	1.2 – 0.3 dS/m	<0.3 dS/m
	6 - 12		>1.9 dS/m	1.9 – 0.5 dS/m	<0.5 dS/m
	12 - 20		>2.9 dS/m	2.9 – 1.3 dS/m	<1.3 dS/m
	20 - 40		>5.0 dS/m	5.0 – 2.9 dS/m	<2.9 dS/m
Toxicidad iónica específica (afecta a las cosechas sensibles)***:					
Na, sodio (mg/L):	El riego por superficie	<69 mg/L (3 meq/L)	69 - 206 mg/L	>206 mg/L (9 meq/L)	
	El riego por aspersión	<69 mg/L (3 meq/L)	>69 mg/L		
Cl, cloruro (mg/L):	El riego por superficie	<140 mg/L (4 meq/L)	140 – 350 mg/L	>350 mg/L	
	El riego por aspersión	<105 mg/L (3 meq/L)	>105 mg/L		
B, boro (mg/L)		<0.7 mg/L	0.7 – 3.0 mg/L	>3.0 mg/L	
Los oligoelementos		Consulte Tabla 1a	Consulte Tabla 1a	Consulte Tabla 1a	
Otros efectos sobre las cosechas susceptibles:					
El nitrógeno en forma de nitrato (NO <sub>3</sub> ) <sup>^</sup>		< 5 mg/L	5 – 30 mg/L	>30 mg/L	
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> ) (sólo aspersores) <sup>^^</sup>		<92 mg/L (1.5 meq/L)	92 – 519 mg/L	>519 mg/L	
pH <sup>^^^</sup>		6.5 – 8.4			

<sup>1</sup> Notas (OAA, 1985)

\*Salinidad: las sales en el suelo o el agua reducen la disponibilidad de agua para el riego de cosechas, lo cual puede afectar al rendimiento agrícola. Si la sal acumulada en las raíces de las cosechas alcanza una cierta concentración, aquellas sufrirán de estrés acuático, reduciéndose el rendimiento agrícola.

\*\*Infiltración de agua: un contenido de Na relativamente alto o un contenido de Ca bajo en el suelo o en el agua reducen y afectan al rendimiento agrícola, aunque la infiltración depende del tipo de suelo y propiedades tales como su estructura. Los problemas de infiltración también pueden originar enfermedades transmitidas por vectores. El agua de baja salinidad puede ser corrosiva y transmitir minerales solubles transmitiendo la infiltración. El agua con una elevada relación de Na:Ca reduce la tasa de infiltración; el agua con un elevado contenido en Na o un contenido bajo en Ca puede debilitar la estructura del suelo.

\*\*\*Toxicidad iónica específica: ciertos iones del suelo o el agua se acumulan en las cosechas dañándolas (provocando, por ejemplo, quemaduras en las hojas) y reduciendo su rendimiento y elevada acumulación. Pero la magnitud de los daños depende de la absorción, la duración de la exposición y la sensibilidad de la propia cosecha. Las cosechas perennes suelen ser más sensibles. El indicador RAS-Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) muestra que el maíz y las judías verdes son cosechas sensibles a la toxicidad del Na (RAS<12, PSI<15), la alfalfa y la cebada son cosechas tolerantes.

<sup>^</sup>Un exceso de nutrientes (p. ej., nitrato, NO<sub>3</sub>) puede causar un crecimiento excesivo y un retraso en la maduración de la cosecha.

<sup>^^</sup>Un contenido elevado de bicarbonato (HCO<sub>3</sub>) o hierro (Fe) en el agua puede dañar las cosechas y ocasionar un mal aspecto de las mismas, reduciendo su comerciabilidad.

<sup>^^^</sup>La corrosión y el deterioro por desequilibrio del pH o alcalino puede aumentar la necesidad de reparación del equipo.

<sup>2</sup> Las restricciones en el rango leve a moderado/a no indican necesariamente que el agua no sea idónea para su uso, sino que podría haber un límite en la selección de la cosecha y/o requisitos especiales de gestión según las condiciones específicas del campo para optimizar los resultados. Un rango grave de uso restringido implica un alto nivel de habilidad de gestión relativo a las condiciones específicas del campo.

Tabla 2 Descripción cualitativa del contenido químico del Calificación de Calidad del Agua (CCA). Nota: la referencia a los elementos químicos excluye elementos de origen industrial, agrícola, petrolífero, etc.

1	Desde un punto de vista químico y biológico, de buena calidad para todos los usos. Sometida al tratamiento de potabilización oportuno.
2	Buena, desde el punto de vista químico, para todos los usos (excluida evaluación de elementos químicos de origen industrial, agrícola y petrolífero), a falta de evaluación microbiológica.
3	Buena, desde un punto de vista químico (conductividad eléctrica, CE, <0,5 dS / m, relación de adsorción de sodio, RAS, <3); reunión de la clase boliviano 'A' criterios con la excepción de un máximo de dos elementos que tienen Organización Mundial de la Salud (OMS) de referencia basado en la salud (se refiere aquí como elementos de importancia para la salud) que a veces superan 'A' criterios (o de la OMS si no 'A' criterios existe) pero no a concentraciones excesivas (es decir, Cociente de Riesgo, CR, elemento de muestra de concentración / Bolivia 'A' criterios = <3), y los factores de aparición ocasional / estacionales (por ejemplo, algunas algas o ligeramente turbia a veces). Buena para el riego pero la infiltración podría causar problemas por la combinación de un bajo CE y RAS. Se requiere evaluación microbiológica. Tratamiento para reducir elementos que superen las directrices recomendadas además de tratamiento básico de potabilización (p.ej., filtración, desinfección).
4	Aceptable desde un punto de vista químico, con CE <0,9 dS/m pero con un máximo de tres elementos que exceden bolivianos 'A' criterios (o de la OMS de referencia si no hay criterios 'A' existe), pero no excesivamente, especialmente para los elementos de importancia para la salud (es decir, CQ <3). Suele provocar preocupación con respecto a la apariencia factores (p.ej., algas, turbidez, partículas en suspensión o material orgánico y/o estancamiento) que sugieren baja calidad microbiológica, especialmente en pozos. Agua generalmente buena para el ganado y no mala para consumo humano con precaución dada la superación desde un punto de vista sanitario y asegurando evaluación microbiológica. Adecuada para el riego pero la infiltración podría causar problemas por la combinación de un bajo CE y RAS. Se precisan evaluación microbiológica y acciones como la limpieza de los depósitos, el bombeo y el tapado de pozos. Tratamiento para reducir elementos que superen las directrices sanitarias recomendadas además de tratamiento básico de potabilización (p.ej., filtración, desinfección).
5	Reducción de la calidad de CCA 4 debido a la mayor conductividad eléctrica (1-2 dS/m), además de cautela sobre el consumo humano debido a (de origen natural) los elementos de importancia para la salud superior 'A' criterios (o directrices de la OMS si no hay criterios 'A' existe), y preocupación por factores de apariencia (p.ej., algas, turbidez, partículas en suspensión o material orgánico y/o estancamiento) que sugiere baja calidad microbiológica. No se recomienda para el consumo humano debido a la CE. Aceptable para la mayoría del ganado y no demasiado malo para el riego, pero la infiltración puede ser un problema si CE <1,2 dS/m cuando RAS 3-6.
6	Los problemas de calidad debido a la excedencia generales de muchos Bolivianos 'A' criterios y con frecuencia 'B-D', por lo tanto, numerosos elementos (minería y / o de origen natural) cociente de riesgo (CR) >1 y, a menudo >5. Puede verse afectada por la infiltración o la migración de agua de la mina, y por lo tanto no se recomienda para el consumo humano por esta razón y debido a la preocupación por el estado microbiano. Puede ser aceptable para el ganado con precaución (dependiendo de los elementos superiores a criteera; posiblemente sólo para los animales tolerantes superiores). Ciertas aguas pueden ser aceptables para el riego, según los elementos CR>1 que contienen, pero la infiltración podría suponer un problema si CE <0,7 dS/m cuando RAS 0-3, CE <1,2 dS/m cuando RAS 3-6, CE <1,9 dS/m cuando RAS 6-12.
7	Agua con elevado contenido natural en sales, de muy baja calidad para el consumo humano (y el ganado con baja tolerancia) y no recomendada para el riego dado el alto contenido en CE (>1,5 dS/m) y TSD (>1000 mg/l) además de con > 2 elementos de importancia para la salud superior a 'A' criterios (o de la OMS de referencia si no hay criterios 'A' existe). Con numerosos elementos CR >1 y posible preocupación por la calidad biológica. No recomendada para su consumo sin tratamiento significativo (p.ej., desalinización, reducción de metales).
8	Agua afectada por actividades mineras. No adecuada para uso alguno por la superación de los criterios 'A-D' para sulfato y >4 metales con altas a muy altas concentraciones (al menos 2 con CR>10), >2 elementos de importancia para la salud superior a 'A' criterios (o de la OMS de referencia si no hay criterios 'A' existe) y alto contenido de CE (>1,5 dS/m). No adecuada para uso alguno sin tratamiento significativo (p.ej., desalinización, reducción de metales).
9	Aguas termales >60 °C. No adecuadas para uso humano, del ganado ni para riego/agricultura dada la elevada concentración natural de sales: CE>8, además de elevados B, F y Sb, que superan las directrices sanitarias de la OMS y elevado Li. Uso recreativo de aguas para baño.
10	Agua fuertemente afectada por la minería. Restricción total para uso humano, en ganado, riego/agricultura dada la superación de los criterios 'A-D' para sulfato y >2 metales con muy elevadas concentraciones (CR>100), >3 metales diversos con CR>5 (>4 metales con de riesgo de salud superior a 'A' criterios), y a menudo elevado nivel de CE (>8). Muchos elementos con CR >100. Aguas que precisan reparación significativa para la reducción de muchos metales con consiguiente desalinización.

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1. Medioambientales**

La zona de estudio se encuentra en la orilla central este del Lago Poopó, ~60 km al sureste de la ciudad de Oruro. Es una región rural ubicada a una altura de ~3700–4750 m por encima del nivel del mar (Figura 1), semiárida, con un índice de pluviosidad relativamente bajo y estacional. El porcentaje total de precipitaciones en el pueblo de Poopó en 2013 fue de 470,8 mm, un ~30% menos que en Oruro en 2013. Casi el 70% de las precipitaciones tienen lugar en diciembre, enero y febrero (véase el Apéndice C, Figura C1). La temperatura media mínima va de ~-3°C en invierno a 7°C en verano, y la máxima de ~15°C en invierno a ~20°C en verano (SENAMHI, 2014). Las bajas precipitaciones y la escasez de agua, junto con las heladas estacionales, la erosión, la salinización del suelo, la compactación del suelo, la pérdida de cubierta vegetal y la pérdida de fertilidad del suelo están limitando las actividades agrícolas.

La geología de la zona de estudio fue cartografiada detalladamente por Sergeotecmin, el departamento geológico nacional (National Geologic Service - Uncia, page no. 6.238). El distrito minero de Antequera se encuentra en esta región. La geología regional incluye rocas plegadas durante la orogenia paleozoica, que forman bandas paralelas en dirección noroeste. Por encima de ellas hay depósitos del período cuaternario que incluyen sedimentos fluviales, sedimentos eólicos y depósitos lacustres que se corresponden con paleolagos que otrora cubrían el altiplano (Argollo and Mourguiart, 2000; Wirmann and Mourguiart, 1995).

Los minerales metálicos son importantes desde un punto de vista económico y han tenido lugar en la zona actividades mineras no reguladas que han afectado al medio ambiente tanto a nivel estético (montículos de residuos) como por contaminación del suelo y el agua. Los depósitos polimetálicos incluyen estaño (Sn), oro (Au), plata (Ag), tungsteno (W), bismuto (Bi), zinc (Zn) y plomo (Pb). Los depósitos minerales en la zona incluyen también metales no ígneos y metaloides como el cobre (Cu) y el antimonio (Sb). El mineral no metálico más abundante es el cloruro de sodio (NaCl), a menudo asociado a elevadas concentraciones de litio (Li), boro (B), potasio (K) y magnesio (Mg). Otros depósitos salinos comunes incluyen yeso, carbonato de potasio, carbonato de sodio y sulfato de sodio (UNEP, 1996).

### **2.2. Socioeconómicos**

Los municipios rurales de Poopó, Pazña y Antequera tienen una población de 6.163, 5.469 y 3.352, respectivamente (Censo de 2001). La vida en la zona bajo estudio depende, en gran medida, de la agricultura (ciertas cosechas) y la ganadería y la minería. Entre 1992 y 2001, hubo un aumento de la actividad agricultora y una reducción de la minera en la zona. En 2001, ~60% de la mano de obra de la zona se dedicaba al sector agrícola y ~12 - 20% al minero (Censo de 2001 en el atlas CAMINAR, 2013).

### 2.3. Uso del agua

Los usos principales del agua en el Lago Poopó son el riego agrícola ( $8,1 \text{ m s}^{-1}$ ), el uso doméstico ( $0,2 \text{ m s}^{-1}$ ), y la minería, la industria y el consumo animal ( $0,5 - 0,6 \text{ m s}^{-1}$ ) (Calizaya, 2009). Se cree que el ~80% de toda el agua utilizada vuelve al sistema (Calizaya et al., 2006). Aunque no hay medidores de agua en las regiones rurales y en las comunidades apartadas no hay sistemas de agua ni registros de uso/extracción, el consumo doméstico de agua en las zonas rurales se estima que va de 5 litros diarios a un máximo de 30 litros diarios (Calizaya et al. 2009).

La mayoría de los hogares en Poopó, Pazña y Antequera obtienen agua para beber y cocinar de redes de traída informales o de pozos subterráneos. Las fuentes de obtención de agua para los hogares se resumen en la Tabla 3. Agua corriente para del pueblo de Poopó y algunas comunidades cercanas (Puñaca, Yuracari, queso Quesuni) se transfiere desde los tanques de almacenamiento (por ejemplo, CABT1, Figura 1) que reciben agua de manantial de la cuenca superior, la cual es tratada con cloro (Felicidad Mamani, el concejal de el municipio de Poopó, com. pers. 02 2015). De forma similar, agua corriente a las comunidades en Antequera y Pazña municipios, que comprende el pueblo de Urmiri, se cree que es transferido de manantiales artesianos / escorrentía pendiente, aunque Pazña Pueblo transfiere agua desde los humedales en la cuenca superior, que se filtra a través de la grava y clorado (Zacarías Ortega, oficial mayor técnico del Municipio de Pazña pers. comm. 02 2015). Comunidades que no reciben agua entubada obtener gran parte de agua (sin tratamiento) de los pozos de agua subterránea, directamente de los manantiales y / o ríos (Tabla 3).

Tabla 3 Tipo de fuente de agua que llega a los hogares (%) en los municipios de Poopó, Pazña y Antequera (Censo de 2001 en Quintanilla et al., 2012).

Fuente de Agua:	Población:	Municipios		
		Poopó	Pazña	Antequera
		6163	5469	3352
Red de abastecimiento o tubo vertical		39.0%	58.6%	48.4%
Entregado por vehículo		0.1%	0.3%	0.0%
Así Subterránea / bomba		40.7%	22.9%	22.3%
Fuente superficial (río / pendiente)		19.7%	16.3%	29.0%
Otra		0.5%	1.9%	0.3%

## 3. METODOLOGÍA

### 3.1. Muestras de campo

La toma de muestras para análisis de cantidad y calidad de agua se llevó a cabo en cuatro períodos: i) 13-16 de agosto de 2013, ii) 16-20 de diciembre de 2013, iii) 7-12 de abril de 2014 y iv) 9-13 de julio de 2014. Se tomaron muestras para análisis de calidad de agua en un total de 45 ubicaciones, incluidas: 1 grifo, 1 tanque de almacenamiento 2 canales de riego, 2 puntos de agua de manantial / pendiente escorrentía, 16 pozos, 18 ríos, 2 puntos de agua de la mina y 3 fuentes de aguas termales.

La ubicación del sitio de la muestra, códigos, el tipo y las fechas de muestra en la Tabla 4 y químicas de datos en el Apéndice A.

Se tomaron las muestras recogiendo agua en un cubo (previamente aclarado tres veces con el agua de muestra). A continuación se dejó el agua reposar durante unos minutos para que se depositaran los materiales en suspensión. Se realizaron mediciones in situ del pH, temperatura, alcalinidad, la conductividad eléctrica (CE), el total de sólidos disueltos (TSD), el potencial de reducción de oxígeno (PRO) y el oxígeno disuelto (OD) tomando muestras del cubo. Se empleó una jeringuilla de 50 ml (enjuagada con agua Milli-Q) para tomar el agua de muestra del cubo. El agua de muestra se introdujo a través de un filtro (de 0,45  $\mu\text{m}$ ) en dos viales de plástico limpios (de 30 ml). Se añadieron varias gotas de ácido nítrico al 50% a un vial para el análisis de cationes. También se prepararon muestras en blanco con agua Milli-Q. Se etiquetaron y sellaron los viales y se guardaron en una caja térmica para su traslado a Reino Unido para su análisis en laboratorio (vea abajo).

La evaluación de cantidad incluyó la medición de los niveles de agua mediante una sonda de nivel estándar en la mayoría de los pozos. Un técnico de SENAMHI realizó las mediciones del flujo fluvial utilizando un medidor de flujo de eje horizontal estándar (SIAP, de 0,05  $\text{ms}^{-1}$  a 5  $\text{ms}^{-1}$ ) en diversas ubicaciones de aguas superficiales entre abril y julio de 2014 (Apéndice B).

### **3.2. Análisis de laboratorio**

Las muestras de agua se enviaron a UCL (Reino Unido) y se análisis químico para 4 aniones (cloro, Cl; flúor, F; nitrato,  $\text{NO}_3$ ; sulfato,  $\text{SO}_4$ ) y 22 cationes (aluminio, Al; arsénico, As; bario, Ba; boro, B; calcio, Ca; cadmio, Cd; cobalto, Co; cromo, Cr; cobre, Cu; hierro, Fe; potasio, K; litio, Li; magnesio, Mg; manganeso, Mn; molibdeno, Mo; sodio, Na; níquel, Ni; plomo, Pb; antimonio, Sb; sílice, Si; estaño, Sn; zinc, Zn) (los resultados en el Apéndice A). Se analizaron los cationes empleando un Espectrómetro de emisión óptica ICP simultáneo Varian 720-ES ICP-OES CCD. Los aniones se analizaron con un Cargador automático de muestras Dionex (Thermo) AS50. Se corrigió la variación entre estándares de los datos sobre las muestras.

Tabla 4 La ubicación del sitio de la muestra, el tipo y las fechas de muestra (véase la Figura 1).

Código	X UTM	Y UTM	Lugar	Tipo	Ago'13	Dic'13	Abr'14	Jul'14
AVR1	721868	7948250	Antequera - Avicaya	río	✓	✓	✓	✓
AVR2	723257	7950256	Antequera - Avicaya	río	✓	✓	✓	✓
AVR3	720873	7945303	Antequera - Avicaya	río	✓	✓	✓	✓
BODI1	725275	7956447	Antequera - Bolivar	canal de río	✓	✓	✓	✓
CABT1	717883	7965960	Poopó - Cabreria	tanque de almacenamiento	✓	✓		✓
CABTE	717192	7966236	Poopó - Cabreria	termal	✓		✓	✓
CALLP3	713792	7958284	Callipampa	pozo	✓		✓	✓
CUCC1	720881	7952032	Kuchi-Avicaya	canal de irrigación / estanque	✓	✓	✓	✓
KER1	711693	7963142	Poopó - Kesukesuni	río		✓		
KER2	711741	7963557	Poopó - Kesukesuni	río			✓	✓
LCR1	721365	7945358	Antequera - Laca Laca	río				✓
MAD1	715384	7966183	Poopó - Machacamaquita	agua de la mina	✓	✓	✓	✓
PALP10	720684	7945357	Vilaque	pozo	✓	✓	✓	✓
PALP2	717228	7941747	Pazña	pozo	✓	✓		
PALP3	717395	7941413	Pazña	pozo	✓	✓	✓	✓
PALP4	717278	7940974	Pazña	pozo	✓	✓	✓	✓
PALP5	717660	7940927	Pazña	pozo	✓	✓		
PALP7	721495	7942739	Pazña	pozo	✓	✓	✓	✓
PALP8	721565	7942213	Pazña	pozo	✓	✓	✓	✓
PALP9	721696	7942283	Pazña	pozo	✓	✓		
PALR2	718182	7942031	Pazña	río	✓	✓	✓	✓
PAZP3	718347	7942945	Pazña	pozo	✓	✓	✓	✓
PAZR1	720513	7941972	Pazña	río	✓	✓	✓	✓
PAZTE	718945	7943143	Pazña	termal	✓	✓	✓	✓
PMO1	713483	7955167	Callipampa - Morochi	pozo			✓	✓
POR3	713497	7965976	Poopó	río	✓	✓	✓	✓
POR4	717866	7965991	Poopó	río			✓	✓
PQUE1	710738	7956331	Callipampa - Quellia	pozo			✓	✓
PUNP1	709557	7963756	Poopó - Puñaca	grifo			✓	✓
PUNP2	709682	7963601	Poopó - Puñaca	pozo			✓	✓
RYU1	706180	7968784	Poopó River - Lake Poopó	río / lago			✓	✓
SORR1	713078	7990305	Sora Sora	río	✓	✓	✓	✓
TID1	713941	7966300	Poopó - Tiahunacu	agua de la mina	✓	✓	✓	✓
TOLAP1	711966	7976804	Tolapampa	pozo	✓	✓	✓	✓
TOTP5	724069	7953180	Antequera - Totoral	pozo		✓	✓	
TOTR1	724723	7954208	Antequera - Totoral-Martha	río	✓	✓	✓	✓
TOTR2	723994	7953177	Antequera - Totoral	río	✓	✓	✓	✓
TOTV2	725130	7954922	Antequera - Totoral-Martha	agua de manantial / pendiente escorrentía	✓	✓	✓	✓
URC1	724127	7944804	Urmiri	canal de riego	✓	✓	✓	✓
URLT1	724880	7944826	Urmiri	termal	✓	✓	✓	✓
URR1	727604	7944725	Urmiri	río	✓	✓	✓	✓
URR2	729627	7948149	Urmiri - Talaco	río		✓	✓	✓
URR3	721998	7943603	Urmiri	río	✓	✓	✓	✓
URV1	724170	7944497	Urmiri	agua de manantial / pendiente escorrentía	✓	✓	✓	✓
VIP1	720258	7942289	Pazña	pozo				✓

#### 4. RESUMEN DEL ESTADO DE LA CALIDAD DEL AGUA

La Figura 2 proporciona un mapa que resume la Clasificación de Calidad de Agua (CCA) actual de los 45 puntos muestreados en este estudio (los códigos de punto en la Figura 1). Aquí resumimos la situación con respecto al consumo humano y se recomienda el tratamiento de potabilización necesario. La tabla 5 da acciones recomendadas de carácter general en base a la CCA. La tabla 6 resume para cada punto la CCA, aptitud para consumo humano, ganado y riego, y también proporciona acciones específicas recomendadas para cada punto. En todo caso i) se requiere una evaluación microbiana de las fuentes utilizadas para el consumo humano, ii) se debe bombear los pozos previamente y mejorar las cubiertas cuando sea posible, iii) se recomienda la recolección de agua de lluvia.

Trece puntos (29% del total) fueron clasificados como CCA <6 (véase la Figura 2). Sólo uno (PUNP1), el agua del grifo en la escuela de Puñaca, se determinó como CCA 2 y aceptable químicamente para el consumo humano sin restricción de uso o preocupación por los elementos evaluados (pendiente de evaluación microbiana). Cinco puntos fueron clasificados como CCA 3: aguas arriba del río Poopó (POR4) y el tanque de almacenamiento (CABT1), aguas arriba del río Urmiri (URR2 y URR1) y un canal de riego en Kuchi-Avicaya (CUCC1). Cuatro pozos fueron clasificados como CCA 4: en Tolapampa (TOLAP1), Callipampa (CALLP3), Morochi (PMO1) y cerca Vilaque (PALP10). Tres sitios fueron clasificados como CCA 5 (el pozo PUNP2 en Puñaca, la ladera URV1 encima de pueblo de Urmiri, y URR3 aguas abajo en el río Urmiri) (Figuras 2 y 1, datos en el Apéndice A).

Para todos los puntos con CCA 3 se debe tener precaución con la concentración de flúor y la (no excesiva) concentración de antimonio, así como con el oxígeno disuelto a veces bajo y/o algas, que sugieren una calidad bacteriana potencialmente pobre. Los puntos con CCA 4 se consideran de ligeramente peor calidad por estas razones, pero también ya sea por la presencia de un elemento adicional de importancia para la salud (p. ej., arsénico o cadmio) que excede los criterios de la clase 'A', o porque la conductividad eléctrica (CE) es más alta que la del rango superior de recomendaciones para el agua potable (es decir, CE ~ 0,8 dS/m). El agua de los puntos con CCA 5 también parece estar afectada por contaminación natural (incluyendo la superación de los criterios 'A' para el boro), y tiene valores de CE mayores que los que exceden los recomendados para el agua potable (es decir, 1-2 dS/m). La química de las aguas termales locales (véase más adelante) sugiere que muchos de los elementos y sales excedentes en los puntos con CCA 3, 4 y 5

son de origen natural (especialmente flúor y antimonio). La relativamente buena calidad de los puntos de la cuenca alta de los ríos Poopó y Urmiri (POR4 y URR2 / URR1, respectivamente), especialmente en comparación con los puntos de los ríos aguas abajo (POR3 y PAZR1, véase más adelante), ilustra el estado natural de los ríos sin la influencia de la actividad minera. La posibilidad de obtener más agua de alrededor de estas fuentes debe ser investigada, sobre todo en el caso de los ríos, debido a que la captación aguas arriba puede impedir que las aguas pasen por las zonas afectadas por las minas y que se contamine. También se recomienda la recolección de agua de lluvia para complementar la demanda de agua. La Tabla 5 resume las acciones recomendadas para cada punto. En general, los puntos con CCA 3 y 4 requieren la evaluación de la calidad del agua en lo referente a la contaminación microbiana, y se recomienda el tratamiento para reducir las concentraciones de los elementos de importancia para la salud: flúor, antimonio y, ocasionalmente, arsénico y cadmio (consulte la Sección 8.1.2), junto con un tratamiento de potabilización estándar si se utiliza para el consumo humano (Sección 8.1.1). Mientras que la CCA 5 además tiene valores de conductividad eléctrica superiores a los recomendados para el uso como agua potable.

Cuatro puntos fueron clasificados como CCA 6: un pozo en una granja (VIP1) al oeste de Pazña, una fuente / escorrentía de ladera cerca de Totoral (TOTV2), KER1 en el río Kesukesuni y el LCR1 en el río Laca Laca (Figura 2). La calidad del agua en estos sitios es más pobre que los sitios con CCA inferiores debido a la superación de los criterios 'A' para los elementos de importancia para la salud (por ejemplo, flúor, arsénico, antimonio y en algunos casos cadmio), pero también debido a la superación de los criterios para otros cuantos elementos (p. ej., manganeso, zinc, aluminio y/o hierro) que pueden sugerir cierta infiltración/migración del agua afectada por las minas. En principio no se recomienda su tratamiento ya que el foco continuaría (y posiblemente empeore), por lo tanto lo que se aconseja es la identificación del foco contaminante y su posterior prevención y control (por ejemplo, la minería aguas arriba). Así, la recomendación es primar la recolección de agua de lluvia u otras fuentes de agua potable frente al uso de los puntos descritos anteriormente.

Diez puntos fueron clasificados como CCA 7: RYU1 en el lago Poopó, la acequia URC1 en Urmiri, el pozo PQUE1 cerca de Quellía, y los pozos PALP2/3/4/5/7/8/9 cercanos a Santa Filomena y al pueblo de Pazña (Figura 2). En estos puntos se considera que el contenido natural de sales es alto: conductividad eléctrica >2 dS/m siendo altos el sodio, cloro, boro y a veces, el litio. Además, estos sitios suelen superar los criterios 'A'

para los elementos de importancia para la salud como flúor, antimonio o cadmio. Las concentraciones de nitrato son muy altas en el pozo PALP7. Los pozos PALP2/3/4/5 también exceden los criterios 'A' para el arsénico y sulfato, y PALP3 y PALP4 tienen manganeso alto, lo que podría sugerir la posibilidad de que exista una migración de agua de mina al agua subterránea en esta área. Por lo tanto, los puntos con CCA 7 requerirían cualquier tratamiento previo necesario y la posterior desalinización con el fin de alcanzar la calidad de agua potable. Todos los pozos deben ser bombeados antes de su uso y muestreo, y se aconseja mejorar las cubiertas de los mismos donde sea oportuno (acciones en la sección 8). Se debe hacer un análisis de la calidad del agua para evaluar la contaminación microbiana en cualquier pozo que se utilice para cualquier tipo de consumo a pesar del incumplimiento de las directrices. En particular PALP7 no debería utilizarse sin un tratamiento para la concentración muy alta de nitrato, y lo mismo puede aplicarse en PALP2/3/4/5 para el arsénico.

Se clasificaron once sitios como CCA 8: ubicaciones con agua afectada por la actividad minera con elevados niveles de sulfato y muy elevados niveles de metales y metaloides. Aquí se incluyen i) el Río Poopó aguas abajo (POR3), con muy elevados niveles de CE (8 dS/m), zinc, cadmio y sodio y elevados niveles de cloro, boro y manganeso, ii) el Río Kesukesuni (KER2), con muy elevados niveles de zinc, cadmio y hierro y elevados niveles de CE, boro, manganeso, antimonio, flúor, litio, sodio, cloro y sulfato, iii) todas las ubicaciones del Río Antequera (BODI1, TOTR1, TOTR2, AVR2, AVR1, AVR3 y un pozo TOTP5), con extremadamente elevadas concentraciones de zinc, hierro, aluminio y cadmio ( $CR > 100$ ) y elevadas concentraciones de CE, manganeso, cobre, níquel, flúor, sulfato y a veces antimonio y plomo; y iv) la parte subsiguiente del curso del Río Antequera hasta su llegada a las ubicaciones del Río Pazña (PAZR1, PALR2), que presentan niveles extremadamente altos de zinc, aluminio, cadmio y manganeso, y también elevadas concentraciones de sulfato, cobre, hierro, níquel, antimonio y cobalto (Figura C3, Apéndice C). Es necesario controlar la actividad minera río arriba (y las prácticas artesanas en el río), incluida la retirada/contención de los detritus y residuos mineros para evitar que entren en contacto con el agua (evitar la generación inicial y continua de drenaje ácido de mina, DAM) y la contención de DAM/aguas de minería de tratamiento es necesaria para evitar la sobrecarga de metales en los ríos, puesto que estos podrían también infiltrarse en las aguas subterráneas.

Las tres ubicaciones termales (CABTE, PAZTE y URLT1) y un pozo (PAZP3) en los que se recogieron muestras para el estudio se clasificaron como CCA 9, y todos ellos mostraban una firma química similar; con niveles extremadamente altos de CE (6-18 dS/m), TSD, sodio, cloro y muy altos niveles de boro y altos niveles de litio, flúor y antimonio, y a veces de hierro. El pozo PAZP3 también contiene elevadas concentraciones de arsénico y manganeso. Ello sugiere que el boro, el litio, el flúor y el antimonio están presentes de forma natural en otras aguas de la región, y

también en otras aguas termales y no termales. Estas aguas son de mineralización alta y solo son adecuadas para el baño.

Las ubicaciones con concentraciones de residuos mineros (MAD1 y TID1) y el río de la ubicación SORR1 se clasificaron como CCA 10. Sus aguas, muy contaminadas por drenajes ácidos de minas, no son adecuadas para uso alguno dada la concentración de metales y metaloides  $CR > 10$  y su pH ácido y contenido de  $CE > 10$ . Estas aguas deben contenerse para evitar la contaminación subsiguiente de las aguas subterráneas o de superficie locales; y las operaciones mineras deben seguir la legislación medioambiental y las prácticas mejoradas de gestión medioambiental. La reparación de aguas afectadas por residuos mineros y contaminadas requiere un tratamiento preciso y debe buscarse consejo y evaluación profesional.

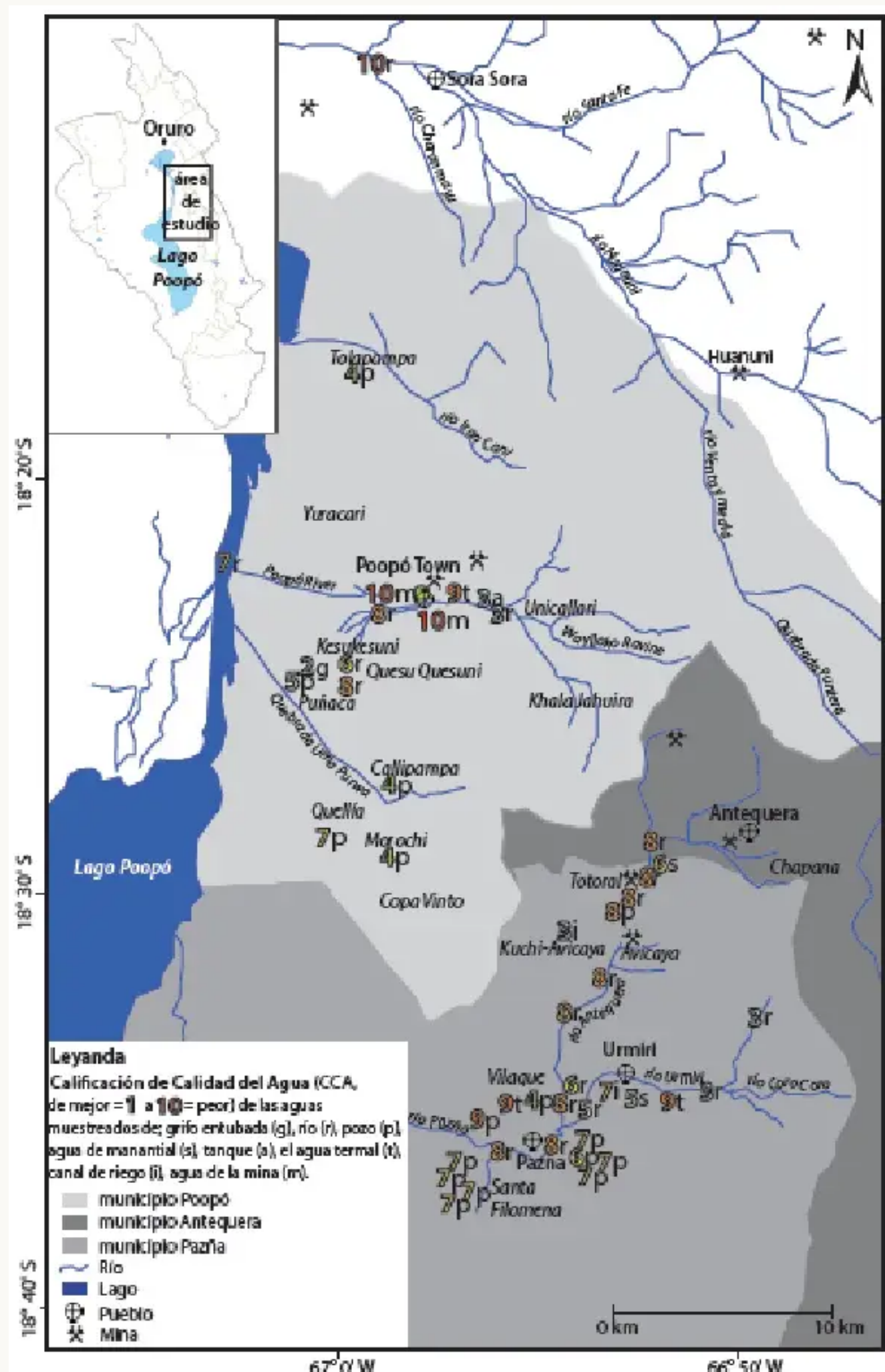


Figura 2 Mapa de la zona bajo estudio que muestra el CCA de cada ubicación en 2013-2014 (véanse los códigos de ubicación en la Figura 1 y el resumen del estado y las acciones recomendadas en la Table 5), donde CCA hace referencia a la calidad química del agua, que va de excelente (1) a pésima (10) (véase la descripción del CCA en la Tabla 2).

Table 5 Resumen del estado químico para su uso y de las acciones recomendadas en base a los datos químicos sobre el agua de 2013–2014 (véanse los datos específicos de cada ubicación en el Apéndice A).

✓ Químicamente aceptable para su uso. Cumple con los valores más bajos de los criterios 'A' o de la directriz de la OMS (véase la Tabla 1a) y  $CE < 0,9$  dS/m.

+ Químicamente aceptable para su uso con precaución con respecto a los metales mencionados (aparición ocasional de los elementos entre paréntesis) puesto que superan los valores de los criterios de 'A' en las muestras de 2013–2014. La referencia al RAS se emplea para indicar los problemas potenciales de infiltración en suelo (véase la Tabla 1b). Tratamiento recomendado de los elementos mencionados. El estaño (Sn) no se incluye, porque se conoce la existencia de los criterios de Bolivia ni de las directrices de la OMS.

× No aceptable para su uso sin tratamiento. Supera los criterios 'A' en >75% de las muestras de 2013–2014 y, en general, presenta  $CE > 1,5$  dS/m (véanse los datos específicos de cada ubicación en el Apéndice A).

✗ No aceptable para su uso. Supera los criterios 'A' por un factor de al menos 10 (esto es,  $CR > 10$ ) para muchos elementos y, generalmente, presenta  $CE > 8$  dS/m. Precisa tratamiento significativo para alcanzar potabilidad.

Sitio (tipo)	Ubicación	CCA (2013 – 2014)	Aceptabilidad química para su uso (limitaciones dadas para CCA <5 por metales observadas y conductividad eléctrica (CE) como el contenido de sal (entre paréntesis ocasionales).			Acción 1	Acción 2	Acción 3
			Consumo humano	Para el ganado	Para riego (no restringido)			
SORR1 (río)	Sora Sora	10	✗	✗	✗	Contener agua de origen minero para tratamiento futuro. Controlar los vertidos o las infiltraciones de aguas de origen minero manteniéndolas alejadas de los ríos (mediante canales o diques).	Retirar y/o contener los desperdicios/residuos de origen minero, manteniéndolos alejados de todas las fuentes de agua (incluida el agua pluvial) para evitar infiltraciones y la generación de DAM.	Recuperación del agua de origen minero para DAM contenidos y que se filtren constantemente desde las salidas de las minas. Tratamiento de los DAM que se filtren constantemente desde vertederos no aislados.
TOLAPI (pozo)	Tolapampa	4	+ F, Sb (Cd)	+ F	+ F, RAS	Evaluación microbiológica (bombeo previo antes de la obtención de la muestra). Recoger el agua pluvial para cubrir la demanda de agua.	Mejorar el tapado de los pozos. Bombeo a conciencia antes de su uso y filtrado de toda el agua del pozo antes de su consumo.	Tratamiento para F, Sb (y Cd) para consumo humano. Se requiere tratamiento estándar de potabilización.
POR4 (río)	Poopó	3	+ Sb	✓	+ RAS	Recoger el agua pluvial para cubrir la demanda de agua.	Evaluación microbiológica. Tratamiento estándar de potabilización y tratamiento para Sb.	Bombar el agua del río (o realizar perforaciones o excavar agujeros) antes de que el agua río abajo se contamine.
CABT1 (tanque)	Poopó	3	+ F (Sb)	+ F	+ F, RAS	Evaluación microbiológica. Limpiar el depósito, nuevas tuberías/depósito, si fuera necesario.	Investigar otras fuentes de agua en la zona y recoger el agua pluvial.	Tratamiento estándar de potabilización y tratamiento para F (y Sb).
CABTE (termal)	Poopó	9	✗	✗	✗	Solo para baño.	Evitar la entrada de aguas termales en los ríos.	---
MAD1 (agua de la mina)	Poopó	10	✗	✗	✗	Contener las aguas procedentes de tratamientos futuros. Control de las descargas de agua de minas o la infiltración lejos de los ríos (a través de zanjas / canales).	Retire y / o contener residuos de la mina y escombreras, aislar de todas las fuentes de agua (incluyendo la lluvia) para evitar la infiltración y la generación de DAM.	Las aguas procedentes de remediación para contenida DAM y continuó DAM de las salidas de la mina. Tratamiento de la continua DAM de relaves / botín no aisladas.
TID1 (agua de la mina)	Poopó	10	✗	✗	✗	Véase MAD1	Véase MAD1	Véase MAD1
POR3 (río)	Poopó	8	✗	✗	✗	Véase MAD1	Véase MAD1	Véase MAD1. Posible bombeo de aguas subterráneas de río arriba para reducir el nivel de agua y, por ende, el flujo del río.
RYU1 (río/lago)	Lago Poopó	7	✗	✗	✗	Desalinización (incluida reducción de B, Sb, Cd, F).	---	---

La Table 5 sigue en las siguientes 4 páginas.

Sitio (tipo)	Ubicación	CCA (2013 – 2014)	Aceptabilidad química para su uso (limitaciones dadas para CCA <5 por metales observadas y conductividad eléctrica (CE) como el contenido de sal (entre paréntesis ocasionales)).			Acción 1	Acción 2	Acción 3
			Consumo humano	Para el ganado	Para riego (no restringido)			
KER1 (rio)	Kesukesuni	6	×	+ F	×	Recoger las aguas pluviales. Nota: preocupación por la baja calidad del agua en la ubicación adyacente KER2 y ausencia de datos para KER1.	Investigar la posible migración de agua de mina.	Desalinización y tratamiento para Sb, F, B, y Zn si se emplea para consumo humano, y requiere evaluación microbiológica y tratamiento estándar de potabilización.
KER2 (rio)	Kesukesuni	8	×	×	×	Contener agua de origen minero para tratamiento futuro. Controlar los vertidos o las infiltraciones de aguas de origen minero manteniéndolas alejadas de los ríos (mediante canales o diques).	Retirar y/o contener los desperdicios/residuos de origen minero, manteniéndolos alejados de todas las fuentes de agua (incluida el agua pluvial) para evitar infiltraciones y la generación de DAM.	Recuperación del agua de origen minero para DAM contenidos y que se filtren constantemente desde las salidas de las minas. Tratamiento de los DAM que se filtren constantemente desde vertederos no aislados.
PUNP1 (grifo)	Puñaca	2	✓	✓	✓	Evaluación microbiana.	Recoger el agua pluvial para cubrir la demanda de agua.	---
PUNP2 (pozo)	Puñaca	5	×	✓	+ F, B, Mn	Recoger el agua pluvial para cubrir la demanda de agua.	Tratamiento para F, Mn, Sb y As (estación de lluvias). Se requieren evaluación microbiológica (bombeo a conciencia antes de la recogida de muestras) y tratamiento estándar de potabilización.	Investigar la existencia de otras aguas subterráneas profundas en la zona.
CALLP3 (pozo)	Callipampa	4	+ (F, B)	✓	+ (F, B) RAS	Recoger el agua pluvial para cubrir la demanda de agua.	Tratamiento para F. Se requieren evaluación microbiológica (bombeo a conciencia antes de la recogida de muestras) y tratamiento estándar de potabilización.	Investigar la existencia de otras aguas subterráneas profundas en la zona.
PQUE1 (pozo)	Quellía	7	×	✓	×	Recoger el agua pluvial para cubrir la demanda de agua.	Desalinización y tratamiento para F, As y B. Si se utiliza para suministro, se requieren evaluación microbiológica (bombeo a conciencia antes de la recogida de muestras) y tratamiento estándar de potabilización.	Investigar la existencia de otras aguas subterráneas profundas en la zona.
PMO1 (pozo)	Morochi	4	+ (As, F, Sb)	✓	+ (F) RAS	Recoger el agua pluvial para cubrir la demanda de agua.	Tratamiento para la F, As y Sb. Evaluación microbiológica (bombeo a conciencia antes de la obtención de la muestra) y tratamiento estándar de potabilización si se emplea para consumo humano.	Investigar las aguas subterráneas en esta zona.
BODI1 (canal de rio)	Antequera - Bolivar	8	×	×	×	Contener agua de origen minero para tratamiento futuro. Controlar los vertidos o las infiltraciones de aguas de origen minero manteniéndolas alejadas de los ríos (mediante canales o diques).	Retirar y/o contener los desperdicios/residuos de origen minero, manteniéndolos alejados de todas las fuentes de agua (incluida el agua pluvial) para evitar infiltraciones y la generación de DAM.	Recuperación del agua de origen minero para DAM contenidos y que se filtren constantemente desde las salidas de las minas. Tratamiento de los DAM que se filtren constantemente desde vertederos no aislados.

Sitio (tipo)	Ubicación	CCA (2013 – 2014)	Aceptabilidad química para su uso (limitaciones dadas para CCA <5 por metales observadas y conductividad eléctrica (CE) como el contenido de sal (entre paréntesis ocasionales).			Acción 1	Acción 2	Acción 3
			Consumo humano	Para el ganado	Para riego (no restringido)			
TOTV2 (manantial / pendiente)	Antequera – Totoral Martha	6	×	+ F	+ F, RAS	Recoger el agua pluvial para cubrir la demanda de agua.	Desviación del agua de origen minero afectada para evitar infiltraciones a las aguas subterráneas, etc.	Si se emplea para usos potables, tratamiento para F, As, Sb, Cd y Zn. Se requieren evaluación microbiológica y tratamiento estándar de potabilización.
TOTR1 (río)	Antequera – Totoral Martha	8	×	×	×	Contener agua de origen minero para tratamiento futuro. Controlar los vertidos o las infiltraciones de aguas de origen minero manteniéndolas alejadas de los ríos (mediante canales o diques).	Retirar y/o contener los desperdicios/residuos de origen minero, manteniéndolos alejados de todas las fuentes de agua (incluida el agua pluvial) para evitar infiltraciones y la generación de DAM.	Recuperación del agua de origen minero para DAM contenidos y que se filtren constantemente desde las salidas de las minas. Tratamiento de los DAM que se filtren constantemente desde vertederos no aislados. Posible bombeo de aguas subterráneas de río arriba para reducir el nivel de agua y, por ende, el flujo del río.
TOTR2 (río)	Antequera – Totoral	8	×	×	×	Véase TOTR1.	Véase TOTR1.	Véase TOTR1.
TOTP5 (pozo)	Antequera – Totoral Martha	8	×	×	×	Contener agua de origen minero para tratamiento futuro. Controlar los vertidos o las infiltraciones de aguas de origen minero manteniéndolas alejadas de los ríos (mediante canales o diques).	Retirar y/o contener los desperdicios/residuos de origen minero, manteniéndolos alejados de todas las fuentes de agua (incluida el agua pluvial) para evitar infiltraciones y la generación de DAM.	Recuperación del agua de origen minero para DAM contenidos y que se filtren constantemente desde las salidas de las minas. Tratamiento de los DAM que se filtren constantemente desde vertederos no aislados.
CUCC1 (canal de irrigación / estanque)	Kuchi-Avicaya	3 canal, estanque no conocida	+ F	✓	+ F, RAS	Recoger el agua pluvial para cubrir la demanda de agua.	Limpiar el depósito e instalar una tapa enrollable para evitar las pérdidas por evaporación. Tratamiento para F si se utiliza para consumo humano	Investigar las fuentes de agua río arriba que desembocan en el canal que alimenta el depósito.
AVR2 (río)	Antequera - Avicaya	8	×	×	×	Contener agua de origen minero para tratamiento futuro. Controlar los vertidos o las infiltraciones de aguas de origen minero manteniéndolas alejadas de los ríos (mediante canales o diques).	Retirar y/o contener los desperdicios/residuos de origen minero, manteniéndolos alejados de todas las fuentes de agua (incluida el agua pluvial) para evitar infiltraciones y la generación de DAM.	Recuperación del agua de origen minero para DAM contenidos y que se filtren constantemente desde las salidas de las minas. Tratamiento de los DAM que se filtren constantemente desde vertederos no aislados.
AVR1 (río)	Antequera - Avicaya	8	×	×	×	Contener agua de origen minero para tratamiento futuro. Controlar los vertidos o las infiltraciones de aguas de origen minero manteniéndolas alejadas de los ríos (mediante canales o diques).	Retirar y/o contener los desperdicios/residuos de origen minero, manteniéndolos alejados de todas las fuentes de agua (incluida el agua pluvial) para evitar infiltraciones y la generación de DAM.	Recuperación del agua de origen minero para DAM contenidos y que se filtren constantemente desde las salidas de las minas. Tratamiento de los DAM que se filtren constantemente desde vertederos no aislados.

Sitio (tipo)	Ubicación	CCA (2013 – 2014)	Aceptabilidad química para su uso (limitaciones dadas para CCA <5 por metales observadas y conductividad eléctrica (CE) como el contenido de sal (entre paréntesis ocasionales).			Acción 1	Acción 2	Acción 3
			Consumo humano	Para el ganado	Para riego (no restringido)			
AVR3 (rio)	Antequera - Avicaya	8	×	×	×	Contener agua de origen minero para tratamiento futuro. Controlar los vertidos o las infiltraciones de aguas de origen minero manteniéndolas alejadas de los ríos (mediante canales o diques).	Retirar y/o contener los desperdicios/residuos de origen minero, manteniéndolos alejados de todas las fuentes de agua (incluida el agua pluvial) para evitar infiltraciones y la generación de DAM.	Recuperación del agua de origen minero para DAM contenidos y que se filtren constantemente desde las salidas de las minas. Tratamiento de los DAM que se filtren constantemente desde vertederos no aislados.
PALP10 (pozo)	Vilaque	4	×	+ F	+ F, Mn	Evaluación microbiológica (bombeo a conciencia antes de la obtención de la muestra).	Mejorar la tapa del pozo, instalar una bomba para obtener agua a mayor profundidad.	Tratamiento para F y Mn si se utiliza para consumo humano. Se requiere tratamiento estándar de potabilización.
LCR1 (rio)	Laca Laca	6	×	+ Zn	×	Evaluación microbiológica. Recoger el agua pluvial como alternativa para cubrir la demanda de agua.	Investigar la posible migración de agua de mina; determinar la fuente de altos niveles de Zn, Ni y Cd. Control de fuentes/migración.	Se requiere tratamiento para muy elevadas concentraciones de Zn y para Ni y Cd si se emplea para uso humano seguido de un tratamiento estándar de potabilización.
URR2 (rio)	Urmiri - Talaco	3	+ (F, Sb)	+ F	+ RAS, F	Evaluación microbiológica si se emplea para consumo humano.	Tratamiento para F y Sb si se utiliza para consumo humano	Investigar las aguas subterráneas en esta zona.
URR1 (rio)	Urmiri	3	+ (F)	+ (F)	+ RAS, F	Evaluación microbiológica si se emplea para consumo humano.	Tratamiento para F si se utiliza para consumo humano.	Investigar las aguas subterráneas en esta zona.
URLT1 (termal)	Urmiri	9	×	×	×	Solo para baño.	Evitar la entrada de aguas termales en los ríos.	---
URV1 (manantial / pendiente)	Urmiri	5	×	+ F	+ RAS, F, B	Recoger el agua pluvial para cubrir la demanda de agua.	Evaluación microbiológica, desalinización y tratamiento para F, B y Sb si se emplea para consumo humano.	Utilizar fuentes río arriba no afectadas por las filtraciones de aguas termales.
URC1 (canal de irrigación)	Urmiri	7	×	+ F	×	Recoger el agua pluvial para cubrir la demanda de agua.	Evaluación microbiológica, desalinización y tratamiento para F, B y Sb si se emplea para consumo humano.	Utilizar fuentes río arriba no afectadas por las filtraciones de aguas termales.
URR3 (rio)	Urmiri	5	×	+ F	+ F (CE)	Recoger el agua pluvial para cubrir la demanda de agua.	Evaluación microbiológica, desalinización y tratamiento para F si se emplea para consumo humano.	Utilizar fuentes río arriba no afectadas por las filtraciones de aguas termales.
VIP1 (pozo)	Pazña	6	×	✓	+ B, Mn	Evaluación microbiológica (bombeo a conciencia antes de la obtención de la muestra). Tapar el pozo.	Investigar la posible migración de agua de mina.	Tratamiento para Cd, As y Mn, y tratamiento estándar de potabilización si se emplea para consumo humano.
PALP7 (pozo)	Pazña	7	×	+ B, F	×	Recoger el agua pluvial para cubrir la demanda de agua. Mejorar el tapado de los pozos.	Desalinización y tratamiento para NO <sub>3</sub> , F y B si se utiliza para consumo humano o animal (especialmente NO <sub>3</sub> ).	Se requieren evaluación microbiológica (bombeo a conciencia antes de la recogida de muestras) y tratamiento estándar de potabilización si se emplea para consumo humano.

Sitio (tipo)	Ubicación	CCA (2013 – 2014)	Aceptabilidad química para su uso (limitaciones dadas para CCA <5 por metales observadas y conductividad eléctrica (CE) como el contenido de sal (entre paréntesis ocasionales).			Acción 1	Acción 2	Acción 3
			Consumo humano	Para el ganado	Para riego (no restringido)			
PALP8 (pozo)	Pazña	7	×	+ B, F	×	Recoger el agua pluvial para cubrir la demanda de agua.	Desalinización y tratamiento para F y B si se utiliza para consumo humano	Se requieren evaluación microbiológica (bombeo a conciencia antes de la recogida de muestras) y tratamiento estándar de potabilización si se emplea para consumo humano.
PALP9 (pozo)	Pazña	7	×	+ B, F	×	Recoger el agua pluvial para cubrir la demanda de agua. Mejorar el tapado de los pozos.	Como PALP8	Como PALP8
PAZR1 (rio)	Pazña	8	×	×	×	Contener agua de origen minero río arriba para tratamiento futuro. Controlar los vertidos o las infiltraciones de aguas de origen minero manteniéndolas alejadas de los ríos (mediante canales o diques).	Retirar y/o contener los desperdicios/residuos de origen minero, manteniéndolos alejados de todas las fuentes de agua (incluida el agua pluvial) para evitar infiltraciones y la generación de DAM.	Recuperación del agua de origen minero para DAM contenidos y que se filtren constantemente desde las salidas de las minas. Tratamiento de los DAM que se filtren constantemente desde vertederos no aislados.
PALR2 (rio)	Pazña	8	×	×	×	Contener agua de origen minero río arriba para tratamiento futuro. Controlar los vertidos o las infiltraciones de aguas de origen minero manteniéndolas alejadas de los ríos (mediante canales o diques).	Retirar y/o contener los desperdicios/residuos de origen minero, manteniéndolos alejados de todas las fuentes de agua (incluida el agua pluvial) para evitar infiltraciones y la generación de DAM.	Recuperación del agua de origen minero para DAM contenidos y que se filtren constantemente desde las salidas de las minas. Tratamiento de los DAM que se filtren constantemente desde vertederos no aislados.
PAZTE (termal)	Pazña	9	×	×	×	Solo para baño.	Evitar la entrada de aguas termales en los ríos.	---
PAZP3 (pozo)	Pazña	9	×	×	×	Utilizar otros pozos y recoger el agua pluvial para cubrir la demanda de agua.	Como aguas termales, CE>15. Desalinización significativa y tratamiento para reducir B, F, As, Li, Mn, Pb, Sb.	---
PALP2 (pozo)	Pazña	7	×	+ F	×	Mejorar el tapado del pozo y bombear antes de su uso. Recoger el agua pluvial para cubrir la demanda de agua.	Desalinización y tratamiento para F, B, As y Sb si se emplea para consumo humano.	Se requieren evaluación microbiológica (bombeo a conciencia antes de la recogida de muestras) y tratamiento estándar de potabilización si se emplea para consumo humano.
PALP3 (pozo)	Pazña	7	×	×	×	Mismo que PALP2	Desalinización y tratamiento para F, B, As, Mn, Sb y Cd si se emplea para consumo humano.	Mismo que PALP2
PALP4 (pozo)	Pazña	7	×	+ F	×	Mismo que PALP2	Desalinización y tratamiento para F, B, As, Mn y Cd si se emplea para consumo humano.	Mismo que PALP2
PALP5 (pozo)	Pazña	7	×	×	×	Mismo que PALP2	Desalinización y tratamiento para As, F, B y Sb si se emplea para consumo humano. Particularmente alta arsénico.	Mismo que PALP2

Table 6 Acciones generalizadas recomendada frente al CCA

		CCA									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PRIORIZADA ACCIÓN RECOMENDADA	1	N/A	Evaluación microbiológica de las fuentes de agua para consumo humano y del ganado.			No para el consumo humano sin tratamiento significativo (consulte adelante)					
	2	N/A	Cubrir, limpieza y reemplazo de tanques, tuberías, canales, etc.								
	3	N/A	El tratamiento estándar para el agua potable (desinfección, filtración, etc.).								
	4	N/A	N/A	El tratamiento para la F (en algunos casos Aa, Sb).							
	5	Recolección de agua de lluvia para complementar el suministro de agua (requiere algún tratamiento después de la recolección).									
	6	Investigar fuentes (por ejemplo, el suministro adicional de ubicaciones aguas arriba) y mejorar la captura de la escorrentía y la primavera de descarga antes de la fuente de contaminación antropogénica (por ejemplo, la actividad minera) y natural (por ejemplo, zonas de alto de sal).									
	7	Investigación hidrogeológica para caracterizar y evaluar mejor la dinámica de las aguas subterráneas y la calidad (por ejemplo, mejor cobertura regional de los niveles de la poza para piezometría, bomba de prueba para determinar el rendimiento, la calidad en la profundidad).									
	8	N/A	N/A	N/A	N/A	Desalinización de agua potable (y el ganado si CCA > 6)		N/A a no ser que la remediación sufrido por agua de la mina			
	9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Bajo nivel de agua de la mina de remediación	N/A	Remediación de agua de la mina	N/A	Remediación de agua de la mina Intensivo

## 5. RECONOCIMIENTOS

Este proyecto fue apoyado por el Instituto de Reducción de Riesgos y Desastres (IRDR) en la UCL (Reino Unido) y de la Agencia Católica para el Desarrollo (CAFOD). Gran reconocimiento se da a CENDA (Natalie Alem, Oscar Sánchez Miranda, Helga Cauthin) de la vulnerabilidad social y extensión a la comunidad, a CEEDI (Jorge Quintanilla, Efrain Blanco Coariti y Isreal Quino) para el muestreo de campo, intercambio de datos y la participación en general, y para SENAMHI (Franklin Mujica Quispe). Se agradece especialmente a Stephen Edwards (UCL) y Karen Hudson-Edwards (Birkbeck College de Londres) para el apoyo dado, Gary Tarbuck (UCL) para el análisis químico de laboratorio, y en particular a las comunidades de la zona de estudio.

## 6. REFERENCIAS

- Alder, I., Hudson-Edwards, K. A., and Campos, L. 2014. Evaluation of a silver-ion based purification system for rainwater harvesting at a small-scale community level. Submitted for publication to *Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA*.
- Akcil, A., and Koldas, S. 2006. Acid Mine Drainage (DAM): causes, treatment and case studies. *Journal of Cleaner Production* 14, 1139 – 1145.
- Argollo, J., and Mourguiart, P. 2000. Late Quaternary climate history of the Bolivian Altiplano. *Quaternary International* 72 (1), 37 – 51.
- Banasiak, L. J., and Schäfer, A. I. 2009. Removal of inorganic trace contaminants by electro dialysis in a remote Australian community. *Desalination* 248, 48 – 57.
- Blowes, D. W., Ptacek, C. J., Benner, S. G., McRae, C. W. T., Bennet, T. A., Puls, R. W. 2000. Treatment of inorganic contaminants using permeable reactive barriers. *Journal of Contaminant Hydrology* 45, 121 – 137.
- Brown, M., Barley, B., Wood, H. 2002. *Minewater Treatment Technology, Application and Policy*. IWA Publishing, London.
- CAMINAR (Catchment Management and Mining Impacts in Arid and Semi-arid South America). 2013. Atlas cartográfico Cuenca del Lago Poopó – Uru Uru, Bolivia. Ed. Quintanilla, J., and Quino, I.
- CENDA. 2014. Vulnerabilidad frente al riesgo de contaminación hídrica y escasez del agua en las subcuencas Poopó y Pazña-Antequera. CENDA publication.
- Charcosset, C. 2009. A review of membrane processes and renewable energies for desalination. *Desalination* 245, 214 – 231.
- Cheremisinoff, N. P. 2002. *Handbook of water and wastewater treatment technologies*. Butterworth-Heinemann publications. ISBN: 0-7506-7498-9.

- Clasen, T. F., Brown, J., and Collin, S. M. 2006. Preventing diarrhoea with household ceramic water filters: Assessment of a pilot project in Bolivia. *International Journal of Environmental Health Research* 16 (3), 231 – 239.
- Cotruvo, J., Voutchkov, N., Fawell, J., Payment, P., Cunliffe, D., Lattemann, S. 2010. *Desalination Technology: Health and Environmental Impacts*. CRC Press.
- Domenico, P. A., and Schwartz, F. W. 1990. *Physical and Chemical Hydrogeology*. 2<sup>nd</sup> Edition 1998. John Wiley & Sons, Inc. ISBN 0-471-59762-7.
- Gnanaswar Gude, V., Nirmallakhandan, N., Deng, S. 2010. Renewable and sustainable approaches for desalination. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 2641 – 2654.
- Google Earth (accessed 11<sup>th</sup> September, 2014): [http://www.google.co.uk/intl/en\\_uk/earth/](http://www.google.co.uk/intl/en_uk/earth/)
- Harisha, R. S., Hosamani, K. M., Keri, R. S., Nataraj, S. K., Aminabhavi, T. M. 2010. Arsenic removal from drinking water using thin film composite nanofiltration membrane. *Desalination* 252 (1-3), 75 – 80.
- Helmreich, B., and Horn, H. 2009. Opportunities in rainwater harvesting. *Desalination* 248, 118 – 124.
- Jagtap, S., Yenkie, M. K., Labhsetwat, N., Rayalu, S. 2012. Fluoride in drinking water and defluoridation of water. *Chemical Reviews* 112, 2454 – 2466.
- Johnson, B. D., and Hallberg, K. B. 2005. Acid mine drainage remediation options: a review. *Science of the Total Environment* 338, 3 – 14.
- Kalin, M. 1993. Treatment of acidic seepages using wetland ecology and microbiology: Overall program assessment. MEND project 3.11.1, DSS FILE # 015SQ.2340-2-9217, Contract serial number 23440-217/01-SQ, CANMET; 1993. 187 pp.
- Kalin, M., Fyson, A., Wheeler, W. N. 2006. The chemistry of conventional and alternative treatment systems for the neutralization of acid mine drainage. *Science of the Total Environment* 366, 395 – 408.
- Kallman, E. N., Oyanedel-Craver, V. A., and Smith, J. A. 2011. Ceramic filters impregnated with silver nanoparticles for point-of-use water treatment in rural Guatemala. *Journal of Environmental Engineering* 137 (6), 407 – 415.
- Karagiannis, I. C., and Soldatos, P. G. 2008. Water desalination cost literature: review and assesment. *Desalination* 223, 448 – 456.
- Lehmann, C., and Tsukada, R. 2011. The effect of rainwater harvesting on reducing poverty. Available at (accessed October 16<sup>th</sup> 2014): <http://www.ircwash.org/sites/default/files/Lehmann-2011-Effect.pdf>

- Medellin-Castillo, N. A., Leyva-Ramos, R., Ocampo-Perez, R. et al. 2007. Adsorption of fluoride from water solution on bone char. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 46, 9205 – 9212.
- Mwenge Kahinda, J., Taigbenu, A. E., Boroto, R. J. 2010. Domestic rainwater harvesting as an adaptation measure to climate change in South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 35 (13 – 14), 742 – 751.
- Ñancucheo, I., and Johnson, D. B. 2012. Selective removal of transition metals from acidic mine waters by novel consortia of acidophilic sulfidogenic bacteria. *Microbial Biotechnology* 5 (1), 34 – 44.
- Noubactep, C. 2010. Metallic iron for safe drinking water. *Chemical Engineering Journal* 165, 740–749.
- Öztürk, N., Kavak, D., Köse, T. E. 2008. Boron removal from aqueous solution by reverse osmosis. *Desalination* 223, 1 – 9.
- Qiblawey, H. M., Banat, F. 2008. Solar thermal desalination technologies. *Desalination* 220, 633 – 644.
- Quintanilla, J., Garcia, M. E., Ramos Ramos, O., Niura, A., Lorini, J., Pelaez, C., Rotting, T. 2012. Sintesis del diagnóstico ambiental de la Cuenca del Lago Poopó, Oruro, Bolivia. CAMINAR proyecto publication.
- Richards, L. A., Richards, B. S., Schäfer, A. I. 2011. Renewable energy powered membrane technology: salt and inorganic contaminant removal by nanofiltration/reverse osmosis. *Journal of Membrane Science* 369, 188 – 195.
- Rosenberg, M., and Stålhammer, K. 2010. Evaluation of Heavy Metals in Waters Influenced by Mining in the Poopó and Antequera River Basins, Oruro – Bolivia. A Minor Field Study. Lund University, MSc Thesis, TVVR-10/5001. ISSN-1101-9824.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - Bolivia). 2014. <http://www.senamhi.gob.bo/> (accessed 08/09/14).
- Sheoran, A. S., and Sheoran, V. 2006. Heavy metal removal mechanism of acid mine drainage in wetlands: A critical review. *Minerals Engineering* 19, 105 – 116.
- Stauber, C. E., Ortiz, G. M., Loomis, D. P., and Sobsey, M. D. 2009. A randomized controlled trial of the concrete Biosand filter and its impact on diarrheal disease in Bonao, Dominican Republic. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 80 (2), 286 - 293.
- Wirrmann, D., and Mourguiart, P. 1995. Late Quaternary spatio-temporal limnological variations in the Altiplano of Bolivia and Peru. *Quaternary Research* 43, 344 – 354.

OAA (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1985. Water quality for agriculture.

ISBN 92-5-102263-1. Available at (accessed 4<sup>th</sup> September 2014)

<http://www.fao.org/docrep/003/T0234E/T0234E00.HTM>

OMS (World Health Organization). 2011a. Guidelines for Drinking-water Quality. 4<sup>th</sup> Edition. ISBN

978 92 4 154815 1. Available at (accessed 4<sup>th</sup> September 2014):

[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/2011/dwq\\_guidelines](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guidelines)

OMS (World Health Organization). 2011b. Evaluating household water treatment options: Health-

based targets and microbiological performance specifications. Available at (accessed 19<sup>th</sup> September

2014): [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/2011/household\\_water/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/household_water/en/)

Zhao, Y-G., Wang, A-J., Ren, A-Q. 2010. Effect of carbon sources on sulfidogenic bacterial communities during the starting-up of acidogenic sulphate-reducing bio-reactors. *Bioresource Technology* 101, 2952 – 2959.

**Apéndice A1:** agosto 2013 las concentraciones químicas (mg/L), los datos físico-químicos y calificación de Calidad del Agua (CCA, 1 = mejor, 10 = peor).

AGOSTO 13 - 16 2013		Sitio código:	AVR1	AVR2	AVR3	BOD11	CABT1	CABTE	CALLP3	CUCC1	MAD1	PALP2	PALP3	
		Tipo:	rio	rio	rio	canal de rio	tanque	termal	pozo	canal de irrigación/ estanque	agua de la mina	pozo	pozo	
Parámetro (mg/L, a menos que se indique lo contrario):	límite de detección (mg/L):	Criterios boliviana A:	CCA	8	8	8	8	3	9	4	3 (canal), estanque no muestreado	10	7	7
pH	N/A	6.0 - 8.5	3.2	3.4	4.3	9.3	7.7	7.0	7.7	7.1	2.7	7.2	7.8	
Conductividad eléctrica (CE, dS/m)	N/A	<1.5*	2.75	3.26	2.22	3.50	0.32	16.55	0.84	0.22	10.85	2.50	3.70	
Oxígeno disuelto (OD, % saturación)	N/A	>80%	29.9%	40.1%	38.1%	47.6%	46.3%	46.9%	12.6%	48.8%	38.8%	1.5%	12.6%	
Relación de adsorción de sodio (RAS)**	N/A		0.8	0.8	0.9	0.9	1.4	58.7	3.5	0.1	9.2	6.2	8.8	
Total de sólidos disueltos (TSD)	N/A	1000.0	1376.0	1628.0	1110.0	1751.0	158.0	8271.0	419.0	111.0	5424.0	1250.0	1847.0	
Alcalinidad total (mg/L)	N/A		---	---	---	22.6	75.2	350.0	132.2	48.0	---	111.0	265.0	
Cl, cloruro		250.0	152.8	231.1	126.5	289.0	40.0	5350.5	142.8	10.4	1545.0	293.1	853.1	
F, fluoruro		0.6 - 1.7	2.26	3.67	4.17	4.56	1.51	5.05	3.62	3.30	4.48	3.13	3.52	
NO3, nitrato		20.0	3.12	4.40	3.18	18.18	2.60	16.81	9.91	3.31	---	6.87	20.76	
SO4, sulfato		300.0	1440.0	1730.9	1131.2	1594.3	46.6	202.3	99.4	64.6	4039.2	875.1	513.2	
Al, aluminio	0.0312	0.2	---	18.466	22.803	<0.0312	<0.0312	<0.0312	<0.0312	<0.0312	86.958	<0.0312	<0.0312	
As, arsénico	0.0248	0.05	<0.0248	0.297	<0.0248	<0.0248	0.028	<0.0248	<0.0248	<0.0248	4.010	0.121	0.057	
B, boro	0.0266	1.0	0.42	0.42	0.48	0.37	0.42	12.82	1.21	0.28	1.98	2.51	3.31	
Ba, bario	0.0003	0.7^	---	---	---	---	0.020	---	0.059	0.020	---	---	---	
Ca, calcio	0.0054	200.0	486.5	712.3	406.5	990.1	23.1	106.6	50.4	20.2	292.3	199.6	227.9	
Cd, cadmio	0.0011	0.005	0.399	0.239	0.323	0.027	0.002	<0.0011	<0.0011	<0.0011	3.893	<0.0011	<0.0011	
Co, cobalto	0.0035	0.1	0.118	0.061	0.100	<0.0035	<0.0035	<0.0035	<0.0035	<0.0035	0.332	<0.0035	<0.0035	
Cr, cromo	0.0052	0.05	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	0.036	<0.0052	<0.0052	
Cu, cobre	0.0044	0.05	0.525	0.592	0.490	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	0.377	<0.0044	<0.0044	
Fe, hierro	0.0019	0.3	1.781	48.286	0.906	0.026	0.014	0.050	0.022	0.006	2018.659	0.009	0.015	
K, potasio	0.0298	N/A	9.4	13.7	9.6	14.5	2.5	227.1	24.7	1.5	43.9	36.1	47.7	
Li, litio	0.0029	2.5^^	0.33	0.19	0.37	0.14	0.01	13.54	0.29	<0.029	1.91	2.08	2.02	
Mg, magnesio	0.0010	100.0	27.5	18.2	30.6	9.0	8.5	24.4	9.0	7.3	199.7	39.3	35.4	
Mn, manganeso	0.0004	0.50	---	3.730	12.350	0.174	0.003	0.342	0.005	0.004	21.376	0.026	0.341	
Mo, molibdeno	0.0083	0.02^	---	---	---	---	<0.0083	---	<0.0083	<0.0083	---	---	---	
Na, sodio	0.0047	200.0	68.8	82.0	66.5	98.5	31.5	2576.4	102.6	15.8	834.0	362.7	537.4	
Ni, níquel	0.0074	0.05	0.190	0.124	0.208	<0.0074	0.019	<0.0074	<0.0074	<0.0074	0.939	<0.0074	<0.0074	
Pb, plomo	0.0251	0.05	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	0.495	<0.0251	<0.0251	
Sb, antimonio	0.0192	0.01	<0.0192	0.025	<0.0192	0.026	0.022	<0.0192	<0.0192	<0.0192	<0.0192	0.041	<0.0192	
Si, silice	0.0263	N/A	26.0	7.4	<0.0263	0.2	7.7	29.4	---	7.3	22.4	12.2	9.9	
Sn, estaño	0.0353	0.025^	<0.0353	<0.0353	<0.0353	<0.0353	<0.0353	<0.0353	0.045	<0.0353	<0.0353	0.058	<0.0353	
Zn, zinc	0.0026	0.2	---	61.906	91.454	0.138	0.021	0.078	0.023	0.005	972.548	0.016	0.005	

\* En general, se recomienda beber agua CE <0,9 dS/m (<600 ppm TSD) y máximo 1,5 dS/m (1,000 ppm TSD, recomendado por la OMS (2011a) para el gusto y sabor).

CE> 2,5 dS/m, no se recomienda para el consumo y que con> 10 dS/m se considera no apta para cualquier consumo (ganado incluido).

\*\* RAS = [Na meq/l]/([Ca meq/l]+[Mg meq/l])/2)1/2

^ Guía de la OMS (2011a).

^^ Organización Alimentación y la Agricultura (OAA, 1985) recomendación para el uso no restringido de riego.

^^^ Agencia de Medio Ambiente del Reino Unido directriz (no estatutario) para la protección de la vida acuática.



**Apéndice A1:** agosto 2013 las concentraciones químicas (mg/L), los datos físico-químicos y calificación de Calidad del Agua (CCA, 1 = mejor, 10 = peor).

AGOSTO 13 - 16 2013		Sitio código:		SORR1	TID1	TOLAP1	TOTR1	TOTR2	TOTV2	URC1	URL1	URR1	URR3	URV1
Parámetro (mg/L, a menos que se indique lo contrario):	límite de detección (mg/L):	Tipo:		rio	agua de la mina	pozo	rio	rio	manantial/ pendiente	canal de irrigación	termal	rio	rio	manantial/ pendiente
		Criterios boliviana A:	CCA	10	10	4	8	8	6	7	9	3	5	5
pH	N/A	6.0 - 8.5		3.6	7.1	8.2	4.5	4.5	8.2	8.0	6.8	8.2	9.0	7.7
Conductividad eléctrica (CE, dS/m)	N/A	<1.5*		1.92	9.95	0.33	3.00	2.94	0.42	2.60	5.93	0.30	1.40	1.31
Oxígeno disuelto (OD, % saturación)	N/A	>80%		56.2%	46.2%	22.4%	33.0%	42.1%	29.1%	53.8%	25.1%	50.9%	54.3%	15.6%
Relación de adsorción de sodio (RAS)**	N/A			0.6	25.0	0.8	0.9	0.9	1.2	15.4	30.1	0.8	7.6	7.9
Total de sólidos disueltos (TSD)	N/A	1000.0		957.0	4978.0	166.0	1499.0	1472.0	210.0	1301.0	2962.0	150.0	700.0	653.0
Alcalinidad total (mg/L)	N/A	---		76.6	104.0	---	---	---	51.6	232.8	442.0	107.0	151.6	336.6
Cl, cloruro		250.0		37.5	2869.3	16.1	211.0	217.0	16.6	605.3	1612.5	11.5	336.6	228.5
F, fluoruro		0.6 - 1.7		7.47	5.15	0.72	3.45	3.95	3.06	4.03	5.89	1.15	4.41	3.97
NO3, nitrato		20.0		2.73	2.74	8.39	6.27	7.29	3.42	17.03	24.48	6.20	22.52	12.34
SO4, sulfato		300.0		1212.7	934.3	61.1	1578.9	1678.3	148.1	44.8	30.0	54.2	40.6	73.6
Al, aluminio	0.0312	0.2		67.206	<0.0312	<0.0312	18.141	16.072	<0.0312	<0.0312	<0.0312	<0.0312	<0.0312	<0.0312
As, arsénico	0.0248	0.05		0.253	<0.0248	<0.0248	<0.0248	0.048	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	0.027
B, boro	0.0266	1.0		0.38	6.29	0.37	0.39	0.37	0.75	3.15	6.61	0.36	1.51	3.04
Ba, bario	0.0003	0.7^		---	---	0.030	---	---	---	0.270	---	0.020	---	0.040
Ca, calcio	0.0054	200.0		112.1	301.7	28.1	686.2	672.7	35.5	46.0	78.9	25.2	39.5	30.2
Cd, cadmio	0.0011	0.005		1.071	0.126	<0.0011	0.496	0.426	0.002	<0.0011	<0.0011	<0.0011	<0.0011	<0.0011
Co, cobalto	0.0035	0.1		0.423	0.013	<0.0035	0.054	0.054	<0.0035	<0.0035	<0.0035	<0.0035	<0.0035	<0.0035
Cr, cromo	0.0052	0.05		0.013	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052
Cu, cobre	0.0044	0.05		2.375	<0.0044	0.006	0.131	0.115	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044
Fe, hierro	0.0019	0.3		312.742	0.114	0.004	0.477	0.756	0.003	0.032	0.575	0.035	0.012	0.003
K, potasio	0.0298	N/A		13.1	120.5	2.9	12.9	12.9	2.9	47.3	114.4	2.4	21.5	10.7
Li, litio	0.0029	2.5 <sup>AA</sup>		0.31	4.09	<0.029	0.18	0.16	<0.029	3.28	9.80	<0.029	1.46	1.58
Mg, magnesio	0.0010	100.0		59.6	26.8	9.2	21.7	20.5	11.2	10.1	11.0	10.3	9.7	16.8
Mn, manganeso	0.0004	0.50		24.169	1.742	0.001	4.755	4.403	0.002	0.070	0.169	0.030	0.003	0.022
Mo, molibdeno	0.0083	0.02^		---	---	<0.0083	---	---	---	<0.0083	---	<0.0083	---	<0.0083
Na, sodio	0.0047	200.0		33.1	1680.4	19.3	84.4	83.5	31.7	441.6	1074.8	18.4	205.1	217.4
Ni, níquel	0.0074	0.05		0.631	0.029	<0.0074	0.099	0.085	<0.0074	<0.0074	<0.0074	<0.0074	<0.0074	<0.0074
Pb, plomo	0.0251	0.05		0.036	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251
Sb, antimonio	0.0192	0.01		0.030	0.031	0.049	0.053	0.034	<0.0192	0.040	<0.0192	<0.0192	<0.0192	0.039
Si, sílice	0.0263	N/A		<0.0263	15.6	15.1	13.9	11.9	23.6	13.2	13.3	15.7	10.0	8.9
Sn, estaño	0.0353	0.025 <sup>AAA</sup>		<0.0353	0.080	0.050	0.051	<0.0353	0.082	<0.0353	0.038	<0.0353	<0.0353	<0.0353
Zn, zinc	0.0026	0.2		56.910	13.671	0.006	100.413	95.291	0.364	0.003	0.006	<0.0026	<0.0026	0.030

**Apéndice A2:** diciembre 2013 las concentraciones químicas (mg/L), los datos físico-químicos y calificación de Calidad del Agua (CCA, 1=mejor, 10=peor).

DICIEMBRE 16 - 20 2013		Sitio código:		AVR1	AVR2	AVR3	BODI1	CABT1	CUCC1	KER1	MAD1	PALP2	PALP3	PALP4	PALP5
		Tipo:		rio	rio	rio	canal de rio	tanque	canal de irrigación/ estanque	rio	agua de la mina	pozo	pozo	pozo	pozo
Parámetro (mg/L, a menos que se indique lo contrario):	límite de detección (mg/L):	Críterios boliviana A:	CCA	8	8	8	8	3	3 (canal), estanque no muestreado	6	10	7	7	7	7
pH	N/A	6.0 - 8.5		3.2	3.0	3.3	6.3	7.0	7.7	7.4	2.9	7.1	7.2	7.5	8.4
Conductividad eléctrica (CE, dS/m)	N/A	<1.5*		3.27	3.11	2.80	3.91	0.26	0.15	1.69	13.03	3.19	5.60	2.52	6.56
Oxígeno disuelto (OD, % saturación)	N/A	>80%		12.1%	57.1%	30.9%	44.1%	33.0%	12.8%	28.6%	0.0%	39.5%	0.9%	10.6%	17.7%
Relación de adsorción de sodio (RAS)**	N/A			1.5	1.1	1.5	1.4	2.2	1.6	8.7	20.7	4.9	25.2	5.2	26.1
Total de sólidos disueltos (TSD)	N/A	1000.0		1634.0	1556.0	1398.0	1954.0	127.0	74.0	843.0	6532.0	1586.0	2795.0	1258.0	3281.0
Alcalinidad total (mg/L)	N/A			---	---	---	15.0	87.8	53.2	52.1	---	89.0	206.0	103.0	337.0
Cl, cloruro		250.0		130.3	71.1	110.0	221.4	12.4	8.2	331.5	1461.0	238.0	906.5	238.3	1092.1
F, fluoruro		0.6 - 1.7		3.53	3.35	3.55	3.14	3.08	1.94	3.26	4.05	3.60	3.79	3.16	2.62
NO3, nitrato		20.0		4.19	3.35	4.72	8.46	3.31	2.85	4.39	---	6.03	10.35	6.23	11.30
SO4, sulfato		300.0		1363.4	1178.90	1129.7	1528.3	31.2	17.4	96.0	5652.3	797.4	465.0	479.5	481.4
Al, aluminio	0.0312	0.2		33.728	34.785	25.532	0.052	0.083	0.077	<0.0312	85.120	<0.0312	<0.0312	<0.0312	<0.0312
As, arsénico	0.0248	0.05		0.030	1.020	<0.0248	<0.0248	<0.0248	0.029	0.033	1.580	0.078	0.067	0.105	0.257
B, boro	0.0266	1.0		0.39	0.460	0.36	0.43	0.32	0.39	1.11	2.10	2.22	3.40	1.73	3.57
Ba, bario	0.0003	0.7^		---	---	---	---	0.020	0.010	---	---	---	---	0.029	---
Ca, calcio	0.0054	200.0		425.9	347.3	359.6	749.4	16.0	10.0	30.5	246.0	183.4	238.2	118.5	283.2
Cd, cadmio	0.0011	0.005		0.321	0.359	0.276	0.103	0.002	<0.0011	0.005	1.965	<0.0011	0.002	<0.0011	<0.0011
Co, cobalto	0.0035	0.1		0.138	0.086	0.108	0.005	<0.0035	<0.0035	<0.0035	0.349	<0.0035	<0.0035	<0.0035	<0.0035
Cr, cromo	0.0052	0.05		<0.0052	0.014	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	0.020	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052
Cu, cobre	0.0044	0.05		0.622	1.515	0.522	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	0.033	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044
Fe, hierro	0.0019	0.3		2.685	95.879	1.872	0.144	0.069	0.059	0.015	1201.154	0.008	0.005	0.033	0.008
K, potasio	0.0298	N/A		9.4	5.8	8.3	14.6	1.8	1.2	15.3	42.2	36.7	53.2	30.2	56.0
Li, litio	0.0029	2.5^A		0.37	0.11	0.33	0.20	0.01	<0.029	0.72	2.16	2.09	2.44	1.63	2.81
Mg, magnesio	0.0010	100.0		28.3	19.2	26.4	12.3	5.8	3.9	8.4	221.9	40.1	41.4	23.4	44.3
Mn, manganeso	0.0004	0.50		17.248	3.402	13.264	0.984	0.003	0.004	0.253	30.909	0.024	1.648	1.035	0.035
Mo, molibdeno	0.0083	0.02^		---	---	---	---	<0.0083	<0.0083	---	---	---	---	<0.0083	---
Na, sodio	0.0047	200.0		114.7	80.2	105.6	136.1	40.3	22.9	209.3	1854.6	280.8	1597.9	236.5	1785.6
Ni, níquel	0.0074	0.05		0.160	0.132	0.150	0.008	<0.0074	<0.0074	<0.0074	0.779	<0.0074	<0.0074	<0.0074	<0.0074
Pb, plomo	0.0251	0.05		<0.0251	0.065	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	0.427	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251
Sb, antimonio	0.0192	0.01		<0.0192	0.056	<0.0192	<0.0192	<0.0192	<0.0192	0.025	0.186	<0.0192	<0.0192	<0.0192	<0.0192
Si, sílice	0.0263	N/A		23.8	11.0	22.5	0.5	7.6	7.4	7.5	21.3	14.1	9.8	14.0	14.6
Sn, estaño	0.0353	0.025^A		0.036	<0.0353	<0.0353	0.095	0.037	<0.0353	0.053	0.065	0.079	0.057	0.062	0.068
Zn, zinc	0.0026	0.2		384.088	390.348	92.983	13.861	0.010	<0.0026	0.967	3692.586	0.023	0.009	0.033	0.005

\* En general, se recomienda beber agua CE <0,9 dS/m (<600 ppm TSD) y máximo 1,5 dS/m (1,000 ppm TSD, recomendado por la OMS (2011a) para el gusto y sabor).

CE> 2,5 dS/m, no se recomienda para el consumo y que con> 10 dS/m se considera no apta para cualquier consumo (ganado incluido).

\*\* RAS = [Na meq/l]/([Ca meq/l]+[Mg meq/l])/2

^ Guía de la OMS (2011a).

^^ Organización Alimentación y la Agricultura (OAA, 1985) recomendación para el uso no restringido de riego.

^^^ Agencia de Medio Ambiente del Reino Unido directriz (no estatutario) para la protección de la vida acuática.

**Apéndice A2:** diciembre 2013 las concentraciones químicas (mg/L), los datos físico-químicos y calificación de Calidad del Agua (CCA, 1=mejor, 10=peor).

DICIEMBRE 16 - 20 2013		Sitio código:	PALP7	PALP8	PALP9	PALP10	PALR2	PAZP3	PAZR1	PAZTE	POR3	SORR1	TID1
		Tipo:	pozo	pozo	pozo	pozo	rio	pozo	rio	termal	rio	rio	agua de la mina
Parámetro (mg/L, a menos que se indique lo contrario):	límite de detección (mg/L):	Criterios boliviana A:	CCA										
			7	7	7	4	8	9	8	9	8	10	10
pH	N/A	6.0 - 8.5	7.4	7.1	7.2	6.8	3.6	8.2	3.4	6.7	7.1	3.3	6.1
Conductividad eléctrica (CE, dS/m)	N/A	<1.5*	3.74	4.94	3.61	0.97	2.99	18.35	3.08	12.64	0.82	1.24	7.77
Oxígeno disuelto (OD, % saturación)	N/A	>80%	12.5%	11.5%	28.4%	0.0%	38.4%	7.5%	31.8%	20.6%	4.5%	6.2%	0.0%
Relación de adsorción de sodio (RAS)**	N/A		18.6	27.4	21.2	2.3	1.7	13.6	1.6	64.0	9.6	1.0	42.5
Total de sólidos disueltos (TSD)	N/A	1000.0	1866.0	2471.0	1802.0	483.0	1497.0	9169.0	1543.0	6304.0	402.0	620.0	3888.0
Alcalinidad total (mg/L)	N/A		387.2	366.0	283.0	173.6	---	536.0	---	364.0	39.0	---	58.8
Cl, cloruro		250.0	591.7	962.3	656.3	38.2	127.3	3912.2	126.2	2665.9	128.8	11.9	1307.1
F, fluoruro		0.6 - 1.7	3.26	3.03	3.03	3.22	3.45	3.37	3.58	3.89	6.51	4.93	3.13
NO3, nitrato		20.0	108.81	28.92	13.15	8.13	3.65	0.19	4.44	16.36	4.11	4.08	3.57
SO4, sulfato		300.0	102.3	99.2	71.3	172.2	1079.9	59.0	1149.8	54.2	64.4	446.3	773.4
Al, aluminio	0.0312	0.2	0.045	0.005	<0.0312	<0.0312	16.935	0.032	24.883	0.054	0.149	26.251	0.114
As, arsénico	0.0248	0.05	<0.0248	0.045	<0.0248	0.800	<0.0248	0.166	<0.0248	<0.0248	<0.0248	0.170	0.062
B, boro	0.0266	1.0	3.07	4.09	3.33	0.80	0.50	14.70	0.45	8.27	0.47	0.14	3.38
Ba, bario	0.0003	0.7^A	---	0.274	---	0.039	---	---	---	---	---	---	---
Ca, calcio	0.0054	200.0	162.3	160.4	120.7	88.2	372.6	145.3	396.9	105.8	16.7	45.0	186.7
Cd, cadmio	0.0011	0.005	0.001	<0.0011	<0.0011	<0.0011	0.279	<0.0011	0.299	<0.0011	<0.0011	0.429	1.548
Co, cobalto	0.0035	0.1	<0.0035	<0.0035	<0.0035	<0.0035	0.107	<0.0035	0.111	<0.0035	<0.0035	0.165	0.074
Cr, cromo	0.0052	0.05	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	0.006	<0.0052
Cu, cobre	0.0044	0.05	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	0.523	<0.0044	0.542	0.019	0.009	1.642	0.313
Fe, hierro	0.0019	0.3	0.005	0.009	0.007	0.035	1.797	0.102	1.904	0.376	0.202	85.083	8.372
K, potasio	0.0298	N/A	54.2	62.0	54.3	11.7	10.9	227.4	11.0	150.3	13.9	3.7	65.4
Li, litio	0.0029	2.5^AA	3.43	4.24	3.20	0.10	0.43	13.16	0.43	8.92	0.21	0.08	3.09
Mg, magnesio	0.0010	100.0	35.2	39.6	33.5	19.9	28.7	25.4	30.5	13.6	4.6	23.1	10.8
Mn, manganeso	0.0004	0.50	0.002	0.043	0.002	0.506	9.054	0.775	14.262	0.386	0.044	8.628	1.433
Mo, molibdeno	0.0083	0.02^A	---	<0.0083	---	<0.0083	---	---	---	---	---	---	---
Na, sodio	0.0047	200.0	999.7	1489.9	1018.5	92.1	125.3	674.4	121.1	2623.2	170.7	33.7	2198.9
Ni, níquel	0.0074	0.05	<0.0074	<0.0074	<0.0074	<0.0074	0.153	<0.0074	0.160	<0.0074	0.017	0.189	0.089
Pb, plomo	0.0251	0.05	0.031	<0.0251	0.027	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251
Sb, antimonio	0.0192	0.01	<0.0192	<0.0192	<0.0192	<0.0192	<0.0192	<0.0192	<0.0192	0.032	<0.0192	<0.0192	0.027
Si, sílice	0.0263	N/A	16.9	16.5	14.7	16.5	23.1	17.5	24.5	33.8	6.0	11.6	3.6
Sn, estaño	0.0353	0.025^AAA	0.056	0.053	0.118	0.041	0.095	0.083	<0.0353	0.043	<0.0353	<0.0353	<0.0353
Zn, zinc	0.0026	0.2	<0.0026	<0.0026	0.003	0.063	62.857	0.047	101.259	0.010	0.071	17.992	1283.080

**Apéndice A2:** diciembre 2013 las concentraciones químicas (mg/L), los datos físico-químicos y calificación de Calidad del Agua (CCA, 1=mejor, 10=peor).

DICIEMBRE 16 - 20 2013		Sitio código:		TOLAP1	TOTP5	TOTR1	TOTR2	TOTV2	URC1	URL1	URR1	URR2	URR3	URV1
		Tipo:	pozo	pozo	rio	rio	manantial/ pendiente	canal de irrigación	termal	rio	rio	rio	rio	manantial/ pendiente
Parámetro (mg/L, a menos que se indique lo contrario):	límite de detección (mg/L):	Criterios boliviana A:	CCA	4	8	8	8	6	7	9	3	3	5	5
pH	N/A	6.0 - 8.5		7.6	4.1	2.9	2.9	6.3	8.3	6.6	8.2	7.6	8.3	7.5
Conductividad eléctrica (CE, dS/m)	N/A	<1.5*		0.42	0.52	2.28	2.67	0.35	2.93	7.79	0.39	0.33	2.84	1.71
Oxígeno disuelto (OD, % saturación)	N/A	>80%		12.0%	20.1%	41.8%	45.3%	40.1%	70.2%	0.0%	45.5%	34.3%	72.0%	16.3%
Relación de adsorción de sodio (RAS)**	N/A			1.9	2.4	1.1	1.2	2.1	28.8	60.4	1.9	1.7	6.5	7.4
Total de sólidos disueltos (TSD)	N/A	1000.0		210.0	259.0	1138.0	1333.0	177.0	1465.0	3920.0	192.0	167.0	1421.0	850.0
Alcalinidad total (mg/L)	N/A			83.0	---	---	---	34.3	190.0	391.0	78.8	76.1	131.2	292.0
Cl, cloruro		250.0		17.8	22.8	39.7	62.3	12.3	5508	1633.9	12.2	12.2	605.9	211.6
F, fluoruro		0.6 - 1.7		2.45	3.54	3.29	2.94	3.05	3.46	3.90	3.16	3.15	3.58	4.14
NO3, nitrato		20.0		5.64	3.87	5.74	4.76	4.16	21.57	18.06	5.99	5.01	7.80	13.16
SO4, sulfato		300.0		39.2	134.5	811.3	1047.8	73.3	45.6	29.7	46.5	42.8	40.6	73.8
Al, aluminio	0.0312	0.2		<0.0312	3.608	23.958	29.661	0.202	<0.0312	0.033	<0.0312	<0.0312	<0.0312	<0.0312
As, arsénico	0.0248	0.05		<0.0248	0.046	0.068	0.120	0.050	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	0.035	<0.0248
B, boro	0.0266	1.0		0.42	0.49	0.26	0.42	0.50	2.79	6.98	0.36	0.36	1.84	2.97
Ba, bario	0.0003	0.7^A		0.030	---	---	---	---	0.233	---	0.020	---	---	0.049
Ca, calcio	0.0054	200.0		31.9	20.6	171.3	261.8	24.5	47.9	82.6	28.5	25.3	72.2	32.9
Cd, cadmio	0.0011	0.005		<0.0011	0.028	0.389	0.361	0.003	<0.0011	<0.0011	0.002	<0.0011	0.002	<0.0011
Co, cobalto	0.0035	0.1		<0.0035	0.084	0.054	0.065	<0.0035	<0.0035	<0.0035	<0.0035	<0.0035	0.004	<0.0035
Cr, cromo	0.0052	0.05		<0.0052	<0.0052	0.013	0.013	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052
Cu, cobre	0.0044	0.05		<0.0044	0.287	0.279	0.315	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044
Fe, hierro	0.0019	0.3		0.003	5.709	85.843	91.530	0.130	0.026	0.396	0.049	0.008	0.011	0.216
K, potasio	0.0298	N/A		3.2	17.4	4.8	6.3	2.6	44.1	115.0	2.7	2.1	35.7	12.3
Li, litio	0.0029	2.5^AA		0.01	0.40	0.06	0.09	<0.029	3.30	9.02	<0.029	<0.029	2.38	1.81
Mg, magnesio	0.0010	100.0		10.8	5.4	16.7	19.5	8.0	11.6	12.5	12.3	11.6	20.7	19.4
Mn, manganeso	0.0004	0.50		0.007	0.622	2.288	2.384	0.009	0.033	0.180	0.072	0.001	0.012	0.035
Mo, molibdeno	0.0083	0.02^A		0.010	---	---	---	---	<0.0083	---	<0.0083	---	---	<0.0083
Na, sodio	0.0047	200.0		48.6	47.8	55.9	74.0	47.5	853.3	2220.0	47.6	42.0	242.6	216.9
Ni, níquel	0.0074	0.05		<0.0074	0.079	0.110	0.112	<0.0074	<0.0074	<0.0074	<0.0074	<0.0074	<0.0074	<0.0074
Pb, plomo	0.0251	0.05		<0.0251	<0.0251	0.095	0.083	<0.0251	<0.0251	0.036	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251
Sb, antimonio	0.0192	0.01		<0.0192	0.038	<0.0192	<0.0192	0.031	0.020	0.042	<0.0192	<0.0192	<0.0192	<0.0192
Si, sílice	0.0263	N/A		11.6	5.6	8.7	9.6	9.7	12.0	24.2	2.6	8.7	7.8	8.2
Sn, estaño	0.0353	0.025^AAA		0.041	<0.0353	<0.0353	0.046	<0.0353	0.093	<0.0353	0.043	0.043	<0.0353	0.060
Zn, zinc	0.0026	0.2		0.014	1.524	83.222	84.718	0.281	<0.0026	0.014	<0.0026	<0.0026	<0.0026	<0.0026

**Apéndice A3:** abril 2014 las concentraciones químicas (mg/L), los datos físico-químicos y calificación de Calidad del Agua (CCA, 1=mejor, 10=peor).

ABRIL 7 - 12 2014		Sitio código:		AVR1	AVR2	AVR3	BODI 1	CABTE	CALLP3	CUCC1	KER2	MAD1	PALP3	PALP4	PALP7
		Tipo:	río	río	río	canal de río	termal	pozo	canal de irrigación/ estanque	río	agua de la mina	pozo	pozo	pozo	
Parámetro (mg/L, a menos que se indique lo contrario):	límite de detección (mg/L):	Criterios boliviana A:	CCA	8	8	8	8	9	4	3 (canal, estanque no muestreado)	8	10	7	7	7
pH	N/A	6.0 - 8.5		3.5	3.3	3.6	7.7	6.8	7.5	7.1	6.5	2.2	7.0	7.8	8.2
Conductividad eléctrica (CE, dS/m)	N/A	<1.5*		2.21	3.13	1.79	4.26	17.10	0.69	0.22	6.45	15.71	5.62	2.28	2.89
Oxígeno disuelto (OD, % saturación)	N/A	>80%		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Relación de adsorción de sodio (RAS)**	NA			0.8	0.8	0.8	0.8	---	3.3	0.6	30.8	6.8	13.0	7.3	7.2
Total de sólidos disueltos (TSD)	N/A	1000.0		1104.0	1564.0	896.0	2130.0	8555.0	329.0	112.0	3224.0	7855.0	2806.0	1138.0	1444.0
Alcalinidad total (mg/L)	N/A			---	---	---	25.0	316.0	106.8	60.8	12.0	---	294.0	151.0	314.0
Cl, cloruro		250.0		91.1	140.2	83.0	252.8	3814.7	95.6	11.2	903.4	1024.3	1181.9	278.3	758.4
F, fluoruro		0.6 - 1.7		1.65	1.69	1.84	2.52	5.33	1.52	1.11	1.58	6.05	1.70	1.82	1.55
NO3, nitrato		20.0		---	7.50	---	15.10	40.00	7.20	4.40	6.30	---	21.30	14.50	82.60
SO4, sulfato		300.0		428.3	905.7	748.3	1158.1	187.2	67.1	41.5	533.4	10675.6	646.0	604.9	93.4
Al, aluminio	0.0312	0.2		23.190	15.136	11.913	<0.0312	<0.0312	<0.0312	<0.0312	<0.0312	281.536	0.041	<0.0312	<0.0312
As, arsénico	0.0248	0.05		<0.0248	0.199	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	8.999	0.055	0.123	<0.0248
B, boro	0.0266	1.0		0.47	0.36	0.42	0.32	13.19	0.91	0.34	4.09	1.48	5.30	2.17	2.73
Ba, bario	0.0003	0.7^		---	---	---	---	---	0.059	0.019	---	---	---	0.048	---
Ca, calcio	0.0054	200.0		310.6	557.8	260.3	1306.2	112.6	37.2	21.0	111.6	216.5	272.4	137.4	144.6
Cd, cadmio	0.0011	0.005		342.000	0.455	0.255	0.188	0.003	0.003	0.002	0.269	14.007	<0.0011	0.002	<0.0011
Co, cobalto	0.0035	0.1		0.101	0.051	0.054	0.007	<0.0035	<0.0035	0.004	0.005	<0.0035	<0.0035	<0.0035	<0.0035
Cr, cromo	0.0052	0.05		<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	0.111	<0.0052	<0.0052	<0.0052
Cu, cobre	0.0044	0.05		0.617	1.411	0.478	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	4.586	<0.0044	<0.0044	<0.0044
Fe, hierro	0.0019	0.3		1.638	53.719	5.031	<0.0019	0.219	<0.019	0.009	12.134	3888.354	0.009	0.012	0.006
K, potasio	0.0298	N/A		7.5	11.9	6.9	36.0	243.4	8.8	1.7	76.8	32.4	84.3	31.9	48.2
Li, litio	0.0029	2.5^		0.39	0.28	0.27	0.41	14.04	0.36	<0.029	3.88	1.59	3.85	1.93	3.28
Mg, magnesio	0.0010	100.0		28.2	23.4	21.4	155.0	28.2	8.1	8.1	24.8	209.3	59.1	26.2	31.9
Mn, manganeso	0.0004	0.50		13.332	4.939	6.338	1.258	0.451	0.001	0.001	1.566	33.679	1.632	5.270	0.001
Mo, molibdeno	0.0083	0.02^		---	---	---	---	---	<0.0083	<0.0083	---	---	---	0.010	---
Na, sodio	0.0047	200.0		53.2	71.8	46.4	100.0	---	84.6	13.0	1374.2	586.3	905.6	353.0	366.6
Ni, níquel	0.0074	0.05		0.171	0.128	0.109	0.008	<0.0074	<0.0074	<0.0074	0.041	2.340	<0.0074	<0.0074	<0.0074
Pb, plomo	0.0251	0.05		<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	0.665	<0.0251	<0.0251	<0.0251
Sb, antimonio	0.0192	0.01		<0.0192	<0.0192	<0.0192	0.021	0.027	<0.0192	<0.0192	<0.0192	---	0.182	0.162	<0.0192
Si, sílice	0.0263	N/A		28.9	16.0	15.8	0.2	30.5	17.9	9.3	8.4	24.1	13.4	18.1	13.6
Sn, estaño	0.0353	0.025^		<0.0353	<0.0353	0.058	0.046	0.068	<0.0353	<0.0353	<0.0353	0.039	0.095	0.053	0.036
Zn, zinc	0.0026	0.2		84.131	77.978	60.730	8.783	0.205	0.015	<0.0026	45.329	2570.371	0.005	0.018	<0.0026

\* En general, se recomienda beber agua CE <0.9 dS/m (<600 ppm TSD) y máximo 1.5 dS/m (1,000 ppm TSD, recomendado por la OMS (2011a) para el gusto y sabor).

CE> 2,5 dS/m, no se recomienda para el consumo y que con> 10 dS/m se considera no apta para cualquier consumo (ganado incluido).

\*\* RAS = [Na meq/l]/([Ca meq/l]+[Mg meq/l])/2

^ Guía de la OMS (2011a).

^^ Organización Alimentación y la Agricultura (OAA, 1985) recomendación para el uso no restringido de riego.

^^^ Agencia de Medio Ambiente del Reino Unido directriz (no estatutario) para la protección de la vida acuática.

**Apéndice A3:** abril 2014 las concentraciones químicas (mg/L), los datos físico-químicos y calificación de Calidad del Agua (CCA, 1=mejor, 10=peor).

ABRIL 7 - 12 2014		Sitio código:	PALP8	PALP10	PALR2	PAZP3	PAZR1	PAZTE	PMO1	POR3	POR4	PQUE1	PUNP1	PUNP2	RYU1
Parámetro (mg/L, a menos que se indique lo contrario):	límite de detección (mg/L):	Tipo:	pozo	pozo	rio	pozo	rio	termal	pozo	rio	rio	pozo	Tap	pozo	rio/lago
		CCA	7	4	8	9	8	9	4	8	3	7	2	5	7
pH	N/A	6.0 - 8.5	7.0	6.8	4.7	8.3	4.6	6.5	7.6	6.6	7.5	7.8	7.9	8.3	7.6
Conductividad eléctrica (CE, dS/m)	N/A	<1.5*	3.93	0.71	1.65	15.62	1.61	9.49	0.43	5.51	0.35	2.34	0.27	0.99	3.20
Oxígeno disuelto (OD, % saturación)	N/A	>80%	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Relación de adsorción de sodio (RAS)**	N/A		8.5	1.2	1.7	71.1	1.4	47.8	1.0	27.8	0.9	21.5	0.8	2.4	10.8
Total de sólidos disueltos (TSD)	N/A	1000.0	1985.0	352.0	827.0	7815.0	807.0	4791.0	214.0	2912.0	179.0	1169.0	135.0	494.0	1597.0
Alcalinidad total (mg/L)	N/A		420.4	148.2	---	434.0	---	400.4	172.2	87.0	66.4	181.2	283.2	72.4	166.2
Cl, cloruro		250.0	1124.6	31.6	134.1	1885.3	107.6	2707.9	16.7	1381.5	19.6	604.4	18.1	161.5	750.8
F, fluoruro		0.6 - 1.7	1.38	---	1.21	3.32	1.69	2.24	1.15	1.91	0.46	1.21	0.90	2.18	1.05
NO3, nitrato		20.0	25.70	---	---	41.30	---	31.80	9.10	5.30	4.90	40.30	5.80	20.30	18.30
SO4, sulfato		300.0	80.4	237.0	686.7	26.4	689.3	61.0	40.0	451.2	36.5	113.0	35.3	21.0	368.0
Al, aluminio	0.0312	0.2	<0.0312	<0.0312	5.891	<0.0312	7.067	<0.0312	<0.0312	<0.0312	<0.0312	<0.0312	<0.0312	<0.0312	0.080
As, arsénico	0.0248	0.05	<0.0248	<0.0248	<0.0248	0.153	<0.0248	<0.0248	0.085	<0.0248	<0.0248	0.096	<0.0248	0.080	<0.0248
B, boro	0.0266	1.0	5.78	0.77	0.75	13.57	0.73	8.44	0.78	3.63	0.37	2.63	0.35	1.12	2.65
Ba, bario	0.0003	0.7^	0.262	0.038	---	---	---	---	0.057	---	0.019	0.039	0.019	0.171	---
Ca, calcio	0.0054	200.0	207.3	81.4	214.0	152.0	231.8	108.1	53.2	111.8	22.8	26.1	22.2	81.3	104.7
Cd, cadmio	0.0011	0.005	<0.0011	0.001	0.197	<0.0011	0.215	<0.0011	0.003	0.171	0.002	<0.0011	<0.0011	<0.0011	0.003
Co, cobalto	0.0035	0.1	<0.0035	<0.0035	0.036	0.004	0.050	<0.0035	<0.0035	0.009	<0.0035	<0.0035	<0.0035	<0.0035	<0.0035
Cr, cromo	0.0052	0.05	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052
Cu, cobre	0.0044	0.05	<0.0044	<0.0044	0.454	<0.0044	0.391	0.008	<0.0044	0.005	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	0.007
Fe, hierro	0.0019	0.3	0.018	1.921	1.939	0.133	2.770	0.986	0.002	0.393	0.008	<0.019	0.079	0.068	0.061
K, potasio	0.0298	N/A	76.6	9.5	10.2	290.4	11.1	156.7	3.8	71.5	3.9	15.5	2.2	12.5	30.1
Li, litio	0.0029	2.5^^	5.41	0.12	0.56	18.16	0.54	10.77	0.03	3.51	0.01	0.59	0.01	0.19	0.54
Mg, magnesio	0.0010	100.0	53.6	18.9	22.2	32.3	23.0	14.0	10.8	18.0	9.0	6.3	8.9	23.8	50.5
Mn, manganeso	0.0004	0.50	0.159	0.345	4.926	0.528	5.645	0.391	0.009	0.681	0.012	0.006	0.005	3.240	0.018
Mo, molibdeno	0.0083	0.02^	<0.0083	<0.0083	---	---	---	---	<0.0083	---	<0.0083	<0.0083	<0.0083	<0.0083	---
Na, sodio	0.0047	200.0	527.8	44.4	98.5	3684.9	80.2	1980.9	29.5	1196.8	19.3	468.8	18.3	96.2	534.5
Ni, níquel	0.0074	0.05	<0.0074	<0.0074	0.100	<0.0074	0.104	<0.0074	<0.0074	0.022	<0.0074	<0.0074	<0.0074	<0.0074	<0.0074
Pb, plomo	0.0251	0.05	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251
Sb, antimonio	0.0192	0.01	<0.0192	<0.0192	<0.0192	0.056	0.035	<0.0192	<0.0192	<0.0192	<0.0192	<0.0192	<0.0192	<0.0192	<0.0192
Si, sílice	0.0263	N/A	17.2	17.3	14.6	18.9	21.4	32.6	27.5	7.5	9.4	19.9	7.1	29.0	0.2
Sn, estaño	0.0353	0.025^AAA	0.066	0.050	0.054	0.095	0.043	0.062	<0.0353	0.040	0.037	0.052	<0.0353	<0.0353	0.078
Zn, zinc	0.0026	0.2	<0.0026	0.004	48.750	0.017	48.084	0.008	0.011	19.618	0.084	0.015	0.126	<0.0026	0.018

**Apéndice A3:** abril 2014 las concentraciones químicas (mg/L), los datos físico-químicos y calificación de Calidad del Agua (CCA, 1=mejor, 10=peor).

ABRIL 7 - 12 2014		Sitio código:		SORR1	TID1	TOLAP1	TOTP5	TOTR1	TOTR2	TOTV2	URC1	URLT1	URR1	URR2	URR3	URV1
		Tipo:	rio	agua de la mina	pozo	pozo	rio	rio	manantial/ pendiente	canal de irrigación	termal	rio	rio	rio	manantial/ pendiente	
Parámetro (mg/L, a menos que se indique lo contrario):	límite de detección (mg/L):	Criterios boliviana A:	CCA	10	10	4	8	8	8	6	7	9	3	3	5	5
pH	N/A	6.0 - 8.5		3.1	7.2	7.2	3.6	4.5	4.3	7.6	8.3	6.7	8.8	8.5	8.8	7.7
Conductividad eléctrica (CE, dS/m)	N/A	<1.5*		1.79	11.71	0.44	1.26	3.04	3.16	0.46	2.60	6.09	0.28	0.23	1.04	1.33
Oxígeno disuelto (OD, % saturación)	N/A	>80%		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Relación de adsorción de sodio (RAS)**	N/A			0.6	41.4	0.8	3.1	0.8	0.8	0.8	13.8	34.6	0.8	0.6	6.7	7.8
Total de sólidos disueltos (TSD)	N/A	1000.0		895.0	5860.0	269.0	632.0	1521.0	1573.0	232.0	1302.0	3045.0	141.0	115.0	522.0	665.0
Alcalinidad total (mg/L)	N/A			---	90.2	66.0	---	---	---	48.4	224.2	376.0	94.8	76.0	159.0	388.4
Cl, cloruro		250.0		26.7	1435.0	22.4	34.3	151.6	152.9	10.0	650.2	1344.8	11.3	9.0	213.4	205.0
F, fluoruro		0.6 - 1.7		4.57	2.19	1.72	3.55	1.70	2.02	0.95	1.40	2.39	1.43	1.09	2.11	2.30
NO3, nitrato		20.0		8.10	---	6.50	---	10.90	10.30	2.40	9.20	30.90	6.40	5.10	16.50	22.70
SO4, sulfato		300.0		800.8	357.2	50.7	521.6	1664.4	1544.7	152.9	34.9	32.2	37.6	27.4	38.8	74.6
Al, aluminio	0.0312	0.2		35.561	<0.0312	<0.0312	25.679	8.708	9.408	<0.0312	<0.0312	<0.0312	<0.0312	<0.0312	<0.0312	<0.0312
As, arsénico	0.0248	0.05		0.726	0.030	<0.0248	0.033	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248
B, boro	0.0266	1.0		0.44	6.38	0.43	1.45	0.32	0.33	0.73	3.11	6.73	0.57	0.35	1.55	2.98
Ba, bario	0.0003	0.7^A		---	---	0.019	---	---	---	---	0.267	---	0.019	---	---	0.048
Ca, calcio	0.0054	200.0		99.6	291.2	36.2	89.4	679.2	710.6	49.5	50.3	86.3	35.1	21.7	32.5	33.1
Cd, cadmio	0.0011	0.005		0.836	0.073	<0.0011	0.092	0.357	0.394	0.004	<0.0011	0.002	<0.0011	0.002	0.002	0.003
Co, cobalto	0.0035	0.1		0.157	<0.0035	<0.0035	0.359	0.029	0.032	<0.0035	<0.0035	<0.0035	<0.0035	<0.0035	<0.0035	<0.0035
Cr, cromo	0.0052	0.05		0.006	<0.0052	<0.0052	0.009	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052
Cu, cobre	0.0044	0.05		2.159	<0.0044	<0.0044	1.833	0.066	0.079	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044
Fe, hierro	0.0019	0.3		121.276	0.012	<0.019	14.082	0.908	1.702	<0.0019	0.015	0.491	0.030	<0.0019	0.014	0.301
K, potasio	0.0298	N/A		12.1	125.9	3.8	21.9	16.6	17.2	3.2	46.6	117.7	3.3	1.8	17.5	10.8
Li, litio	0.0029	2.5^A		0.22	6.03	0.01	3.50	0.24	0.26	<0.0029	3.91	9.68	<0.029	<0.029	1.25	1.79
Mg, magnesio	0.0010	100.0		50.9	28.9	12.5	22.5	20.1	21.1	15.2	11.4	13.2	14.7	9.5	8.3	19.4
Mn, manganeso	0.0004	0.50		10.798	1.031	0.001	0.895	3.563	3.787	<0.0004	0.067	0.189	0.061	0.001	0.016	0.030
Mo, molibdeno	0.0083	0.02^A		---	---	<0.0083	---	---	---	---	<0.0083	---	<0.0083	---	---	<0.0083
Na, sodio	0.0047	200.0		30.9	2758.1	21.4	126.0	76.2	76.7	26.1	414.0	1302.3	23.4	13.8	164.6	227.6
Ni, níquel	0.0074	0.05		0.336	0.015	<0.0074	0.414	0.067	0.073	<0.0074	<0.0074	<0.0074	<0.0074	<0.0074	<0.0074	<0.0074
Pb, plomo	0.0251	0.05		0.049	0.028	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251
Sb, antimonio	0.0192	0.01		<0.0192	<0.0192	0.031	<0.0192	0.021	<0.0192	<0.0192	<0.0192	0.194	<0.0192	<0.0192	<0.0192	0.026
Si, sílice	0.0263	N/A		27.0	6.7	13.6	23.7	11.5	12.1	14.2	16.0	26.6	9.7	9.5	12.2	9.2
Sn, estaño	0.0353	0.025^AAA		<0.0353	0.056	0.057	0.043	0.067	0.070	0.045	0.041	0.043	0.036	<0.0353	<0.0353	0.090
Zn, zinc	0.0026	0.2		32.948	4.968	0.006	2.655	62.012	71.833	1.354	<0.0026	0.010	<0.0026	<0.0026	<0.0026	<0.0026

**Apéndice A4:** julio 2014 las concentraciones químicas (mg/L), los datos físico-químicos y calificación de Calidad del Agua (CCA, 1=mejor, 10=peor).

JULIO 9 - 13 2014		Sitio código:		AVR1	AVR2	AVR3	BOD11	CABT1	CABTE	CALLP3	CUCC1	KER2	LCR1	MAD1	PALP3	PALP4
		Tipo:		rio	rio	rio	canal de rio	tanque	termal	pozo	canal de irrigación/ estanque	rio	rio	agua de la mina	pozo	pozo
Parámetro (mg/L, a menos que se indique lo contrario):	limite de detección (mg/L):	Criterios boliviana A:	CCA	8	8	8	8	3	9	4	3 (canal), estanque no muestreado	8	6	10	7	7
pH	N/A	6.0 - 8.5		3.3	4.1	4.1	10.4	8.0	6.8	7.4	6.8	7.6	7.3	2.5	7.2	7.5
Conductividad eléctrica (CE, dS/m)	N/A	<1,5*		2.60	3.26	1.91	2.59	0.33	16.71	0.69	0.23	9.22	1.54	12.29	5.23	2.35
Oxígeno disuelto (OD, % saturación)	N/A	>80%		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Relación de adsorción de sodio (RAS)**	N/A			0.8	1.0	0.8	0.9	1.0	77.7	2.9	0.5	29.2	1.2	8.3	9.7	5.5
Total de sólidos disueltos (TSD)	N/A	1000.0		1301.0	1629.0	957.0	1758.0	164.0	8358.0	346.0	117.0	4608.0	767.0	6140.0	2611.0	1176.0
Alcalinidad total (mg/L)	N/A			---	---	---	24.4	62.0	326.8	115.2	47.0	75.2	45.2	---	272.2	179.6
Cl, cloruro		250.0		124.7	224.9	98.6	237.9	30.4	4932.5	98.3	10.9	5061.4	89.0	1197.5	1083.9	297.8
F, fluoruro		0.6 - 1.7		0.58	4.23	1.79	0.60	1.42	1.30	1.57	2.46	0.96	1.44	3.43	3.74	3.73
NO3, nitrato		20.0		---	10.00	3.00	13.40	5.40	21.90	9.00	3.30	---	3.10	---	18.70	13.80
SO4, sulfato		300.0		1207.4	1647.5	909.7	1823.5	50.7	171.8	78.0	53.8	1255.9	653.9	6670.7	533.3	693.2
Al, aluminio	0.0312	0.2		28.563	15.783	16.414	0.091	0.050	0.035	<0.0312	0.035	0.061	0.074	164.302	0.069	<0.0312
As, arsénico	0.0248	0.05		<0.0248	0.128	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	2.364	0.058	0.088
B, boro	0.0266	1.0		0.49	0.40	0.48	0.32	0.35	11.25	0.96	0.26	5.58	0.91	1.78	4.24	2.02
Ba, bario	0.0003	0.7^		0.010	0.027	0.010	0.084	0.020	0.280	0.051	0.015	0.140	0.037	0.033	0.039	0.046
Ca, calcio	0.0054	200.0		370.8	628.7	285.4	837.6	23.7	91.9	39.2	20.3	174.2	173.4	227.0	268.4	140.2
Cd, cadmio	0.0011	0.005		0.407	0.328	0.308	0.005	<0.0011	<0.0011	0.002	0.002	0.265	0.006	9.876	0.005	0.005
Co, cobalto	0.0035	0.1		0.123	0.058	0.074	<0.0035	<0.0035	<0.0035	<0.0035	<0.0035	0.013	0.004	0.437	<0.0035	<0.0035
Cr, cromo	0.0052	0.05		<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	0.006	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	0.052	<0.0052	<0.0052
Cu, cobre	0.0044	0.05		0.606	0.457	0.410	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	1.012	<0.0044	<0.0044
Fe, hierro	0.0019	0.3		1.715	27.668	1.503	<0.0019	0.005	0.264	0.003	0.006	0.159	0.048	2349.609	0.009	0.025
K, potasio	0.0298	N/A		8.1	13.2	7.9	15.8	2.1	225.3	7.8	1.7	110.8	18.5	35.3	64.5	31.9
Li, litio	0.0029	2.5^^		0.49	0.34	0.40	0.25	0.03	12.96	0.31	<0.029	5.32	1.00	1.99	3.42	1.92
Mg, magnesio	0.0010	100.0		30.4	21.7	28.3	10.3	9.6	25.5	8.6	7.7	31.9	51.6	202.9	50.7	26.1
Mn, manganeso	0.0004	0.50		16.667	3.550	8.856	0.005	0.001	0.285	0.002	0.003	1.504	0.232	27.853	1.568	6.103
Mo, molibdeno	0.0083	0.02^		<0.0083	<0.0083	<0.0083	0.009	<0.0083	<0.0083	<0.0083	<0.0083	<0.0083	<0.0083	<0.0083	<0.0083	<0.0083
Na, sodio	0.0047	200.0		58.9	91.2	53.2	92.2	21.6	3257.0	77.2	11.1	1592.7	67.7	712.2	657.6	270.5
Ni, níquel	0.0074	0.05		0.183	0.093	0.159	<0.0074	<0.0074	<0.0074	<0.0074	<0.0074	0.029	0.204	1.407	<0.0074	<0.0074
Pb, plomo	0.0251	0.05		<0.0251	0.026	<0.0251	<0.0251	<0.0251	0.030	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	0.524	<0.0251	<0.0251
Sb, antimonio	0.0192	0.01		<0.0192	<0.0192	<0.0192	0.020	<0.0192	<0.0192	<0.0192	<0.0192	0.034	<0.0192	0.377	<0.0192	<0.0192
Si, sílice	0.0263	N/A		30.1	12.2	25.2	0.1	7.1	26.4	17.2	9.3	8.1	30.5	28.3	13.6	23.0
Sn, estaño	0.0353	0.025^^^		0.059	0.106	<0.0353	0.052	0.042	<0.0353	<0.0353	0.044	0.080	0.075	0.066	0.137	0.078
Zn, zinc	0.0026	0.2		90.769	51.279	67.928	0.051	<0.0026	<0.0026	0.004	<0.0026	19.465	39.113	1582.885	0.018	0.012

\* En general, se recomienda beber agua CE <0,9 dS/m (<600 ppm TSD) y máximo 1,5 dS/m (1,000 ppm TSD, recomendado por la OMS (2011a) para el gusto y sabor).

CE> 2,5 dS/m, no se recomienda para el consumo y que con> 10 dS/m se considera no apta para cualquier consumo (ganado incluido).

\*\* RAS = [Na meq/l]/([Ca meq/l]+[Mg meq/l])/2)1/2

^ Guía de la OMS (2011a).

^^ Organización Alimentación y la Agricultura (OAA, 1985) recomendación para el uso no restringido de riego.

^^^ Agencia de Medio Ambiente del Reino Unido directriz (no estatutario) para la protección de la vida acuática.

**Apéndice A4:** julio 2014 las concentraciones químicas (mg/L), los datos físico-químicos y calificación de Calidad del Agua (CCA, 1=mejor, 10=peor).

JULIO 9 - 13 2014		Sitio código:	PALP7	PALP8	PALP10	PALR2	PAZP3	PAZR1	PAZTE	PMO1	POR3	POR4	PQUE1	PUNP1	PUNP2	
		Tipo:	pozo	pozo	pozo	río	pozo	río	termal	pozo	río	río	pozo	grifo	pozo	
Parámetro (mg/L, a menos que se indique lo contrario):	límite de detección (mg/L):	Criterios boliviana A:	CCA	7	7	4	8	9	8	9	4	8	3	7	2	5
pH	N/A	6.0 - 8.5	7.5	7.0	6.7	5.4	8.3	4.7	6.7	8.3	8.6	8.2	8.3	8.3	7.8	
Conductividad eléctrica (CE, dS/m)	N/A	<1.5*	3.44	3.95	0.68	1.96	15.52	1.97	12.36	0.45	8.60	0.33	2.59	0.33	0.87	
Oxígeno disuelto (OD, % saturación)	N/A	>80%	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
Relación de adsorción de sodio (RAS)**	N/A		6.5	10.4	1.0	2.0	63.3	1.2	41.5	0.9	30.9	0.9	18.4	1.0	1.9	
Total de sólidos disueltos (TSD)	N/A	1000.0	1720.0	1976.0	338.0	979.0	7755.0	986.0	5172.0	224.0	1308.0	163.0	1293.0	164.0	437.0	
Alcalinidad total (mg/L)	N/A		334.0	350.4	136.2	---	628.6	---	401.8	172.4	74.8	60.8	184.2	69.2	159.0	
Cl, cloruro		250.0	716.0	944.0	36.2	194.0	4802.8	128.3	2935.3	21.2	2350.4	29.5	603.1	30.8	151.5	
F, fluoruro		0.6 - 1.7	0.58	2.47	3.60	0.49	3.49	1.98	5.14	2.96	3.56	0.77	2.38	0.80	3.19	
NO3, nitrato		20.0	115.40	25.00	---	---	44.90	---	34.90	11.90	1.20	7.30	17.10	5.40	11.60	
SO4, sulfato		300.0	127.0	112.7	164.9	706.6	51.7	834.7	66.8	33.9	469.0	46.0	117.0	53.1	77.3	
Al, aluminio	0.0312	0.2	<0.0312	0.036	0.041	2.826	<0.0312	12.950	0.051	0.072	<0.0312	0.054	<0.0312	0.055	<0.0312	
As, arsénico	0.0248	0.05	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	0.063	<0.0248	<0.0248	
B, boro	0.0266	1.0	3.11	4.27	0.79	0.86	14.14	0.66	8.41	0.75	5.81	0.34	2.90	0.36	0.93	
Ba, bario	0.0003	0.7^A	0.162	0.260	0.042	0.030	0.312	0.020	HIGH	0.053	0.123	0.020	0.050	0.020	0.120	
Ca, calcio	0.0054	200.0	194.1	146.4	77.9	232.1	138.0	283.1	101.1	50.7	129.6	23.9	30.1	24.2	71.0	
Cd, cadmio	0.0011	0.005	0.002	<0.0011	0.003	0.216	<0.0011	0.273	0.003	0.003	0.100	0.002	0.002	<0.0011	0.003	
Co, cobalto	0.0035	0.1	<0.0035	<0.0035	<0.0035	0.049	<0.0035	0.063	<0.0035	<0.0035	0.010	<0.0035	<0.0035	<0.0035	<0.0035	
Cr, cromo	0.0052	0.05	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	
Cu, cobre	0.0044	0.05	<0.0044	<0.0044	<0.0044	0.254	<0.0044	0.346	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	
Fe, hierro	0.0019	0.3	0.003	0.028	1.523	0.645	0.074	1.884	0.913	0.005	0.010	0.007	0.002	0.004	0.002	
K, potasio	0.0298	N/A	61.5	62.1	8.7	13.8	271.3	11.5	146.8	3.4	112.9	2.1	17.9	2.1	9.8	
Li, litio	0.0029	2.5^AA	3.82	4.18	0.10	0.78	17.11	0.60	9.45	0.03	5.37	0.03	0.74	0.03	0.14	
Mg, magnesio	0.0010	100.0	42.8	38.3	17.5	26.6	26.5	30.0	13.0	10.3	28.4	9.7	7.2	9.9	19.3	
Mn, manganeso	0.0004	0.50	0.0005	0.010	0.301	6.231	0.434	8.454	0.360	<0.0004	1.028	0.006	0.004	0.001	0.007	
Mo, molibdeno	0.0083	0.02^A	<0.0083	<0.0083	<0.0083	<0.0083	<0.0083	<0.0083	<0.0083	<0.0083	<0.0083	<0.0083	<0.0083	<0.0083	<0.0083	
Na, sodio	0.0047	200.0	380.1	543.6	35.6	122.1	3088.9	77.5	1664.2	25.3	1485.4	21.2	431.6	21.8	69.2	
Ni, níquel	0.0074	0.05	<0.0074	<0.0074	<0.0074	0.106	<0.0074	0.136	<0.0074	<0.0074	0.012	<0.0074	<0.0074	<0.0074	<0.0074	
Pb, plomo	0.0251	0.05	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	
Sb, antimonio	0.0192	0.01	<0.0192	<0.0192	<0.0192	0.019	<0.0192	0.026	0.030	0.022	0.049	0.020	<0.0192	<0.0192	0.022	
Si, sílice	0.0263	N/A	22.2	17.0	18.2	19.0	20.9	22.5	36.5	27.9	8.1	7.3	21.4	7.4	29.2	
Sn, estaño	0.0353	0.025^AAA	0.109	0.072	0.093	0.038	<0.0353	0.048	0.094	0.045	0.126	<0.0353	0.093	<0.0353	0.060	
Zn, zinc	0.0026	0.2	<0.0026	<0.0026	0.004	47.902	0.007	61.847	0.004	<0.0026	3.117	0.043	<0.0026	0.033	0.011	

**Apéndice A4:** julio 2014 las concentraciones químicas (mg/L), los datos físico-químicos y calificación de Calidad del Agua (CCA, 1=mejor, 10=peor).

JULIO 9 - 13 2014		Sitio código:																
Parámetro (mg/L, a menos que se indique lo contrario):	límite de detección (mg/L):	Criterios boliviana A:	CCA		RUY1	SORR1	TID1	TOLAP1	TOTR1	TOTR2	TOTV2	URC1	URLT1	URR1	URR2	URR3	URV1	VIP1
			rio/ lago	rio	agua de la mina	pozo	rio	rio	manantial / pendiente	canal de irrigación	termal	rio	rio	rio	manantial / pendiente	pozo		
			7	10	10	4	8	8	6	7	9	3	3	5	5	6		
pH	N/A	6.0 - 8.5	8.2	3.5	7.7	6.3	6.1	5.8	8.1	7.8	6.7	8.3	5.8	8.8	7.5	6.8		
Conductividad eléctrica (CE, dS/m)	N/A	<1.5*	3.66	2.02	9.89	0.34	3.32	3.22	0.46	2.40	6.30	0.32	0.44	1.40	1.39	1.20		
Oxígeno disuelto (OD, % saturación)	N/A	>80%	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
Relación de adsorción de sodio (RAS)**	N/A		10.0	0.6	28.2	0.7	0.8	0.9	0.9	12.7	28.6	0.6	0.5	6.5	7.1	1.7		
Total de sólidos disueltos (TSD)	N/A	1000.0	1829.0	1008.0	4955.0	168.0	1670.0	1611.0	229.0	1199.0	3153.0	159.0	216.0	697.0	693.0	601.0		
Alcalinidad total (mg/L)	N/A		186.4	---	71.6	86.8	11.2	5.8	48.4	183.6	439.0	98.0	85.0	127.6	331.0	141.4		
Cl, cloruro		250.0	760.0	35.8	2605.4	15.3	235.4	240.2	14.0	507.0	1628.7	11.3	14.9	314.0	207.1	76.8		
F, fluoruro		0.6 - 1.7	3.43	5.81	4.21	1.77	3.62	3.83	2.42	2.47	0.94	1.11	1.94	1.21	0.78	---		
NO3, nitrato		20.0	21.50	---	3.70	7.80	19.40	20.70	3.30	14.50	27.40	7.60	5.60	---	13.30	---		
SO4, sulfato		300.0	491.4	970.4	858.4	45.0	1649.4	1750.7	154.7	43.6	51.9	48.1	31.2	36.1	67.3	374.4		
Al, aluminio	0.0312	0.2	0.062	71.668	0.046	<0.0312	0.762	1.370	<0.0312	0.045	<0.0312	<0.0312	0.057	0.044	<0.0312	0.058		
As, arsénico	0.0248	0.05	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	<0.0248	0.080		
B, boro	0.0266	1.0	3.00	0.45	5.60	0.44	0.31	0.38	0.79	2.62	6.54	0.38	0.30	1.41	2.88	1.19		
Ba, bario	0.0003	0.7^	0.030	0.010	0.104	0.020	0.065	0.059	0.036	0.260	HIGH	0.022	0.020	0.101	0.050	0.080		
Ca, calcio	0.0054	200.0	117.0	103.9	277.9	32.3	700.5	752.6	43.6	45.7	80.5	27.8	23.8	42.1	32.2	120.6		
Cd, cadmio	0.0011	0.005	0.002	1.414	0.116	0.005	0.156	0.171	0.006	<0.0011	<0.0011	0.003	0.003	<0.0011	0.002	0.006		
Co, cobalto	0.0035	0.1	<0.0035	0.401	<0.0035	<0.0035	0.011	0.017	<0.0035	<0.0035	<0.0035	0.004	<0.0035	<0.0035	<0.0035	<0.0035		
Cr, cromo	0.0052	0.05	<0.0052	0.011	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052	<0.0052		
Cu, cobre	0.0044	0.05	0.011	2.200	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044	<0.0044		
Fe, hierro	0.0019	0.3	0.014	167.220	0.010	0.003	0.023	0.203	0.004	0.063	0.346	0.310	<0.0019	0.010	0.007	1.886		
K, potasio	0.0298	N/A	33.2	7.9	106.6	3.2	13.1	15.1	3.1	41.6	118.2	2.3	6.1	20.5	10.9	18.5		
Li, litio	0.0029	2.5^^	0.60	0.38	5.12	0.004	0.20	0.25	<0.029	3.31	<0.029	<0.029	<0.029	1.52	1.76	0.45		
Mg, magnesio	0.0010	100.0	64.0	54.6	24.3	10.9	12.6	15.3	14.2	10.8	12.4	11.7	10.7	10.8	19.4	35.3		
Mn, manganeso	0.0004	0.50	0.013	22.711	1.012	0.004	1.126	1.384	<0.0004	0.078	0.170	0.030	<0.0004	0.009	0.024	0.776		
Mo, molibdeno	0.0083	0.02^	<0.0083	<0.0083	<0.0083	<0.0083	0.009	<0.0083	<0.0083	<0.0083	<0.0083	<0.0083	<0.0083	<0.0083	<0.0083	<0.0083		
Na, sodio	0.0047	200.0	540.4	32.4	1819.0	17.1	77.5	92.4	26.7	366.0	1037.9	13.9	11.9	183.3	206.3	83.9		
Ni, níquel	0.0074	0.05	<0.0074	0.530	<0.0074	<0.0074	0.019	0.023	<0.0074	<0.0074	<0.0074	<0.0074	<0.0074	<0.0074	<0.0074	<0.0074		
Pb, plomo	0.0251	0.05	0.032	0.034	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	0.032	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251	<0.0251		
Sb, antimonio	0.0192	0.01	<0.0192	<0.0192	<0.0192	0.021	<0.0192	<0.0192	<0.0192	<0.0192	<0.0192	<0.0192	0.030	<0.0192	0.041	<0.0192		
Si, sílice	0.0263	N/A	0.04	43.7	7.6	16.3	3.9	4.2	14.1	12.9	24.7	8.9	10.2	10.0	8.8	18.1		
Sn, estaño	0.0353	0.025^	0.090	<0.0353	0.080	0.057	0.038	0.048	0.071	0.047	0.061	0.053	0.094	<0.0353	0.093	0.065		
Zn, zinc	0.0026	0.2	0.022	37.475	3.127	<0.0026	17.717	23.195	0.417	<0.0026	<0.0026	0.014	<0.0026	<0.0026	<0.0026	0.009		

**Apéndice B:** Caudal de los ríos y los niveles de agua de pozo en agosto y diciembre de 2013 y abril y julio 2014.

<b>Caudal de los ríos (m<sup>3</sup>/s)</b>		agosto 13-16 <sup>th</sup> 2013	diciembre 16-20 <sup>th</sup> 2013	abril 7-10 <sup>th</sup> 2014	julio 9-13 <sup>th</sup> 2014
código del sitio:	ubicación (consulte Figura 1)				
SORR1 (río)	Sora Sora	---	---	0.6538	0.2769
POR4 (río)	Poopó	---	---	0.1019	0.0539
MAD1 (DAM)	Poopó <sup>D</sup> - Machacamaquita	---	---	---	0.0035
POR3 (río)	Poopó	---	---	0.1444	0.0889
KER2 (río)	Kesukesuni	---	---	0.0775	0.0654
TOTR1 (río)	Antequera - Totoral	---	---	0.1506	0.1893
TOTR2 (río)	Antequera - Totoral	---	---	0.1747	0.1483
AVR1 (río)	Antequera - Avicaya	---	---	0.0817	0.0704
AVR3 (río)	Antequera - Avicaya	---	---	0.2455	0.1097
CUCC1 (canal de riego)	Kuchi-Avicaya	---	---	---	0.0036
PALR2 (río)	Pazña	---	---	0.3233	0.1928
PAZR1 (río)	Pazña	---	---	0.3715	0.1740
URR2 (río)	Urmiri	---	---	---	0.0064
URR1 (río)	Urmiri	---	---	0.0849	0.0384
URC1 (canal)	Urmiri	---	---	0.0534	0.0331
URR3 (río)	Urmiri	---	---	0.0505	0.0280
<b>Niveles de agua de pozo (m por debajo de la carta)</b>					
código del sitio:	ubicación (consulte Figura 1)				
TOLAP1 (pozo)	Tolapampa	7.05	7.10	4.72	4.09
PUNP2 (pozo)	Puñaca	---	---	4.68	4.74
CALLP3 (pozo)	Callipampa	7.30	---	5.70	6.36
PMO1 (pozo)	Morochi	---	---	---	2.30
PQUE1 (pozo)	Quellia	---	---	3.98	4.11
TOTP5 (pozo)	Antequera	seca	2.17	1.40	seca
PALP7 (pozo)	Pazña	3.31	4.02	4.06	3.93
PALP9 (pozo)	Pazña	4.28	4.25	---	---
PAZP3 (pozo)	Pazña	1.63	1.88	---	1.88
PALP2 (pozo)	Pazña	2.05	2.28	---	---
PALP3 (pozo)	Pazña	2.25	2.37	1.94	2.10
PALP4 (pozo)	Pazña	2.08	2.27	1.83	1.94
PALP5 (pozo)	Pazña	3.23	3.37	---	---

Apéndice C: Figuras

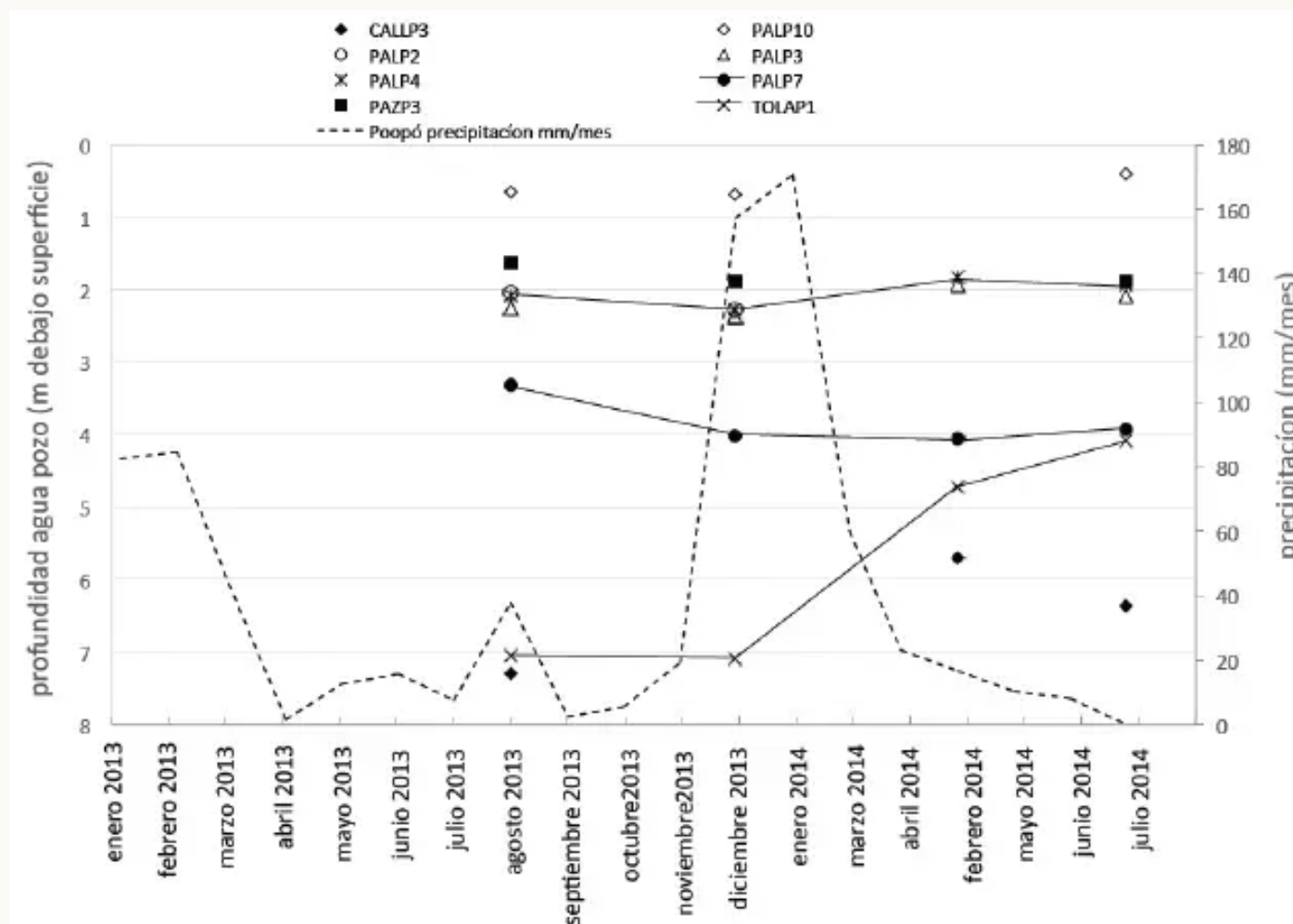


Figura C1 Los niveles de agua (metros por debajo de datum) en pozos en el área de estudio (véase la Figura 1 para las ubicaciones de código de sitio) y precipitaciones (mm/mes) en Poopó en 2013 y 2014 (SENAMHI, 2014).

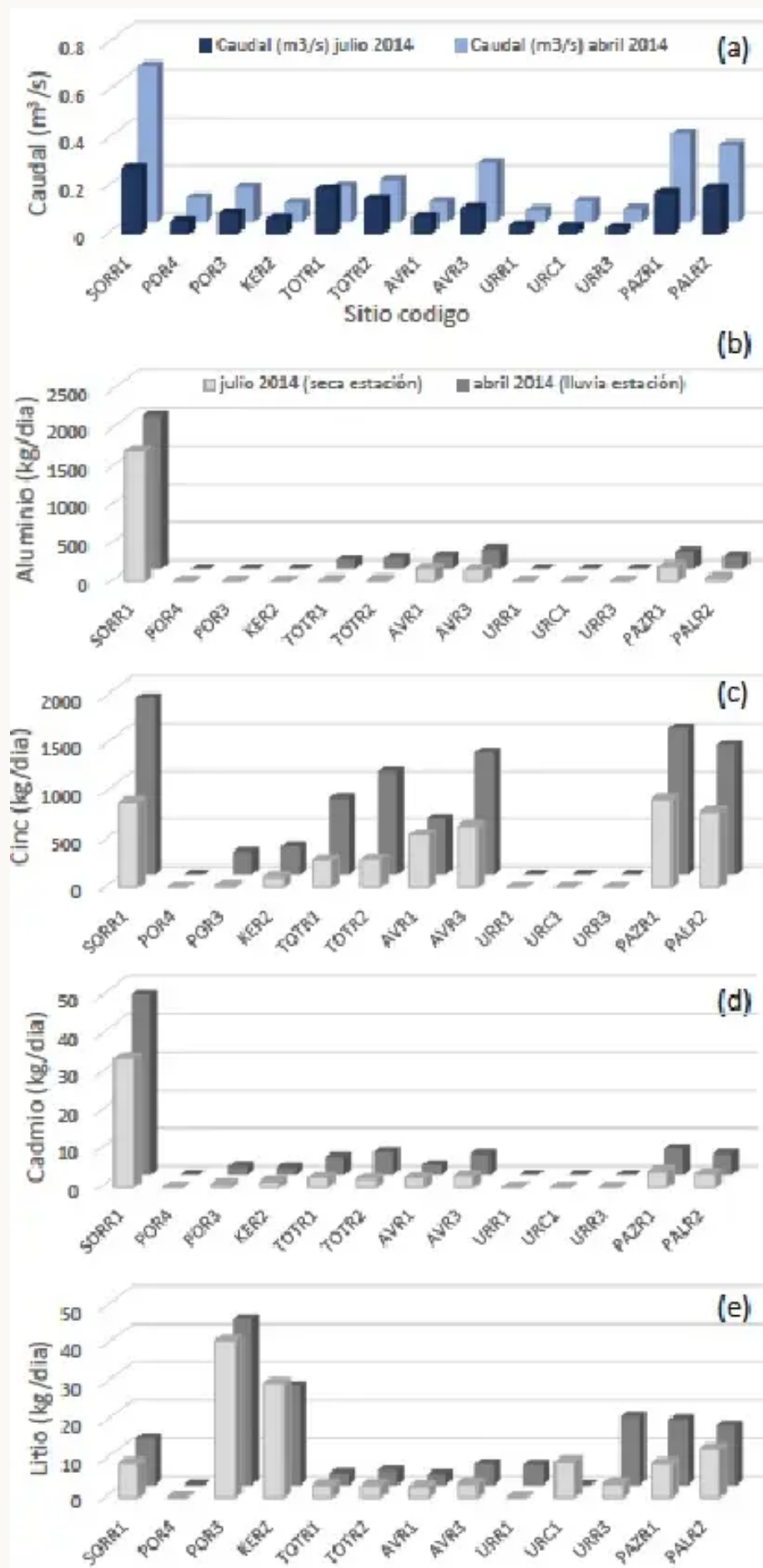


Figura C2 Gráficos que muestran a) caudal de los río (m³/s, Apéndice B), y b) Flujo de aluminio (kg Al/día), c) Flujo de zinc (kg Zn/día), d) el cadmio flujo (kg Cd/día), e) Flujo de litio (kg Li/día) durante abril (temporada de lluvias) y julio (estación seca) de 2014, a los sitios de agua superficial en el área de estudio (consulte Figura 1 para las ubicaciones de código del sitio). Los flujos determinados a partir de las concentraciones de metales sitio (mg/L) y caudales de los ríos (m³/s convertidos a L/s).

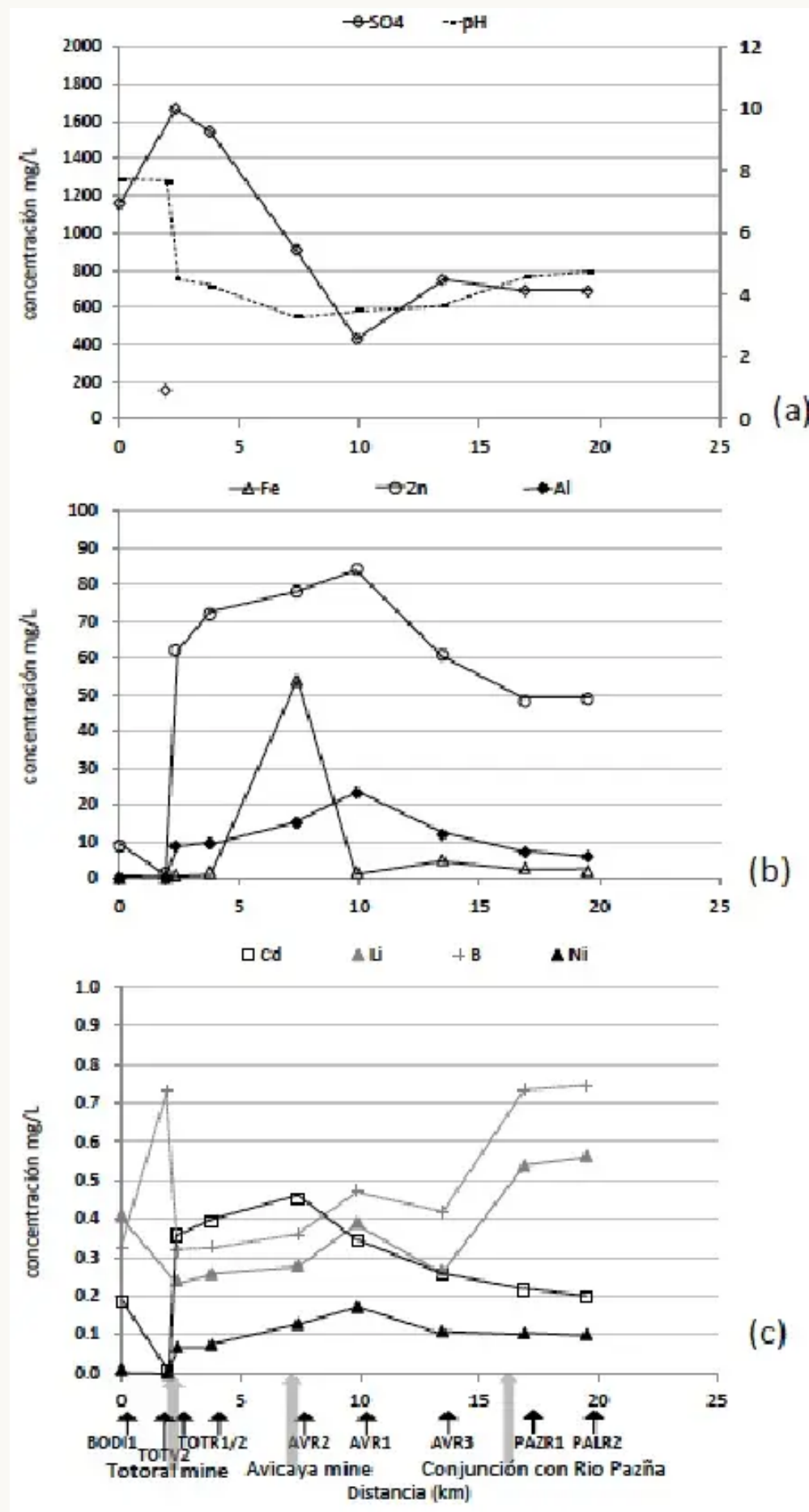


Figura C3 Gráfico que muestra las concentraciones (mg/l) de a)  $\text{SO}_4$  (diamantes vacíos) y pH (línea discontinua), b) Zn (círculos vacíos), y Fe (triángulos vacíos), Al (diamantes sólidos) y pH (línea discontinua), c) Cd (casilla vacía), Li (triángulo gris), B (cruces) y Ni (triángulos rellenos) contra la distancia aproximada abajo canal Antequera al río Pazña; desde BODI1 (canal, 0 km), TOTV2 (pendiente, a 1.9 km) TOTR1 (río Antequera, 2,4 km), TOTR2 (3,8 km), AVR2 (7,4 km), AVR1 (9,9 km), AVR3 (antes de confluencia de río Antequera y Pazña 13,4 kilometros), PAZR1 (río Pazña 16,9 km), PALR1 (19,5 km) en abril 2014.