

EVALUACIÓN REGIONAL DE LOS RECURSOS SUBSUPERFICIALES DE LA SUBCUENCA DEL LAGO POOPÓ

Maggie Martha L.A. Niura; Oswaldo E. Ramos; Jorge E. Quintanilla; María E. García; Efraín J. Blanco; Liliana Flores

Laboratorio de Hidroquímica, Proyecto CAMINAR, Instituto de Investigaciones Químicas UMSA, Campus Universitario, Edificio FCPN 2º piso, Calle 27 y Calle Andrés Bello, Cota-Cota, La Paz – Bolivia

Keywords: Pozos, región, arsénico, fosfato, agua segura.

ABSTRACT

The CAMINAR Project perform during the 2007 and 2008 the evaluation of surface water and groundwater resources in the Poopó basin, in order to reach the management of this resources to safe access to water in the village in the basin. The studies attained to identify regions with social economy activities and different uses of the water. The region 1, identify the organic contamination in the wells, and it is necessary delimited the influence area; in the region 2, it is necessary prioritized hydrogeology studies to determine the quality and quantity of the water, at the region 3 it is necessary development program in the integral management of soils, together to programs of safe access to water. The region 4 and 5 there are necessary to takes in account the implementation of economic methods to treatment to eliminate Arsenic of the water to human consumption and to farm..

Corresponding author: amalia.niura@gmail.com

RESUMEN

La evaluación de los Recursos subsuperficiales de la subcuenca del Lago Poopó, se realizó durante los años 2007 y 2008, dentro del proyecto CAMINAR “Gestión de cuencas con influencia minera en zonas áridas y semiáridas de América del Sur”. Dentro de este marco el siguiente trabajo tuvo por objetivo la evaluación de los recursos subsuperficiales (pozos) de la subcuenca del Lago Poopó para establecer alternativas de manejo de recursos hídricos en diferentes regiones de la subcuenca y promover dentro de los municipios criterios de acceso seguro al agua en sus comunidades. El análisis que se detalla corresponde a la identificación de regiones con actividades socioeconómicas diferentes y con usos diferentes de agua. De esta manera en la *Región 1*, se recomienda priorizar el establecimiento de áreas de influencia de los pozos para limitar posibles fuentes de contaminación orgánica tanto en los pozos familiares como comunales. *En la región 2*, es prioridad el desarrollo de estudios hidrogeológicos para determinar las zonas en que se tenga acceso seguro al agua. *En la región 3* se debe desarrollar un programa integral de manejo de suelos paralelo a los programas de dotación segura de agua para consumo, considerando medidas para la gestión sostenible de prácticas agrícolas. *En la región 4* se recomienda tomar las consideraciones respectivas para implementar métodos básicos y económicos para eliminar el arsénico. *En la región 5* a diferencia de la 4, los programas a desarrollar como prioridad son específicos en tratamiento de aguas subsuperficiales de consumo y riego para eliminar el arsénico.

INTRODUCCION

El marcado déficit hídrico que existe en las zonas semiáridas del Altiplano Central, incide en la disposición y oferta de agua no solamente para riego, sino también para consumo humano, animal y otros usos [1]. Por otro lado, las actividades mineras que se practican desde hace décadas y la influencia de factores naturales de la zona afectan la calidad de los recursos hídricos, limitando su uso [2]. El proyecto CAMINAR “Gestión de cuencas con influencia Minera en zonas áridas y semiáridas de América del Sur” tuvo como objetivo desarrollar políticas, estrategias y tecnologías para el manejo sostenible de cuencas afectadas por la minería en regiones áridas y semiáridas de Sudamérica. Dentro de este marco el siguiente trabajo tuvo por objetivo la evaluación de los recursos subsuperficiales (pozos) de la subcuenca del Lago Poopó para establecer alternativas de manejo de recursos hídricos

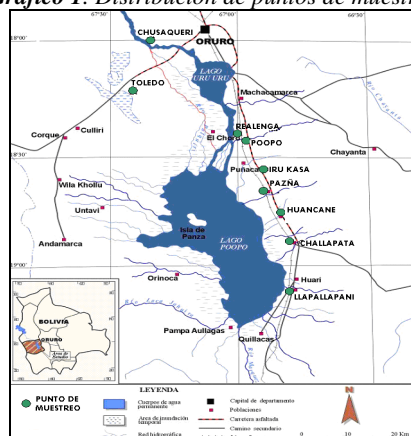
en diferentes zonas de la subcuenca y promover dentro de los municipios criterios de acceso seguro al agua en sus comunidades [3]

La subcuenca del Lago Poopó está ubicada en el departamento de Oruro, área deprimida de Bolivia, donde la disposición de agua en la zona árida Sur es precaria, ya que en esta zona las principales fuentes de agua corresponden en su mayoría a pozos artesanales subsuperficiales con 10 y 15 m de profundidad, cuya extracción se realiza manualmente y en algunos casos con bombas manuales y/o eólicas, su distribución y consumo no asegura ningún tratamiento ni control de calidad tanto para fines agrosilvopastoriles como para consumo humano, en contraste la zona semiárida Nor Este muestra una zona influenciada por la actividad minera que se desarrolla de manera intensiva en las zonas circundantes a Oruro, Huanuni, Sora Sora, Poopó y Pazña, donde el tipo de minería que se desarrolla corresponde a microcooperativas, y cooperativas medianas privadas y empresas estatales, del mismo modo se tiene además problemas ambientales relacionados a los escombros y lixiviados de diques abandonados que llegan sin tratamiento a los cauces de las aguas superficiales [4]. El proyecto Piloto Oruro [5] reporta que al Sur de la ciudad de Oruro y en realidad en toda la región circundante al Lago Poopó, existen concentraciones elevadas de arsénico, azufre y antimonio que exceden los estándares de calidad de agua establecidos por la norma boliviana. Identificando las localidades de Toledo, Sevaruyo, Quillacas, Vinto, Pazña, Huari y Challapata como zonas con presencia de metales pesados en las aguas subsuperficiales (pozos familiares y comunales), siendo estas fuentes las únicas disponibles en cada localidad. Alrededor de esta subcuenca se desconoce el número exacto de pozos y de su calidad. Al Nor Este de la subcuenca, en la localidad de Pazña, el agua presenta valores de pH ligeramente ácidos, siendo estos valores los más bajos de los pozos estudiados en la subcuenca, esta zona presenta el agua de mayor dureza en toda la zona estudiada, el comportamiento de estos pozos es diferente debido a la presencia de elevados contenidos de Na^+ , Ca^{2+} y SO_4^{2-} contrastados con los bajos contenidos de HCO_3^- . esto muestra una química distinta respecto a los pozos ubicados en Challapata y Realenga [6]), por referencias bibliográficas de estudios realizados en la calidad del agua superficial de esta zona [7], se sabe que en Pazña se tiene valores de pH bajos lo que es provocado por el drenaje ácido de minas, esto explicaría que el pH del agua subterránea en esta zona sea menor, la presencia de drenajes ácidos de mina y la oxidación de la pirita explican porque estos pozos presentan concentraciones altas de sulfatos en ambas épocas, [8]

PARTE EXPERIMENTAL

Los parámetros medidos fueron los cationes y aniones clásicos (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NO_2^- y Cl^-), elementos traza (As, Zn), Fe, alcalinidad total, pH, conductividad, Sólidos Totales en Suspensión, Sólidos Totales Disueltos y Dureza. Las técnicas usadas fueron: Instrumentales (Espectrómetro de Absorción Atómica con Generador de Hidruros, Espectrofotómetro Ultravioleta- Visible, pH- metro, conductímetro, TDS-metro), Gravimétricas y Volumétricas. La designación de los 24 puntos de muestreo (Gráfico 1) se hizo de acuerdo a la distribución geográfica y el uso del agua subterránea, es decir se priorizo a los pozos que servían para el consumo humano y de estos los que tenían mayor demanda e influencia sobre la población. Los muestreos se realizaron en septiembre del 2007 y 2008, y enero de 2008, correspondiendo dos campañas al final de la época seca y una en época húmeda.

Gráfico 1. Distribución de puntos de muestreo

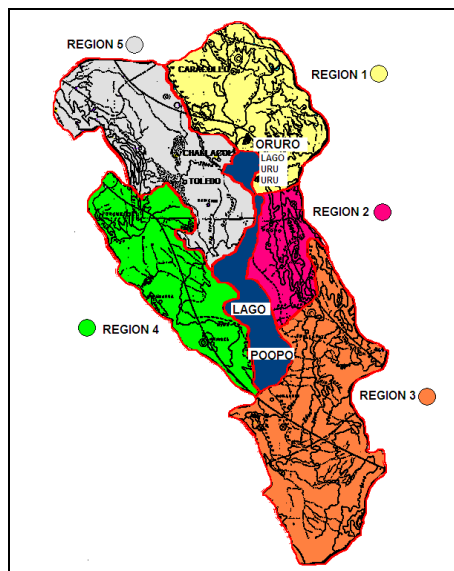


Fuente: Quintanilla J., Marín R.; Efectos ambientales sobre las pesquerías de los ecosistemas de los lagos Poopó y Uru Uru (2002)[10].

RESULTADOS, DISCUSION

El análisis que se detalla corresponde a la identificación de regiones con actividades socioeconómicas diferentes y con usos diferentes de agua (Grafico 2.). Las zonas caracterizadas son:

Grafico 2. Regionalización cuenca Lago Poopó



Fuente: Coronado F., Diagnóstico de la situación ambiental del lago Poopó – Oruro (2003).[9]

REGION 1

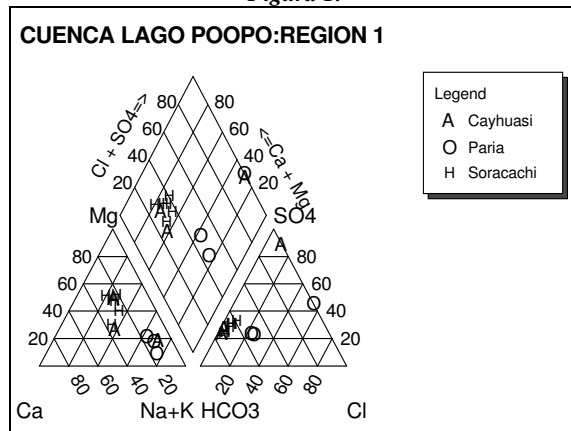
La zona de Paria, Soracachi y Cayhuasi pertenecen a la 3ra Sección de la Provincia Cercado. Esta zona se caracteriza por su aptitud para ganadería extensiva, diferenciada en llanuras de pendiente débil, con problemas o limitaciones por textura de suelos y agua de riego.

La zona referida a la región 1 (Tabla 1.) comprenden las comunidades de Cayhuasi, Paria y Soracachi. La caracterización Hidroquímica (Figura 1.) muestra la presencia de magnesio, sodio y calcio. En las zonas de Cayhuasi y Soracachi se aprecia una variación estacional con presencia dominante de calcio, en Paria la tendencia muestra aguas con concentraciones representativas de sodio y potasio. Se han determinado valores de sulfatos entre 145 y 280 mg/L que se pueden considerar característicos de la zona norte de la cuenca del Lago Poopó sin influencia minera.

Tabla 1. Descripción de pozos de la Región 1

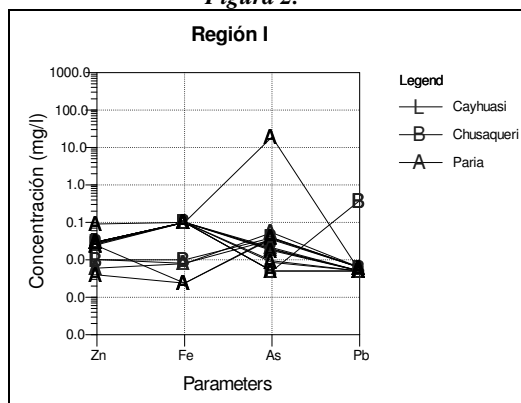
Pozos Región 1	TIPO DE AGUA	Descripción general del agua subsuperficial
Cayhuasi	(Ca-Mg-HCO ₃)	Agua dura por la presencia de calcio y magnesio, se presenta una anomalía en septiembre del 2008 que determinaría una caracterización sulfato sódica para este pozo.
Paria	(Na-HCO ₃)	La presencia de Na ⁺ y HCO ₃ ⁻ indican procesos de intercambio iónico, con tendencia salina por la presencia marcada de Na ⁺ y Cl ⁻ en época seca
Soracachi	(Ca-Mg-HCO ₃)	Agua dura por la presencia de Calcio y Magnesio, esta característica se presenta en ambas épocas (lluvia y seca).

Figura 1.



Los valores de nitratos en esta zona muestran valores entre 10 y 15 mg/L en época húmeda en Cayhuasi y Soracachi, y valores por debajo de 7,5 en época seca, no habiendo en ninguno de los pozos estudiados influencia de contaminación orgánica por desechos orgánicos. Los valores de sodio encontrados en Paria están por encima del límite establecido por la norma para aguas de clase A, B y C, siendo no apta para consumo ni para riego. En toda la región se encuentran valores representativos de magnesio. Por lo que se puede concluir que por las altas concentraciones de sodio y magnesio no serían recomendadas para consumo humano, los índices RAS en este caso en época húmeda varían entre 2,6 a 7,6 lo cual indica peligro de salinidad de suelos. En esta región se ha determinado la presencia de arsénico (Figura 2.) en concentraciones ente 0,020 y 0,040 mg/L tanto en época seca como en época húmeda, dando una señal de alerta en la zona de Soracachi, la que utiliza el agua para consumo, riego y cría de ganado.

Figura 2.



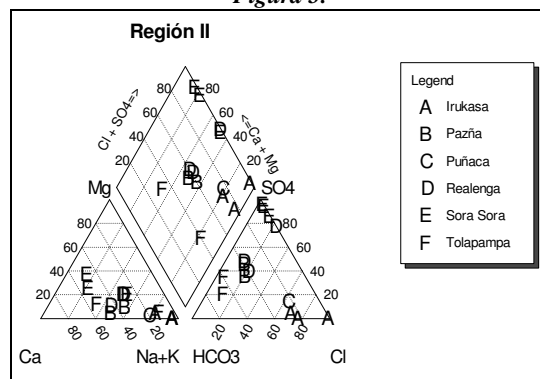
Las concentraciones de cadmio fluctúan alrededor de la media establecida como contenido de aguas clase A y B, los valores fluctúan entre 0,001 y 0,005 mg/L, mostrando Paria un máximo en la época seca del septiembre del 2008. Los valores de plomo no son representativos en esta zona. Para esta región los valores de hierro presentan un máximo de 0,010 mg/L y de zinc de 0,005 mg/L, valores que se puede considerar como concentración base para la zona norte de la Cuenca del Lago Poopó sin influencia minera.

REGION 2

Está ubicado en las provincias Pantaleón Dalence y Poopó abarca los municipios de Machacamarca, Poopó y Pazña, en esta región la actividad principal es la minería de diversa envergadura. Los pozos considerados en esta región se distribuyen en seis comunidades: Irukasa, Realenga, Sora Sora, Poopó Tolapampa y Pazña. Se han encontrado valores de pH ácidos desde 2,63 a 3,69 en la comunidad de Sora Sora, donde la caracterización del agua es Ca-SO4 que corresponde a la determinada en el río de la subcuenca con el mismo nombre, por lo que se infiere que el río Sora Sora afecta la calidad de los pozos de la comunidad. La localidad de Realenga presenta una fase dominante de Na-SO4 (época seca) que mostraría la fragilidad de los pozos cercanos a ríos contaminados como el río San Juan de Sora

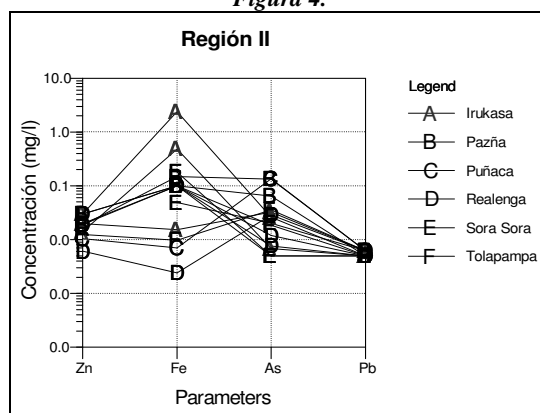
Sora, por la presencia de sulfatos en la zona. Mientras en la época de lluvia presenta una caracterización de Ca-SO₄; en ambas épocas las características son aguas con dureza permanente. La localidad de Tholapampa muestra una fase dominante de Ca-HCO₃ (época de lluvias), que por su ubicación en la zona de llanura de inundación mostraría procesos de intercambio iónico entre la interface suelo y agua. Mientras en la época seca presenta Na-HCO₃ que también indica procesos de la misma naturaleza que en el anterior caso. La zona de Cabrería ubicado cerca de la localidad de Poopó, muestra una caracterización Na-HCO₃ que también indicaría procesos de intercambio iónico (Figura 3).

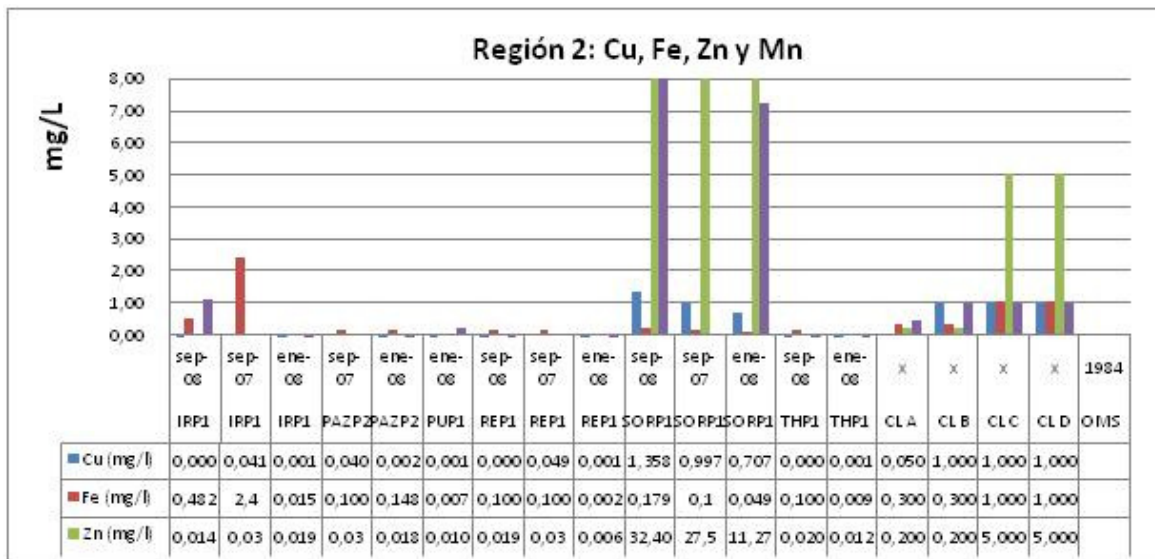
Figura 3.



Este cuerpo de agua es utilizado como fuente de agua potable, está ubicada en la zona alta de la subcuenca del río Poopó por lo que muestra aguas no afectadas por la actividad minera que se desarrolla aguas abajo y con buena aptitud para consumo humano. La zona de Irukasa muestra un carácter salino Na-Cl durante todo el año, que correlaciona con los valores de conductividad eléctrica. El pozo de Pazña presenta la caracterización de Na-HCO₃ en época de lluvia y cambia a Ca-SO₄ en época seca que podría indicar el impacto de contaminación posiblemente natural, ya que alrededor del pozo no se encuentra actividad minera, ni la dirección de flujo del río Pazña afectaría este pozo. Los valores de RAS en ambas época están por debajo de 1,69, que muestra que no existe un peligro de sodificación del suelo, mostrando que la calidad considerando parámetros clásicos es apta para ser usada en riego, dependiendo de las características de textura del suelo. Sin embargo no se recomienda su uso debido a los contenidos altos de metales. Se ha encontrado en el pozo estudiado en Sora Sora valores de cadmio alrededor de 0,645 mg/L por encima de la norma, no se encuentran concentraciones de plomo. Siendo estos los metales pesados que muestran máximos en la zona con actividad minera (Figura 4).

Figura 4.



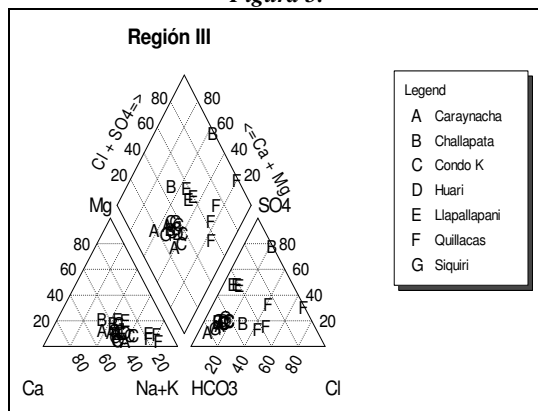


Los valores de hierro en toda la región no sobrepasan los valores de 0,100 mg/L estando por debajo de la norma en todos los casos. En la zona de Sora Sora se encuentran valores de zinc de 32,40 mg/L en época seca y 11,27 mg/L, verificándose la influencia de aguas contaminadas con actividad minera (los valores de la norma en esta caso son de 0,200 mg/L para aguas de clase A y B y 5,000 en los casos de aguas clase C y D). Se encuentran valores máximos de sulfatos (1133 mg/L) en época húmeda en los pozos de Sora Sora por encima del límite establecido por la OMS de 400 mg/L. Los valores de arsénico en el pozo de Pazña (PAZP2) muestran valores que están por encima de norma boliviana tanto en época seca como la de lluvia. Los valores de zinc en los pozos muestran valores menores a 0,032 mg/L, el hierro en Irukasa presenta concentraciones menores a 2,4 mg/L, mientras las concentraciones de arsénico con valores menores a 0,133 mg/L y bajas concentraciones de plomo en todos los casos.

REGION 3

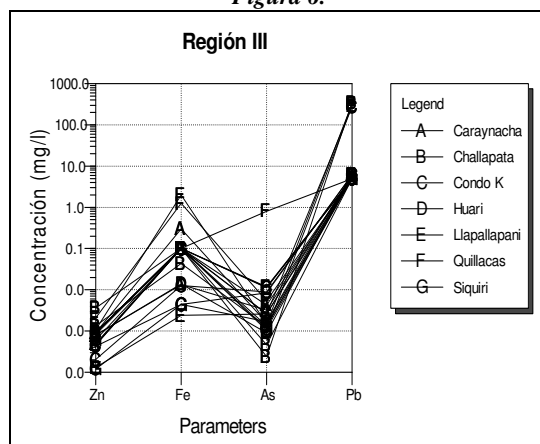
La región comprende las provincias Sebastián Pagador y Avaroa, que comparten la problemática ambiental de contaminación natural de ríos y pozos. Las comunidades estudiadas en esta región son: Challapata, Llapallapani, Huari, Condo K, Siquiri y Quillacas. En esta región la concentración poblacional es media – baja, con acceso medio a servicios básicos, la ocupación principal en la agropecuaria, bajo la forma de cuenta propia. La zona presenta pobreza baja - moderada. Esta región al contrario de la zona norte de la cuenca, presenta en época húmeda valores de pH alcalinos (8,00) por encima de los límites establecidos en la norma boliviana para aguas de clase A, B, C y D. Las aguas de estos pozos ubicados en los pies de montes y serranías presentan características de una fase dominante de Na-HCO₃ que indicaría procesos de intercambio iónico, los pozos en las llanuras de inundación presentan características Na-SO₄ debido al efecto del lago Poopó (Figura 5.)

Figura 5.



Los valores RAS en los pozos con influencia climática semiárida (valores de 0,83 en Challapata y LLapallapani) muestran que no existe peligro de sodificación de los suelos, en la zona árida en cambio los valores reportados 1,93-2,12 en Condo K; mientras que en Quillacas de 3,37 a 5,94, muestran un aumento progresivo hacia la parte Sur, hacia contenidos moderados de peligrosidad de sodificación. Las concentraciones de zinc en todos los pozos presentan concentraciones bajas menores a 0,050 mg/L, pero también se verifica una tendencia a encontrar los mínimos valores hacia al sur, verificándose la influencia geológica de la cuenca, el hierro presenta el mismo comportamiento; mientras el arsénico en la localidad de Condo K presenta valores de concentraciones (< 0,294 mg/L). El plomo aumenta a niveles relativamente altos, en muchos casos están por encima de la norma boliviana. El cadmio se mantiene en niveles bajos de concentración por debajo de los límites de la norma boliviana (Figura 6.).

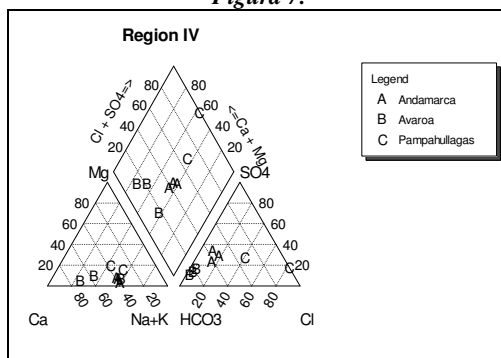
Figura 6.



Región 4

Esta región comprende las provincias de Saucari, Sur Carangas, y Ladislao Cabrera, siendo las comunidades principales Santiago de Andamarca y Pampa Aullagas. Esta zona se caracteriza por ser una zona de baja concentración poblacional debido a la migración temporal donde la actividad principal es la agricultura mediante cuenta propia, carencia de servicios básicos presentando pobreza moderada. En esta región se ha podido constatar problemas de salinización de suelos, desertificación y erosión, además de contaminación natural. Como en la región 3 se evidencia valores básicos de pH en los pozos de Avaroa y Andamarca, sin embargo se encuentran valores menores en Pampa Aullagas. Los pozos ubicados en las localidades de Andamarca, Avaroa y Orinoca presentan una fase dominante de Na-HCO₃, mientras Pampa Aullagas presenta una fase de Na-Cl. Las tres primeras están ubicada en la llanura de inundación por lo que se identifican procesos de intercambio iónico (Figura 7).

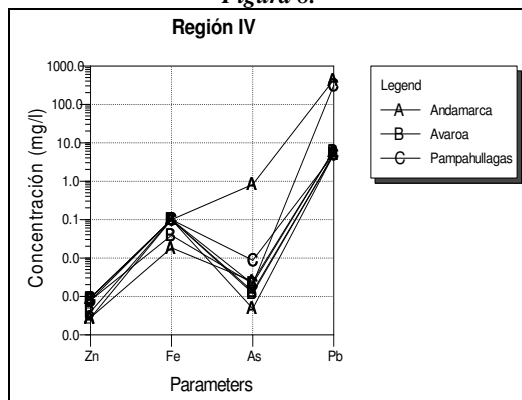
Figura 7.



Las aguas del pozo de Andamarca presenta un valor de RAS de 4,34 en época de lluvias, mientras en la época seca presenta un rango de 2,44 – 2,93; estas aguas pueden ser usadas para riego, dependiendo de la textura del suelo.

La zona de Avaroa en todas las épocas presentan valores de RAS que son menores a 2,59, por lo que no se presenta el riesgo de sodificación de los suelos. En Pampa Aullagas solo pudo determinarse valores de 1,44 para época seca.

Figura 8.

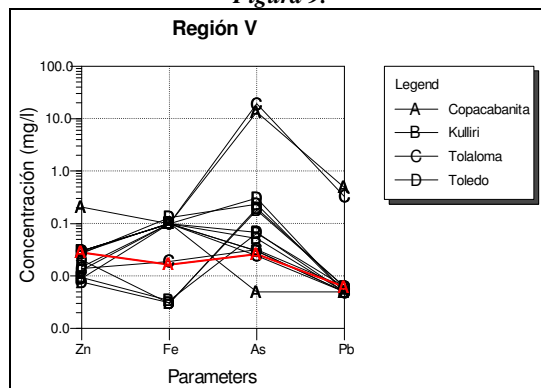


En esta zona los valores de zinc más altos registrados son de 0,025 mg/L. En caso del arsénico en Andamarca y Pampa Aullagas en época húmeda se reportan valores por encima de 0,050 mg/L que se considera el límite para aguas de consumo clase A y B, disminuyendo estos valores a la mitad en época seca por lo que se supone existen fenómenos de disolución de sales en estos pozos (Figura 8.).

Región 5

Comprende las provincias de Cercado, Saucari y Tomas Barrón y las comunidades de Toledo, El Choro, Kulliri, Copacabanita, Tholaloma y Chusaqueri. Esta zona se caracteriza por una alta concentración poblacional, con nivel de acceso medio a servicios básicos, trabajo preponderante en agricultura mediante la ocupación de cuenta propia, con pobreza moderada a extrema. Se observa en la zona problemas de salinización de suelos y degradación de praderas. Los valores de pH en esta región tienden a alcalinos en época húmeda y con una tendencia marcada a valores de 7,5 en época seca. Los valores de conductividad fluctúan alrededor de 1,2 mS/cm mostrando un máximo de 2,4 mS/cm en la zona de Chusaqueri. Los pozos de Toledo muestran el carácter salino de sus aguas subsuperficiales, lo que mostraría que están influenciados por el brazo izquierdo del río Desaguadero, además por las características de suelo arcilloso que tiene la zona. La calidad del agua de Kulliri presenta una caracterización de Na-HCO₃, que indica procesos de intercambio iónico, cambiando a Na-CO₃ en época de lluvia, cerca de este pozo se encuentra el pozo de abastecimiento de agua de consumo de la localidad de Toledo. El pozo de Copacabanita presenta una caracterización Ca-SO₄ en ambas épocas, mostraría un impacto de actividad minera, aunque en la zona no se desarrolla ninguna actividad de esta naturaleza, debido a la presencia de sulfato podría plantear la hipótesis de presencia de minerales de sulfuro en la zona que por procesos de oxidación resultan en su forma oxidada (sulfatos). La localidad de Tolaloma presenta una caracterización de Ca-CO₃ en época de lluvias, mientras que en la seca cambia a Ca-HCO₃ (Figura 9).

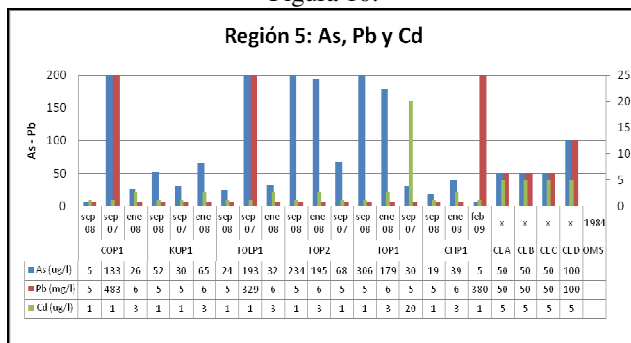
Figura 9.



En este caso los valores de cobre se encuentran por encima de los límites establecidos para aguas de tipo A, sin embargo entran en el rango clase B, Los valores de hierro están alrededor de 0,100 mg/L cercano al límite del tipo de agua clase C y D. Se han determinado además valores por encima de 0,200 mg/L de sodio desde Tolaloma, Toledo y Chusaqueri, manteniéndose la tendencia a incrementarse la salinidad de norte a Sur.

Los valores más altos de arsénico (Figura 10) se han determinado en esta zona donde las concentraciones muestran su máximo en la zona de Toledo.

Figura 10.



CONCLUSIONES

En la Región 1, los pozos estudiados muestran aguas duras tanto en época seca como en época húmeda, encontrando valores de metales como arsénico y cadmio por debajo de los límites establecidos por la norma, siendo en esta zona prioridad el establecimiento de áreas de influencia de los pozos para limitar posibles fuentes de contaminación orgánica tanto en los pozos familiares como comunales.

En la región 2, se verifica en Sora Sora la existencia de pozos con altos contenidos de cadmio, zinc y sulfatos, que limitan su uso y que requieren tratamiento. En esta región además se debe analizar la hidrogeología de la zona para determinar las zonas en que se tenga acceso seguro al agua.

En la región 3, la principal actividad económica es la agricultura, en esta región se ha podido determinar que existe en la región árida peligrosidad moderada de sodificación por lo que se debe desarrollar un programa integral de manejo de suelos paralelo a los programas de dotación de agua. Por otra parte en la zona de Condo K se encuentran valores de arsénico por encima de la norma (0,200 mg/L) por lo que en esta zona además de considerar medidas para la gestión sostenible de prácticas agrícolas se debe además desarrollar un programa de agua segura para el consumo.

En la región 4, si bien los valores de RAS no muestran peligro de sodicidad, se debe analizar este efecto considerando la textura de los suelos utilizados por la agricultura, por otra parte esta región muestra un comportamiento inverso a la región 3 donde la intensidad de RAS incrementaba de norte a Sur. Es notorio sin embargo que el valor de RAS en cada pozo casi dobla su valor en épocas de lluvia debido a los mecanismos de escurrimiento superficial. En esta región se encuentran concentraciones por encima de 0,050 mg/L de arsénico en época húmeda, por lo que se recomienda tomar las consideraciones respectivas para implementar métodos básicos para eliminar el arsénico.

En la región 5, por la textura de los suelos (arcillosos por influencia del río Desaguadero) se han determinado aguas sódicas con evolución regional a cálcicas hacia Copacabanita, Tolaloma y Chusaqueri. En esta región sin embargo se han encontrado valores altos de arsénico en las aguas, que tienen su máximo en la zona de Toledo que tiene directa influencia del Río Desaguadero. Por lo que se recomienda intensificar la dotación de agua de consumo de zonas como Kulliri de donde actualmente se gestiona una toma de distribución de agua para Toledo, sin embargo además debe considerarse programas de tratamiento de agua para eliminar el arsénico en este tipo de recurso hídrico.

RECONOCIMIENTOS

Al Proyecto CAMINAR (Catchment Management and Mining Impacts in Arid and Semi-Arid South America) contract No. INCO-CT2006-032539 funded by the European Commission through its Framework Programme 6 International Cooperation Programme y a la Cooperación Sueca a través de Swedish International Development Cooperation Agency en Bolivia (Sida Contribution: 7500707606), al Instituto de Investigaciones Químicas de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), al Ing. Milton Ochoa y al personal de la Secretaria de Medio Ambiente de la Prefectura del Departamento de Oruro, por su colaboración desinteresada en cada una de las salidas de campo realizados con dicho personal.

REFERENCIAS

1. Ramos. R. O., Niura. Z. M.
Diagnostico hidroquímico Cuenca Lago Poopó. Informe Técnico CAMINAR. 2009
2. Orsag C.V., Ramos R.O., Niura Z. M., Callata, M.R,
Evaluación de Recursos Hídricos (Ríos y Pozos) para fines de riego en dos épocas del año, húmeda y seca en las subcuencas del Río Poopó y Antequera. Congreso de Suelos, 2009.
3. Niura Z. M., & Ramos. R. O.
Evaluación hidroquímica Municipio de Pazña, Reporte Técnico Proyecto CAMINAR.2009
4. Ramos. R. O., Niura. Z. M.
Evaluación hidroquímica Municipio de Poopó, Reporte Técnico Proyecto CAMINAR.2009
5. Proyecto Piloto Oruro 003. Impacto de la Contaminación Minera e Industrial sobre Aguas Subterráneas 1996.
6. Quino L. I.
Determinación de la calidad fisicoquímica de las aguas subterráneas en la región norte y este del Lago Poopó. Tesis de Grado. 2006
7. Quintanilla A. J.
Memorias VI Congreso Boliviano de Química: Distribución de Metales Pesados en Aguas Superficiales y Sedimentos en la Subcuenca de los Lagos Poopó y Uru – Uru, Potosí - Bolivia. Noviembre 2003.
8. Vernon L. Snoeyink y David Jenkins.
Química del Agua, 1° edición México 1990.
9. Coronado Pando F.
Diagnóstico de la Situación Ambiental del Lago Poopó. Programa 08 – 04/02. Fortalecimiento Institucional al MDSP, sistema EIA y CCA. Oruro – Julio 2003.
10. Quintanilla J.& Marin R.
Efectos ambientales sobre las pesquerías de los Ecosistemas de los Lagos Poopó y Uru Uru. Instituto de Ecología – Instituto de Investigaciones Químicas - UMSA. La Paz – 2002.