



## **TÍTULO**

# **PROPUESTA DE GESTIÓN DE AGUA EN SUBCUENCAS CON ACTIVIDAD MINERA**

**CASO MUNICIPIO DE PAZÑA  
DEPARTAMENTO DE ORURO - BOLIVIA**

## **AUTORA**

**Martha Lourdes Amalia Niura Zurita**

**Director  
Curso**

©  
©

**Esta edición electrónica ha sido realizada en 2012**

Armando González Cabán

Maestría en Conservación y Gestión del Medio Natural (VI)

Martha Lourdes Amalia Niura Zurita

Para esta edición, la Universidad Internacional de Andalucía



## Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas

### Usted es libre de:

- Copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra.

### Bajo las condiciones siguientes:

- **Reconocimiento.** Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciadore (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o apoyan el uso que hace de su obra).
  - **No comercial.** No puede utilizar esta obra para fines comerciales.
  - **Sin obras derivadas.** No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.
- 
- *Al reutilizar o distribuir la obra, tiene que dejar bien claro los términos de la licencia de esta obra.*
  - *Alguna de estas condiciones puede no aplicarse si se obtiene el permiso del titular de los derechos de autor.*
  - *Nada en esta licencia menoscaba o restringe los derechos morales del autor.*

**PROPUESTA DE GESTION DE AGUA EN SUBCUENCAS CON  
ACTIVIDAD MINERA, CASO MUNICIPIO DE PAZÑA  
DEPARTAMENTO DE ORURO -BOLIVIA**



**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAESTRIA**

**PROPUESTO POR: Lic. Martha Lourdes Amalia Niura Zurita**

**TUTOR: Dr. Armando González Cabán**

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE ANDALUCÍA**

**Mayo 2010**

***Por el futuro, donde encontré el amor, la fe y la  
comprensión en mi hija Valentina***

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Internacional de Andalucía y al programa de becas AECI que hizo posible la realización del curso de Maestría en “Gestión y Conservación del Medio Natural”

La Paz, Mayo de 2010

## Tabla de contenido

RESUMEN .....	4
1. Introducción.....	6
2. Antecedentes.....	7
3. Diagnostico hidrológico.....	9
3.1 Área de estudio.....	9
3.2 Información socio demográfica .....	11
3.3 Geomorfología .....	14
3.4 Hidrología .....	15
3.5 La actividad minera .....	15
3.6 Evaluación hidroquímica .....	20
3.6.1 Agua superficial (Ríos).....	23
3.6.2 Agua subsuperficial (pozos).....	37
3.7 Conclusiones del diagnóstico hidroquímico .....	50
3.8 Recomendaciones del diagnóstico hidroquímico .....	52
4. Propuesta de gestión de agua en el Municipio de Pazña.....	54
4.1 Objetivos.....	55
4.2 Modelo de manejo de cuenca .....	55
4.3 Aspectos Clave, alternativas por paisaje en la cuenca.....	59
4.4 Propuesta de acciones concretas para promover el manejo adecuado de los recursos hídricos en el municipio.....	62
4.5 Fuentes potenciales de agua para abastecer las demandas futuras del municipio .....	72
5. Recomendaciones.....	74

# **PROPUESTA DE GESTION DE AGUA EN SUBCUENCAS CON ACTIVIDAD MINERA, CASO MUNICIPIO DE PAZÑA**

## **RESUMEN**

La propuesta de Gestión de Agua para la subcuenca de Antequera en el Municipio de Pazña considera la caracterización de los recursos hídricos como línea base para el desarrollo y propuesta de estrategias y proyectos para el trabajo de mitigación y restauración de los espacios influenciados por la actividad minera en abandono y en operación, considera como parte fundamental la conservación de zonas de recarga en las cabeceras de cuenca y de la misma forma plantea las acciones inmediatas a tomar con los diferentes actores en la subcuenca.

Como fundamento principal para la propuesta se muestra un análisis profundo del impacto de las actividades mineras sobre los recursos hídricos superficiales (ríos) y subsuperficiales (pozos), considerando en el análisis, además, aguas de drenajes de mina en operación, aguas termales y aguas naturales como componentes fundamentales para determinar la influencia de esta actividad minera sobre los recursos.

Al mismo tiempo mediante el diagnóstico el plan además de ser fortalecido ha contextualizado las demandas de las comunidades, logrando responder de manera inmediata a los problemas que atraviesan actualmente respecto de las fuentes de agua segura, la ubicación y las características del agua en la zona.

El Municipio de Pazña se dividió en 4 zonas en función de la topografía y caracterización de los recursos hídricos superficiales y subsuperficiales.

En la Zona 1 del Cañadón Antequera se ha podido establecer que el agua de este río está siendo contaminada por aguas de mina en operación y abandono, se identifica al zinc como el metal proveniente de la actividad minera y se encuentra presente a lo largo del cañadón hasta las llanuras de infiltración, en los pozos estudiados en esta zona se ha encontrado aguas salinas que a la altura del puente de Pazña además de zinc también presentan sulfatos.

En esta zona de serranía altas la concertación de acciones entre los actores locales, las empresas mineras, autoridades municipales, gobierno departamental y gobierno central, serán necesarias para implementar medidas de restauración para la recuperación de aguas ácidas con contenidos altos de zinc con influencia de DAR y DAM en la zona de Totoral y Avicaya.

La Zona 2 de Cuchuavicaya en contraposición con el Cañadón Antequera es una zona con aguas de buena calidad tanto para consumo, como para riego, por lo que se plantean proyectos de obras de construcción de represas y/o atajos, programas de reforestación, recuperar técnicas agrícolas y la promoción de campañas de mantenimiento de pozos comunales y domésticos para controlar la contaminación orgánica de los pozos

La Zona 3 de Urmiri, presenta aguas bicarbonatas sódicas que por la presencia de aguas termales evoluciona a cloruro sódicas, por su uso para riego se debe además considerar evaluaciones complementarias para determinar caudales mínimos del río para determinar los volúmenes de mezclas para aguas de riego, al ser una zona de recreación por los baños de aguas termales del mismo nombre, se deben implementar programas de manejo de residuos sólidos y trabajar en la construcción de barreras naturales de viento, para esto los actores principales pueden coordinar la acciones necesarias con las universidades, municipio de Pazña y la empresas.

La Zona 4 de Pazña y llanuras de infiltración (playas circunlacustres) presentan aguas superficiales y subsuperficiales sulfato cálcicas, estas aguas muestran influencia de la actividad minera por la presencia de sulfatos, al igual que en la zona 1 del Cañadón Antequera en esta zona se debe priorizar estrategias de recuperación de aguas ácidas con contenidos altos de zinc, en el caso de aguas subsuperficiales de consumo es prioridad la implementación de proyectos de purificación de aguas salinas y desinfección orgánica. Por ser programas específicos se debe canalizar la concertación de las acciones con la Prefectura Departamental y el Gobierno Central, así como en el Municipio para asegurar la programación de estas obras.

En todos los casos no solo las actividades de concertación sino la participación social en la toma de decisiones en la gestión del agua aseguraran tanto la implementación de sistemas de control como las de manejo de los espacios de agua de buena calidad y el empoderamiento de las acciones a seguir para asumir el manejo responsable de los recursos hídricos de la zona.



## 1. Introducción

La siguiente experiencia, considera uno de los casos de estudio del grupo Bolivia en el proyecto CAMINAR “Gestión de Cuencas con influencia minera en zonas áridas y semiáridas de América Latina”. El área de estudio corresponde a la Cuenca del Lago Poopó y se desarrollo en uno de los Municipios en la zona Semiárida de la cuenca. Esta región presenta una compleja dinámica respecto de la actividad agrosilvopastoril, y las actividades mineras tanto estatales como privadas, ya que este sector atraviesa una etapa de reactivación con altos capitales de inversión en ambos sectores, esto debido al repunte de precios en el mercado de estaño, zinc y plata entre otros.

El extrapolar la visión de la gestión del agua del área de operaciones de una empresa minera, estatal o privada hacia las cuencas de las cuales obtienen dicho recurso es fundamental. La armonización de la producción minera con el manejo integral de los otros recursos naturales precisa de la adopción de una perspectiva de cuenca como el marco de referencia básico para la gestión de agua en operaciones mineras. Esto implica gestionar y transformar conflictos entre los diversos actores de una cuenca.

El enfoque de gestión por cuencas implica: gestionar las intervenciones que se hacen sobre una cuenca, para lo cual hay que trabajar con todos los actores que hacen uso de la misma considerando además al usuario minero; identificar las medidas compensatorias a la intervención de estos actores; y buscar las posibilidades de menor alteración posible a la dinámica hidrológica natural en un espacio delimitado por la cuenca pero administrado en base a los límites municipales como los directos responsables de la gestión hídrica en la zona andina.

De esta manera se concibe la gestión de cuencas como la gestión de intervenciones, donde la gestión del agua y de cuencas es por definición gestión de conflictos partiendo de la premisa de que no hay nada en una cuenca que no afecte a los otros.

En esa misma línea, el gran dilema en Bolivia y en la región Sudamericana es cómo construir capacidad de gobernabilidad sobre un territorio delimitado por razones naturales, a partir de los gobiernos creados para gobernar sobre territorios delimitados por razones políticas.

Es ahora que nos damos cuenta que los sistemas de gobierno actuales no sirven para gobernar cuando están delimitados por razones políticas y es que muchas veces los territorios están conectados naturalmente pero divididos y desconectados políticamente.

De acuerdo a Ribeiro L., 2009 (Boletín Trimestral Proyecto CAMINAR) el agua destinada para el uso agrícola representa más del 75% del total del recurso hídrico usado por los actores de la cuenca del Lago Poopó (Bolivia). Asimismo, estos datos confirmarían la tendencia en usos del agua a nivel mundial, donde la agricultura representa la actividad que más agua emplea en las cuencas, desmitificando la creencia de que la actividad minera es la que mayor uso hace del recurso hídrico.

En las tres cuencas piloto del proyecto CAMINAR en Perú, Chile y Bolivia, resulta necesario pasar de la gestión sectorial a la gestión integrada de cuencas, de un enfoque de arriba hacia

abajo a un enfoque de respuesta que considere a las partes interesadas y la demanda. Asimismo, es necesario transitar del dominio y el control hacia formas de gobernabilidad más cooperativas o distributivas y más transparentes y comunicativas.

## **2. Antecedentes**

Más del 25% de Sudamérica es árida o semiárida. (<http://www.ncl.ac.uk/environment/research/hero/CAMINAR.htm>) Las deficiencias de los sistemas de gestión del agua dificultan el sustento o la recuperación de ecosistemas y de comunidades humanas en estas áreas. Asimismo, la erosión y la salinización son agravadas por distintas actividades humanas. La minería potencialmente tiene uno de los impactos más altos para el ambiente; sin embargo, también tiene una mayor contribución a los ingresos por exportación de la región que cualquier otro sector. Por lo tanto, hay claramente una necesidad de desarrollar nuevas estrategias para la gestión de cuencas, asegurando así la armonía entre actividades económicas importantes y el manejo sostenible de los recursos hídricos.

Los dos aspectos, el socioeconómico y el físico de las cuencas, dan lugar a un modelo que plantea opciones de desarrollo, de manera que sea ambientalmente sostenible y genere ingresos extraordinarios a los pobladores y a la sociedad en su conjunto.

Los nuevos enfoques relacionados al valor económico del agua, discutidos en foros internacionales, muestran la necesidad de modificar las tendencias presentes en el país.

En Bolivia se tiene una Ley de Dominio y Aprovechamiento de Aguas que se basa en un Decreto del 8 de Septiembre de 1879 que fue elevado a rango de Ley el 28 de Noviembre de 1906 y la cual ha sido casi derogada en varias partes por normas posteriores; actualmente si bien algunas disposiciones todavía tienen vigencia éstas no son aplicadas debido principalmente al desconocimiento y a que se fueron elaborando Leyes y Reglamentaciones sectoriales que establecían normas distintas sobre el tema (Bustamante 2002)

Así, en cuanto al tema de las Leyes vigentes sobre recursos hídricos en Bolivia se tiene una compleja variedad de normas que regulan sectores concretos y algunos principios generales en la Constitución Política del Estado.

Durante los últimos 30 años se ha venido trabajando en una propuesta legislativa que llene el vacío dejado por la Ley de 1906, pero esto aun no se ha concretado aunque hasta la fecha se tienen ya 32 versiones de Proyectos de Ley generados en el Estado y varias propuestas alternativas de parte de las organizaciones de la sociedad civil. Las disposiciones legales, a partir de los proyectos de la ley de aguas, reconocen que el agua tiene valor económico en todos sus usos competitivos y por tanto debe también reconocerse al agua como un bien económico.

Estas consideraciones deben tratar de conjugarse con los procesos que acompañan el desarrollo del país en materia de agua. La necesidad de cubrir la creciente demanda de agua en las ciudades debido a los flujos migratorios y el crecimiento económico es contrapuesta con la escasez del agua en las cuencas cercanas a estos centros urbanos.

Al mismo tiempo se presentan dos fenómenos que no son ajenos a la problemática del agua y que jugarán un papel fundamental en la economía del agua. Por un lado la necesidad de lograr la sostenibilidad de las cuencas andinas por medio de la aplicación de proyectos de manejo de cuencas que consideren el incremento de la accesibilidad al recurso agua para su utilización en riego agrícola, la recuperación de suelos y la recuperación de la cobertura vegetal; por otro lado la reducción de los impactos negativos que genera el crecimiento de la economía minera y agrícola en las tierras bajas de la Amazonía boliviana.

Hasta ahora, los gobiernos nacionales no han considerado en su real magnitud la problemática de los recursos hídricos desde el punto de vista económico. La aplicación de tarifas se ha reducido a cubrir las obligaciones de pago de créditos asumidos con entidades de financiamiento en el caso de los sistemas principales de agua potable. En el área rural, la aplicación de tarifas no llega a cubrir los gastos básicos como administración y mantenimiento de servicios, lo cual da lugar al deterioro prematuro de las obras y la consiguiente pérdida del sistema.

En los demás sectores, como es el caso del sector minero, la utilización del agua se realiza de manera exclusiva de fuentes regionales donde se establecen las concesiones mineras, explotando el agua tanto empresas nacionales de pequeña y mediana minería, como empresas privadas, en ambos no se establece ningún pago por el uso específico del recurso. Sin embargo, la nueva Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia establece en el Capítulo Quinto, Art. 373 párrafo II, “los recursos hídricos en todos sus estados, superficiales y subterráneos, constituyen recursos finitos, vulnerables, estratégicos y cumplen una función social, cultural y ambiental. Estos recursos no podrán ser objeto de apropiaciones privadas y tanto ellos como sus servicios no serán concesionados y están sujetos a un régimen de licencias, registros y autorización conforme a Ley”.

Las políticas públicas ambientales y mineras no logran readecuar esta actividad a la propiciación de condiciones de desarrollo regional, a través de un mayor aporte en la mejora de la calidad de vida y la preservación de la calidad ambiental. En este contexto se debe además considerar que Bolivia asume el Desarrollo Sostenible como eje y principio de las políticas públicas nacionales.

Una retrospectiva de las políticas mineras aplicadas en el Departamento de Oruro deja la impresión que no existe una valoración del entorno. El ecosistema altiplánico parece carecer de valor de largo plazo al momento de evaluar los impactos ambientales. Tanto ecosistemas como poblaciones del Altiplano parecían condenados a dejar espacio para actividades extractivas inviabilizando en la práctica la proyección de actividades sustentables.

Se advierte que a nivel nacional una de las principales limitaciones de las políticas de gestión ambiental, es la subordinación a los objetivos de crecimiento económico. Desde ese sesgo es posible que en realidad las políticas públicas estén manifestando la falta de consideración de que los costos y beneficios sociales del uso y conservación de los recursos naturales difieren de los correspondientes costos y beneficios privados de quienes asumen su aprovechamiento. Sin embargo, a partir de la nueva Constitución Política del Estado por primera vez en Bolivia se estipula en el Art. 375, párrafo I “es deber del Estado desarrollar planes de uso,

conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de las cuencas hidrográficas“. Además, asegura la estructura administrativa para el desarrollo de proyectos no solo departamentales sino regionales, lo que a su vez repercute en diferentes estratos sociales y comunales que participan de actividades económicas, como la minería, dándoles la responsabilidad de administrar sus espacios hidrográficos precautelando no solo el medio ambiente, sino el cumplimiento de la normativa vigente y la planificación del desarrollo de los espacios hidrográficos.

Por otra parte, se constata la ausencia de información sobre la evolución de la calidad ambiental y los cambios del patrimonio natural en las regiones mineras, que permita contrastar y evaluar la extracción de los recursos mineros en relación con su influencia e impacto en el estado de los ecosistemas. Esta ausencia hace que la gestión ambiental se reduzca solo a la verificación del cumplimiento de los “límites permisibles” de una operación extractiva, es decir una gestión segmentada en el recurso extraído y carente de un enfoque integral sobre el ecosistema. Este trabajo es una contribución a los primeros pasos de gestión municipal que considera el ámbito minero y su impacto no solo en las prácticas culturales sino la influencia de la geología, los escombros y aguas de mina sobre la población y el recurso hídrico.

### **3. Diagnóstico hidrológico**

El siguiente diagnóstico se realizó durante los años 2007 y 2008 para determinar la situación actual del municipio de Pazña respecto a las características mineras ambientales con énfasis en el recurso agua (Niura 2008).

El estudio refleja las condiciones actuales del medio ambiente, identificando y evaluando las posibles fuentes de contaminación que puede generar la actividad minera en el entorno biofísico además de la influencia natural sobre el recurso agua.

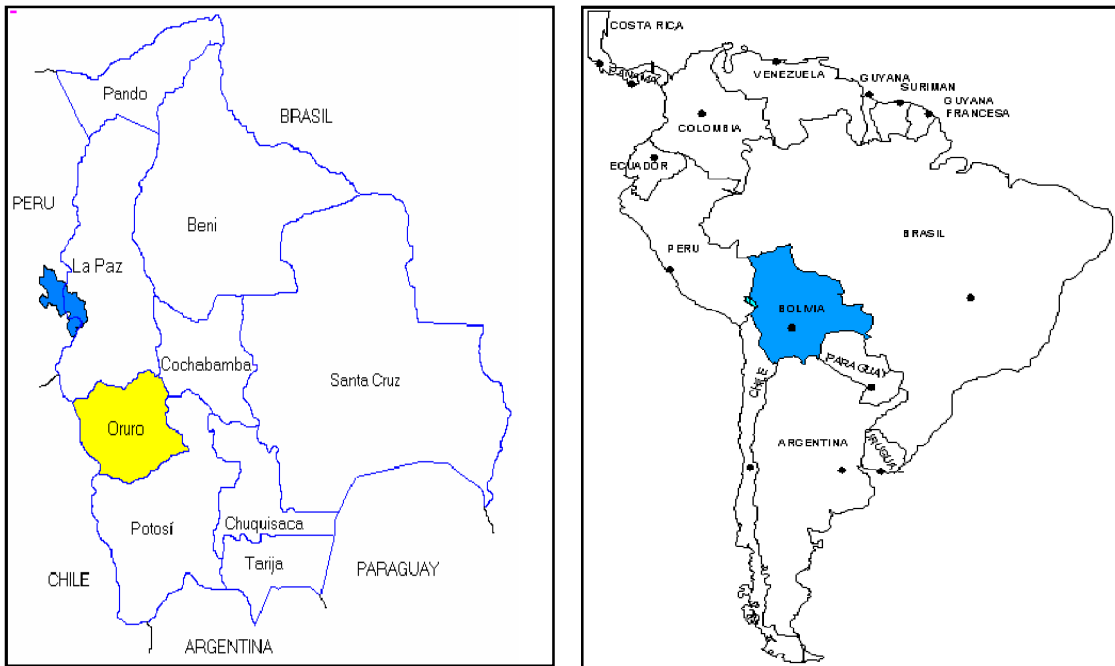
Se analizó el tema Minero Ambiental del área mediante la interpretación de resultados de cuatro campañas de monitoreo realizadas entre junio de 2007 y noviembre de 2008. El análisis también contempló la recolección de información primaria como: información legal, datos geológicos del yacimiento, extracción y tratamiento de minerales, servicios y comercialización, situación ambiental y fuentes de contaminación.

#### **3.1 Área de estudio**

El municipio de Pazña se constituye en la segunda sección municipal de la provincia Poopó del departamento de Oruro. Este municipio se encuentra en el altiplano central del país y se constituye en el límite político que abarca la subcuenca de Antequera (Figura 1).

La zona de interés en el estudio hace referencia a la subcuenca de Antequera (Cañadón Antequera) en el Municipio de Pazña (Figura 2) y la zona de Chapana como naciente de la subcuenca en el Municipio de Antequera.

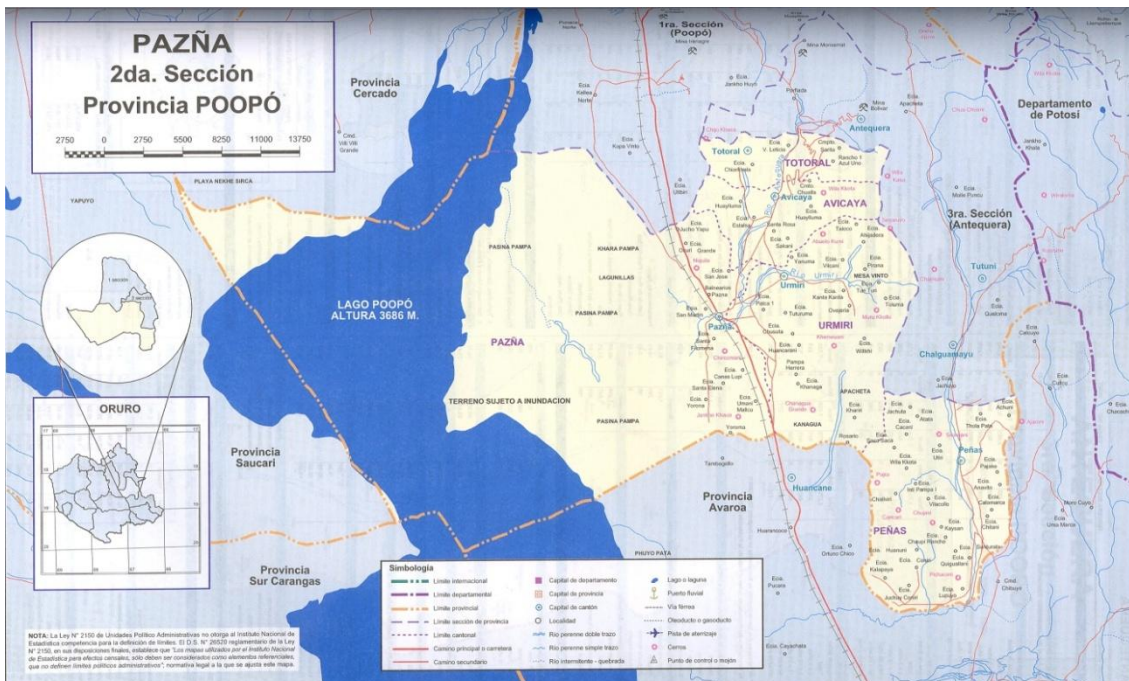
**Figura 1. Mapa ubicación Departamento de Oruro**



La cuenca Antequera se encuentra al suroeste del lago Poopó dentro del departamento de Oruro, se ubica entre los 18°16' y 19°44' latitud sur y 66°46' y 66°54' longitud oeste.

La cuenca Antequera está ubicada en el Altiplano boliviano entre los 3600 a 4000 m.s.n.m., forma parte de la cordillera Azanaques y la cuenca del lago Poopó, tiene una superficie aproximada de 243 km<sup>2</sup>. El río Antequera cruza la cuenca desde su parte alta (donde se encuentra la mina Martha), hasta la parte baja (Población de Pazña), es afluente del lago Poopó con una longitud aproximada de 18 km.

**Figura 2. Mapa Municipio de Pazña**



### 3.2 Información socio demográfica

En la Provincia se habla castellano, aimara y quechua. Las principales actividades económicas de la Provincia son la agropecuaria y la minera dependiendo de las poblaciones. Los habitantes aledaños a los centros mineros, se dedican prácticamente en su totalidad a la minería; y el resto de la población rural, a la agricultura y a la ganadería. Se cultiva principalmente papa, quinua, cebada y haba, algunos otros cultivos que se producen son las hortalizas, alfalfa, avena y trigo.

El Municipio de Antequera tiene una actividad preponderantemente minera ya que la mitad de su población está concentrada en el centro minero Bolívar a cargo de la empresa Sinchy Huaira del grupo Glencore. Por su parte, el Municipio de Pazña, cuenta con recursos mineralógicos como zinc, estaño, plata y plomo en las minas de Totoral y Avicaya principalmente.

Las otras actividades productivas de importancia son la ganadería, la cría de ganado ovino, camélido y bovino. De estos ganados, se obtiene también leche, lana y carne, los cuales en su mayor parte se destinan al consumo doméstico. Los excedentes tanto de la ganadería como de la agricultura, son comercializados en los centros mineros o en las ferias como la de Challapata.

Una característica del Municipio de Pazña a destacar, son sus atractivos turísticos. Allí se encuentra el balneario de Urmiri y el museo de Pazña, donde se pueden observar objetos de la cultura Tihuanacota.

Según el Censo 2001, la población total de la Provincia Poopó es de 14,984 habitantes (Tabla 1). De acuerdo a los datos del Censo 2001, la población se redistribuyó al área rural únicamente y disminuyó en un 14,06%. Estos cambios pueden ser explicados en parte por el fenómeno de la migración. La población femenina supera a la masculina en un porcentaje de 1,5% únicamente. A nivel de Municipios, Poopó constituye el Municipio con mayor población y Antequera con el menor número de habitantes de la Provincia.

**Tabla 1. Provincia Poopó: Población total, área y sexo**

Provincia y Sección Municipal	Censo 1992					Censo 2001				
	Población Total	Área urbana		Área Rural		Población Total	Área urbana		Área Rural	
		Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres		Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
Primera Sección- Poopó	5,886	1,538	1,415	1,378	1,555	6,163			3,045	3,118
Segunda Sección- Pazña	8,068	1,233	1,16	2,661	3,014	5,469			2,671	2,798
Tercera Sección- Antequera	3,483			1,704	1,779	3,352			1,719	1,633

La principal actividad económica que se desarrolla en la Provincia Poopó es la agricultura, ganadería, caza y silvicultura seguida de la explotación minera y de canteras. A nivel de Municipios, existe, para estos años una marcada tendencia a aumentar en un 20% las actividades silvopastoriles; en el caso de la explotación minera y de canteras el espectro es diferente ya que más bien se registra un descenso de aproximadamente el 20%. Para el municipio de Pazña se observa un crecimiento de 38,5% a 57,61% en actividades económicas



referidas a actividades silvopastoriles, mientras que en el caso de la explotación minera y de canteras se registra un descenso de 37,20% a 18,24% (INE 2005).

La tasa de mortalidad infantil y las enfermedades más recurrentes en los Municipios de la Provincia, se detallan en la Tabla 2.

**Tabla 2. Provincia Poopó: Indicadores del Estado de Salud de la Población (2001)**

Provincia- Sección Municipal	Mortalidad	Morbilidad	
	Tasa de Mortalidad Infantil <sup>1</sup>	Porcentaje de EDA <sup>2</sup> en niños menores de 5 años	Porcentaje de IRA <sup>3</sup> en niños menores de 5 años
<b>Poopó</b>	<b>285.89</b>	<b>48.73</b>	<b>6.65</b>
Primera Sección Municipal-Poopó	92.15	58.66	6.54
Segunda Sección Municipal-Pazña	86.14	52.39	5.07
Tercera Sección Municipal-Antequera	107.16	29.60	9.19

<sup>1</sup> Tasa de Mortalidad Infantil: Se define como la cantidad de muertes de niños y niñas menores a un año de vida respecto al total de nacidos vivos.

<sup>2</sup> EDA: Episodios de Diarrea Agudos,

<sup>3</sup> IRA: Infecciones Respiratorias Agudas

De los tres Municipios, Antequera es el que presenta la mayor tasa de mortalidad infantil (107.16). Luego le sigue Pazña con 86.14 y Poopó con la tasa más baja de 92.15. En cuanto a la morbilidad, el porcentaje de Episodios de Diarrea Agudos (EDAs) muestra que en Poopó y Pazña más de la mitad de los niños menores de 5 años sufre de episodios de diarrea. En Antequera, el porcentaje de EDAs es menor que en el resto de los Municipios (29.60%). Los datos de los porcentajes de Infecciones Respiratorias Agudas (IRAs) en los Municipios, indican que Antequera es el municipio con mayor porcentaje de niños afectados por enfermedades respiratorias y Pazña presenta el menor porcentaje. Realizando el análisis entre ambas enfermedades, es posible observar que los EDAs afectan a un mayor número de niños menores de 5 años que las IRAs en los tres municipios, esto debido probablemente al consumo de aguas con altos contenidos de magnesio y sin tratamiento microbiológico.

Actualmente la población de los Municipios de Poopó, Pazña, y Antequera reside únicamente en el área rural, por tanto, las viviendas están ubicadas lógicamente en comunidades en el campo o en las minas. Según el Censo de 1992, una parte de la población vivía en el área urbana, pero esta situación cambió a través de los años, y como muestran las estadísticas del Censo de 2001, la población de los tres Municipios en la actualidad es netamente rural. Las condiciones de habitabilidad, en su mayor parte reflejan viviendas que están equipadas con un ambiente ya sea para baño ó para cocina. Los hogares que residen en viviendas con ambientes para baño y cocina, son minoritarios tanto en Poopó, Pazña y Antequera.

A nivel de Provincia, el número total de viviendas disminuyó con respecto a las estadísticas de 1992, en un 14.55%. El número de hogares por el contrario, se incrementó en 3.03%, lo que

significa que puede existir un déficit habitacional ó que se ha incrementado el número de hogares que vive en una vivienda colectiva.

En Poopó, la mayor parte de los hogares obtiene el agua de pozos ó norias. En Pazña y Antequera, por el contrario, el agua para los hogares proviene principalmente de las cañerías de la red pública. En lo que se refiere al desagüe de los baños y letrinas, la mayor parte de los hogares en los tres Municipios no utilizan ningún sistema de desagüe para las aguas servidas.

A nivel de Provincia, Según el Censo 2001 (Tabla 3), el agua para los hogares proviene principalmente de las cañerías de la red pública ó de las piletas públicas. Comparando con las estadísticas del Censo de 1992, se puede observar que anteriormente existía población urbana en los Municipios de Poopó y Pazña, abasteciéndose la mayor parte de los hogares urbanos de las cañerías de la red pública en Poopó y en Pazña, de pozos ó norias. Por otro lado, la mayor parte de los hogares del área rural se abastecían de pozos ó norias en Poopó; y en Pazña y Antequera, de piletas públicas o de las cañerías de la red pública.

El manejo de aguas servidas en el área rural es precario mostrando las estadísticas (Tabla 4.) que se incrementa el uso de pozo ciego o superficie frente a un porcentaje bajo de alcantarillado y cámara séptica, al mismo tiempo esto está ligado al incremento de población en el área rural, que no desarrolla infraestructura para el manejo de aguas residuales orgánicas.

**Tabla 3. Provincia Poopó: Procedencia del Agua**

Seccion Municipal	Procedencia del Agua														
	Cañería de Red ó Pileta Pública			Carro Repartidor			Pozo ó Noria			Río, Vertiente, Acequia, Lago Curiche			Otra		
	Total	Urbano	Rural	Total	Urbano	Rural	Total	Urbano	Rural	Total	Urbano	Rural	Total	Urbano	Rural
<b>1992</b>															
Poopó	2,007	686	1,32	218	138	80	1,69	344	1,34	589	19	570	87	31	56
Primera- Poopó	744	677	67	62	1	61	676	16	660	233	15	218	11	6	5
Segunda- Pazña	764	9	755	149	137	12	780	328	452	242	4	238	67	25	42
Tercera- Antequera	499	0	499	7	0	7	229	0	229	114	0	114	9	0	9
<b>2001</b>															
Poopó	2,264	0	2,26	8	0	8	1,45	0	1,45	960	0	960	45	0	45
Primera- Poopó	812	0	812	3	0	3	848	0	848	411	0	411	10	0	10
Segunda- Pazña	1,003	0	1	5	0	5	393	0	393	280	0	280	32	0	32
Tercera- Antequera	449	0	449	0	0	0	207	0	207	269	0	269	3	0	3

**Tabla 4. Provincia Poopó: Desagüe del Baño y Letrina**

Seccion Municipal	Desague del baño, Water ó Letrina											
	Alcantarillado			Cámara Séptica			Otro (Pozo Ciego, Superficie)			No tiene		
	Total	Urbano	Rural	Total	Urbano	Rural	Total	Urbano	Rural	Total	Urbano	Rural
<b>1992</b>												
Poopó	161	2	159	56	25	31	265	43	222	4,1	1,148	2,96
Primera- Poopó	36	1	35	30	25	5	137	39	98	1,52	650	873
Segunda- Pazña	43	1	42	19	0	19	122	4	118	1,82	498	1,32
Tercera- Antequera	82	0	82	7	0	7	6	0	6	763	0	763
<b>2001</b>												
Poopó	227	0	227	54	0	54	386	0	386	4,06	0	4,06
Primera- Poopó	102	0	102	9	0	9	170	0	170	1,8	0	1,8
Segunda- Pazña	33	0	33	21	0	21	161	0	161	1,5	0	1,5
Tercera- Antequera	92	0	92	24	0	24	55	0	55	757	0	757



En esta provincia la concentración de yacimientos mineros es alta, por lo que en los tres municipios que abarca, se han asentado muchas actividades de empresas mineras y cooperativas mineras, esto genera un grado de complejidad y conflictos socio – ambientales que constantemente se repiten por el desorden y poco cumplimiento de las normas ambientales en que las actividades inician la explotación (Niura 2008).

### **3.3 Geomorfología**

El Distrito Minero de Antequera que comprende las minas Bolívar, Totoral y Avicaya, está ubicado en el borde occidental de la Cordillera Oriental. Este sector está conformado por rocas silúricas plegadas compuestas por diamicititas, cuarcitas, limolitas, areniscas y lutitas (UTF 2006).

El paisaje es de tipo montañoso con un relieve positivo conformado por dos serranías subparalelas, elongadas y de amplitud moderada a alta. Estas siguen una orientación aproximada Norte - Sur la que incluye a las minas Totoral y Avicaya y Noreste la que incluye Mina Bolívar; esta segunda serranía se ubica en un punto de inflexión local de la Cordillera Oriental.

Las elevaciones más importantes son el Cerro Wila Kkollu o Chualla, el Cerro Crucero (4675 msnm) y por su ubicación y forma el Cerro Sincharcomani o China Chualla. En los dos primeros se desarrollan las labores mineras de Avicaya y Totoral, mientras que en el tercero se encuentra la mina Bolívar.

El relieve está controlado tanto por el tiempo de litología como por la tectónica desarrollada en la zona. Se despliegan arealmente unidades litoestratigráficas silúricas plegadas y falladas afectadas parcialmente por el emplazamiento de domos de edad miocena; en el extremo este del cañadón se ubica la Mina Bolívar, este sector exhibe diamicititas de la Formación Cancañiri en el núcleo y cuarcitas, limolitas, areniscas y lutitas sobrepuestas de las Formaciones Llallagua, Uncia y Catavi los que conforman un pliegue anticlinal fallado; en tanto el sector de las minas Avicaya y Totoral exhiben además de pliegues, del tipo sinclinal y anticlinal, rasgos originados por dos intrusiones coetáneas de tipo dómico.

El modelado del paisaje muestra diferentes eventos ligados a la dinámica de las formaciones superficiales.

En general los rasgos superficiales corresponden a procesos degradacionales relacionados a la profundización y ensanchamiento de valles de origen fluvial pero también se presentan rasgos de glaciación de montaña. El drenaje, según lo mencionado antes, exhibe el efecto de dos estadios de desarrollo. El primero referido a la profundización y el otro al ensanchamiento; de esta manera el Río Antequera tiene un tramo angosto, conocido como Cañadón y otro segmento muy amplio, extendido hasta los alrededores de Pazña, diferenciado como Llanura aluvial en el que el curso actual del río ha sido insertado.

Las geomorfias de origen glacial son principalmente circos. Estas se acomodan en las partes altas de los cerros Wila Kkollu o Chualla y Sincharcomani o China Chualla. En el primero el circo es amplio y en el segundo es de dimensiones menores y con paredes de menor altitud; en las

partes bajas de ambos se tienen depósitos sedimentarios glaciales heterogéneos con till, bloques, cantos, arena, limo y arcilla.

El principal valle de origen fluvial denominado Río Antequera está emplazado en las trazas de dos estructuras tectónicas. Una en un lineamiento de rumbo NE-SO y la otra es una falla inversa orientada N-S, estas han dado origen a que los escasos tributarios conformen ángulos de junta próximos a los 90º consecuentemente se puede definir el diseño de avenamiento como rectangular.

El valle principal sigue parcialmente el rumbo de la estratificación. El valle atraviesa en el sector de Totoral el flanco oeste de un sinclinal con un acomodo casi paralelo y definen a este como subsecuente; similar comportamiento se observa en sus cabeceras al sud de Bolívar donde el Río Chapana tiene su lecho en el Sinclinal de Antequera.

Los procesos de meteorización son principalmente de carácter físico. Están ocasionados por el cambio de temperaturas producidas entre el día y la noche, lo que da como resultado la disgregación de la roca y la posterior formación de pequeños depósitos coluviales.

### **3.4 Hidrología**

La microcuenca de Antequera está conformada por un río principal denominado de igual manera. Las nacientes se ubican al Sud de la población de Antequera más conocida ahora por el campamento de Mina Bolívar. Este río se denomina Chapana y mantiene este nombre hasta su unión con los afluentes provenientes del cerro Crucero, a partir de este se denomina Río Antequera y se extiende hasta la planicie al Oeste de Pazña lugar donde las aguas del río se insumen.

El río Antequera es de caudal permanente. Sus aguas son utilizadas por la Compañía Minera del Sur (COMSUR) y la población de Antequera como agua potable. A partir de Totoral recibe drenajes ácido de Mina (DAM) y drenajes ácidos de roca (DAR) provenientes de las labores mineras, desmontes y colas; además, aguas abajo se escurren sobre remanentes de un antiguo dique de colas.

Las aguas del río Antequera se insumen en una planicie alrededor del Lago Poopó. Esta zona es susceptible a ser inundada por las crecidas del lago. Por esta razón se puede afirmar que desemboca en el lago y define a la micro cuenca como endorreica. El Lago Poopó constituye el nivel base de la región.

El caudal estimado para el río Antequera, medición realizada al final del antiguo dique de colas, es de 160 Litros/segundo (160 L/s). Este caudal excluye el DAM y las aguas residuales de tratamiento de minerales originados por COMSUR, los cuales tienen su propio sistema de almacenamiento y mitigación.

### **3.5 La actividad minera**

Desde tiempos coloniales las actividades mineras originaron distintos tipos de desechos, dejando considerables cantidades a lo largo del tiempo. Estos residuos quedan expuestos a la

oxidación y lixiviación en función a la cantidad y las características mineralógicas del material, así por ejemplo si este es sulfuroso se oxidará y formará ácido sulfúrico.

Depende también en este proceso la superficie expuesta del material, ya que este determina la magnitud de generación del Drenaje Ácido de Roca (DAR). Así por ejemplo las colas son materiales finos producto de la molienda del mineral para separar por algún proceso el mineral de la ganga.

La ubicación de estos materiales determina la cantidad de metales en los afluentes; participan en ello la presencia de distintos agentes, como el agua, aire, procesos de transporte y propiedades físico químicas del material. Todos estos procesos ínter actúan y establecen lo que se denomina “potencial de generación del ácido” de la roca o residuo.

En general hay tres clases de colas clasificadas por su tratamiento: las colas de jig (grano grueso), las colas de procesos gravimétricos (grano fino) y las colas de flotación (grano fino). También existe una clasificación en base a su mineralogía o estado de oxidación (edad); el estado de oxidación varía mucho lo que dificulta una adecuada clasificación (MEDMIN 2002).

Se aprecia que los tipos de residuos en la subcuenca de Antequera son colas, desmontes, colas en lechos de ríos y residuos de lixiviación (Tabla 5). El área cubierta con residuos es significativa siendo la tercera en extensión después del caso del Río Huanuni y el Río Desaguadero.

**Tabla 5.** Inventario de residuos mineros del departamento de Oruro por cuencas.

Tipos de residuo	Área cubierta con residuos /ha	Toneladas	Principales receptores del impacto
<b>Área Oruro</b>			
Colas	69	2.757.000	Área municipal de Oruro
Desmontes	19	1.883.000	Lago Uru Uru
<b>Sub cuenca río Santa Fe</b>			
Colas	3	757.000	Río Santa Fe, San Juan
Desmontes	19	2.558.000	Río Sora Sora, Lago Poopó
Colas en lecho de ríos	150	3.000	
<b>Río Huanuni y Sub cuenca Sora Sora</b>			
Colas	41	3.180.000	Río Huanuni, San Juan
Desmontes	5	657.000	Río Sora Sora, lago Poopó
Colas en lecho de ríos	2650	48.000	
<b>Río Desaguadero (de Caravi a Lago Poopó)</b>			
Colas en lecho de río	1780	32.000	Lago Poopó
<b>Sub cuenca río Poopó</b>			
Colas	56	934.000	Lago Poopó
Desmontes	4	401.000	
<b>Sub cuenca río Antequera</b>			
Colas	36	940.000	Río Antequera, Lago Poopó
Desmontes	15	3.138.000	
Colas en lecho de ríos	950	17.000	
<b>Cotaje</b>			
Residuos lixiviación-pilas	1	13.000	
<b>Total</b>	<b>5798</b>	<b>1.7318.000</b>	

Se identifican zonas de captación de los ríos que drenan las áreas mineras al sudeste de la ciudad de Oruro, y están claramente identificadas en la tabla 6.

**Tabla 6.** Zonas de captación de los ríos del departamento de Oruro

Río	Punto	Área de Subcuenca Km <sup>2</sup>	Área de Captación Total km <sup>2</sup>
Japo	Japo	4.3	4.3
Santa Fé	Morococala	2.5	2.5
Santa Fé	Escalera	46	53
Santa Fé	Sora Sora	90	143
Huanuni	Playa Verde	172	172
Huanuni	Paco Pampa	256	428
Sora Sora	Sora Sora	20	591
Poopó	Poopó	109	109
Antequera	Martha	73	73
Antequera	Avicaya	22	95
Antequera	Pazña	50	145
Antequera	Pazña (puente)	84	229

Los depósitos de vetas polimetálicas tienen una amplia gama de sectores que fueron trabajados y algunos se encuentran en pleno proceso de explotación.

El depósito Bolívar fue descubierto a comienzos del siglo XIX. En las partes superiores se encontró minerales con alto contenido de plata en la zona de oxidación. La explotación de estaño comenzó en el sector de Avicaya el año 1880. En 1910 se instaló los hornos rotatorios para la volatilización de los minerales complejos de estaño y en 1935 el yacimiento paso a manos de Hochschild hasta su transferencia a la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL). En 1977 comenzó un intenso programa de exploración. En 1993 se firma contrato de Inversión Compartida 50/50 entre COMIBOL y la Compañía Minera del Sur (COMSUR) quien entró en operaciones en 1995 con la instalación de un moderno ingenio.

Los yacimientos del área Avicaya-Bolívar están sobre una potente secuencia marina arenopelítica, que incluye cuarcitas y pizarras de la formación Llallagua, y lutitas de la formación Uncia poco metamorfizada de edad paleozoica.

La principal manifestación ígnea en el distrito es el pequeño stock de Chualla Grande, con un área de afloramiento de aproximadamente 1200 x 1600 m, alrededor del stock se extiende una areola de metamorfismo de contacto con hornfels turmalínicos y metacuarcitas. Asociadas al stock afloran también numerosas apófisis y diques de pórfidos cuarcíferos. El distrito fue expuesto a tectonismo andino de moderada intensidad, manifestado por muchas estructuras.

Las mineralizaciones son típicamente vetiformes polimetálico boliviano. Las principales vetas del depósito Bolívar son llamadas Nané y Pomabamba, formando un sistema de más de 1000 m de longitud; a profundidad estas vetas tienden a unirse. Los desarrollos en el año 2002 demostraron ese sentido, donde cerca de los 280 m de profundidad ambas vetas estaban separadas por solo 50 m. Se estima que en el nivel de profundidad -300 ambas se convertirán

en una sola. El espesor de la veta Nané varía entre 1 y 4 m, en cambio la veta Pomabamba varía entre 2 y 10 m. (PPO 1996).

Dentro el distrito, la mineralización muestra una marcada zonación metalogenética. Por ejemplo, cerca del centro ígneo (depósitos de Avicaya y Totoral) la mineralización predominante es el estaño. Sin embargo, a medida que crece la distancia al centro, la mineralización es más piritífera, llegando a ser en la periferia (Bolívar) típicamente polimetálica, con alto contenido de zinc, plomo, plata y poco de estaño.

Los minerales típicos de Bolívar son: galena argentífera, jamesonita, bulangerita, calcopirita, esfalerita, estannina, frankeita, pirargirita, tetraedrita, arsenopirita, wurtzita, pirrotina, y argentita, la ganga es piritita, siderita, marcasita y cuarzo.

La alteración hidrotermal es coincidente con la zonación metálica; turmalinización, clorificación y silificación son típicas en las partes centrales; piritización y argilitación en la periferia, es decir en esta zona además se encuentra un aporte natural de sales a los cursos de aguas superficiales provenientes de diversas fuentes de agua termal.

Se tiene labores de exploración por diamantina hasta una profundidad de 500 m, los que confirman la continuidad de la mineralización, por lo que la COMSUR tiene el proyecto de continuar la profundización de las operaciones, las que actualmente se encuentran en el nivel de profundidad de -280 m.

En la Tabla 7 se describen dos grupos mineros importantes en la zona por el tipo de actividad: explotación de Plomo (Pb), Zinc (Zn), Plata (Ag) y Estaño (Sn) y el rango de empresa Chica y Mediana.

**Tabla 7. Empresas minero metalúrgicas del departamento de Oruro**

Nº	EMPRESAS MINERAS	RANGO DE EMPRESA	ACTIVIDAD	SECCION MUNICIPAL	PROVINCIA	DOCUMENTO AMBIENTAL
21	AVICAYA LTDA	Chica	Explotación de Pb, Zn, Ag, Sn	Pazña	Poopó	DAA
23	GRUPO MINERO BOLIVAR (COMSUR)	Mediana	Explotación de Pb, Zn, Ag, Sn	Antequera	Poopó	DAA

FUENTE: Ministerio de Minería y Metalurgia, Registro de Empresas Mineras (2005) .

En la tabla 8 se describen las otras 3 actividades importantes en la cuenca de Pazña respecto del río Antequera como está clasificado en la prefectura de Oruro. En esta resaltan además las zonas de Martha, Totoral y Estalsa como minas inactivas de operación artesanal.

**Tabla 8. Actividades minero metalúrgicas del departamento de Oruro por cuencas.**

CUENCA	RIO	AOP	TRAMITE USMA	OBSERVACIONES	DOCUMENTO AMBIENTAL
Pazña	Antequera	Martha	No	Inactiva	No tiene
		Totoral	No	Operación artesanal	No tiene
		Avicaya	Si	Mecanizada	DAA 4-02—04

	Estalsa	No	Inactiva	
	Empresa Minera Sinchi Wayra Grupo Minero Bolívar	Si	Mecanizada	DAA

FUENTE: Ministerio de Minería y Metalurgia, Registro de Empresas Mineras (2005).

El número de los cooperativistas en el municipio no es grande ya que solo se encuentra registrada la Cooperativa Colon Ltda. En la prefectura Departamental de Oruro (dirección Departamental de Recursos Naturales y Medio Ambiente). Con un número aproximado de 50 socios; y está reportada como inactiva en la cuenca de Pazña – Sección Municipal Antequera – Provincia Poopó.

De diferentes actividades participativas con los actores sociales del municipio y prefectura del Departamento de Oruro se identificó los siguientes problemas:

- La mina Bolívar y sus pasivos ambientales, generan concentraciones elevadas de zinc y sulfatos por sobre la norma en el río Antequera. Actualmente la mina Bolívar dispone las colas en dos diques (antiguo y nuevo), con el compromiso de que las aguas sean recicladas al Ingenio, sin disponerlas en el río. Sin embargo, los muestreos obtenidos indican que el agua contaminada llega al río.
- Los drenajes producto de las actividades en el ingenio de Avicaya que son vertidos directamente aguas arriba de los diques de Avicaya
- El dique de la Empresa Minera Porvenir es de condiciones muy precarias, situación que representa un potencial riesgo de contaminación futura pues no se está reciclando el agua como establece su Licencia Ambiental. Por otro lado, si el río crece de más, puede destruir el dique ocasionando que todas las colas sean arrastradas hacia el cauce del río.
- Existen grandes pasivos ambientales de las minas Bolívar, Martha, Totoral, Estalsa y Avicaya que contaminan las aguas de los ríos Antequera y Pazña.
- Existe una planta de tratamiento de aguas contaminadas en el valle de Pazña que actualmente no está en funcionamiento.
- Existe un incremento en la acidez de las aguas del río Pazña.
- Los animales domésticos a pesar de la contaminación con metales pesados consumen las aguas superficiales y subterráneas contaminadas en ciertos sectores del Municipio.
- En el Lago Poopó por causa de la salinización y sedimentación, continuamente se están afectando superficies de pasturas inhabilitando el hábitat de las llanuras.
- Existe contaminación de las aguas del Lago Poopó por la actividad minera con metales pesados como el cadmio, arsénico, zinc y plomo.
- Valores altos de arsénico, zinc, cadmio y cobre en los suelos circundantes del Lago Poopó.
- El área que circunscribe el Lago Poopó es una extensa franja de costras salitrosas, que por acción del viento son diseminados a lo largo y ancho de la planicie. La presencia excesiva de sales (cloruros y sulfatos, bicarbonatos de sodio, calcio y magnesio), en la capa arable limita la germinación de algunos cultivos y plantas forrajeras menos tolerantes. Asimismo, estas sales tienen efectos químicos directos que perjudican la nutrición y el metabolismo de las plantas.

### 3.6 Evaluación hidroquímica

Para alcanzar los objetivos de la evaluación se incorporo como fase fundamental el desarrollo de talleres locales con las comunidades del municipio donde se fueron identificando las problemáticas descritas por los representantes de los ayllus, autoridades originarias, autoridades municipales y representantes de otras asociaciones del municipio.

Los casos de estudio considerados en el municipio buscan responder preguntas respecto del impacto de la contaminación minera en las zonas bajas y las laderas del cañadón Antequera donde la gente se dedica a actividades agrosilvopastoriles, la disposición de agua y su uso en las zonas de recarga como referencia de la calidad de agua antes de recorrer áreas mineras o con fuentes de agua termal y su efecto sobre la cuenca. Así mismo se considero las zonas de captación más importantes por subcuenca, considerando las zonas aledañas a Martha, Avicaya, Pazña y Pazña Puente (Tabla 9).

**Tabla 9. Zonas de captación de los ríos de la subcuenca de Antequera**

Río	Punto	Área de Subcuenca	Área de Captación
Antequera	Martha	73	73
Antequera	Avicaya	22	95
Antequera	Pazña	50	145
Antequera	Pazña (puente)	84	229

En junio del 2007 se inicio el trabajo correspondiente al establecimiento de una red de monitoreo. La primera fase correspondió al establecimiento de una línea base (2007) durante los primeros seis meses, donde se establecieron diferentes hipótesis para establecer la influencia minera sobre los recursos hídricos en el municipio de Pazña. Por estar los sistemas hídricos conectados con parte del municipio de Antequera se considero como cabecera de cuenca la zona de Chapana en la zona superior de la mina Bolívar, aunque toda la información generada está dirigida al municipio de Pazña.

Entre junio y noviembre de 2007 se realizó trabajo de campo y se visitaron diferentes zonas del municipio, paralelamente se realizaron talleres participativos donde además resaltaron problemas genéricos (Tabla 10) relacionados con la actividad minera, agricultura, pesca y lugares de recreo. A partir de esto se realizaron muestreos sucesivos hasta enero del 2009.

**Tabla 10. Problemas identificados en el Municipio**

PROBLEMA	RECURSO AFECTADO
La mina Bolívar y sus pasivos ambientales (escombros y agua de mina no controlada) contaminan el cauce de los ríos	Río Antequera, Río Pazña
Las fuentes de agua para consumo se están salinizando por efecto de aguas de los ríos contaminados	Población del Municipio de Pazña
No se tiene conocimiento de las características de las aguas para consumo en el municipio.	Población del Municipio de Pazña
El dique de la Empresa Minera Porvenir es de condiciones muy precarias, situación que representa un potencial riesgo de contaminación futura pues no se está reciclando el agua como establece su Licencia Ambiental y por otro lado, si el río crece de más, puede destruir el dique ocasionando que todos las colas sean arrastradas hacia el cauce del río.	Río Antequera, Río Pazña
Existen grandes pasivos ambientales de las minas Bolívar, Martha, Totoral, Estalsa y Avicaya que contaminan las aguas de los ríos	Río Antequera, Río Pazña
Existe un incremento en la salinidad de las aguas del río Pazña, por la influencia de aguas termales en la zona de Urmiri que se mezclan con las aguas superficiales	Río Pazña, Llanuras de

	infiltración
La construcción de la represa del río Urmiri va a provocar el aumento de sales del río Antequera por el aporte de las aguas termales	Río Pazña, Llanuras de infiltración
Contaminación por la actividad minera de las aguas del Lago Poopó con arsénico y metales pesados como el cadmio, zinc y plomo	Lago Poopó
Los animales domésticos consumen las aguas superficiales y subterráneas contaminadas en ciertos sectores del Municipio	Aguas y Ganado
En el Lago Poopó por causa de la salinización y sedimentación, continuamente se están afectando superficies de pasturas inhabilitando el hábitad	Flora y Fauna Ictica del Lago Poopó, Llanuras de infiltración
El área circundante al Lago Poopó y áreas de inundación de los ríos presentan sal producto de la contaminación en la zona	Suelos
Salud de los pobladores y niños es mala, se reportan quejas de diarreas constantes tanto en niños como ganado.	Población Ganado
Las zonas aledañas a los caminos de transporte de minerales y vías de acceso a las minas y campamentos presentan mucho polvo y tierra que a la vez contaminan las parcelas agrícolas	Poblaciones del Municipio de Pazña
El viento levanta las partículas de las colas y desmontes producidos por la actividad minera en el Municipio de Pazña con el consiguiente riesgo de ser inhalados por los seres humanos y la fauna del lugar.	Poblaciones del Municipio
En el Municipio de Pazña no existen sistemas de recolección, transporte y disposición de los residuos sólidos, por lo que la población arroja la basura en la vía pública, en terrenos baldíos, quebradas y riachuelos.	Poblaciones del Municipio y suelo

La zonificación realizada en el municipio de Pazña corresponde a un trabajo multidisciplinario entre especialistas de agronomía e hidroquímica de la Universidad Mayor de San Andrés, donde se logró identificar en función de las características vegetales, hidrología, tipos de ecosistemas y actividades en la zona áreas de mayor interés para establecer una línea base en la zona. Los casos de estudio considerados en el municipio buscan responder preguntas respecto del impacto de la contaminación minera en las zonas bajas y las laderas del cañadón Antequera donde la gente se dedica a actividades agrosilvopastoriles, la disposición de agua y su uso en las zonas de recarga como referencia de la calidad de agua antes de recorrer áreas mineras o con fuentes de agua termal y su efecto sobre la cuenca.

Los puntos de muestreo de la red de monitoreo establecidas fueron determinados siguiendo criterios hidrológicos básicos para la toma de muestras representativas en el estudio de cuencas, criterios tales como:

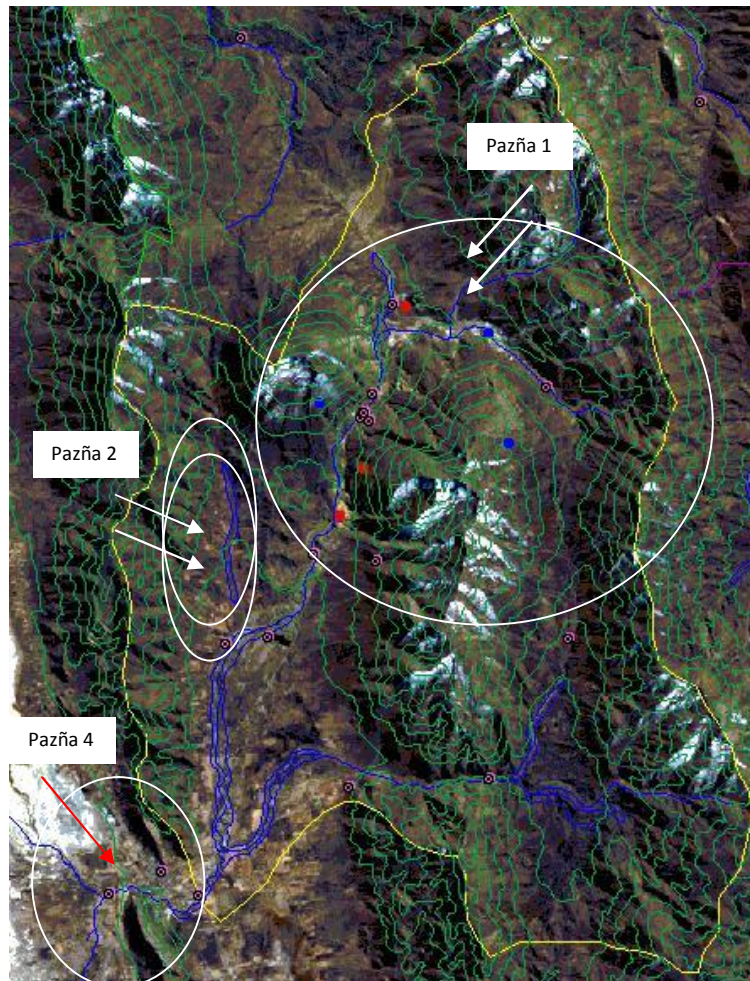
- Caudal uniforme
- Sección continua del río
- Aportes primarios y secundarios a la cuenca

Para establecer los puntos más conflictivos sobre la cuenca, considerando como parte de la cuenca los tributarios al cañadón Antequera como el río Urmiri y el Cuchuavicaya, consideramos como prioridad la cabecera de cuenca como una zona sin intervención antrópica, y la zona media tomando en considerando todas las actividades mineras (minería en operación, ingenios en funcionamiento, escombros abandonadas en los lechos de los ríos diques de colas) y su problemática. Por último, se considero como zona de influencia del río Pazña la llanura de infiltración en la zona baja. De esta manera se consideraron 18 puntos



sobre la subcuenca de Antequera (figura 3), estos además consideraron galerías filtrantes y canales de riego.




**Figura 3. Zonas de monitoreo en la cuenca del río Antequera Municipio de Pazña**



La red de monitoreo planteada para levantar la línea base ambiental del municipio consideró, entonces, las siguientes áreas (Tabla 11):

**Tabla 11. Descripción por zonas de trabajo**

AREAS	DESCRIPCION DE LA ZONA	ESCENA POR AREA
<b>1. CAÑADON ANTEQUERA</b>		
Chapana, Bolívar, Martha, Totoral, Avicaya y Estalsa	Esta zona comprende el río de Chapana como naciente de la subcuenca hasta la zona de Avicaya. Esta zona considera actividad minera privada, cooperativas, pasivos ambientales sobre el río y una problemática compleja respecto de la cuenca.	

2. CUCHUAVICAYA		
Cuchuavicaya	Esta zona en contraste con el cañadón Antequera, se constituye en una zona agrícola y de cría de ganado donde se explota agua por canales de riego hasta la zona colindante al puente de Pazña.	
3. URMIRI		
Taruco y Colpani, Urmiri	Esta zona está comprendida desde la divisoria de la cuenca en la parte superior del río Urmiri hasta la confluencia con el río Antequera, con una problemática diferente por la presencia de aguas termales, que mezcladas con el agua del río se utilizan para riego.	
4. PAZÑA Y LLANURAS DE INFILTRACION		
Llanura de infiltración	Esta zona corresponde al área de influencia del río Pazña, en esta zona, las llanuras de infiltración se extienden hasta los márgenes del Lago Poopó donde la problemática es delicada por el uso y disposición del agua.	

A continuación se presentan los resultados analizados en laboratorio del Instituto de Investigaciones Químicas (IIQ) de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), según los casos de estudio más importantes referidos a actividad minera, pasivos ambientales, aguas termales y zonas de uso de agua subsuperficial (pozos).

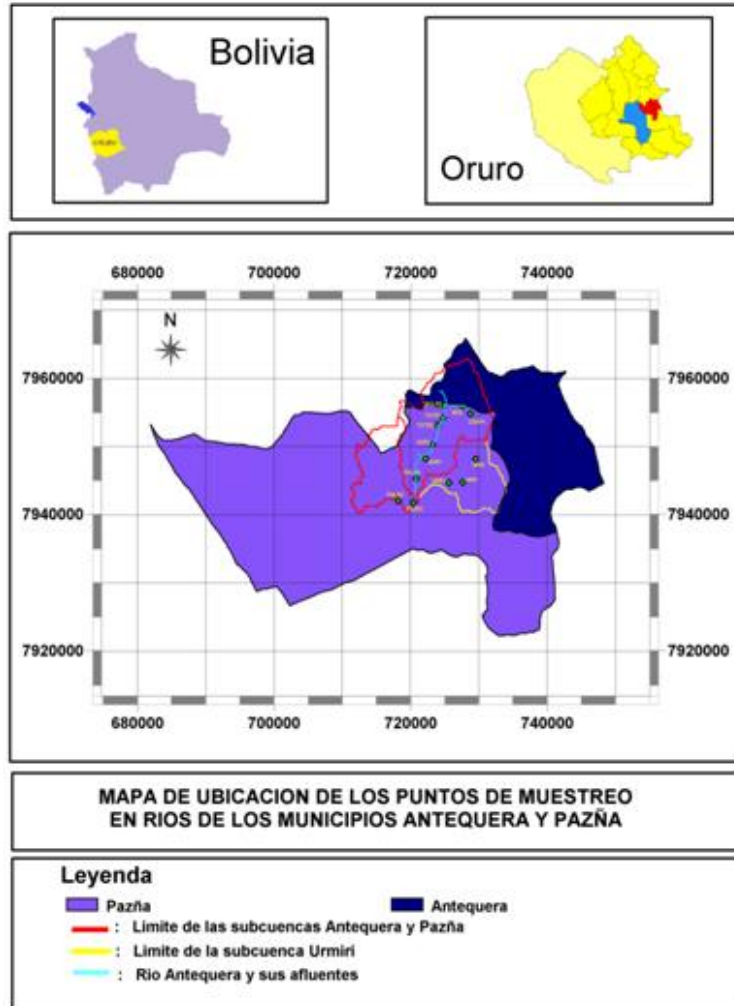
### 3.6.1 Agua superficial (Ríos)

La red de monitoreo de agua superficial (Figura 4) se utilizó para evaluar:

- los efluentes de los Diques de Colas de Minas en Funcionamiento (Bolívar)
- la influencia de los pasivos ambientales abandonados en las riberas de los ríos.
- la influencia minera sobre la calidad de agua desde la zona de Chapana, el Cañadón Antequera, el río Pazña

- la influencia geológica sobre la zona
- el aporte de aguas del río Urmiri y la influencia de agua termales, sobre el río Pazña
- fuentes de agua de buena calidad, tanto para riego como para cría de ganado.

**Figura 4. Ubicación de puntos de muestreo**



Se consideraron 18 puntos en total los cuales se describen en la tabla 12.

**Tabla 12. Descripción de los puntos de muestreo**

Nº	Lugar	Tipo Muestra	AREA	CODIGO	Referencia	DESCRIPCION DE LA FUENTE
1	Avicaya	Río	Antequera	AVR1	Río debajo de las lagunas de sedimentación de Avicaya	En medio de las colas
2	Avicaya	Río		AVR2	Efluente de Estalsa	Efluentes de mina que llegan al río de Pazña
42	Avicaya	Río	Antequera	AVR3	Brazo río que es desviado por las lagunas de sedimentación de Avicaya	Siguiendo el camino de subida desde Pazña hasta Avicaya, cruce del río.

5	Bolívar dique antiguo	Dique	Antequera	BODI3	Dique de colas antiguo	En la parte de la descarga de colas, entrada a las tuberías
6	Bolívar dique de colas	Dique	Antequera	BODI1	Salida de dique de colas antiguo	Salida de la tuberías, azulejos
7	Bolívar piscina salida	Dique	Antequera	BODI2	Dique de colas nuevo	En la parte de la descarga de colas, lado tubería
8	Bolívar Piscina	Piscina	Antequera	BO1	Piscina agua residual, en la empresa minera Bolívar	Aguas de interior mina
9	Bolívar-Cementerio	Río	Antequera	BO2	Aguas de rebalse de la planta de tratamiento	Aguas de interior mina
10	Chapana	Río	Antequera	CHAR1	Cabecera de subcuenca Antequera	Red de distribución de la población de Antequera
14	Pazña	Río	Antequera	PAZR1	Debajo del puente confluencia del río	Mezcla Antequera + Urmiri
16	Total	Dique	Antequera	TOTD1	A la salida de total	Pequeño dique de colas antes de entrar a los desmontes
23	Total	Río	Antequera	TOTR2	camino a la escuela de total, pasando el río	Frente a los pasivos al costado del camino de ingreso a total de subida
25	Total	Río	Antequera	TOTR1	Río, en la parte superior del pueblo de total	Mezcla efluentes de Bolívar, escorrentía y Martha
27	Urmiri	Río	Antequera	URR1	a 4,5 km del balneario de Urmiri	Agua superficial de los afluentes de Urmiri
28	Urmiri	Río	Antequera	URR2	Subiendo por el camino hacia Chapana	Canal de riego, entre Taruco y Colpani, dos comunidades con grandes hectáreas de cultivo y ganado (vacas)
29	Urmiri	Río	Antequera	URR3	En el badén camino a Urmiri	Mezcla de agua termal y río Urmiri
30	Urmiri	Canal	Antequera	URC1	canales de riego de la comunidad	Mezcla de agua del río con fuente termal
37	Pazña	Río	Antequera	PALR2	A la altura de la estación IHH sobre el río	Río Pazña sobre la laguna de infiltración

### 3.6.1.1 Cañadón Antequera

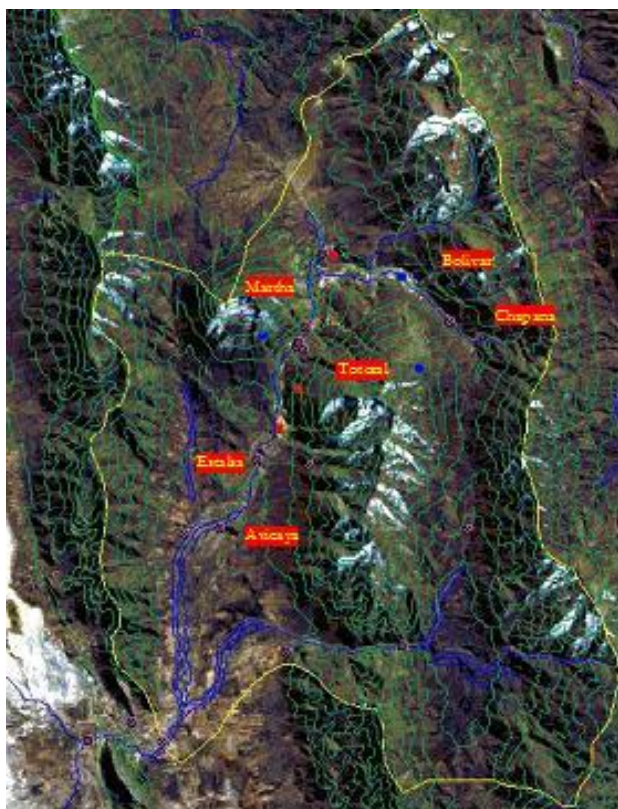
Sobre la zona del Cañadón Antequera se consideraron 6 puntos como se describe en la figura 5, distribuidos desde la cabecera de cuenca hasta la zona superior al puente de Pazña.

En época seca se ha encontrado que en la naciente del Cañadón Antequera, las aguas del río Chapana (CHAR1- Tabla 12) presentan valores de conductividad y pH bajos característicos de agua superficiales naturales aptas para consumo, tendencia que no cambia en época húmeda. Esta fuente representa agua de buena calidad para consumo y riego en esta zona.

Los valores encontrados en los diques de colas BO1 y BO2 (Tabla 12) muestran aguas características del proceso minero con valores de pH ácidos por debajo de 4 y conductividades altas cercanas a 3000 uS/cm. Los puntos BODI1, BODI2 y BODI3 (Tabla 12) representan los efluentes que se vierten al río después de pasar por las piscinas de sedimentación y recibir tratamiento con Cal viva para neutralizar el pH.



**Figura 5.** Puntos de muestreo sobre el Cañadón Antequera

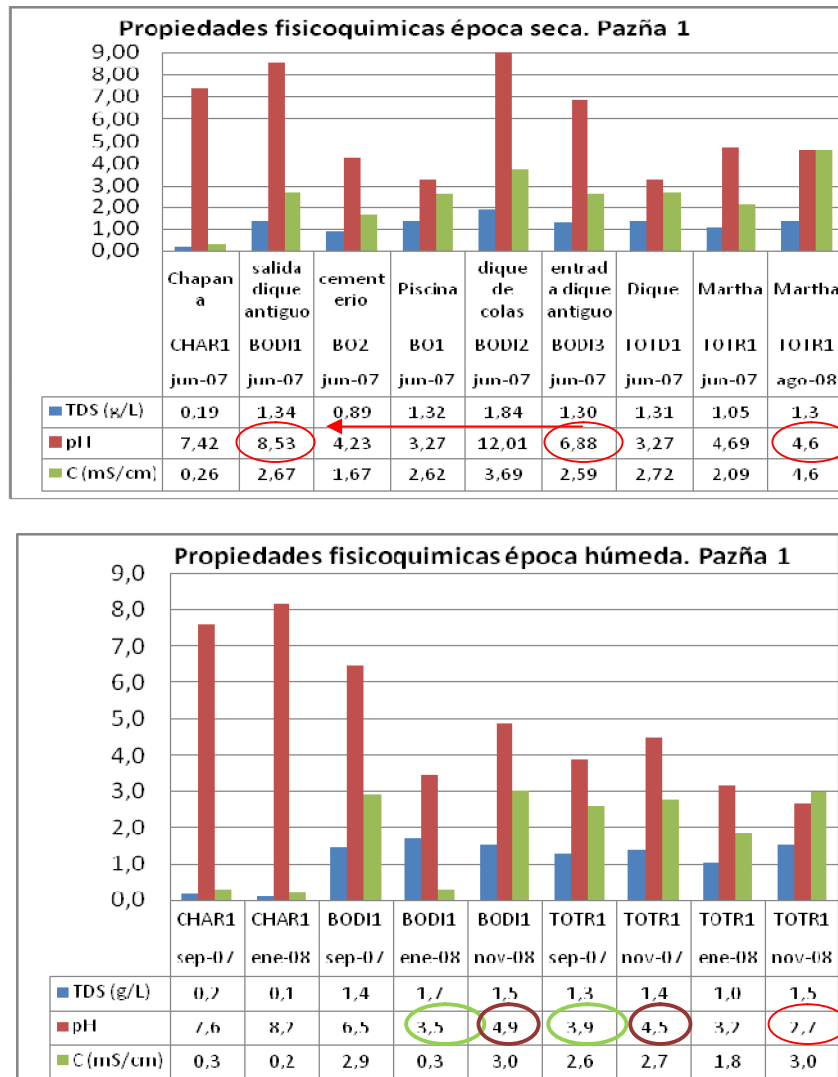


El BODI1 a la salida del dique antiguo y el BODI3 a la entrada del dique muestran que este tratamiento sube el pH de valores menores a 7 a valores mayores a 8,53 en época seca; lo que implica que en esta época (Junio de 2007) se utiliza la cantidad de cal adecuada, es decir se hace el tratamiento de aguas acidas de mina.

Pasando Totoral hacia abajo se considero el punto TOTD1 (Tabla 12), que representa una muestra de agua influenciada por los escombros depositados en el río, en este punto los valores de pH son más ácidos (cercanos a 3), es decir que hasta este punto hay influencia de agua de la mina Bolívar sin el tratamiento adecuado y la influencia de las colas abandonadas sobre el cañadón.

En época húmeda se verifica el vertido de aguas ácidas sobre el cañadón, que no son tratadas con cantidades suficiente de cal viva ya que los valores de pH para este punto caen hasta 6,5 en el 2007 (Grafico 1). En época húmeda durante el 2008 los valores de acidez del agua de salida del Dique de colas BODI1 decaen hasta 3,5 por lo que se puede afirmar que ya no se está realizando tratamiento a la salida del dique antiguo; es probable que los volúmenes de agua en época húmeda sean mucho mayores y que la cantidad de cal utilizada en el tratamiento no sea suficiente o que por la habilitación de BODI2 ya no se esté realizando el tratamiento en el dique antiguo BODI1.

**Gráfico 1. Propiedades fisicoquímicas entre épocas**



Comparando los valores de pH en los puntos TOTR1 y BODI1 (Gráfico 1) en época húmeda, es notable la evolución a pH ácidos. A la salida del Dique de colas BODI1 el pH del agua es de 4.9 y aguas abajo en el punto TOTR1 el pH decae hasta 2.7. Esto demuestra, primero, que el tratamiento no es adecuado para los efluentes, y segundo, que existe otras fuentes de vertidos de aguas acidas que no se controlan, siendo efectiva la señal de alerta de los pobladores respecto a que la mina Bolívar no realiza ni el control ni el adecuado tratamiento de sus aguas de mina.

Acerca de los procesos de mina que se pudo analizar, se muestra:

- En época seca, junio del 2007 (Gráfico 1), hay un control de agua de mina que ingresa al dique antiguo; estas aguas muestran valores de pH de 6,88 a 8,53.
- Las muestras analizadas en BO1 y BO2 (Tabla 12) caracterizan a aguas de proceso minero en interior mina y rebales de tratamiento de mineral. Los pH ácidos 3,27 y 4,23 (Gráfico 1) definen las propiedades del agua a tratar en los diques, que para esta fecha junio del 2007 presenta un pH de 8,53. Para noviembre del 2008 el pH de salida del dique mostró un valor de 4,9, valor muy cercano a los efluentes mineros

registrados en junio, lo cual confirma que al 2008 no se realiza el tratamiento ni control adecuado de aguas de mina.

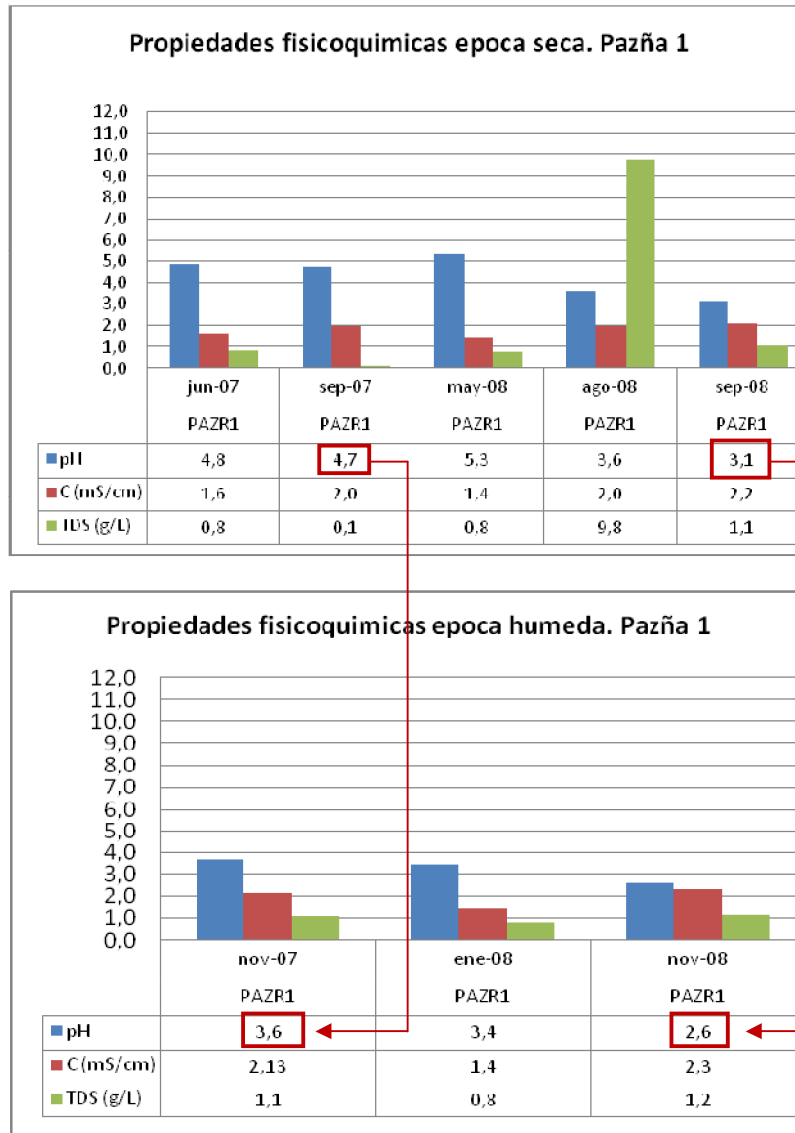
- En época húmeda se observa que el tratamiento de las aguas de mina no es suficiente ya que los valores tienden a valores ácidos que definen las propiedades del agua a la altura de Martha; siendo en época húmeda poco considerable el efecto de los pasivos en esta zona porque el caudal de agua proveniente de escurrimiento superficial regula el pH de 3,5 a 4,5.
- El dique de colas antiguo de la Empresa minera Sinchi Wayra, presenta una variación de pH de 6,5 en septiembre del 2007 hasta 3,5 en enero 2008, esto comprueba el tratamiento deficiente de los efluentes de la mina, que se vierten al Cañadón Antequera.
- El valor de 4,6 en agosto del 2008 muestra que el tratamiento realizado en el dique antiguo no es suficiente o no se realiza como se evidencio en el 2007, siendo el aporte de aguas ácidas mucho mayor en la época húmeda del 2008 (nov del 2008).

Aguas más abajo, sobre el Cañadón Antequera, en la zona de Avicaya se considera AVR2 (Tabla 12) como un punto con efluentes de Estalsa vertidos directamente al río; AVR1 como efluentes que atraviesan el dique de colas de Avicaya; y AVR3 un brazo del río que es desviado a orillas del camino que al final llega a la confluencia del río Pazña. Los tres puntos muestran un comportamiento similar presentando valores y tendencias de pH cercanas a 2,5 con valores de conductividad y sólidos disueltos mayores que los que se encuentran a la altura de Totoral, pero que se mantienen en época húmeda. Se constató durante el monitoreo de 2008 que los efluentes de Estalsa aportan aguas ácidas al Cañadón Antequera con una variación de pH de 2,7 en época seca a 2,0 en época húmeda. Estos valores son superados por los aportes de agua de las lagunas de sedimentación de Avicaya cuyos aportes presentan valores de 2,4 a 1,8 entre épocas.

En época húmeda para finales del 2008 se confirmó que los vertidos de Estalsa son más ácidos, con un pH 2,0, y que el contenido de sales disueltas son casi el doble que en el 2007 con valores de conductividad tendientes a 3,18 mS/cm, lo que se ve reflejado a la altura del río Pazña PAZR1 (Tabla 12) donde el agua para noviembre del 2008 presenta valores de pH de 2,6.

Comparando las características del agua en el puente de Pazña (Grafico 2), donde se evalúa la mezcla de agua del Cañadón Antequera se observa una tendencia más acida hacia el 2008 que puede deberse a que en la parte superior del Cañadón los efluentes del dique antiguo de la empresa minera Bolívar no están recibiendo tratamiento, ya que el pH del agua para noviembre del 2008 a la entrada de Totoral muestran un pH de 2,7. Por otra parte se debe analizar los caudales de agua provenientes de Urmiri donde para esta fecha se han tomado acciones para la construcción de una represa.

**Grafico 2. Valores de pH en el Puente de Pazña**



Acerca de los pasivos ambientales (Avicaya) se observó:

- En época húmeda los aportes de agua de las lagunas de sedimentación de Avicaya aportan aguas con características más ácidas que en época seca, con valores entre 2,4 y 2,6 a valores entre 1,8 y 2,0 en época húmeda.
- A la altura del puente de Pazña en época húmeda, se encuentran valores de pH de 2,6. En época húmeda los aportes de las lagunas de sedimentación si bien presentan valores más ácidos que los que se producen en la parte superior del Cañadón por la actividad minera en operación, siguen el mismo comportamiento definido en la parte superior. Lo que se denota comparando los siguientes valores de pH. (ver Tabla 13)

**Tabla 13. Comportamiento de DAR, DAM y agua superficial**

Código	Descripción	Jun-2007/ pH	Nov-008/pH
BO1	Piscina agua residual, en la empresa minera Bolívar	3,27	--
BO2	Aguas de rebalse de la planta de tratamiento	4,23	--
BOD11	Salida de dique de colas antiguo	8,53	4,9



Código	Descripción	Ago- 2008/pH	Nov-008/ pH
TOTR1	Río, en la parte superior del pueblo de totoral. mezcla efluentes de Bolívar, escorrentía y Martha	4,6	2,7
AVR1	Río debajo de las lagunas de sedimentación de Avicaya	2,4	1,8
AVR2	Efluente de Estalsa	2,7	3,5
AVR3	Brazo río que es desviado por las lagunas de sedimentación de Avicaya	2,6	2,0
PAZR1	Debajo del puente confluencia del río. Mezcla de agua Antequera + Urmiri	3,6	2,6

Analizando los valores de pH en un transecto desde la parte superior de la subcuenca hasta la parte media inferior, se puede ver los pulsos de valores de pH que se dan ya sea por el aporte de aguas de mina como Bolívar, o la influencia de los pasivos ambientales depositados en las riberas y cursos de los ríos. Este análisis es importante porque una de las respuestas frecuentes que dan los operadores de las minas en esta zona a las cuestiones sobre contaminación, es que las empresas cumplen con el control y tratamiento del agua, y que la fuente de contaminantes en esta zona son los pasivos abandonados de anteriores actividades.

En la tabla 13 se puede identificar un primer pulso importante de aportes de efluentes ácidos en noviembre de 2008 con valores de pH de 4.9 (y 3.5 para enero de 2008), que es un cambio drástico sobre el curso del río del Cañadón Antequera que en la naciente reporta valores de 7.4 y 7.6 (ver Figura 5) con características aptas para actividades agrícolas como además se puede apreciar en la figura 5.

El segundo pulso importante se da en época húmeda en el punto AVR1, con valores de pH de 1.8, que cabalmente coincide con las lagunas de sedimentación abandonadas de Avicaya, donde no se realizó ningún tipo de aislamiento ni control de efluentes.

Finalmente por factores de dilución de estas aguas contaminadas con aguas de la micro cuenca de Urmiri el pH en el puente de Pazña presenta valores de 2,6.

Pensando en las actividades agrosilvopastoriles que se dan en esta zona se desestima totalmente esta fuente para su uso por sus características fisicoquímicas y contenidos de otros elementos que se están contenidos tanto en las aguas de diques de colas como en los drenajes ácidos de roca que se generan en los escombros y que llegan directamente al río.

Del análisis hidrogeoquímico de las 18 muestras tomadas a lo largo del Cañadón se ha podido realizar la clasificación hidrogeoquímica de estas aguas mostrando su evolución desde Chapana hasta Avicaya, la clasificación hidrogeoquímica nos proporciona información de tipo genético de las aguas, mostrándonos las características de origen de las mismas.

Se ha encontrado que en la parte superior del Cañadón las aguas naturales presentan una predominancia Ca-Mg-Na-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> propia de aguas superficiales naturales, para ser influenciada por aguas Ca-Zn- SO<sub>4</sub> del agua de interior mina (BO1) y rebalses de agua (BO2) de proceso de recuperación de zinc para adoptar desde Martha hasta los diques de Avicaya una clasificación Ca-SO<sub>4</sub> con un cambio en época húmeda de Ca-Zn-SO<sub>4</sub>. Identificando al zinc

como indicador de fuentes de agua de origen o proveniente de proceso de mina que en época húmeda incrementa su concentración por las características de pH antes descritas.

Esta característica está directamente relacionada con la presencia de un pH fuertemente ácido desde Totoral hasta aguas debajo de Avicaya donde se incrementa la producción de drenajes ácidos a lo largo del río, y donde se constata por la clasificación hidrogeoquímica influencia de aguas Ca-Zn-SO<sub>4</sub> de origen minero.

**Figura 5. Descripción de las zonas con pulsos de PH**

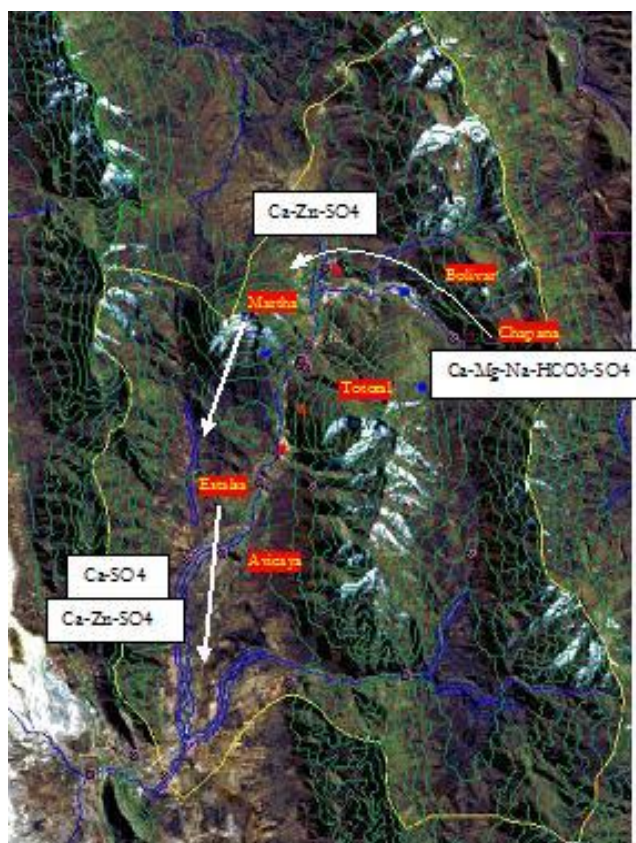


A la altura de Avicaya donde se encuentra una zona agrícola, según la normativa boliviana (Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica 1995), se pueden considerar a estas aguas como de Clase D, aguas de calidad mínima, que para consumo humano en los casos de extrema necesidad publica requieren un proceso inicial de pre sedimentación y tratamiento

físico químico completo y desinfección bacteriológica especial. En el croquis del área de estudio se ha podido establecer los aniones y cationes representativos de las muestras de agua analizadas, mostrando gráficamente su evolución y características propias sobre el Cañadón (Tabla 14)

**Tabla 14. Caracterización de agua sobre el Cañadón Antequera**

FECHA	CODIGO	ESTACION ID	DESCRIPCION FUENTE	CARACTERIZACION
6/21/2007	CHAR1	Chapana	Río	Ca-Mg-Na-HCO3-SO
9/21/2007	CHAR1	Chapana	Río	Ca-Mg-Na-HCO3-SO
6/21/2007	BO2	Cementerio Bolivar	Efluente	Ca-Zn-SO4
6/21/2007	BO1	Piscina Bolivar	Efluente	Zn-Ca-SO4
9/23/2007	BOD1	Dique Bolivar	Efluente tratado	Ca-SO4
6/21/2007	BOD1	Salida dique	Efluente tratado	Ca-SO4
9/23/2007	BOD1	Dique Bolivar	Efluente tratado	Ca-SO4
6/21/2007	BOD12	Dique de colas	Efluente tratado	Ca-SO4
6/21/2007	BOD13	Dique antiguo	Efluente tratado	Ca-SO4
9/21/2007	TOTR1	Totoral	Río + efluentes	Ca-SO4
11/11/2007	TOTR1	Totoral	Río + efluentes	Ca-SO4
6/21/2007	TOTR1	Marta	Río + efluentes	Ca-SO4
6/21/2007	TOTD1	Dique	Río + efluentes+pasivos	Ca-SO4
9/23/2007	AVR2	Avicaya	Río+efluentes+pasivos sta	Ca-SO4
11/11/2007	AVR2	Avicaya	Río+efluentes+pasivos sta	Ca-SO4
6/21/2007	AVR1	Avicaya 2	Río+efluentes+pasivos	Ca-SO4
9/23/2007	AVR1	Avicaya	Río+efluentes+pasivos	Ca-SO4
11/11/2007	AVR1	Avicaya	Río+efluentes+pasivos	Ca-Zn-SO4
6/21/2007	AVR3	Avicaya	Río+efluentes+pasivos	Ca-SO4



Como se puede observar el zinc no es propio de aguas naturales mostrándose ausente en la zona de Chapana en la parte alta de la cuenca. Su presencia resalta en los diques de Bolívar BO1 y BO2, es parcialmente controlado en el dique antiguo BOD11 y BOD12, reaparece en una baja concentración en BOD13, el dique nuevo; y sus concentraciones aumentan significativamente al pasar por los pasivos a la salida de Totoral en TOTD1 por los valores ácidos de pH ya mencionados, para mantenerse en concentraciones casi constantes hasta aguas abajo a la salida de Avicaya.

Las concentraciones de sulfatos en la zona de Chapana están por debajo del límite de 300 mg/L, establecidos por la Organización Panamericana para Salud/ Organización Mundial para la Salud (OPS/OMS), comportamiento muy diferente a lo largo del Cañadón donde los valores fluctúan entre 1200 y 1800 mg/L. Las concentraciones más altas en época húmeda se encuentran en TOTR2 a la altura de la escuela de totoral (Foto 1) donde se encuentran depósitos de escombros. Se ha evidenciado la presencia de cinc, hierro y cadmio en las aguas superficiales del Cañadón Antequera en concentraciones por debajo de los límites permisibles en la normativa boliviana para aguas de clase A, B, C y D.

**Foto 1. Escuela de Totoral. Municipio de Pazña. Abril 2007**

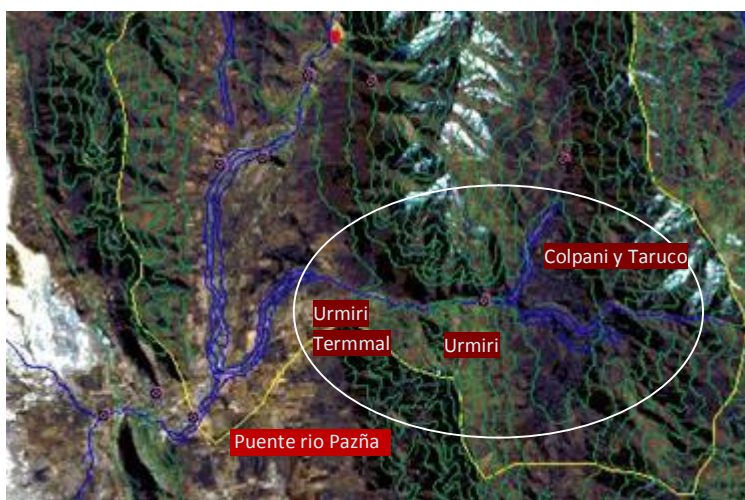


De este análisis, se verifican los pulsos dados por la minería en operación y abandonada mostrando al zinc como un indicador de aguas que muestra la influencia de la minería en la zona; verificando que si bien existe un influencia geológica en la zona por los yacimientos de Zn-Pb-Ag, las actividades extractivas y de cierre de minas son las que originan el problema de contaminación en el Cañadón Antequera.

### 3.6.1.2 Urmiri

Esta zona comprende el otro tributario al río Antequera en el puente de Pazña (Figura 6). Las aguas vienen de la divisoria de cuencas de Chapana y Taruco-Colpani. En esta zona solo hay actividad agrícola y ganadera de baja intensidad. Para el muestreo se consideró un punto a 4 km antes de llegar a las aguas termales para verificar las propiedades de esta agua antes de mezclarse con las aguas termales y ser distribuida por los canales de riego en la zona media hasta antes de llegar a la confluencia con el Cañadon Antequera en el puente de pazña.

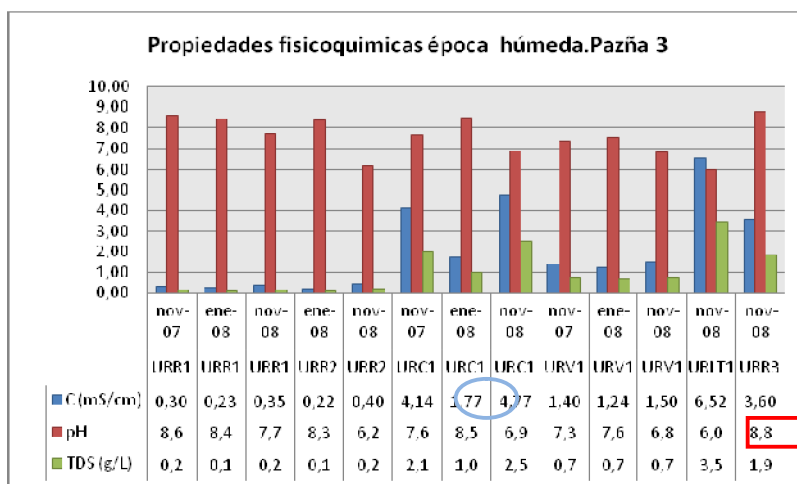
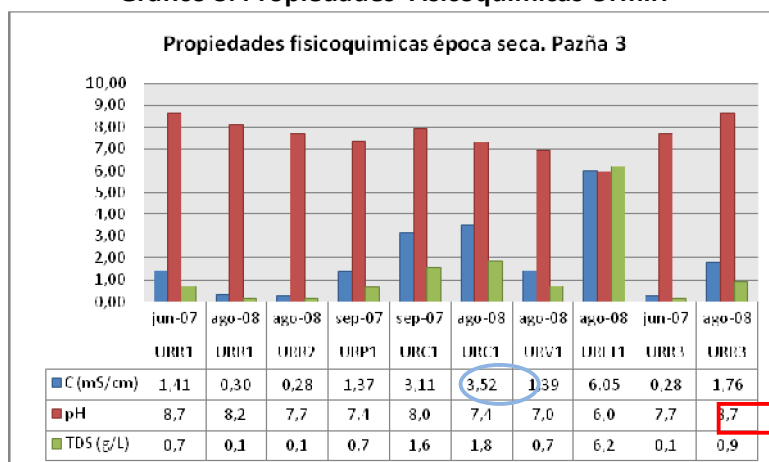
**Figura 6. Puntos de monitoreo subcuenca de Urmiri**



Desde la zona de Colpani y Taruco URR1 (Tabla 12) hasta la parte superior de las aguas termales de Urmiri se observa aguas de buena calidad con bajo contenido de sales disueltas y solidos totales en suspension; la fluctuacion de pH no es clara pero puede deberse al

contenido de carbonato y bicarbonatos producto de la disolución de sales a lo largo del río desde la parte superior.

**Grafico 3. Propiedades Físicoquímicas Urmiri**



Como se puede ver en la Tabla 12 el agua de pozo URP1 es característica de aguas subterráneas de esta zona, y el contenido de sales disueltas aumenta bruscamente en los canales de riego URC1 que representan mezcla de aguas de río con fuentes termales. Además, la vertiente de agua URV1 es similar en propiedades que el pozo URP1.

El punto URL1 (Grafico 3) muestra el aporte de sales y sólidos totales de fuentes de aguas termales presentes en esta zona. Estas aguas son mezcladas con el agua de río Urmiri, y distribuidas a través de canales de riego (Foto 2) en las parcelas agrícolas de esta zona. La influencia de esta agua son bajas sobre el caudal del río Urmiri que llega a mezclarse con las aguas del Cañadón Antequera hasta finalmente llegar al Puente de Pazña (río Pazña).

**Foto 2. Canales de riego en la zona de Urmiri**





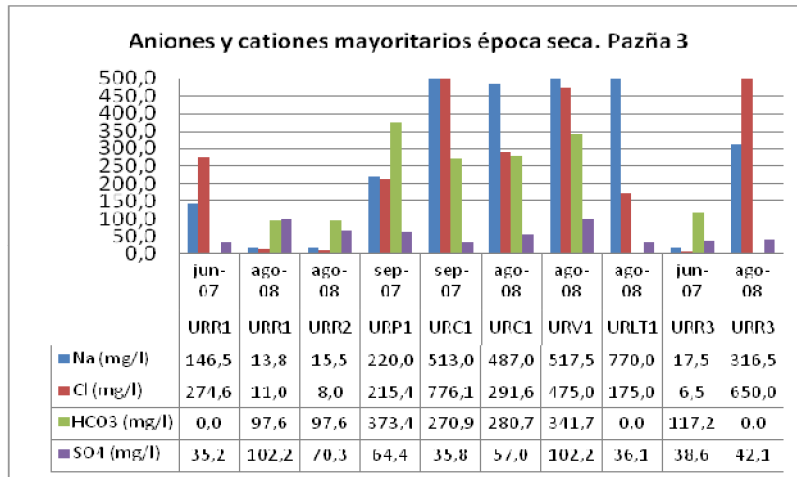
Los valores de conductividad en el agua de los canales de riego (Foto 2) muestran un contenido de sales disueltas mucho menor en época húmeda, con una variación de 3,52 a 1,77 (URC1) de época seca a época húmeda, porque el caudal de agua del río es mucho mayor y diluye la concentración de las aguas termales. En época seca debe controlarse los volúmenes de agua termal que son utilizados en los canales de riego. El pH por el contrario no presenta variación antes de mezclarse con los afluentes del Cañadón Antequera.

**Tabla 15. Caracterización hidrogeoquímica Urmiri**

FECHA	CODIGO	ESTACION ID	DESCRIPCION FUENTE	CARACTERIZACION
6/21/2007	URR1	Urmiri	Río	Na-Cl-CO3
11/08/2007	URR1	Urmiri	Río	Na-HCO3-SO4
9/21/2007	URP1	Urmiri	Pozo	Na-HCO3-Cl
9/21/2007	URC1	Urmiri	Río + termal	Na-Cl
11/08/2007	URC1	Urmiri	Río + termal	Na-Cl
11/08/2007	URV1	Urmiri	Vertiente	Na-Cl
6/21/2007	URR3	Urmiri	Río + termal	Ca-Na-Mg-HCO3-SO4

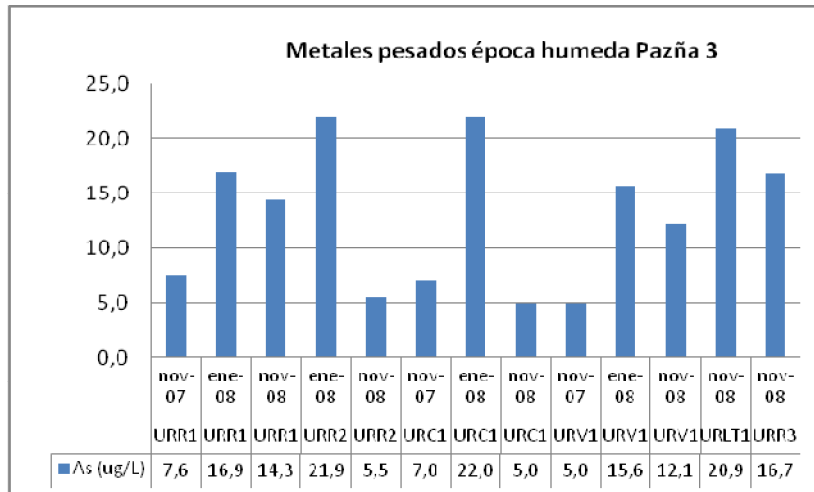
El análisis hidrogeoquímico realizado (Tabla 15) muestra concentraciones de sodio y cloruros representativas en la zona, siendo la clasificación Na-Cl predominante en las aguas subsuperficiales influenciadas por aguas termales, existiendo además la presencia de Carbonatos y Sulfatos en la zona. Esta característica constituye a esta zona como una micro cuenca con diferentes características tanto geológicas como ambientales, y con diferente grado de contaminación natural que pondría en peligro los suelos de las áreas de cultivo que utilizan aguas altamente salinas.

**Grafico 4. Aniones y cationes mayoritarios Urmiri**



La concentración de cloruros a lo largo del río Urmiri alcanza los valores máximos también en los canales de riego, pero los valores en la parte superior (274,6 mg/L), están fuera de los límites establecidos para aguas clase A (250 mg/L) (Grafico 4). También se evidencia bajas concentraciones de sulfatos en la zona debido a aportes naturales que en época húmeda son más altos. La presencia de bicarbonatos en época húmeda denota el aporte de agua a la cuenca por diferentes procesos de escorrentía en la naciente del río Urmiri. En el caso de metales pesados (Grafico 5), en época húmeda se han encontrado valores de Arsénico por debajo de los límites permisibles (50 ug/L) establecidos en la norma boliviana para aguas Clase A, B, C y D.

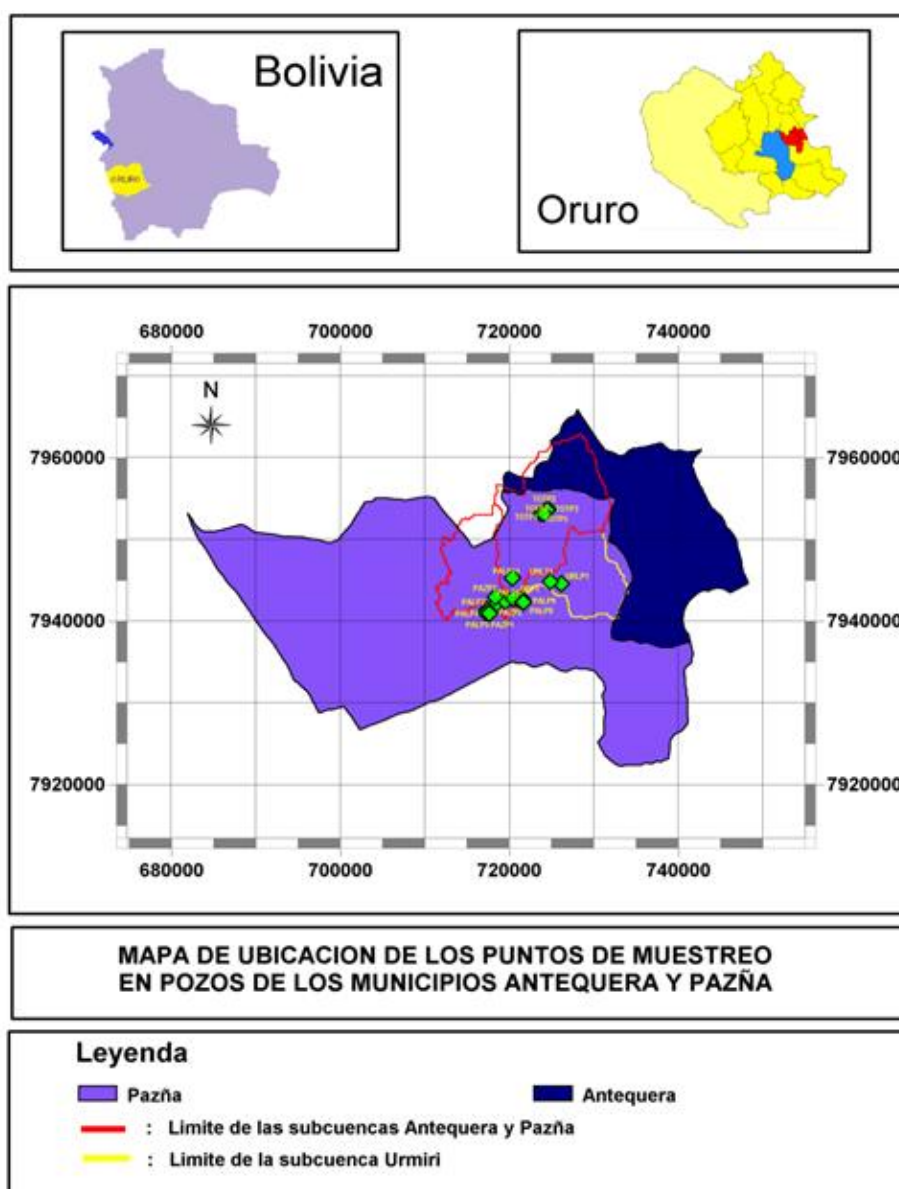
**Grafico 5. Valores de Arsénico en la microcuenca de Urmiri**



### 3.6.2 Agua subsuperficial (pozos)

El agua subsuperficial en la subcuenca se utiliza como agua de consumo humano, la cual no recibe tratamiento químico ni biológico; estos pozos en general son familiares o comunales y no reciben mantenimiento ni limpieza. Menos del 50% utiliza bombas manuales o automáticas y la extracción se hace manualmente con cubo y sogá, de esta manera se puede apreciar contaminación orgánica y en algunos casos características salinas solo realizando pruebas organolépticas. Además, a esta problemática se suma constantes denuncias de la actividad minera sobre el Cañadón Antequera que causa pérdida de volumen y calidad de agua en los pozos, por lo que uno de los objetivos en este punto fue el de evaluar si existe influencia de la actividad minera en estos pozos o si las características de estas aguas responden a la influencia geológica y ambiental de la zona. Así mismo en la parte media y baja (Urmiri – Llanuras de infiltración de Pazña) denota la preocupación de identificar nuevas áreas de habilitación de pozos para consumo y para riego.

Figura 7. Mapa puntos de muestreo de aguas subsuperficiales





Para el estudio y análisis de las aguas subsuperficiales se hizo un muestreo de los pozos de agua ubicados en los municipios de Antequera y Pazña. El mapa en la figura 7 muestra la localización de todos los pozos muestreados. En la Tabla 16 se hace una descripción general de cada uno de los puntos de muestreo en los dos municipios.

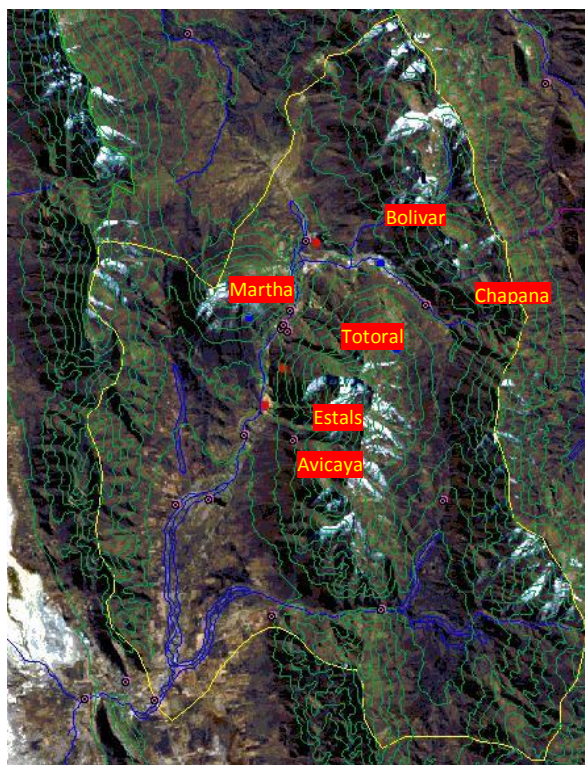
**Tabla 16. Descripción de los puntos de muestreo de agua subsuperficial (pozos)**

N°	Lugar	Tipo	CODIGO	Referencia	DESCRIPCION FUENTE
11	Pazña	Pozo	PAZP1	Cerca Estación meteorológica IHH	Pozo comunal seco
12	Pazña	Pozo	PAZP2	Casa de la Esquina antes del control, puerta verde	Pozo empotrado con piedra
13	Pazña	Pozo	PAZP3	Familia Victor Gutiérrez, Verna Gonzales	Pozo abierto, agua salada, 20-30 años antigüedad
15	Río Chapana	Tanque	CHAT1	Red de distribución de la población de Antequera	
17	Total- Antequera	Pozo	TOTP4	Debajo de la escuela de Totoral, pasando el río	Pozo que no se seca estacionalmente
19	Total- Antequera	Pozo	TOTP1	Casa de Doña Magdalena Gutiérrez, plaza de Totoral	100 años de antigüedad
20	Total- Antequera	Pozo	TOTP2	Casa de Leonardo García, a una cuadra de la plaza hacia Martha	Pozo familiar
21	Total- Antequera	Pozo	TOTP3	En la plaza de Totoral	Con bomba manual esporádicamente seco
22	Total- Antequera	Pozo	TOTP5	Sobre el camino de ingreso a Totoral de subida	Cubierto con latas y madera
24	Total- Antequera	Tanque	TOTT1	Charcala	Tanque de distribución de agua
26	Urmiri	Pozo	URP1	Germán Herrera Dávalos	50 años de antigüedad
33	Pazña	Pozo	PALP3	Ana Gutiérrez y Mario Mamani	Pozo familiar de 12 años de antigüedad
35	Pazña	Pozo	PALP4	Cerca de casa de Cipriano	Estanque con bomba eólica
36	Pazña	Pozo	PALP5	Alejandra Flores	Pozo salado 15 años de antigüedad
38	Urmiri	Pozo	URLT1		Ojo de agua encima del estanque enmallado de Urmiri
39	Pazña	Pozo	PALP6	Casa Cristóbal Gutiérrez Camino Urmiri, 10 me abajo banda roja	Cerca del establo de ganado
40	Pazña	Pozo	PALP8	Casa de Freddy Escobar	Agua salada, bomba manual
41	Pazña	Pozo	PALP9	Casa de Rosa Hurtado, Genaro Rios	Pozo abierto de más de 30 años
43	Pazña	Pozo	PALP11	Subiendo de Pazña antes de cruzar el río costado izquierdo	Pozos familiares cerca al camino
44	Pazña	Pozo	PALP10	Subiendo de Pazña antes de cruzar el río primera casa	Pozo familiar

### 3.6.2.1 Evaluación de pozos sobre el Cañadón Antequera

Sobre el Cañadón Antequera se consideraron puntos en el mismo transecto que se evaluaron las aguas superficiales, los 8 pozos estudiados se muestran en la figura 8.

**Figura 8.** Puntos de muestreo Cañadón Antequera

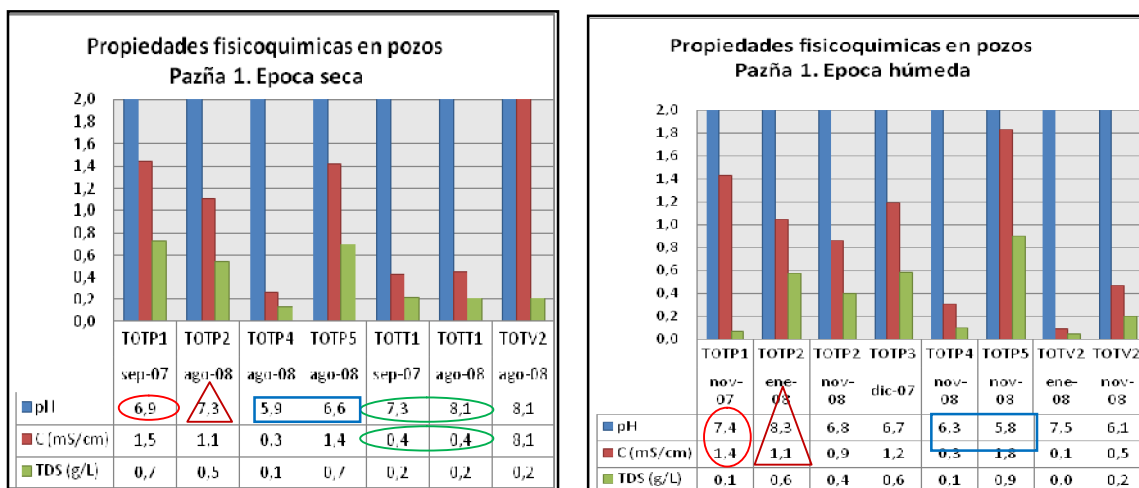


En el caso de los pozos estudiados en totoral, TOTP1 (Tabla 16) se encontraron valores de conductividad superiores a 1,4 mS/cm, cerca del límite recomendado para consumo y con valores límite (Tabla 17) de sólidos suspendidos; los valores de pH (grafico 6) fluctúan entre levemente ácidos en época seca (6,9) a levemente básicos en época húmeda (7,4), esto debido a la variación de niveles freáticos entre ambas estaciones que podrían favorecer a procesos de disolución de minerales. El pozo TOTP3 con bomba manual ubicado en la plaza, presenta la misma tendencia con valores ligeramente más ácido (6,7) en época húmeda.

**Tabla 17. Límites permisibles de metales pesados según la norma boliviana**

PARÁMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE				PARÁMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE			
		Clase A	Clase B	Clase C	Clase D			Clase A	Clase B	Clase C	Clase D
Cobre (Cu)	[mg/L]	0,05	1,0	1,0	1,0	Cobre (Cu)	[ug/L]	50	1000	1000	1000
Hierro (Fe)	[mg/L]	0,3	0,3	1,0	1,0	Hierro (Fe)	[ug/L]	300	300	1000	1000
Zinc (Zn)	[mg/L]	0,2	0,2	5,0	5,0	Zinc (Zn)	[ug/L]	200	200	5000	5000
Arsénico (As)	[mg/L]	0,05	0,05	0,05	0,1	Arsénico (As)	[ug/L]	50	50	50	100
Plomo (Pb)	[mg/L]	0,05	0,05	0,05	0,1	Plomo (Pb)	[ug/L]	50	50	50	100
Cadmio (Cd)	[mg/L]	0,005	0,005	0,005	0,005	Cadmio (Cd)	[ug/L]	5	5	5	5

**Gráfico 6. pH, conductividad y TDS estacionales pozos Cañadón Antequera**



El Tanque de distribución de agua TOTT1 que viene desde la zona de Charcala debajo de Totoral presenta concentraciones más bajas de sales disueltas (0,4 g/L) y valores de pH por encima de 7 (Gráfico 5), por lo que puede presentar un sabor más dulce al compararlo con el agua de los pozos de Totoral. La concentración de sales disueltas en la vertiente TOTV2 (Figura 7), entre Martha y Totoral (lavado de ropa) y el pozo de la escuela de Totoral (TOTP4) tienden a los mismos valores con valores de pH mayores a 7 en el caso de la vertiente y el tanque, con valores ácidos menores a 7 (Gráfico 6) en el caso del pozo de la escuela TOTP4 tanto en época seca como en época húmeda.

**Tabla 18.** Clasificación de aguas pozos Cañadón Antequera

FECHA	CODIGO	ESTACION ID	DESCRIPCION FUENTE	CLASIFICACIÓN
9/23/2007	TOTP1	Totoral	Pozo familiar	Na-Cl-NO3-SO4
11/11/2007	TOTP1	Totoral	Pozo familiar	Na-Ca-Cl-SO4
12/01/2007	TOTP3	Totoral	Pozo comunal	Na-Cl-SO4
9/23/2007	TOTT1	Totoral	Tanque de distribución de agua	Na-HCO3-Cl

La clasificación encontrada para estas aguas (Tabla 18) indica la presencia principal de iones sodio, cloruro y sulfato, en concentraciones por debajo de los límites establecidos por la OMS (Tabla 19), siendo el agua de estos pozos buena para su uso doméstico.

**Tabla 19.** Extractos de la guía de la calidad de agua para abastecimiento potable de la OMS (1984).

COMPUESTO	VALOR	UNIDAD	CRITERIO
Cloruro	250 *	mg/L	Sabor
Cromo	0.05	mg/L	Salud
Plomo	0.05	mg/L	Salud
Nitrato	45	mg/L	Salud
Sulfato	400	mg/L	Sabor
Bacteria Fecal	< 1	En 0.1 Litro	Salud

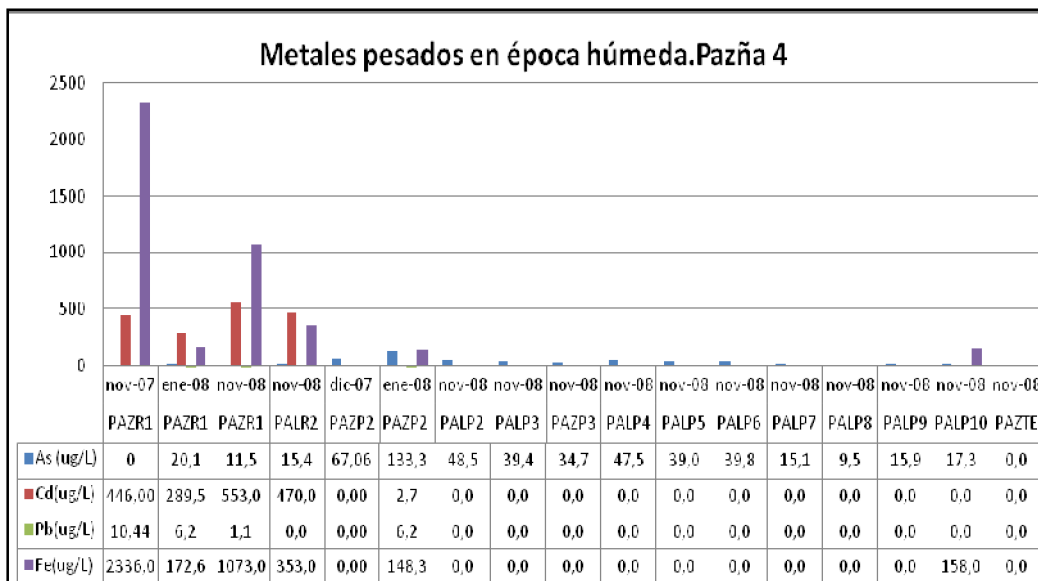
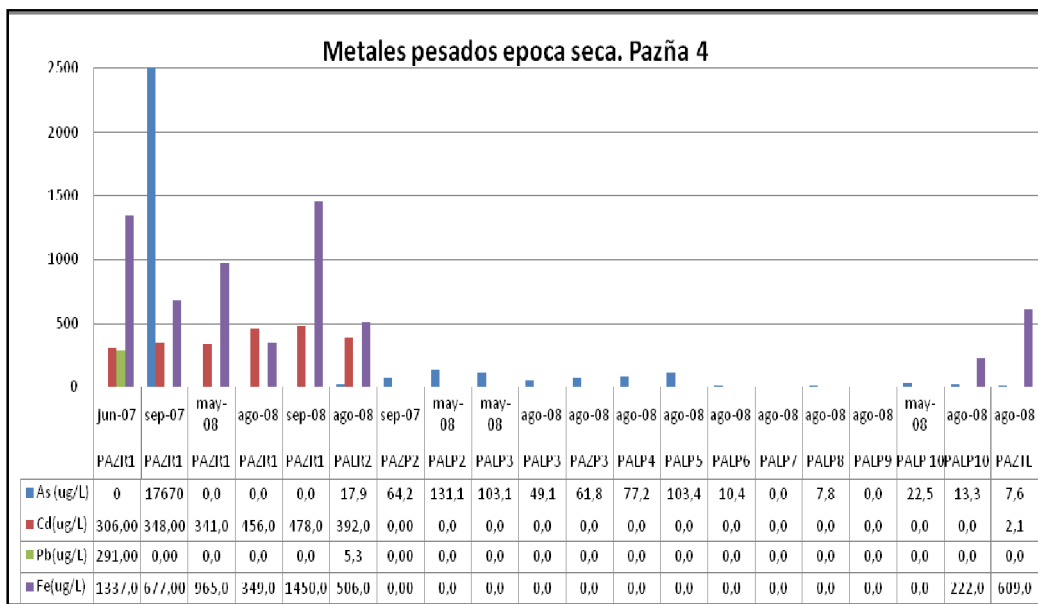
\* Puede estar presente también naturalmente en mayor cantidad que este valor

En los pozos considerados en esta zona se encontraron valores de nitrato por debajo de lo establecido como valor límite para agua de consumo (Tabla 19), exceptuando los pozos TOTP1 y TOTP2 en concentraciones muy altas (valores por encima de 10 mg/L), por estar sometido a

fuentes de contaminación orgánica y poco mantenimiento entre épocas. El agua de mejor sabor es la que es transportada desde Charcala y se distribuye por la red de distribución de Totoral

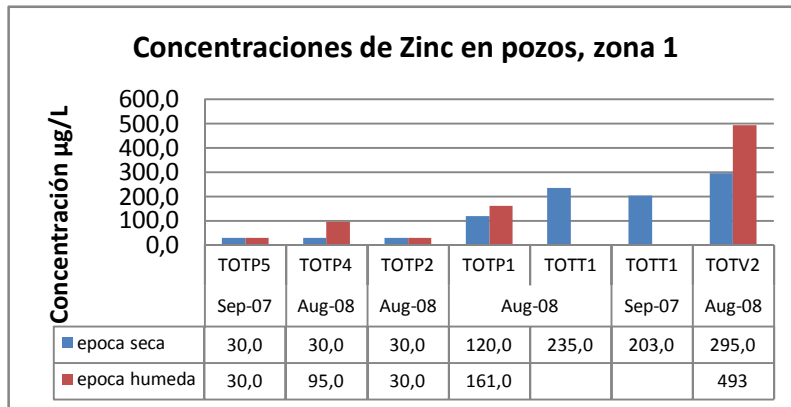
Las cantidades particularmente altas de arsénico, producto de la disolución de minerales en los pozos y en el tanque de agua de distribución de agua TOTT1, merecieron particular atención en esta etapa (Grafico 7). En el resto de los pozos se nota un ascenso en las concentraciones de arsénico en época húmeda a excepción de TOTP5 que muestra valores muy bajos. El pozo TOTP4 corresponde al pozo de la escuela de Totoral el cual presenta valores de arsénico desde 11 hasta 29 µg/L entre épocas. Aun cuando estos valores están por debajo de los límites permisibles para aguas de consumo, debería considerarse el tratamiento de estas aguas por técnicas sencillas y económicas. En el caso del plomo no se observa ninguna fluctuación detectable en la zona.

**Grafico 7.** Evaluación de metales pesados



El caso del zinc es interesante ya que se observa concentraciones altas en la vertiente en la zona superior de Totoral TOTV2 (Gráfico 8) con variaciones de pH de 8,1 en época seca y de 6,1 en época húmeda; en el tanque de distribución de agua que proviene de Charcala las concentraciones tienden a valores superiores a 200 µg/L, mientras el pozo de la escuela (TOTP4) presenta valores de 30 en época seca hasta 95 en época húmeda. Por lo que se verifica en aguas subsuperficiales y subterráneas un aumento en la concentración de zinc en época húmeda, debido probablemente a la disolución de minerales en la zona por efectos de escorrentía subsuperficial, directa e indirecta.

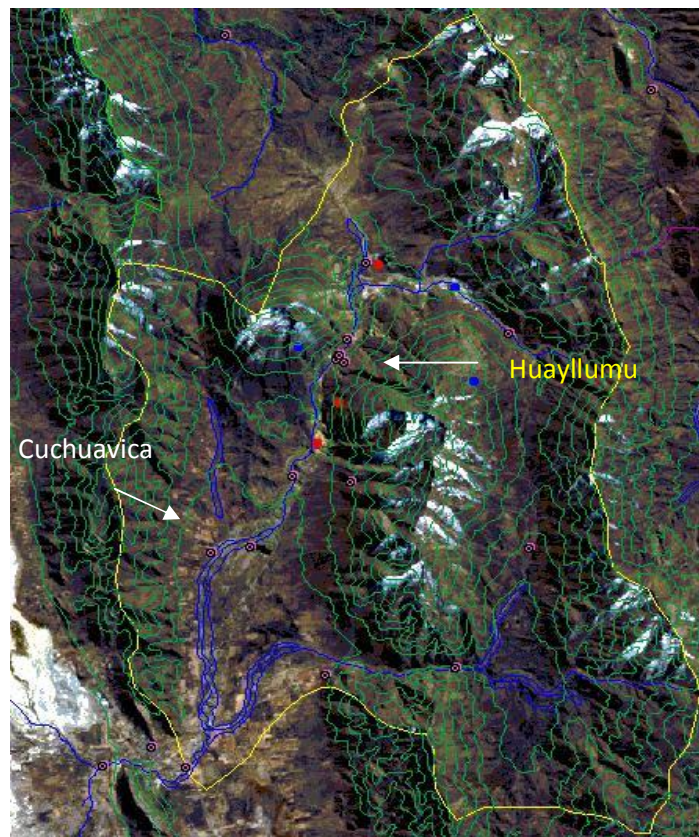
**Grafico 8.** Descripción de la Concentración de Zinc sobre el cañadón Antequera



### 3.6.2.2 Agua de pozos en la zona de Cuchuavicaya

Esta zona comprende la parte agrícola del Cañadón Antequera (figura 8).

**Figura 8.** Descripción de la zona de Cuchuavicaya

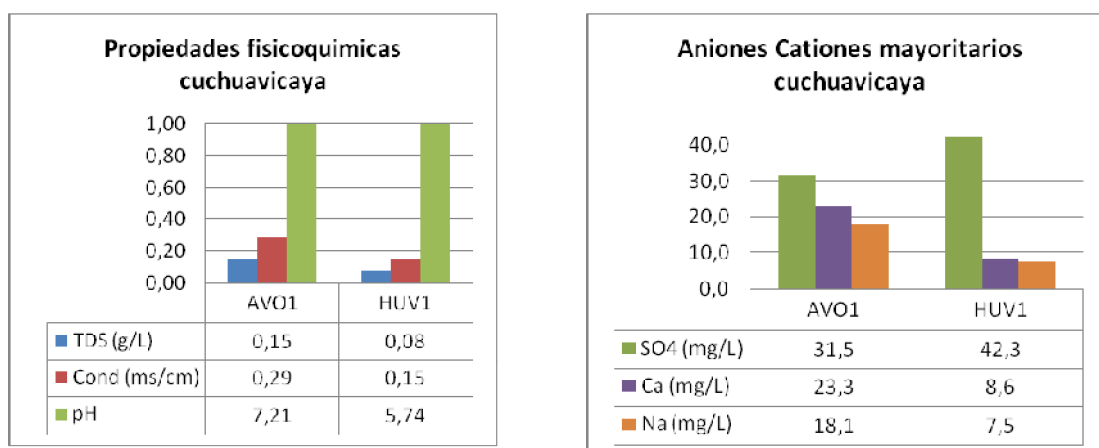




Este afluente se caracteriza por cargarse de aguas provenientes de escorrentía subsuperficial (ojos de agua) que alimentan a lo largo de este río canales de riego y aportes directo al río. En esta etapa de levantamiento de línea base no se logro ingresar hasta la naciente donde se conoce existen galerías filtrantes, pero se logro trabajar en un punto más abajo a la altura de la hacienda San Ignacio.

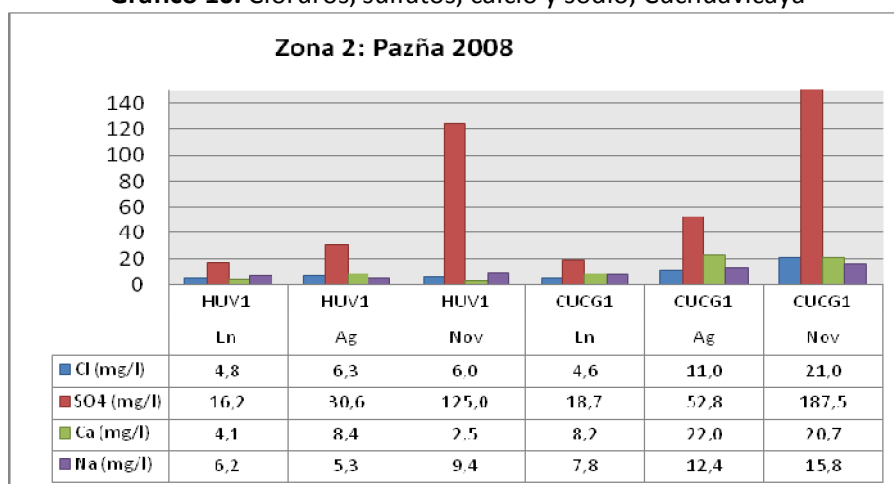
En esta evaluación se considera además el punto de Huayllumu fuente de agua de distribución para el campamento de Estalsa; esta fuente está en la otra zona de recarga del Cañadón Antequera de esta manera Cuchuavicaya y Huayllumu son fuentes representativas de aguas naturales que se escurren al Cañadón por la laderas.

**Grafico 9. Propiedades fisicoquímicas Cuchuavicaya**



Las propiedades fisicoquímicas (Grafico 9), los contenidos de aniones y cationes mayoritarios (Grafico 10) así como la clasificación hidrogeoquímica de aguas (Tabla 20) muestran aguas de muy buena calidad, características de aguas aptas para consumo, sin contaminación minera ni ambiental, mostrando además características por debajo de la norma establecidas para aguas clase A.

**Grafico 10. Cloruros, sulfatos, calcio y sodio, Cuchuavicaya**



Sin embargo se observó contenidos de sulfatos de origen natural en el área que en el caso de Huayllumu es mucho más significativo por el pH ácido que presenta el reporte. Estos valores

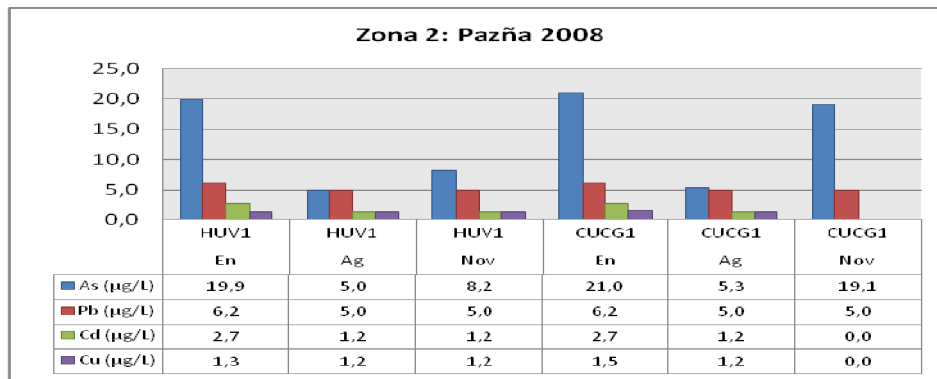
no se comparan con los valores encontrados en el Cañadón pero nos dan una referencia de la influencia geológica de la zona sobre las aguas naturales, lo que también se aprecia en las galerías filtrantes de Cuchuavicaya (CUCG1) con valores más altos en época húmeda (noviembre del 2008).

**Tabla 20.** Clasificación de agua Cuchuavicaya

FECHA	CODIGO	ESTACION ID	DESCRIPCION FUENTE	CARACTERIZACION
9/23/2007	AVO1	Avicaya	ojo de agua	Ca-Na-Mg-HCO3-SO4
9/23/2007	HUV1	Avicaya	vertiente	Ca-Na-SO4

Los contenidos de arsénico también son considerablemente altos (Grafico 11) pero por debajo de los límites de la norma boliviana, para tratarse de aguas naturales que en el caso de Cuchuavicaya son consideradas de referencia en la zona media del Cañadón, al igual que la zona de Huayllumu que es la fuente de agua de distribución en el campamento de Estalsa.

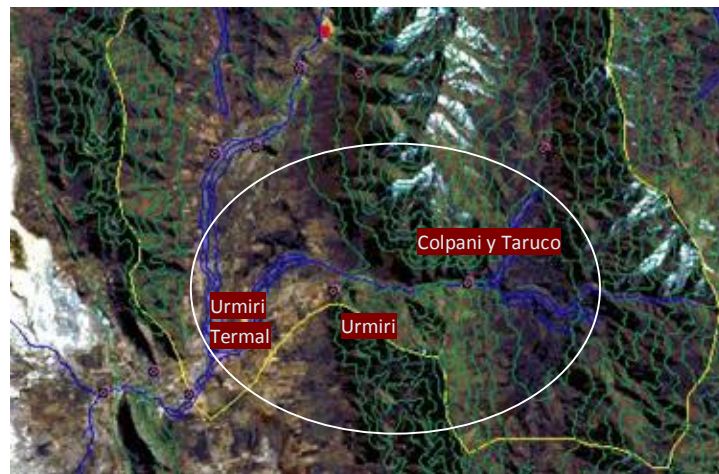
**Grafico 11. Arsénico, Plomo, Cadmio y Cobre, Cuchuavicaya**



### 3.6.2.3 Agua de pozos en la zona de Urmiri

Esta zona comprende el otro tributario al río Antequera en el puente de Pazña, las aguas vienen de la divisoria de Chapana y Taruco-Colpani (Figura 9); en esta zona solo hay actividad agrícola y ganadera de baja intensidad.

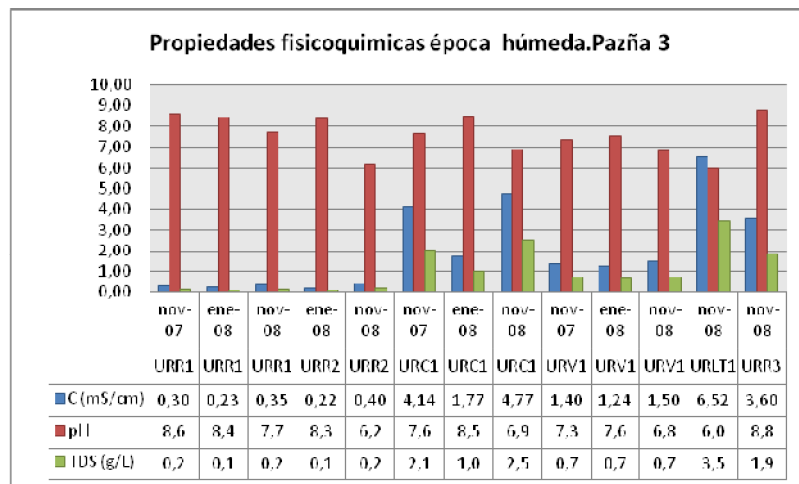
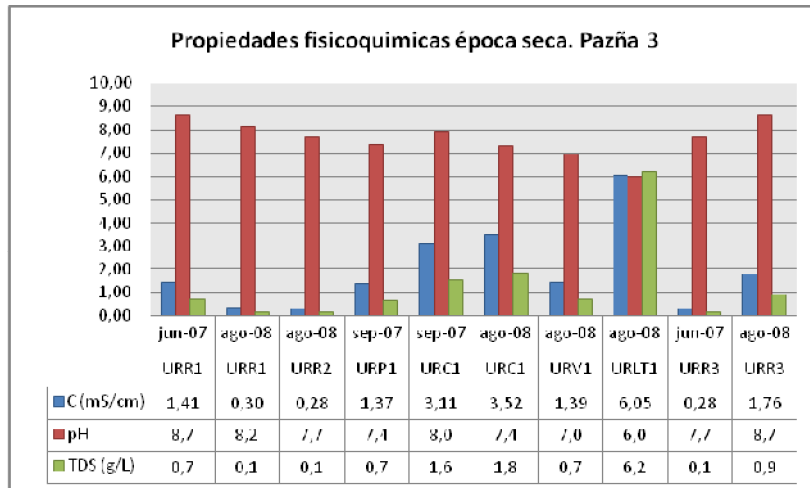
**Figura 9.** Descripción zona de Urmiri



Se ha considerado un punto a 4 km arriba de las aguas termales (Urmiri) para verificar las propiedades de esta agua antes de mezclarse con las aguas termales y ser distribuida por los canales de riego en la zona media hasta antes de llegar a la confluencia con el Cañadón Antequera en el puente de Pazña.

Las aguas subsuperficiales fueron colectadas de la serranía cerca de Urmiri, entre ellas se tiene URP1, URV1 vertiente (provisión de agua potable para Urmiri) y URLT1 (afloramiento de aguas termales (ver Tabla 16).

**Grafico 12.** Propiedades fisicoquímicas en la subcuenca de Urmiri



Desde la zona de Colpani y Taruco URR1 hasta la parte superior de las aguas termales de Urmiri se observa aguas de buena calidad con bajo contenido de sales disueltas y sólidos totales en suspensión, la fluctuación de pH no es clara pero puede deberse al contenido de carbonato y bicarbonatos producto de la disolución de sales a lo largo del río desde la parte superior (Grafico 12).

El agua de pozo URP1 es característica de aguas subterráneas de esta zona, el contenido de sales disueltas aumenta bruscamente en los canales de riego URC1 que representan mezcla de aguas de río con fuentes termales. La vertiente de agua URV1 es similar en propiedades que el pozo URP1.



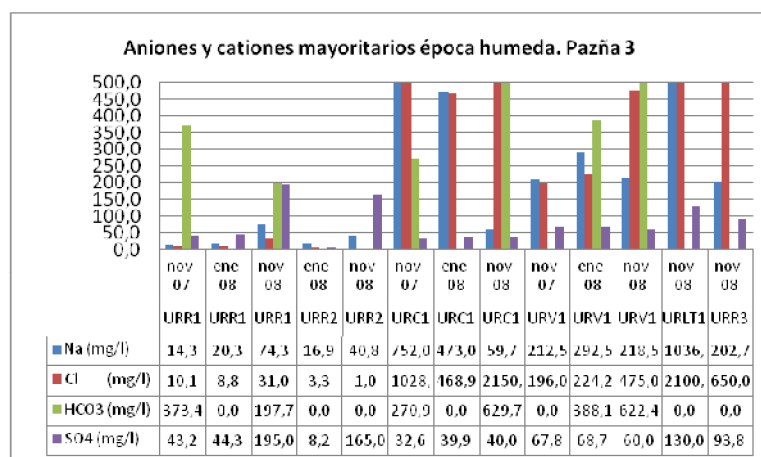
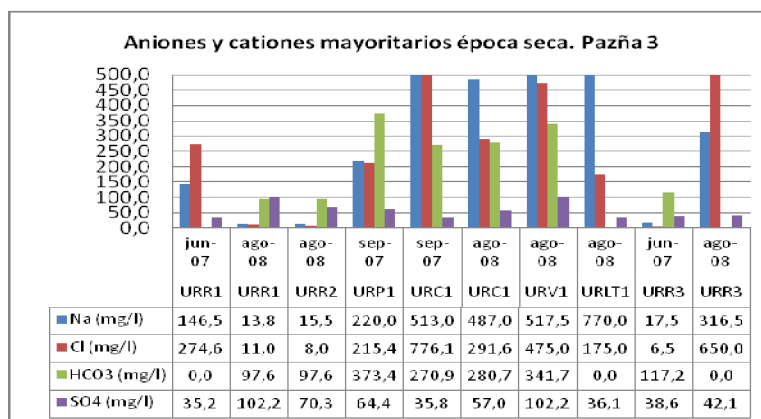
El punto URLT1 muestra el aporte de sales y sólidos totales disueltos de aguas termales, que es mezclado con el agua de río para utilizarlo como agua de riego al ser desviado casi todo por los canales su influencia es baja sobre el río Urmiri que se mezcla con el Antequera hasta llegar al puente del río Pazña. En época húmeda los valores de conductividad aumentan en URR3 porque en ésta época los canales de riego no se abren, vertiéndose las aguas termales al río que confluye en el puente de Pazña.

**Tabla 21.** Clasificación hidrogeoquímica

FECHA	CODIGO	ESTACION ID	DESCRIPCION FUENTE	CLASIFICACION
6/21/2007	URR1	Urmiri	Río	Na-Cl-CO3
11/08/2007	URR1	Urmiri	Río	Na-HCO3-SO4
9/21/2007	URP1	Urmiri	Pozo	Na-HCO3-Cl
9/21/2007	URC1	Urmiri	Río + termal	Na-Cl
11/08/2007	URC1	Urmiri	Río + termal	Na-Cl
11/08/2007	URV1	Urmiri	Vertiente	Na-Cl
6/21/2007	URR3	Urmiri	Río + termal	Ca-Na-Mg-HCO3-SO4

La clasificación de aguas para esta zona (Tabla 21) evoluciona en la zona alta de aguas Na-Cl-CO3, hasta una concentración Na-Cl tanto en la vertiente como en los canales de riego alimentados con agua termal, una caracterización más compleja se encontró a la altura de URR3 poco antes de la confluencia con el Cañadón Antequera. Se puede generalizar que el contenido de sodio alcanza un máximo en los canales de riego por lo que debería analizarse índices RAS para aguas de riego.

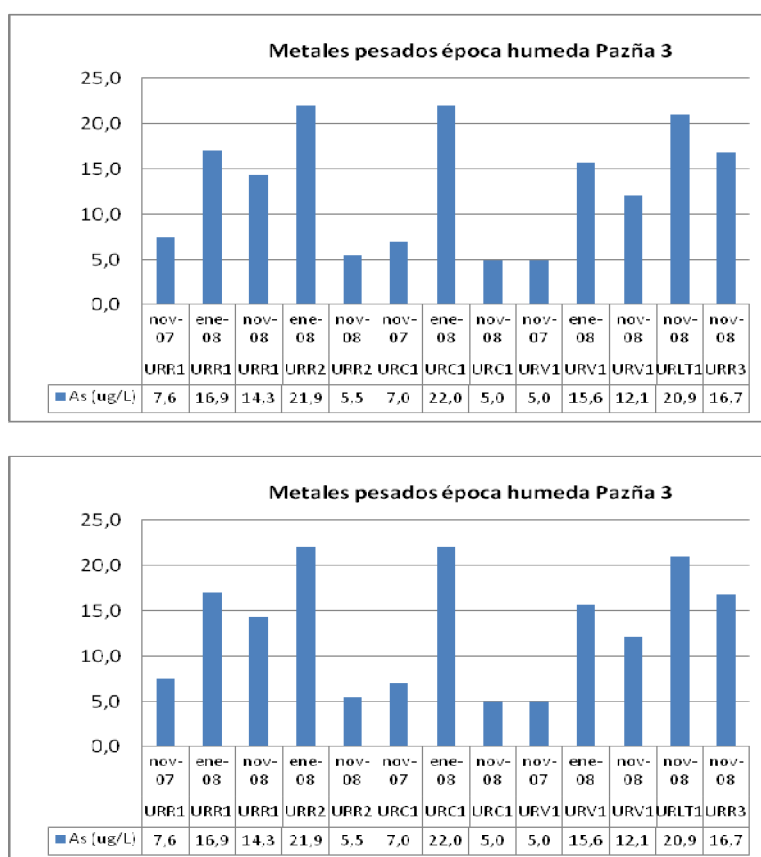
**Gráfico 13.** Propiedades fisicoquímicas en la subcuenca de Urmiri



La concentración de cloruros a lo largo del río Urmiri (Gráfico 13) alcanza los valores máximos también en los canales de riego, pero los valores en la parte superior (274,6 mg/L) están fuera de los límites establecidos para aguas clase A (250 mg/L). También se evidencia bajas concentraciones de sulfatos en la zona debido a aportes naturales que en época húmeda son más altos. La presencia de bicarbonatos en época húmeda denota el aporte de agua a la cuenca por diferentes procesos de escorrentía en la naciente del río Urmiri

En el caso de metales pesados, en época húmeda se han encontrado valores de Arsénico por debajo de los límites permisibles (50 ug/L), pero con cierta variación como se aprecia en el Gráfico 14.

**Gráfico 14.** Concentraciones de Arsénico en la subcuenca de Urmiri



La presencia de arsénico solo es evidente en época húmeda con valores máximos en la vertiente de Urmiri (URV1) con valores entre 15 y 20 ug/L, mientras que en época seca las concentraciones tienden a valores de 5 ug/L.

### 3.6.2.4 Agua de pozos en las llanuras de infiltración de Pazña

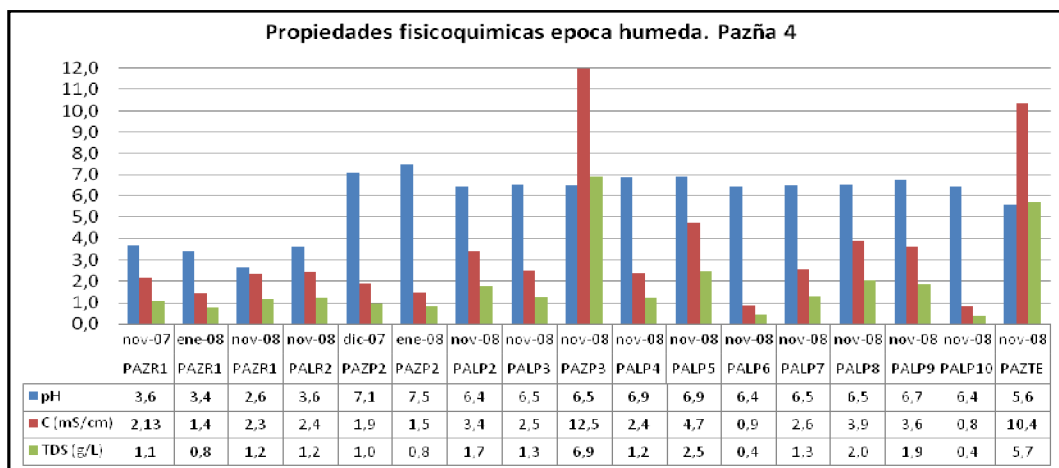
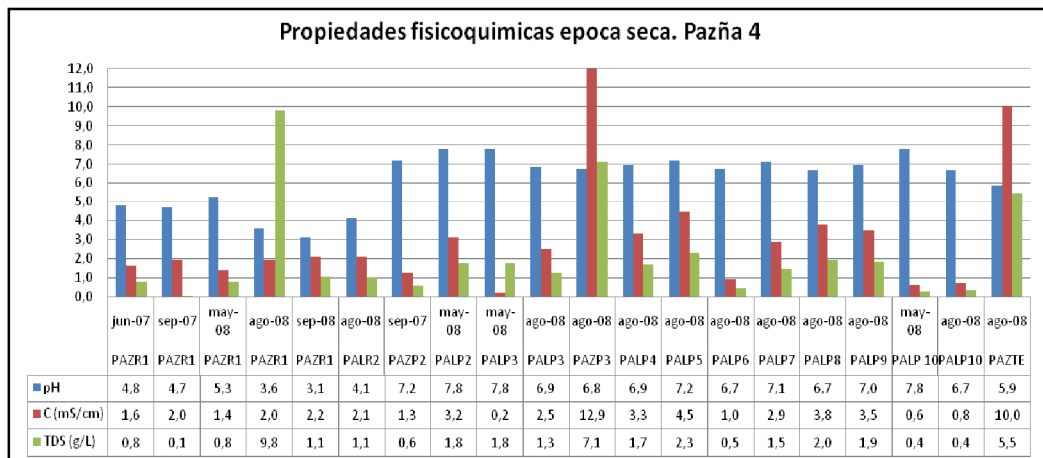
Esta zona comprende la confluencia del Cañadón Antequera con el río Urmiri, debajo del puente de Pazña. En esta zona se analiza la propiedad del agua producto de la mezcla del Cañadón con aguas termales que se infiltran en la parte baja de Pazña, zona de llanura de infiltración altamente salina como se aprecia en la figura 10.

**Figura 10.** Descripción de la zona de llanuras de infiltración- Pazña



Los valores de pH en el río PAZR1, muestran tendencias ácidas tanto en época seca como en época húmeda, con valores entre 4 y 3,5 entre épocas, valores de pH más altos que los que se determinaron aguas arriba sobre el Cañadón Antequera, este ascenso de pH se debe a la dilución y aporte de aguas básicas de las termales de Urmiri que en época húmeda tiende a aumentar su caudal y no se desvía completamente como en época seca

**Grafico 15.** Propiedades Físicoquímicas en los pozos de la llanura de infiltración.



En general todos los pozos estudiados (Grafico 15) sobre la llanura de infiltración de Pazña son salobres con valores de conductividad alrededor de 2000 a 4000 uS/cm, siendo el límite establecido por la norma de 1000 uS/cm. Los valores de pH muestran en época húmeda valores levemente ácidos a diferencia de la época seca donde los valores son más cercanos a 7; tanto en época seca como época húmeda el pozo PAZP3 presenta valores de conductividad superiores a 12000 uS/cm siendo uno de los más antiguos (30 años) de la zona.

La clasificación encontrada para estas aguas (Tabla 22), muestran una huella Ca-SO<sub>4</sub> tanto para el agua del río como para el agua de pozos de esta zona y aguas más abajo sobre las llanuras mismas.

**Tabla 22.** Clasificación hidrogeoquímica de aguas de pozo

FECHA	CODIGO	ESTACION ID	DESCRIPCION FUENTE	CLASIFICACION
6/21/2007	PAZR1	Pazña	rio+efluente+termal	Ca-SO <sub>4</sub>
11/08/2007	PAZR1	Pazña	rio+efluente+termal	Ca-SO <sub>4</sub>
9/23/2007	PAZR1	Pazña	rio+efluente+termal	Ca-Na-SO <sub>4</sub>
9/21/2007	PAZP2	Pazña	pozo	Ca-Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
12/04/2007	PAZP2	Pazña	pozo	Ca-Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
26/08/2008	PALP10	Pazña	pozo	Ca-Cl-SO <sub>4</sub>
26/08/2008	PALP2	Pazña	pozo	Na-Ca-SO <sub>4</sub>
26/08/2008	PALP3	Pazña	pozo	Na-Ca-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>

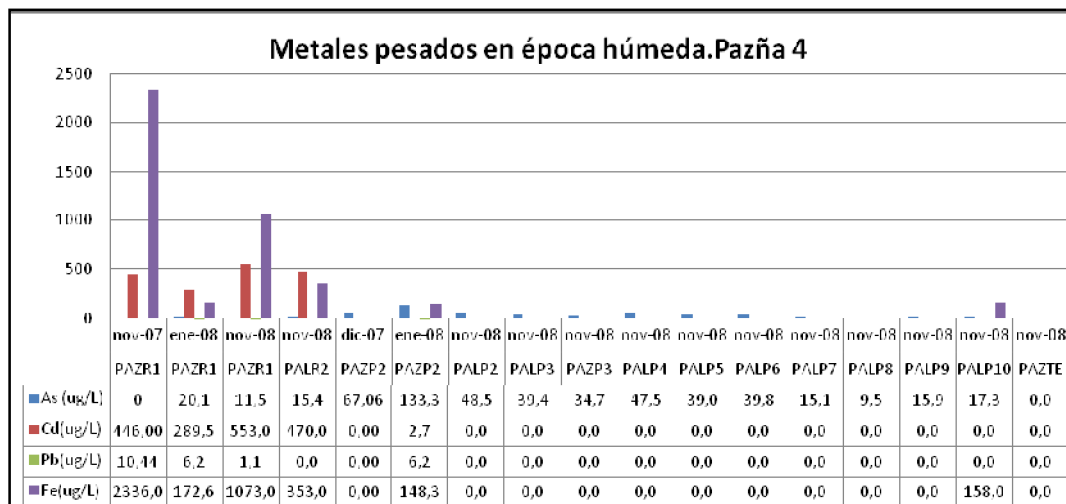
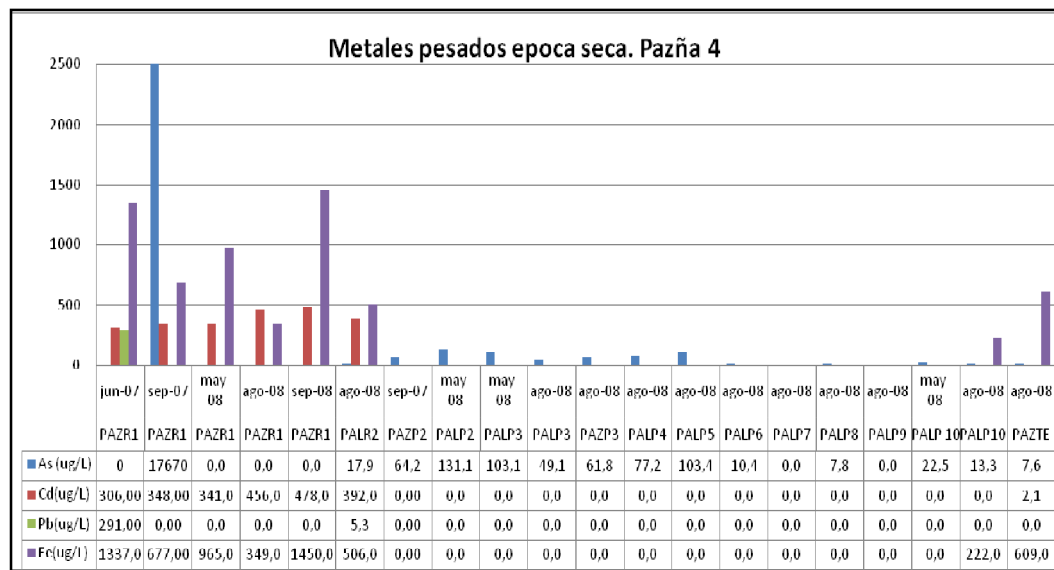
La clasificación descrita para el pozo monitoreado en la etapa 2007 muestra esta influencia de Ca-SO<sub>4</sub> además de sales como el Na que se generan en Urmiri; siendo este aporte significativo en la salinización de la llanura de infiltración por la presencia de este elemento.

En los pozos la concentración de sulfatos en época húmeda está por encima de lo establecido en la norma para agua clase A (300 mg/L) y en época seca los valores son cercanos a los límites establecidos. Tanto en época seca como húmeda PALP4 presenta valores altos de sulfatos. Este pozo se encuentra debajo del río Antequera en la zona de infiltración y es utilizado para riego. PALP5 se encuentra a la misma altura y es de uso doméstico. Por la región donde se encuentran ambos pozos pueden mostrar el impacto del flujo subsuperficial del río en época húmeda, la dirección de movimiento de estas aguas, así como el grado de salinización acumulado en estos suelos.

El pozo PALP10, se encuentra hacia el sector de Cuchuavicaya antes de pasar el río de subida a Avicaya, por lo que podría presentar la influencia del río Antequera así como de las zonas de recarga contrarias al cañadón a esta altura.

Los valores de Arsénico encontrados (Grafico 16) se deben a fuentes naturales sobre las llanuras de infiltración y por acumulación de sedimentos en esta zona que posiblemente se concentran en época seca por mecanismos de disolución. Sobresale en PALP10 los valores de hierro entre 220 y 158 µg/L que aun por debajo de la norma, solo se encuentran en esta zona colindante al Cañadón Antequera.

**Grafico 16.** Presencia de metales pesados en agua de pozos en las llanuras de infiltración



La presencia de Cd se mantiene hasta el río de Pazña pero no se ha determinado en los pozos al igual que el plomo.

### 3.7 Conclusiones del diagnóstico hidroquímico

De acuerdo a interpretaciones por zonas Cañadón Antequera, Cuchuavicaya, Urmiri y Pazña) y observaciones directas en campo, se pudo determinar la influencia minera y ambiental que impacta sobre el recurso agua que se utiliza para fines domésticos y agrícolas en la zona.

En Pazña 1 (**Cañadón Antequera**) las características del agua en la cabecera de la cuenca corresponden a agua superficial sin influencia minera, salvo el impacto muy reducido de la ganadería camélida y vacuna, así como la agricultura a pequeña escala, presentándose valores de conductividad y pH cercanos a los valores de medios naturales. Una vez que se ingresa al área de influencia de las mina Bolívar los valores de calidad de agua disminuyen debido a valores de pH fuertemente ácidos, y altos contenidos de zinc, calcio y sulfato que se van

repitiendo desde la piscina de la mina Bolívar hasta la salida en Avicaya para finalmente llegar al puente de Pazña.

En Pazña 2 (**Cuchuavicaya**) el agua presenta valores de pH, conductividad, y sales disueltas bajos, salvo el caso de Huayllumu que presenta una irregularidad en el tema de metales pesados que será confirmado por el monitoreo continuo y la identificación de la misma.

En Pazña 3 (**Urmiri**) el agua no presenta influencia de actividad minera por lo que los valores de pH y conductividad están en el rango de sistemas naturales, mientras las fuentes se ven influenciadas por aguas termales con contenidos de cloruro de sodio particulares que caracterizan esta zona. Las muestras analizadas en los canales de riego donde se utiliza agua del río con agua termal presentan altos contenidos de sales disueltas que pueden provocar pérdida de calidad de suelos de la zona agrícola.

En Pazña 4 (**Pazña – llanuras de infiltración**), en el caso de aguas de río Pazña, se ha determinado valores de conductividad por el orden de 2 mS/cm debido a la mezcla de agua que provienen del Cañadón y de Urmiri, el pH del río es ácido alrededor de 2,7 en época húmeda, con elevados contenidos de zinc, calcio y sulfato. Los valores determinados en las aguas subsuperficiales presenta valores más bajos en todas las variables analizadas, siendo considerable las concentraciones de sulfatos y sodio encontradas en estas aguas.

Con los resultados analizados se ha podido establecer los casos más importantes en el municipio por el impacto de las actividades mineras y las consecuencias del abandono en la etapa de cierre. El hecho de que no todas las operaciones mineras (cooperativas, ingenios y minas) cuenten con las declaratorias ambientales respectivas genera un alto grado de desorden en la disposición de los residuos sólidos y líquidos en el municipio. Los residuos sólidos existentes en el Municipio de Pazña pueden clasificarse en desmontes, colas y relaves con elevados contenidos de minerales sulfurados, que en contacto con el agua y las condiciones atmosféricas generan drenajes ácidos de roca (DAR) que por su carácter corrosivo y al contener metales pesados ocasionan un deterioro en los ecosistemas naturales incluido el hombre.

El factor suelo es eliminado en las áreas de explotación minera, ocasionando distintos procesos erosivos, así como, compactación y salinización en la zona circundante. La vegetación es eliminada en áreas de operaciones mineras, existiendo una destrucción parcial o una modificación de la flora en el área de influencia, provocando impactos severos en el paisaje y pérdida de atracción escénica.

La falta de tecnología adecuada en la extracción y tratamiento de los minerales conlleva un deterioro ambiental yendo en contra del principio de sostenibilidad que establece la Ley N° 1333. Las operaciones mineras que se desarrollan en el municipio no cuentan con programas de mitigación y gestión ambiental que abarquen toda la jurisdicción y área de influencia de las operaciones. Este es un tema central a tratar desde el punto de vista del análisis de impacto en las aguas superficiales (Cañadón Antequera) y subsuperficiales (Pozos en la llanura de infiltración).



### 3.8 Recomendaciones del diagnóstico hidroquímico

El sector de **Cañadón Antequera**, ha sufrido pérdida total de la calidad del agua, siendo prioridad del municipio tomar direcciones directas sobre la remoción de los pasivos abandonados a lo largo del Cañadón como medida prioritaria a largo plazo para la restauración de este recurso.

Las muestras analizadas en los puntos de muestreo BO1 y BO2 (Tabla 12) caracterizan a aguas de proceso minero en interior mina y rebalses de tratamiento de mineral. Los pH ácidos 3,27 y 4,23 definen las propiedades del agua a tratar en los diques, que para esta fecha, junio del 2007, presentaban un pH de 8,53. Para noviembre del 2008 el pH de salida del dique mostró un valor de 4,9, valor muy cercano a los efluentes mineros registrados en junio, lo cual confirma que no se realiza el tratamiento adecuado de las aguas de mina que son vertidas al Cañadón Antequera; siendo reales las constantes denuncias de la población de que la empresa no cumple con las normas ambientales establecidas.

En época húmeda se observa que el tratamiento no es suficiente ya que los valores tienden a valores ácidos que definen las propiedades del agua a la altura de Martha. En época húmeda es el efecto de los pasivos en esta zona poco considerable porque el caudal de agua proveniente de escurrimiento superficial regula el pH de 3,5 a 4,5.

El dique de colas antiguo de la Empresa minera Sinchi Wayra, presenta una variación de pH de 6,5 en septiembre del 2007 hasta 3,5 en enero 2008, esto comprueba el tratamiento deficiente de los efluentes de la mina, que se vierten al Cañadón Antequera. El valor de 4,6 en agosto del 2008, muestra que el tratamiento realizado en el dique antiguo no es suficiente o no se realiza como se evidencio el 2007, siendo el aporte de aguas ácidas mucho mayor en la época húmeda del 2008.

La calidad de los pozos de agua analizados en este sector muestran contaminación orgánica por lo que debería considerarse el mantenimiento periódico de los mismos para minimizar esos efectos, que si bien son mínimos frente al problema de metales y sales disueltas, son los de sintomatología directa en tiempo presente de la población expuesta.

En época húmeda los aportes de agua de las lagunas de sedimentación de Avicaya aportan aguas con características más ácidas que en época seca, con valores de pH entre 2,4 y 2,6 a valores entre 1,8 y 2,0 en época húmeda.

Según la normativa Boliviana, las aguas superficiales a la altura de **Avicaya**, donde se encuentra una zona agrícola, se pueden considerar como de Clase D (Tabla 17), aguas de calidad mínima para consumo humano, que en casos de extrema necesidad pública para consumo humano requieren un proceso inicial de pre sedimentación y tratamiento físico químico completo y desinfección bacteriológica especial. En el croquis del área de estudio (Figura 8) se ha podido establecer los aniones y cationes representativos de las muestras de agua analizadas, mostrando gráficamente su evolución y características propias sobre el Cañadón.

A la altura del puente de Pazña en época húmeda, se encuentran valores de pH de 2, 6. En época húmeda los aportes de las lagunas de sedimentación si bien presentan valores más ácidos que los que se producen en la parte superior del Cañadón por la actividad minera en operación, siguen el mismo comportamiento definido en la parte superior. Lo que se denota comparando los siguientes valores de pH:

El sector de **Cuchuavicaya y Huayllumu** presenta aguas de buena calidad pero también muestra la influencia natural de metales y sulfatos presentes en ella que merecen atención del municipio a la hora de desarrollar sistemas de tratamiento de agua potable, ya que estas aguas merecen un tratamiento no solo microbiológico, para dotar de agua segura a estas comunidades.

**En el caso de Urmiri** el efecto más importante es el aporte de arsénico determinado en la etapa 2007 y que no pudo ser confirmada en el 2008, Sin embargo si queda establecido la alta salinidad de las aguas de los canales de riego que actualmente se utilizan y que además llega al río de Pazña, se infiltran en las llanuras y a largo tiempo puede contaminar el agua subsuperficial de esta zona, causando la pérdida de la calidad actual. Esto se debe considerar en las medidas de manejo de aguas considerando características de movimiento y dirección de las aguas subterráneas y subsuperficiales en esta zona.

**En la zona de llanuras de infiltración** la red establecida en 2007 fue extendida durante el monitoreo 2008 para verificar la cantidad de sales disueltas en este sector, así como la evolución de las aguas infiltradas en esta llanura, encontrando áreas con contenidos de arsénico muy diferentes a la características notables que presenta el Cañadón Antequera. De donde se puede aseverar que los dos son sistemas diferentes y que los acuíferos subsuperficiales no estarían conectados entre sí. Siendo el único vínculo en estas zonas el flujo superficial del río Antequera. También se puede determinar que los pozos situados cerca a la carretera tienen características diferentes más salinas determinadas por la geología de la zona donde también existe agua termal.

En toda la zona baja, media y alta de esta cuenca se debe considerar el efecto de las aguas que son utilizadas para riego por las características en cada zona, principalmente:

- En la zona agrícola de Urmiri donde se ha verificado la presencia de altos contenidos de sales disueltas en estas aguas.
- En la zona media alrededor de la hacienda Avicaya donde se ha determinado en las aguas circundantes valores salinos y ácidos con altos contenidos de hierro, zinc y sulfatos.
- En la zona media en el sector de Cuchuavicaya donde se deben fomentar programas de manejo de agua para riego por la importancia del recurso en la zona y sobre todo por ser la única fuente en esta zona de agua segura para riego y para consumo.
- La zona de Taruco y Colpani en la cabecera del río Urmiri al ser la zona de recarga del río Urmiri es una zona donde se han establecido sistemas de riego extensivos explotando un porcentaje importante de agua del río, que llega en mínimas cantidades

al sector de Urmiri donde el agua termal domina las propiedades del agua en este sector.

- El sector de Palca hacia abajo se debe analizar el uso de agua mezclada con aguas termales, planteándose la inversión de perforación de pozos en la zona donde se sospecha no está influenciada por el Cañadón Antequera.

#### **4. Propuesta de gestión de agua en el Municipio de Pazña**

En la subcuenca de Antequera con actividad minera, se tiene la visión de que el Municipio de Pazña conjuntamente con las empresas y cooperativas mineras, y las instituciones gubernamentales nacionales y departamentales involucradas en la temática ambiental y minera, trabajen concertadamente para lograr una gestión adecuada de las cuencas de los ríos Antequera, Urmiri y Pazña. El fin de esta gestión es mitigar los efectos de la contaminación minera y de los pasivos para poder así llevar adelante un desarrollo productivo armónico con el medio sociocultural y el medio ecológico.

Si bien la temática es complicada en la cuenca, del análisis y monitoreos realizados se ha podido constatar que el impacto actual de las actividades mineras se localiza sobre el Cañadón Antequera (Serranías altas e intermedias) y la zona de las llanuras de infiltración. En los pozos analizados se han identificado conflictos diferentes por la presencia de nitratos y en algunos casos metales pesados en concentraciones medias a las establecidas en las norma boliviana para aguas de consumo clase A y B. Resaltando por su calidad tanto en aguas superficiales como subterráneas el valle de Cuchuavicaya (Serranías intermedias), la zona de recarga del río Urmiri – Colpani y Taruco (Serranías altas e intermedias).

Este plan es el producto de un proceso participativo en el cual los actores sociales han podido identificar plenamente sus fortalezas y debilidades siendo capaces de exponer la problemática del municipio e identificando nítidamente la dimensión de los conflictos que se producen en su territorio. De esta manera este trabajo de tesis plantea al municipio la identificación de las zonas definidas espacialmente, la situación actual en cada zona y las estrategias generales a considerar para su gestión. Siendo importante no quedar en propuestas globales se ha trabajado en dos propuestas sencillas para ser incorporadas paulatinamente tanto en las zonas influenciadas por la minería en operación y en abandono como en las zonas donde se ha encontrado agua de buena calidad y las actividades agropecuarias representativas en este municipio.

Si bien el trabajo es complejo por los múltiples conflictos ecosistémicos, se ha visto como prioridad el tema de la calidad de agua en la zona, ya que este municipio se desarrolla en una zona semiárida donde las actividades principales son agrosilvopastoriles y mineras, en ambas participan los núcleos familiares, siendo los precios del mercado de los minerales los que definen las prioridades entre estas dos actividades. Es innegable que mujeres, niños y los grupos de la tercera edad necesitan espacios para poder desarrollarse buscando no solo fuentes de agua segura para consumo sino fuentes de agua para la agricultura y cría de ganado. Es imperante buscar un equilibrio y alternativas para el desarrollo de todas estas actividades, garantizando no solo la supervivencia en la zona sino ofertando espacios de calidad y salud.

A nivel municipal y comunal se ha identificado debilidades para poder administrar el espacio territorial, siendo aun indiscriminada la adjudicación de espacios para el desarrollo de actividades mineras que muchas veces se contraponen a títulos de propiedad de los comunarios que se ven avasallados por las empresas que trabajan en la zona. De esta manera es prioridad promover planes de desarrollo municipales que consideren las características ambientales y el impacto de toda actividad sobre el medio. En este caso se propone considerar espacios en los cuales se garantice la génesis de las aguas de las zonas, así como la búsqueda de financiamiento para iniciar trabajos de descontaminación en las áreas donde técnicamente se pueda asegurar el éxito de las medidas de remediación.

Otra de las debilidades institucionales que incide en la administración de los recursos naturales es la falta de conocimiento sobre las fuentes y responsables de la ejecución de proyectos que son factibles en esta zona. De esta manera al mismo tiempo se propone y se identifica posibles vías para canalizar proyectos de desarrollo, mitigación y remediación en la zona, así como la propuesta de varias acciones a considerar para el manejo de los recursos.

#### **4.1 Objetivos**

##### **General**

Contribuir en la disminución del deterioro de la disponibilidad de agua en la Subcuenca de Antequera y Urmiri a través de un plan de manejo integral de las subcuencas principales del Municipio de Pazña.

##### **Objetivos Específicos.**

- Definir y demarcar las zonas de manejo en las subcuencas de Antequera y Urmiri
- Proponer estrategias y acciones concretas para el manejo adecuado de los recursos hídricos en las subcuencas de Antequera y Urmiri en el Municipio de Pazña.

#### **4.2 Modelo de manejo de cuenca**

La presente propuesta está fundamentada en un análisis socioeconómico validado a través de talleres participativos (Diagnóstico Rural Participativo) donde se analizó aspectos relativos a la actividad minera y su impacto en el municipio, la agricultura, la salud, la educación, la actividad pecuaria y la biodiversidad existente.

Para determinar las zonas de manejo en la cuenca se consideró la fisiografía, caracterización del agua y propiedades del suelo que determina la apropiación del espacio por parte de los pobladores locales. El Municipio, presenta un uso espacial predominante para la actividad agropecuaria en un estimado del 80 % y un 20 % para la minería, sin embargo de esta proporción, las afectaciones a los recursos de suelos y aguas pueden ser mayores por los efectos de arrastre y dilución de contaminantes. En el cuadro 1 se exponen las estrategias a seguir por cada zona representativa en el municipio.

**Cuadro 1. Estrategias para el manejo de las zonas en el Municipio de Pazña**

Zona	Gran Paisaje	Características del medio			Situación	Estrategia
		Agua	Suelos	Cobertura vegetal		
<b>Zona 1.</b> <b>Cañadón</b> <b>Antequera</b>  Serranías altas	Extensas áreas desnudas, rocosas intercaladas de vegetación. Laderas rocosas por los rellenos sueltos de los afloramientos rocosos. Suelos, Franco, Franco Arenosos con presencia marcada de grava, piedra, y afloraciones rocosas.	<b>Superficial</b> z. de recarga Ca-HCO <sub>3</sub> pH= 7,42 Río Ca-Zn-SO <sub>4</sub> Fe pH = 3,27 <b>Subsuperficial</b> Na-NO <sub>3</sub> Na-Cl Tanque: Na-HCO <sub>3</sub>	Tierras no arables clase VI y tierras marginales clase VII. Suelos susceptibles a erosión hídrica y eólica. Suelos de baja fertilidad Pastos estacionales	Arbustos aislados de Tholas (Parstrephía y Baccharis) asociadas a gramíneas Fabiana densa, Grupos dispersos de Cactus (Trichocereus Lobivio)	Minería mediana. Tierras no aptas para uso agropecuario intensivo. Agricultura moderada (papa, haba, cebada y trigo). Aumento de la superficie cultivable. Erosión y remoción continúa de materiales en la zona de recarga.  En las serranías aguas acidificadas por actividad minera en operación y depósitos de escombros y colas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fortalecer la participación social en la toma de decisiones en la gestión del agua que sea creativa, activa y responsable</li> <li>• Implementar sistemas de control comunitario</li> <li>• Identificar fuentes de agua subsuperficial para el desarrollo de la agricultura en la zona de recarga (Chapana)</li> <li>• Proponer programas de forestación, áreas recreacionales, vida silvestre y otras en la zona de recarga (Chapana)</li> <li>• Establecer las zonas de superficie cultivable a desarrollar</li> <li>• Promover campañas de mantenimiento en los pozos familiares de uso domestico.</li> <li>• Plantear estrategias de recuperación de aguas acidas con contenidos altos de zinc con influencia de DAR y DAM</li> </ul>
<b>Zona 2.</b> <b>Cuchuavicaya</b>  Valles Serranías intermedias	Suelos moderadamente profundos, topografía casi plana o en terrazas antiguas. Favorece la acumulación de materia coluvial y aluvial Suelos Francos a Franco	<b>Superficial</b> z. recarga Ca-HCO <sub>3</sub>  <b>Subsuperficial</b> Ca – SO <sub>4</sub>	Suelos tipo III y IV, aptos para agricultura con limitaciones de clima y topografía. En la parte baja		Pasivos ambientales en zonas ribereñas. Suelos de baja estructuración susceptible a la erosión hídrica y eólica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fortalecer la participación social en la toma de decisiones en la gestión del agua que sea creativa, activa y responsable</li> <li>• Implementar sistemas de control comunitario</li> <li>• Proponer practicas de cultivos</li> </ul>

	Arenosos con presencia de gravilla y grava sin contenidos de piedra, en las partes bajas se pueden encontrar suelos con contenidos importantes de limo y arcilla.		de los valles tierras no arables, clase V. con limitaciones de suelo y drenaje.		Zona apta para pastoreo extensivo y forestación. Agricultura intensiva, pastoreo de ovinos, camélidos y ganado vacuno. Agua de buena calidad, apta para consumo y riego	rotatorios y no anuales, que consideren la carga anual y la capacidad de pastoreo <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incorporar prácticas de conservación de suelos y agua a nivel parcelario, cultivos y otros.</li> <li>• Implementar medidas de restauración en las zonas afectadas por los pasivos ambientales.</li> </ul>
<b>Zona 3. Urmiri</b> Pie de monte	En el piedemonte de las pequeñas serranías y colinas (parte baja del municipio), que son de substrato sedimentario predominante estructurado de formas redondeadas y pendientes medias, los suelos son moderadamente profundos a diferencia de los suelos del piedemonte de la serranía que son poco profundos.	<b>Superficial</b> z. recarga Na-HCO <sub>3</sub> pH=8.7 pie de monte Na-Cl pH=7.4 <b>Subsuperficial</b> Na-Cl pH=7.0	Suelos clase IV. Tierras arables con limitaciones de clima y erosión. Suelos con saturación alta de bases en los suelos. Suelos de zonas áridas y semiáridas		Fuerte influencia de aguas termales en las zonas ribereñas. Agricultura extensiva (haba, hortalizas y cebada). Agricultura intensiva (papa, quinua, trigo y alfalfa). Pastoreo, producción de forrajes, producción lechera. Agua con alto contenido de sales disueltas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fortalecer la participación social en la toma de decisiones en la gestión del agua que sea creativa, activa y responsable</li> <li>• Proponer prácticas de cultivos rotatorios y no anuales, que consideren la carga anual y la capacidad de pastoreo</li> <li>• Implementar sistemas de control comunitario</li> <li>• Determinar el caudal mínimo de agua del río para la conservación de la calidad de agua.</li> <li>• Crear sistemas de control de agua termales</li> <li>• Promover actividades recreacionales salubres en la zona</li> <li>• Examinar la proporción de mezcla de agua termal con agua de río para evitar el riego con aguas con alto contenido de sales.</li> </ul>



						<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar programas de reforestación para crear microclimas y detener proceso erosivos</li> </ul>
<p><b>Zona 4. Pazña y llanuras de infiltración</b></p> <p>Llanura de sedimentación (fluviolacustre)</p>	<p>Geografía plana con poca pendiente. Suelos limitados por la compactación de material fino y pastoreo. Suelo arenoso, arcilloso y más o menos secos.</p>	<p><b>Superficial</b> Ca-SO4 pH=3,5</p> <p><b>Subsuperficial</b> Ca –SO4 pH= 7,1 As promedio 100 ug/L</p>	<p>Suelos Clase V, tierras no arables, con limitaciones de drenaje, clima y suelo. Suelos franco arcillo limosos a arcillosos que ocasionan sobresaturación o inundaciones temporales. Suelos profundos a moderados.</p>	<p>Matorrales de arbustos resinosos y siempre verdes o thólares. (Parastrephia lepidophylla, P. quadrangularis, Baccharis incarum y B. boliviensis). El pajonal alto chillihua (Festuca orthopylla) y el ichu (Stipa ichu)</p>	<p>Agricultura en parcelas. Sobre Pastoreo. Extracción de leña y riego. Formación de eriales (sitios con cobertura vegetal con alta susceptibilidad a la erosión hídrica y eólica. Aguas con alto contenido de sales disueltas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fortalecer la participación social en la toma de decisiones en la gestión del agua que sea creativa, activa y responsable</li> <li>• Implementar sistemas de control comunitario</li> <li>• Para aguas superficiales: Plantear estrategias de recuperación de aguas ácidas con contenidos altos de zinc con influencia de DAR y DAM</li> <li>• Para aguas subsuperficiales: Plantear estrategias de purificación de aguas salinas.</li> </ul>
<p><b>Playas circunlacustres.</b></p>	<p>Extensa área blanca sin vegetación</p>	<p>Fe máximo 222 ug/L</p>		<p>Se encuentran especies del género Ruppia, la más ampliamente distribuida, Chara, menos frecuente, alguna de sus especies (c. poopoensis), en asociación con Ruppia y totora (schoenoplectus californicus var. Totora). En menor abundancia están Potamogeton sp. Llachu (Myriophyllum sp.) y Elodea potamogeton.</p>	<p>Altas concentraciones de sal sodificada o costra de sal. Agua con alta concentración de sales disueltas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fortalecer la participación social en la toma de decisiones en la gestión del agua que sea creativa, activa y responsable.</li> <li>• Implementar sistemas de control comunitario</li> <li>• Identificar los límites de las playas circunlacustres para recomendar las zonas seguras para la habilitación de pozos en esta franja.</li> <li>• Plantear estrategias de purificación de aguas salinas.</li> </ul>

### 4.3 Aspectos Clave, alternativas por paisaje en la cuenca

Los aspectos clave identificados en el cuadro 2 y 3, han sido propuestos para que las comunidades del Municipio de Pazña puedan con propiedad plantear estrategias de remediación para el Cañadón Antequera. De todos los antecedentes revisados de propuestas de trabajos realizadas a nivel regional siempre existe una incongruencia de información, donde no se puede sustentar las propuestas con información técnica que respalde las propuestas. Por eso se ha buscado la mejor forma de describir las características hidroquímicas del agua determinadas en el monitoreo químico y el diagnóstico.

Las propuestas de medidas de restauración establecen el tipo de proyecto a plantear como la zona donde debería implementarse; lastimosamente esta propuesta no ha podido realizar un estudio económico de pre factibilidad ya que cada una de las propuestas provienen de experimentos de laboratorio y antecedentes de estudios de casos realizados en otras zonas.

Hay que aceptar que el hecho de que las actividades mineras en Bolivia por tradición han sido depredadoras y han priorizado la explotación indiscriminada sin ningún respeto al medio ambiente, este hecho ha limitado la producción de tecnologías no solo para el tratamiento de aguas residuales, sino que los responsables han implementado someramente las técnicas de control de más bajo costo que implica simplemente un cumplimiento de la normativa. El caso analizado en la mina Bolívar nos muestra una realidad contundente: un programa de monitoreo a largo plazo es fundamental para establecer las bases de compensación ambiental que tanto reclaman las comunidades.

Aún cuando las propuestas que se detallan a continuación pueden parecer inconsistentes, son el primer paso para encontrar las respuestas a los problemas ambientales, y proponer tanto a empresas como instituciones iniciativas que promuevan proyectos en la zona, la cual ha sido postergada sistemáticamente desde el gobierno central. Actualmente el Gobierno Departamental de Oruro desde la perspectiva de Gobierno Autónomo está en la facultad de buscar financiamiento para este tipo de proyectos para la cuenca del Lago Poopó, comprendiendo que una de las actividades que mayor impacto puede tener sobre el Lago es la descarga de aguas residuales ácidas de mina, que al final llega las riberas de este lago.

Así mismo los índices de salud en el municipio muestran que no hay sistemas de distribución de agua potable y que las fuentes de agua que se utilizan para consumo humano son pozos, en los más de los casos excavados manualmente, que no siguen ninguna norma para su mantenimiento ni habilitación. De la misma forma la contaminación orgánica, que es la más sensible con la población menor a 5 años, no está siendo considerada en los planes municipales ni comunales para su tratamiento. Todo esto nos hace pensar que así como los proyectos de remediación y mitigación son necesarios en esta zona, también resalta la necesidad de conocer y valorar las zonas con agua de buena calidad que a mediano y largo plazo pueden asegurar la calidad de vida de las comunidades, respetando sus tradiciones y actividades culturales.

## Áreas mineras potenciales para implementar medidas de restauración

A lo largo del Cañadón Antequera se ha podido identificar tres zonas representativas con diferente grado de influencia minera abandonada y en operación (Cuadro 2). En estas zonas se propone las siguientes medidas de recuperación de aguas ácidas con altos contenidos de zinc y sulfatos. En este caso los planteamientos no consideran la cantidad de aluminio porque en la información base analizada no se cuenta con datos de este parámetro.

**Cuadro 2. Propuestas de medidas de restauración**

Zona	Características del agua	Situación	Propuesta de medidas de restauración
<b>Zona 1.</b> <b>Cañadón Antequera</b>  Serranías altas DESDE TOTORAL HACIA ABAJO	<b>Superficial</b> z. de recarga Ca-HCO <sub>3</sub> pH= 7,42 Río Ca-Zn-SO <sub>4</sub> Fe pH = 3,27	Minería mediana. Erosión y remoción continua de materiales. En las serranías aguas acidificadas por actividad minera en operación y depósitos de escombros y colas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plantear estrategias de recuperación de aguas ácidas con contenidos altos de zinc con influencia de DAR y DAM                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Zona <b>debajo de Totoral</b>: Humedales de abono de flujo superficial</li> <li>Zona de <b>Desmontes de Avicaya</b>: 2 tipos de tratamiento: Barrera reactiva permeable, Pruebas de sustrato Dispersado Alcalino SDA.</li> </ul> </li> </ul> Considerando en ambos casos pruebas Piloto, escala real y Subcuenca
<b>Zona 4.</b> <b>Pazña y llanuras de infiltración</b>  Llanura de sedimentación (fluviolacustre)  DESDE EL PUENTE DE PAZÑA HACIA ABAJO	<b>Superficial</b> Ca-SO <sub>4</sub> pH=3,5  <b>Subsuperficial</b> Ca –SO <sub>4</sub> pH= 7,1 As promedio 100 ug/L	Agricultura en parcelas. Sobre Pastoreo. Extracción de leña y riego.  Formación de eriales (sitios con cobertura vegetal con alta susceptibilidad a la erosión hídrica y eólica). Aguas con alto contenido de sales disueltas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para aguas superficiales: estrategia de recuperación de aguas ácidas con contenidos altos de zinc con influencia de DAR y DAM                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Desde el puente de Pazña hasta las llanuras de infiltración se plantea Pruebas de caliza y estiércol o mezclas vegetales.</li> </ul> </li> <li>Considerando pruebas piloto, escala real y Subcuenca</li> <li>Para aguas subsuperficiales: Implementar estrategias de purificación de aguas salinas.                             <ul style="list-style-type: none"> <li>uso de filtros y/o intercambiadores</li> <li>Eliminar presencia de arsénico (granallas de hierro, gotas de jugo de limón, luz Uv).</li> <li>desinfección orgánica.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Playas circunlacustras.</b>	Fe máx. 222 ug/L	Altas concentraciones de sal sodificada o costra de sal. Agua con alta concentración de sales disueltas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plantear estrategias de purificación de aguas salinas. (uso de filtros y/o intercambiadores y desinfección orgánica).</li> </ul>

Entre las medidas de restauración se considera como parte fundamental la recuperación de praderas nativas en las llanuras de infiltración hasta las playas circunlacustres, aplicando técnicas de escarificado superficial con dispersión de semillas previo a la época de lluvias.

### Áreas naturales prioritarias para la conservación de calidad de aguas naturales.

Así como se resalta en el municipio la presencia de aguas influenciadas por la actividad minera se ha podido también identificar áreas prioritarias de conservación. Por lo tanto, conviene sensibilizar al municipio de la presencia de aguas naturales de buena calidad aptas para consumo y el desarrollo de actividades agropecuarias (cuadro 3), proponiendo medidas de protección básicas para conservar estos espacios para las generaciones futuras; comprendiendo que la riqueza natural del municipio no se centra en lo mineral sino en el agua, el suelo, la flora y la fauna que asegura la calidad de vida de la población actual.

**Cuadro 3. Propuestas de medidas de protección de recursos hídricos**

Zona	Características del agua	Situación	Propuesta de medidas de protección
<b>Zona 2.</b> <b>Cuchavicaya</b>  Valles Serranías intermedias	<b>Superficial</b> z. recarga Ca-HCO <sub>3</sub>  <b>Subsuperficial</b> Ca – SO <sub>4</sub>	Suelos de baja estructuración susceptible a la erosión hídrica y eólica. Zona apta para pastoreo extensivo y forestación. Agricultura intensiva, pastoreo de ovinos, camélidos y ganado vacuno. Agua de buena calidad, apta para consumo y riego	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construir represas y/o atajados en las zonas de recarga.</li> <li>• Implementar programas de reforestación para crear microclimas para detener proceso erosivos.</li> <li>• Recuperar e Implementar técnicas agropecuarias que mejoren el rendimiento productivo de esta zona para desarrollar una agricultura de calidad intensiva sin degradación del espacio.</li> <li>• Promover campañas de mantenimiento de pozos comunales y domésticos para evitar la contaminación orgánica de los pozos.</li> </ul>
<b>Zona 3.</b> <b>Urmiri</b>  Pie de monte	<b>Superficial</b> z. recarga Na-HCO <sub>3</sub> pH=8.7 pie de monte Na-Cl pH=7.4 <b>Subsuperficial</b> Na-Cl pH=7.0	Fuerte influencia de aguas termales en las zonas ribereñas. Agricultura extensiva (haba, hortalizas y cebada). Agricultura intensiva (papa, quinua, trigo y alfalfa). Pastoreo, producción de forrajes, producción lechera. Agua con alto contenido de sales disueltas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantener el caudal mínimo de agua del río para asegurar la calidad y disponibilidad del agua.</li> <li>• Desarrollar programas de manejo de residuos sólidos de las actividades recreacionales y domésticas que derivan en las zonas ribereñas.</li> <li>• Evitar el riego con mezcla de agua de río y termal por su alto contenido de sales disueltas.</li> <li>• Crear barreras de viento para evitar que inicien procesos erosivos en la zona baja del pie de monte.</li> </ul>

#### **4.4 Propuesta de acciones concretas para promover el manejo adecuado de los recursos hídricos en el municipio**

Las acciones que aquí se proponen, están proyectadas para ser ejecutadas a corto plazo para impulsar al municipio en la toma de decisiones estableciendo el ámbito de acciones estratégicas a desarrollar en la zona. Así mismo se ha identificado y se propone los responsables de ejecutar las acciones según las prioridades que los actores sociales delimiten.

Es necesario comprender en este punto que gran parte de los actores del municipio se consideran agromineros, lo que significa que en uno u otro porcentaje se dedican a ambas actividades. Las actividades de concientización, educación y difusión entonces se hace prioritaria, ya que al final los actores son los que deciden si quieren seguir explotando los recursos mineralógicos ignorando los impactos que producen sobre el medio y, a largo plazo, sobre la salud de la comunidad o quieren cambiar de concepto y practicar una minería segura, sin dañar el medio ambiente y respetando el derecho a la vida y salud de las actuales y próximas generaciones.

El recurso agua en este tipo de cuencas es vital tanto para el desarrollo de las actividades mineras como para las de cultivo y cría de ganado, sin considerar las actividades de recreación que también se desarrollan en torno a las fuentes de aguas termales tan reconocidas en la zona. En la parte baja (llanuras de infiltración) donde mayor es el impacto de las aguas residuales sobre la cuenca, también se ha podido identificar el efecto de retroceso del lago que generan playas salinas con contenidos de metales pesados. Además, en estas áreas una de las actividades más antiguas es la pesca y caza de parihuanas (flamencos). En ambos casos, esta actividad de subsistencia puede ser nociva para la salud ya que los metales pesados como el arsénico y cadmio presentes en el recurso hídrico en la zona son absorbidos y acumulados en estas especies que posteriormente entran en el ciclo trófico del ser humano.

Al ser bastantes las llanuras y poca la densidad población en esta zona, además sistemáticamente se está generando residuos sólidos de origen doméstico que son depositados al aire libre sin ningún sistema de recolección ni disposición. Esto genera focos intensos de mal olor en lugares cercanos a escuelas, mercados, plazas, caminos que en ascenso por la subcuenca de Antequera se van mezclando con los residuos de las actividades mineras.

Definitivamente el paisaje está siendo alterado no solo por la minería sino por las otras actividades, que ya superficialmente nos muestra el cambio de uso y costumbres en la zona y sobre todo el impacto del desarrollo en el Municipio; que como otros distritos mineros no solo son pobres sino que viven en condiciones de baja calidad exaltando los indicadores de desarrollo y pobreza.

En el cuadro 4 se plantean varias medidas a considerar según los problemas identificados y caracterizados en la zona, estableciendo no solo necesidades sino las autoridades responsables competentes para considerar las acciones, sino que se define a toda la comunidad como actores principales del desarrollo en la zona.

**Cuadro 4.** Propuestas de acciones y responsables para implementar acciones a corto plazo

PROBLEMA	RECURSO AFECTADO	LINEA ESTRATEGICA	OBJETIVO ESTRATEGICO	OBJETIVO ESPECIFICO	ACCIONES	RESPONSABLES
La mina Bolívar y sus pasivos ambientales, generan concentraciones elevadas de zinc y sulfatos por sobre la norma en el río Antequera. Actualmente la mina Bolívar dispone las colas en dos diques (antiguo y nuevo), con el compromiso de que las aguas sean recicladas al Ingenio, sin disponerlas en el río (sin embargo de esta situación, los muestreos obtenidos indican que el agua contaminada llega al río).	Río Antequera y río Pazña	Mitigación de la contaminación de la minería sobre cuerpos de agua	Implementación de medidas por parte de los actores para mitigar los contaminantes sobre los cuerpos de agua	Concertación entre actores involucrados	E1A1: Autoridades del Municipio de Pazña demandan ante las autoridades ambientales nacionales, departamentales y municipales, el cumplimiento de las normas ambientales	Autoridades del Municipio de Pazña  Autoridad ambiental Municipal
					E1A2: La Empresa Minera Sinchi Huaira ejecuta sistemas de reutilización de aguas ácidas de mina	Empresa Minera Sinchi Huaira - Bolívar
					E1A3: La reapertura de antiguos emprendimientos mineros en sus Planes de Adecuación Ambiental, deberán contemplar sistemas cíclicos de reciclaje de aguas	Empresa Minera Sinchi Huaira - Bolívar
					E1A4: Monitoreo regular de efluentes de aguas de mina	Secretaría Departamental de Recursos Naturales y Medio Ambiente



<p>El dique de la Empresa Minera Porvenir es de condiciones muy precarias, situación que representa un potencial riesgo de contaminación futura pues no se está reciclando el agua como establece su Licencia Ambiental y por otro lado, si el río crece de más, puede destruir el dique ocasionando que todos las colas sean arrastradas hacia el cauce del río.</p>	<p>Río Antequera y río Pazña</p>	<p>Mitigación de la contaminación de la minería sobre cuerpos de agua</p>	<p>Implementación de medidas por parte de los actores de la contaminación para mitigar los contaminantes sobre los cuerpos de agua</p>	<p>Concertación entre actores involucrados</p>	<p>E1A3: La reapertura de antiguos emprendimientos mineros en sus Planes de Adecuación Ambiental, deberán contemplar sistemas cíclicos de reciclaje de aguas</p>	<p>Empresa Minera Porvenir y Secretaría Departamental de Recursos Naturales y Medio Ambiente</p>
<p>Existen grandes pasivos ambientales de las minas Bolívar, Martha, Totoral, Estalsa y Avicaya que contaminan las aguas de los ríos Antequera y Pazña</p>	<p>Río Antequera y río Pazña</p>	<p>Mitigación de la contaminación de la minería sobre cuerpos de agua</p>	<p>Implementación de medidas por parte de los actores de la contaminación para mitigar los contaminantes sobre los cuerpos de agua</p>	<p>Concertación entre actores involucrados</p>	<p>E1A5: Identificación de la magnitud de los pasivos ambientales depositados sobre la cuenca del río Antequera.</p>	<p>Ministerio de Minería y Dirección de Minería de la Prefectura de Oruro</p>
					<p>E1A6: Elaboración de proyectos de remediación de pasivos ambientales</p>	<p>Prefectura de Oruro, EMPLEOMIN, MEDMIN, UTO</p>
					<p>E1A7: Elaboración de líneas de base de los pasivos ambientales de las minas Martha y Totoral</p>	<p>Empresa Minera Sinchi Huaira, Ministerio de Minería, Dirección de Minería de la Prefectura de Oruro, EMPLEOMIN</p>

					E1A8: Elaboración de línea de base de los pasivos ambientales de la mina La Salvadora (ex mina Avicaya)	Empresa Minera la Salvadora, Ministerio de Minería, EMPLEOMIN y Dirección de Minería de la Prefectura de Oruro
					E1A9: Elaboración de línea de base de los pasivos ambientales de la mina Estalsa	Sindicato de trabajadores de la ex mina Estalsa, Ministerio de Minería, EMPLEOMIN Dirección de Minería de la Prefectura de Oruro
Existe una planta de tratamiento de aguas contaminadas en el valle de Pazña que actualmente no está en funcionamiento	Río Antequera	Mitigación de la contaminación de la minería sobre cuerpos de agua	Implementación de medidas por parte de los actores de la contaminación para mitigar los contaminantes sobre los cuerpos de agua	Restauración de la planta de tratamiento	E1A10: Readecuación y rediseño de la planta	MEDMIN, Dirección de Minería de la Prefectura de Oruro y Secretaría Departamental de Recursos Naturales y Medio Ambiente
Existe un incremento en la salinidad de las aguas del río Pazña, aunque ésta es diluida por efectos del río Urmiri	Río Pazña	Mitigación de la contaminación de la minería sobre	Implementación de medidas por parte de los actores involucrados	Control social del Municipio de Pazña	E1A11: El Municipio de Pazña controla que no se contaminen las aguas del río Urmiri	Autoridades del Municipio, autoridades originarias y autoridades

		cuerpos de agua	para mitigar los contaminantes sobre los cuerpos de agua			comunitarias
La construcción de la represa del río Urmiri va a provocar el aumento de sales del río Antequera por el aporte de las aguas termales	Río Pazña	Mitigación de la contaminación de la minería sobre cuerpos de agua	Implementación de medidas por parte de los actores involucrados para mitigar los contaminantes sobre los cuerpos de agua	Gestión adecuada y uso eficiente del agua	E1A12: Elaboración de un estudio detallado de los impactos de la construcción de la represa	Prefectura de Oruro, Municipio de Pazña, ONGs y universidades
Contaminación por la actividad minera de las aguas del Lago Poopó con arsénico y metales pesados como el cadmio, zinc y plomo.	Lago Poopó	Mitigación de la contaminación de la minería sobre cuerpos de agua	Generación de conciencia socio ambiental y responsabilidad empresarial	Promoción de la conservación del Lago Poopó por parte del gobierno nacional y departamental	E1A11: El gobierno nacional, departamental y ONGs promueven la nominación del Lago Poopó como sitio RAMSAR ante la Convención RAMSAR. (Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas,	Ministerio de Medio Ambiente y Agua y ONGs ambientalistas de Oruro

					conocida en forma abreviada como Convenio de Ramsar, fue firmada en la ciudad de Ramsar (Irán) el 2 de febrero de 1971 y entró en vigor en 1975.)	
					E1A12: Realización de talleres de concientización sobre la problemática socio-ambiental minera	Dirección Departamental de Minería, COMIBOL, MEDMIN, ONGs, Universidades y Proyecto Caminar
Los animales domésticos a pesar de la contaminación con metales pesados consumen las aguas superficiales y subterráneas contaminadas en ciertos sectores del Municipio	Aguas y Ganado	Protección a los recursos de la biodiversidad	Mitigación de los efectos de la contaminación minera sobre la biodiversidad	Utilización de otras fuentes de agua alternativas	E2A1: Promover el uso de agua subterránea sin contaminación como abrevaderos para el ganado (en función a prioridades de uso)	Municipio de Pazña, ONGs, Ministerio de Medio Ambiente y Aguas
En el Lago Poopó por causa de la salinización y sedimentación, continuamente se están afectando superficies de pasturas inhabilitando el hábitad	Flora y Fauna Ictica del Lago Poopó	Protección a los recursos de la biodiversidad	Mitigación de los efectos de la contaminación minera sobre la biodiversidad	Implementar técnicas de restauración de pasturas y manejo de suelos	E2A2: Implementación de pasturas y forrajeras resistentes a procesos de salinización	Secretaría Departamental de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Municipio de Pazña y ONGs
					E2A3: Reimplantación de especies vegetales que absorben metales pesados contenidos en los	ONGs, universidades y proyectos

					suelos y aguas	
El área que circunscribe el Lago Poopó es una extensa franja de costas salitrosas, que por acción del viento son diseminados a lo largo y ancho de la planicie. La presencia excesiva de sales (cloruros y sulfatos, bicarbonatos de sodio, calcio y magnesio), en la capa arable limita la germinación de algunos cultivos y plantas forrajeras menos tolerantes. Asimismo, estas sales tienen efectos químicos directos que perjudican la nutrición y el metabolismo de las plantas.	Suelos	Protección a los recursos de la biodiversidad	Mitigación de los efectos de la contaminación minera sobre los recursos de la biodiversidad	Implementar cultivos y especies forrajeras resistentes a la salinidad	E2A5: Implementar cultivos de haba, cañahua y otros	Secretaría Departamental de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Universidades y ONGs
					E2A6: Rompimiento de las costas superficiales de suelos mediante el escarificado superficial (previo y posterior a las épocas de lluvia)	Prefectura de Oruro y Municipio de Pazña
Valores altos de arsénico, zinc, cadmio y cobre en los suelos circundantes del Lago Poopó	Suelo	Mitigación de la contaminación de la minería sobre suelos	Implementación de medidas por parte de los actores de la contaminación para	Implementación de medidas para mitigar los residuos producidos por la	E3A1: Construcción de diques de colas por parte de los emprendimientos mineros situados en el Municipio de Pazña	Empresas, cooperativas e ingenios

			mitigar los contaminantes sobre los suelos	minería por parte de los actores de la contaminación	E3A2: Encapsulado de las colas solidificadas mediante técnicas de cobertura y revegetación	Empresas, cooperativas e ingenios
				Fiscalización del cumplimiento de las normas por parte de las Autoridades Ambientales pertinentes	E3A3: Fiscalización y seguimiento de Licencias Ambientales	Ministerio de Medio Ambiente y Aguas, Secretaría Departamental de Recursos Naturales y Medio Ambiente y Municipio de Pazña
Afectación a la salud de las poblaciones pesqueras por el consumo de carne de pescado contaminada con metales pesados.	Población pesquera	Protección a la salud de las poblaciones locales	Mitigar los efectos de la contaminación minera sobre la salud de las poblaciones	Generación de conciencia sobre los riesgos de la contaminación minera	E4A1: Realización de talleres de concientización	Ministerio de Salud, ONGs y Universidades
					E4A2: Limitar el consumo de carne de pescado a niveles sin riesgo de contaminación	Municipio de Pazña, Ministerio de Salud, ONGs y Universidades
				Generación de fuentes alternativas de alimentación	E4A3: Promoción de producción intensiva bajo condiciones controladas	Universidades y ONGs
La minería y el transporte tienen alta incidencia en la contaminación atmosférica del	Poblaciones del Municipio de Pazña	Mitigación de la contaminación de la	Implementación de medidas por parte de los	Promoción de técnicas alternativas de	E5A1: Las empresas mineras implementan sistemas de transporte de los minerales mediante	Empresas, cooperativas e ingenios



Municipio de Pazña		minería sobre el aire	actores de la contaminación para mitigar los contaminantes sobre el aire	transporte de los minerales	hidroductos	
El viento levanta las partículas de las colas y desmontes producidos por la actividad minera en el Municipio de Pazña con el consiguiente riesgo de ser inhalados por los seres humanos y la fauna del lugar.	Poblaciones del Municipio	Mitigación de la contaminación de la minería sobre el aire	Implementación de medidas por parte de los actores de la contaminación para mitigar los contaminantes sobre el aire	Promoción de técnicas de tratamiento de las colas y desmontes	E5A2: Encapsulado de las colas solidificadas mediante técnicas de cobertura y re vegetación.	Empresas, cooperativas e ingenios
En el Municipio de Pazña no existen sistemas de recolección, transporte y disposición de los residuos sólidos, por lo que la población arroja la basura en la vía pública, en terrenos baldíos, quebradas y riachuelos.	Poblaciones del Municipio y suelo	Mitigación de la contaminación orgánica sobre las poblaciones	Implementación de técnicas de disposición de basura para mitigar los contaminantes sobre el aire	Concientización	E6A1: Realización de talleres de concientización	ONGS y Universidades

				Aplicación de técnicas de manejo y disposición de basura	E6A2: Aplicación del Sistema de Recuperación, Reciclaje y Re disposición (RRR)	Municipio de Pazña y ONGs
--	--	--	--	--	--	---------------------------

## **4.5 Fuentes potenciales de agua para abastecer las demandas futuras del municipio**

### **Aguas superficiales**

Para ser considerada como una fuente potencial de agua para abastecimiento público un cuerpo de agua superficial debe cumplir con ciertas condiciones entre las cuales están:

- caudal suficiente
- calidad natural aceptable o adecuada para tratamiento
- posibilidad de trazar una ruta adecuada para la tuberías de conducción al sitio de captación
- elevación adecuada para facilitar la distribución por gravedad
- pocas concesiones ya otorgadas
- poca vulnerabilidad
- la posibilidad de construcción de una represa.

Debido a las condiciones climáticas y topográficas los ríos en esta área son poco abundantes, y no cumplen a cabalidad con los requisitos para ser utilizados como fuente de abastecimiento público. Del estudio de las cuatro zonas en el municipio, dos zonas son consideradas como fuentes potenciales: el agua superficial de la zona de Cuchuavicaya y la zona de recarga del río Urmiri: Taruco Colpani.

Se debe considerar la posibilidad de aumentar la cantidad de agua extraída del río Urmiri para abastecer los canales de riego de la zona de Palca y Colpani. Se puede rechazar su uso por tener caudales insuficientes de agua de buena calidad o porque el río ya tiene en diferentes puntos tomas de agua para embalses familiares pequeños en la zona alta. Es necesario analizar la perforación de un pozo que funcione con bomba eólica para garantizar el abastecimiento de agua en la zona baja de Urmiri.

### **Aguas subterráneas**

Un acuífero debe cumplir con ciertos requisitos tales como ser capaz de almacenar un volumen significativo de agua para poder abastecer a una población. Sus aguas deben ser adecuadas para consumo directo y si se va a explotar por medio de la captación de manantiales, estos deben tener una elevación adecuada. Debido a la complejidad del sistema, y al costo que implican las investigaciones científicas, no existe un conocimiento preciso del volumen de agua disponible de los acuíferos, ni se conocen de manera detallada las zonas de recarga. Lo que si se evidencia en toda la zona es el uso de acuíferos subsuperficiales por tener los pozos estudiados en la zona una profundidad media de 10 m, pero se desconoce el uso potencial de este recurso.

Los acuíferos semi confinados descargan en manantiales ubicados a lo largo del Cañadón Antequera; existen además otros cuerpos de agua de menor importancia como pequeños humedales en las zonas de recarga. Todas estas fuentes de agua están siendo actualmente utilizadas para abastecer, en mayor o menor escala, a las poblaciones del municipio.

Después de evaluar las diferentes posibilidades para satisfacer la creciente demanda de la población, se ha llegado a la conclusión de que, tanto desde el punto de vista técnico como desde una perspectiva económica, la extracción de agua subterránea constituye la mejor opción para el futuro abastecimiento de las comunidades del municipio, que compensaría la explotación de las aguas superficiales provenientes del río Urmiri.

Además de una calidad natural excelente en las aguas de los acuíferos de las llanuras intermedias en el valle de Cuchuavicaya, su uso tiene ciertas ventajas importantes sobre las aguas superficiales:

- a. El costo por metro cúbico es menor al agua del río;
- b. Las inversiones en perforación y preparación de pozos puede hacerse de manera gradual;
- c. Las actividades de construcción y operación dirigidas a la extracción tienen un menor impacto ambiental y;
- d. Debido a la lentitud de los procesos de recarga y evaporación a que están sometidas las aguas subterráneas es posible contar con volúmenes más constantes durante el año.

Entre las desventajas más importantes están los altos costos de inversión inicial para la perforación de pozos de gran capacidad y las dificultades para poner en práctica medidas para la utilización sostenible y la protección de los acuíferos. Esto se debe principalmente a la complejidad y variedad de usos de suelos que se da en esta zona y al hecho de que, por tratarse de acuíferos regionales, los planes de manejo deben realizarse a nivel de cuenca. Esto no resulta fácil ya que se deben incluir actividades de protección de zonas de recarga y control de fuentes potenciales de contaminación. Para esto, se requiere además de una mejora significativa del conocimiento hidrogeológico todavía deficiente del sistema.

Se ha identificado dos factores que ponen en riesgo las aguas subterráneas como fuente de abastecimiento para la población del Municipio: la contaminación derivadas de las actividades humanas y la reducción en la recarga de acuíferos como se evidencia en la comunidad de Totoral en las Serranías intermedias.

Existe un problema de calidad de agua. Es probable que diversas sustancias químicas algunas de ellas potencialmente nocivas para la salud, estén llegando a los acuíferos. Los estudios de monitoreo del 2007 y 2008 muestran incipiente contaminación por nitratos en pozos y vertientes localizados en la parte baja y media de la cuenca. No fue posible en ese momento señalar alguna fuente específica como causante de contaminación aunque se sospecha que provienen del mal manejo de residuos sólidos y aguas servidas en las cercanías de los pozos familiares y comunales.

Por otra parte la evaluación en la red de 31 pozos en el municipio, muestran que la concentración de nitratos alcanzó o superó en una o más ocasiones la concentración máxima recomendada. Al hacer una proyección de las tendencias en algunos sitios se concluye que si las

condiciones se mantienen igual, estos pozos tanto comunales como familiares no recibirán ningún tipo de mantenimiento, siendo probable que las aguas de esos sitios superen las concentraciones máximas recomendadas y no serán aceptables para el consumo humano.

El nitrato es altamente soluble en agua y fácilmente transportado por la lluvia a través del suelo hasta los acuíferos. El problema se hace más serio ya que las principales fuentes de contaminación por nitratos son regionales y no puntuales lo que hace más difícil su detección y control. Concentraciones superiores a 10 mg/L como N son consideradas perjudiciales para la salud humana (WHO 1996).

Los resultados son preocupantes ya que a pesar de que los procesos de infiltración de las sustancias a través del suelo y la roca son relativamente lentos en suelo, un promedio de 2, 5 m por año, y que por lo tanto los contaminantes podrían demorar varios años en alcanzar el nivel freático, el hecho de que el nitrato haya llegado a los acuíferos indica de manera indirecta que otras sustancias potencialmente tóxicas para la salud humana probablemente están en camino o se encuentran ya en las aguas. Esto sumado a la influencia geológica de la zona muestra proyecciones desalentadoras respecto al transporte de sustancias nocivas como son el arsénico, cadmio y hierro.

La reducción de los acuíferos puede ser causada principalmente por la impermeabilización de zonas de recarga; es decir, de las áreas más permeables por las cuales el agua se infiltra más fácilmente, debido principalmente a características topográficas e hidrogeológicas. Esto favorecido por la escorrentía superficial, al ser eliminada la cobertura vegetal por actividades principalmente mineras, además las posibilidades de infiltración de agua sobre suelos en pendiente media y alta disminuyen debido a que la vegetación funciona también como un obstáculo para la escorrentía superficial.

## **5. Recomendaciones**

La implementación del Plan de Gestión plantea minimizar impactos, tener un uso de agua eficiente y buscar oportunidades de mejorar la gestión; propone e identifica las responsabilidades que implica el plan y promueve la administración, la difusión del Plan a los grupos de interés y la capacitación adecuada del personal encargado de la operación, también son puntos clave de la gestión; los cuales deben ser trabajados desde el Municipio hasta los gobiernos Departamentales junto a las Universidades que son las que pueden reforzar la propuesta del Plan.

Las tendencias actuales indican que la extracción de aguas subterráneas aumentará significativamente en el municipio según las actividades que se desarrollen. Esto hará que la población del valle sea más dependiente de los acuíferos que subyacen en la región. Por esta razón las instituciones responsables de la administración municipal y la administración de las aguas deben centrar sus esfuerzos en estimar la disponibilidad, la demanda futura y el impacto real y potencial de las actividades mineras sobre los acuíferos. Sin embargo, estos esfuerzos carecerán de sentido si las medidas para el manejo adecuado del recurso no se toman ahora, y

aún más importante si no se evitan las actividades de minería del agua en este valioso líquido (entendiendo la minería del agua como la extracción indiscriminada del agua).

Las políticas de manejo y protección de aguas subterráneas no están bien definidas en el país. Existen ocasionalmente esfuerzos puntuales dirigidos a rescatar o limpiar cuerpos de agua superficial o a educar a la comunidad para lograr una mayor comprensión de los sistemas hidrológicos. Estas iniciativas son valiosas pero evidentemente insuficientes para lograr un manejo integral comprensivo y efectivo del agua en el país. El manejo del agua, desde una perspectiva de cuenca, requiere de una política gubernamental bien definida que debería dar empuje y apoyo permanente a los esfuerzos institucionales que se realizan y a promover la participación de las comunidades.

Las acciones que se recomiendan para el manejo de las aguas subterráneas son de tres tipos:

1. Protección de un área alrededor de pozos y vertientes definida como área de influencia o zona de contribución de cada fuente. Sobre esta zona se deben regular y controlar las actividades humanas
2. Protección de la zona de recarga. Las actividades permitidas en el área de recarga de los acuíferos deben ser definidas y controladas poniendo en práctica sobre todo una metodología adecuada para el tratamiento de las excretas humanas y animales mejorando las practicas de aplicación de fertilizantes y plaguicidas especialmente en cultivos intensivos según sea el caso.
3. Regulación de actividades en toda la cuenca por medio de planes de ordenamiento territorial considerando las proyecciones de crecimiento urbano.

Durante las diferentes etapas de la evaluación se pudo identificar la necesidad de responder a tres preguntas claves, alrededor de estas se ha trabajado en las estrategias de gestión (Cuadro 3) y la propuestas de las acciones (Cuadro 4). Es necesario antes de terminar exponer las recomendaciones pertinentes en torno a estas necesidades en la zona:

1. ¿De qué pozos no se puede extraer agua en la zona?  
Los pozos cuya clasificación son Cl-SO<sub>4</sub>-Ca-Mg no son buenos para el consumo humano, ya que las altas concentraciones de estos iones definen a estas aguas como altamente salinas, No se recomienda el consumo de las aguas de los pozos con esa clasificación.
2. ¿De qué zonas se puede disponer el agua?  
Las mejores fuentes de agua en esta zona están en la zona de Recarga de Chapana, Cuchuavicaya y Urmiri. No se aconseja habilitar pozos en las zonas de la llanura de infiltración, ya que en esta zona el impacto de aguas superficiales y ácidas es mayor.
3. ¿Donde se pueden habilitar pozos?

En las llanuras intermedias y pies de monte de Cuchuavicaya y Urmiri

La red de monitoreo establecida fue monitoreada por dos años. Con esta red se logró plantear una descripción hidrogeológica parcial de la zona. También se instalaron piezómetros alrededor de Avicaya, pensando en la implementación de un plan de defensa hidrogeológico, donde se pudiese lograr establecer un sistema de control adecuado a las actuales operaciones mineras en la subcuenca; así se podría dar continuidad a esta primera iniciativa de monitoreo de aguas con influencia minera. Así mismo, establecer la red de monitoreo continua obliga a las empresas a asumir responsabilidades sobre las actividades que desarrollan, dando los instrumentos de negociación a las comunidades y municipio para lograr la implementación de medidas correctoras.

No se puede dejar de lado el desarrollo e implementación de políticas públicas en regiones deprimidas donde prima el desarrollo de actividades económicas sin planificación. Sin embargo, esta es una contribución para poder establecer estas políticas paralelas al trabajo de gestión y conservación del agua, por lo que deben considerarse los criterios técnicos para plantear el uso no solo seguro de las fuentes de agua sino también sostenible; considerando en este conflicto también a las empresas que se convierten en actores de la contaminación al igual que la población sensible a este efecto.



## **Bibliografía**

Proyecto CAMINAR, 2009. Boletín Trimestral Octubre 2009.

Niura. Z. M., 2008. Evaluación químico ambiental “Aguas superficiales y subterráneas. Municipio de Pazña”.

UNIVERSIDAD AUTONOMA TOMAS FRIAS – U.T.F., Potosí. 2006. Facultad de Ingeniería Geológica. “Diagnostico hidrológico hidrogeológico de la subcuenca Antequera”.

I.N.E., 2005. Instituto Nacional de Estadística. Atlas estadístico de Municipios de Bolivia.

Ministerio de Minería y Metalurgia, 2005. Registro de Empresas Mineras.

Bustamante. R. 2002, Centro de agua. Universidad de San Simón. “Legislación de agua en Bolivia”. Cochabamba – Bolivia.

MEDMIN, 2002. Viceministerio de Minería y Metalurgia. Proyecto Medio Ambiente Industria y Minería. La Paz – Bolivia.

Proyecto Piloto Oruro. PPO. 1996. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente.. “Evaluación de recursos minerales y su utilización”. Oruro-Bolivia.

WHO 1996. Estándares de Agua

Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, 1995. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente., La Paz – Bolivia.

[http://www.labor.org.pe/descargas/Caminando\\_4.pdf](http://www.labor.org.pe/descargas/Caminando_4.pdf)

<http://www.ncl.ac.uk/environment/research/hero/CAMINAR.htm>